

Volume 6, No. 1 Juni 2017

p-ISSN : 2301-4652

e-ISSN : 2503-068X

Jurnal Ilmiah

SESTRUM

Sistem - kEndali - Tenaga - elektRonika - telekomUnikasi - koMputer



Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

DEWAN REDAKSI**Pengarah****Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Dr. Eng. A.Ali Alhamidi, S.T., M.T.

Penanggung Jawab**Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Dr. Supriyanto, S.T., M.Sc.

Editor in Chief

Teguh Firmansyah, M.T., (SCOPUS ID: 54971241500 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.

Reviewer

1. Dr. Supriyanto Praptodinoyo, (SCOPUS ID: 24802473100 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
2. Dr. Yus Rama Denny, (SCOPUS ID: 55262560100 h-Index =3) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
3. Dr. Wahyuni Martiningsih, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia., Indonesia
4. Dr. Romi Wiryadinata, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
5. Dr. Alimuddin Alimuddin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
6. Dr. Iman Santoso, M.Sc, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
7. Dr. Irma Saraswati, M.T. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
8. Muhammad Sadikin, M.T., (SCOPUS ID: 55611843800 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
9. Teguh Firmansyah, M.T., (SCOPUS ID: 54971241500 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
10. Imamul Muttakin, M.Sc., (SCOPUS ID: 36703129000 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Kesekretariatan :

1. Anggoro Suryo, M.Kom.
2. Hartono, S.T., M.T.
3. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
4. Ri Munarto, Ir., M.Eng.
5. Siswo Wardoyo, S.T., M.Eng.
6. Suhendar, S.Pd., M.T.
7. Heri Haryanto, S.T., M.T.
8. Herudin, S.T., M.T.
9. Rian Fahrizal, S.T., M.Eng.
10. Muhammad Otong, S.T., M.T.
11. Yeni Apriyeni, A.Md.



DATA BIBLIOGRAFI

Jurnal Ilmiah SETRUM merupakan jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA). Jurnal Ilmiah SETRUM adalah singkatan dari “**S**istem – **k**Endali – **T**enaga – **e**lekt**R**onika – telekom**U**nikasi - ko**M**puter” yang merupakan 5 Bidang Keahlian yang ada di Jurusan Teknik UNTIRTA. Jurnal Ilmiah SETRUM diterbitkan setiap 6 bulan sekali, pada **bulan Juni** dan **bulan Desember** setiap tahunnya dan terbit pertama kali pada bulan Juni 2012. Jurnal Ilmiah SETRUM memuat **13 judul** penelitian pada tiap terbitannya yang disajikan dalam Bahasa Indonesia dilengkapi dengan abstrak dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris.



DAFTAR ISI

Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Homer Di Pulau Tunda Muhamad Ootong, Alimuddin, Ibnu Mas'ud	1-13
Perencanaan Penempatan Antena Pemancar Wireless Indoor Berdasarkan Daya Terima Dwi Harinitha	14-22
Model Pengukuran dan Analisis Pengaruh Sudut Antena pada Penguatan PICH Gain terhadap Kualitas Teknologi Jaringan 3G Selular Code Division Multiple Access 2000 1X Budi Herdiana, Moszes A Anggara	23-32
Analisa Kinerja Sensor Inframerah dan Ultrasonik untuk Sistem Pengukuran Jarak pada Mobile Robot Inspection Riky Tri Yunardi , Winarno, Pujiyanto	33-41
Deteksi Jarak Lokasi Gangguan Pada Saluran Transmisi 500 Kv Cilegon Baru - Cibinong Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Muhamad Ootong, Alimuddin, Chandra Arief B	42-54
Minimum System Berbasis Mikrokontroler ATmega32 untuk Pemantauan dan Tampilan Kondisi Instalasi Kelistrikan Otobis Arief Goeritno, Irvan Mustofa	55-67
Kendali Formasi Multi-UAV menggunakan Line of Sight (LOS) Guidance Law Dyah Anggun Sartika, Denny Hardiyanto	68-79
Desain Low Pass Filter Metode Stepped Impedance dengan Frekuensi Cutoff 2 GHz Alief Maulana, Hamdan Kelana Aziz	80-87
Perancangan Sistem Kontrol Pada Prototip Pengereng Kerupuk Berbasis Ic Digital Menggunakan Software Proteus 7.0 Syifaul Fuada	88-96
Antena Cerdas untuk Mitigasi Interferensi dengan Algoritma Least Mean Square Rahmad Hidayat, Hamdani Setiawan, Yakob Liklikwatil, Sabar Santoso, Ninik Sri Lestari	97-105
Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008 Mustaqim, Muhamad Haddin	106-119
Identifikasi Konten Negatif pada Citra Digital Berbasis Tanda Vital Tubuh Menggunakan Ekstraksi Fitur GLCM dan Warna YCbCr Denny Hardiyanto, Dyah Anggun Sartika	120-131
Sistem Receiver Satelit NOAA pada Frekuensi 137,9 MHz Nuhung Suleman, Rahmat	132-141



DEWAN REDAKSI**Pengarah****Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Dr. Eng. A.Ali Alhamidi, S.T., M.T.

Penanggung Jawab**Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**

Dr. Supriyanto, S.T., M.Sc.

Editor in Chief

Teguh Firmansyah, M.T., (SCOPUS ID: 54971241500 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.

Reviewer

1. Dr. Supriyanto Praptodinoyo, (SCOPUS ID: 24802473100 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
2. Dr. Yus Rama Denny, (SCOPUS ID: 55262560100 h-Index =3) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
3. Dr. Wahyuni Martiningsih, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia., Indonesia
4. Dr. Romi Wiryadinata, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
5. Dr. Alimuddin Alimuddin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
6. Dr. Iman Santoso, M.Sc, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
7. Dr. Irma Saraswati, M.T. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia.
8. Muhammad Sadikin, M.T., (SCOPUS ID: 55611843800 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
9. Teguh Firmansyah, M.T., (SCOPUS ID: 54971241500 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
10. Imamul Muttakin, M.Sc., (SCOPUS ID: 36703129000 h-Index =2) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Kesekretariatan :

1. Anggoro Suryo, M.Kom.
2. Hartono, S.T., M.T.
3. Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.
4. Ri Munarto, Ir., M.Eng.
5. Siswo Wardoyo, S.T., M.Eng.
6. Suhendar, S.Pd., M.T.
7. Heri Haryanto, S.T., M.T.
8. Herudin, S.T., M.T.
9. Rian Fahrizal, S.T., M.Eng.
10. Muhammad Otong, S.T., M.T.
11. Yeni Apriyeni, A.Md.

DATA BIBLIOGRAFI

Jurnal Ilmiah SETRUM merupakan jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA). Jurnal Ilmiah SETRUM adalah singkatan dari “Sistem – kEndali – Tenaga – elektRonika – telekomUnikasi - koMputer” yang merupakan 5 Bidang Keahlian yang ada di Jurusan Teknik UNTIRTA. Jurnal Ilmiah SETRUM diterbitkan setiap 6 bulan sekali, pada **bulan Juni** dan **bulan Desember** setiap tahunnya dan terbit pertama kali pada bulan Juni 2012. Jurnal Ilmiah SETRUM memuat **10 judul** penelitian pada tiap terbitannya yang disajikan dalam Bahasa Indonesia dilengkapi dengan abstrak dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris.



DAFTAR ISI

Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Homer Di Pulau Tunda Muhamad Ootong, Alimuddin, Ibnu Mas'ud	1-13
Perencanaan Penempatan Antena Pemancar Wireless Indoor Berdasarkan Daya Terima Dwi Harinitha	14-22
Model Pengukuran dan Analisis Pengaruh Sudut Antena pada Penguatan PICH Gain terhadap Kualitas Teknologi Jaringan 3G Selular Code Division Multiple Access 2000 1X Budi Herdiana, Moszes A Anggara	23-32
Analisa Kinerja Sensor Inframerah dan Ultrasonik untuk Sistem Pengukuran Jarak pada Mobile Robot Inspection Riky Tri Yunardi , Winarno, Pujiyanto	33-41
Deteksi Jarak Lokasi Gangguan Pada Saluran Transmisi 500 Kv Cilegon Baru - Cibinong Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Muhamad Ootong, Alimuddin, Chandra Arief B	42-54
Minimum System Berbasis Mikrokontroler ATmega32 untuk Pemantauan dan Tampilan Kondisi Instalasi Kelistrikan Otobis Arief Goeritno, Irvan Mustofa	55-67
Kendali Formasi Multi-UAV menggunakan Line of Sight (LOS) Guidance Law Dyah Anggun Sartika, Denny Hardiyanto	68-79
Desain Low Pass Filter Metode Stepped Impedance dengan Frekuensi Cutoff 2 GHz Alief Maulana, Hamdan Kelana Aziz	80-87
Perancangan Sistem Kontrol Pada Prototip Pengereng Kerupuk Berbasis Ic Digital Menggunakan Software Proteus 7.0 Syifaul Fuada	88-96
Antena Cerdas untuk Mitigasi Interferensi dengan Algoritma Least Mean Square Rahmad Hidayat, Hamdani Setiawan, Yakob Liklikwatil, Sabar Santoso, Ninik Sri Lestari	97-105
Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008 Mustaqim, Muhamad Haddin	106-119
Identifikasi Konten Negatif pada Citra Digital Berbasis Tanda Vital Tubuh Menggunakan Ekstraksi Fitur GLCM dan Warna YCbCr Denny Hardiyanto, Dyah Anggun Sartika	120-131



Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Homer Di Pulau Tunda

Muhamad Otong¹, Alimuddin¹, Ibnu Mas'ud¹

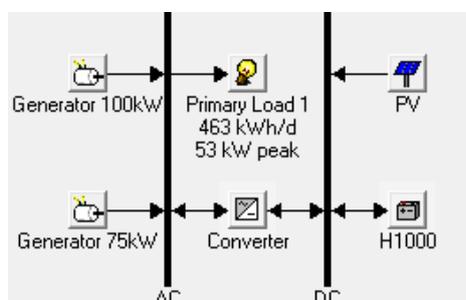
¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017
 Direvisi : 14 April 2017
 Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
 muhamadotonguntirta@yahoo.com

Graphical abstract



Abstract

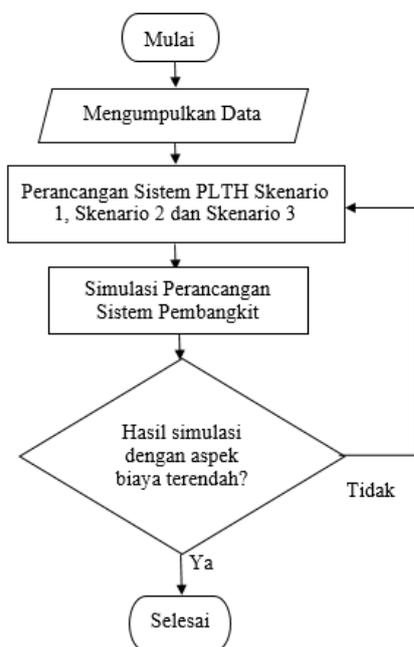
Electric energy in the Tunda Island from early 2016 is provided by diesel and solar power with operating time of 12 hours. This island has an average wind speeds over 6m/s, so the potential using of wind power plant is sufficient for the need of the electrical load. The purpose of this research is to design hybrid power plant using HOMER software, in order to obtain optimal system between diesel, solar power and wind turbine configuration. This thorough integration of hybrid power plant is a multi variable system so it needs help or method using software, in this case HOMER version 2.68, This software optimizes based on the smallest cost aspect. The results showed that the design of optimal hybrid power plant is scenario 3 with capacity at each plant is: 117kWp at solar power, 60kW at wind turbine and 75kW at diesel generator. The conclusions obtained contribution from solar-wind-diesel is 43%, 56% and 1%. Optimization in scenario 3 has the smallest cost aspect with the present net value (NPC) of \$544703, the cost of electrical energy (COE) of \$0.349/kWh. This system can reduce exhaust emissions by 4584kg/yr if paid for exhaust gas emission penalty of about \$1018/year.

Keywords: PLTH, NPC, COE

Abstrak

Energi listrik di Pulau Tunda dari awal tahun 2016 disediakan oleh PLTD dan PLTS dengan waktu operasi 12 jam. Pulau ini memiliki rata-rata kecepatan angin diatas 6m/s sehingga berpotensi menggunakan PLTB untuk mencukupi kebutuhan beban listriknya. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang sistem PLTH menggunakan software HOMER, agar diperoleh sistem yang optimal antara konfigurasi PLTD, PLTS dan PLTB. Secara menyeluruh integrasi pada PLTH ini merupakan sistem multi variabel sehingga dibutuhkan bantuan atau metode menggunakan perangkat lunak, dalam hal ini HOMER versi 2.68, perangkat lunak ini mengoptimasi berdasarkan aspek biaya terkecil. Hasil penelitian menunjukkan perancangan sistem PLTH yang optimal adalah skenario 3 dengan kapasitas pada masing-masing pembangkit adalah: 117kWp pada PLTS, 60kW pada PLTB dan 75kW pada PLTD. Kesimpulan yang diperoleh dari kontribusi PLTS-PLTB-PLTD sebesar 43%, 56% dan 1%. Optimasi pada skenario 3 ini memiliki aspek biaya yang paling kecil dengan nilai bersih sekarang (NPC) sebesar \$544703, biaya energi listrik (COE) sebesar \$0.349/kWh. Sistem ini dapat mengurangi emisi gas buang sebesar 4584kg/tahun jika dibayarkan untuk penalti emisi gas buang sekitar \$1018/tahun.

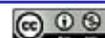
Kata kunci: PLTH, NPC, COE



© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pulau Tunda merupakan salah satu gugusan pulau dari 17 pulau yang berada di Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Secara administratif termasuk ke dalam Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Secara geografis terletak di koordinat 5°48'18" s/d 5°49'20" LS dan 106°15'14" s/d 106°17'27"BT. Pada Pulau ini terdapat satu kelurahan atau desa yakni Kelurahan



Wargasara yang terdiri dari dua Kampung, yaitu: Kampung Barat dan Kampung Timur. Berdasarkan data kelurahan Wargasara tahun 2015 total luas Pulau Tunda adalah ± 260 ha yang ditempati oleh 436 KK dengan jumlah penduduk mencapai 1502 orang penduduk yang pekerjaannya bertumpu pada hasil kelautan yaitu bermata pencaharian sebagai nelayan, dengan sebagian kecil bekerja sebagai pedagang dan pertukangan. Pada awal tahun 2015 pemerintah kabupaten serang telah menetapkan pulau tunda sebagai salah satu daerah tujuan pariwisata (BPS, 2015). Letak Pulau Tunda dapat dilihat pada



Gambar 1.

Gambar 1. Peta Lokasi Pulau Tunda

Saat ini energi listrik di Pulau Tunda berasal dari PLTD dan PLTS. Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) terdiri dari 2 unit generator mesin diesel yang masing-masing memiliki kapasitas terpasang 100kW dan 75kW. PLTD hanya beroperasi selama 6 jam perhari yaitu mulai dari jam 18.00 wib sampai jam 00.00 wib. Sedangkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) terdiri dari 120 unit solar panel dengan kapasitas terpasang 25kWp yang diberikan pemerintah provinsi Banten hanya beroperasi selama 6 jam perhari yang akan mengalirkan energi listriknya saat malam hari saja yaitu mulai dari jam 00.00 wib sampai 06.00 wib.

Mengingat pulau Tunda merupakan daerah wisata, maka infrastruktur kelistrikannya perlu diperbaiki karena sistem kerja pembangkit yang sudah terpasang belum mencukupi kebutuhan beban listrik di Pulau Tunda. Sesuai program pemerintah dalam upaya penghematan energi, maka PLTD yang menghasilkan emisi gas buang dan memerlukan bahan bakar minyak (BBM) dalam membangkitkan energi listrik agar dikurangi jam pengoperasiannya dan menambah pembangkit energi listrik yang memanfaatkan sumber-sumber energi terbarukan di Pulau Tunda[1]. Potensi penambahan pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis pulau yang berada di tengah laut Jawa. Pulau Tunda memiliki potensi angin dengan intensitas kecepatan angin rata-rata 6m/s (BMKG, 2016).

Dari dasar pemikiran tersebut, maka penulis pada penelitian ini mengambil judul “Optimasi Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan HOMER di Pulau Tunda”. Diharapkan dari optimasi kapasitas pembangkit listrik tenaga hibrida ini mampu merancang sistem dan kapasitas optimal serta mensimulasikan model sistem PLTH menggunakan *software* HOMER yang bisa memenuhi konsumsi energi listrik dengan mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan dan mengetahui besar biaya pembangkitan energi listrik dan penalti emisi gas buang dari konfigurasi PLTH yang dirancang di Pulau Tunda.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam melakukan penelitian:

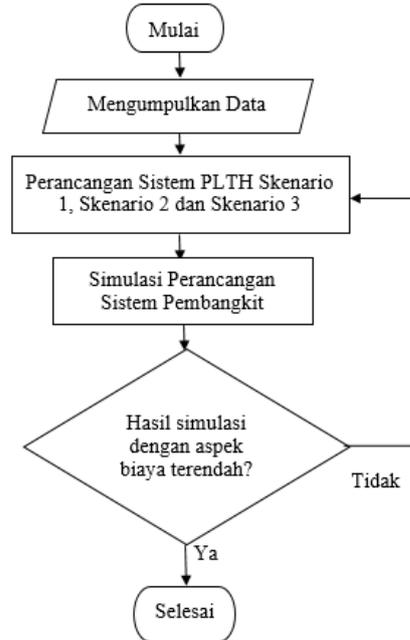
- Identifikasi masalah yaitu dengan merumuskan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini.
- Studi literatur, yaitu mengumpulkan data-data dari buku referensi dan jurnal-jurnal sesuai dengan topik penelitian yang dilakukan yaitu tentang pembangkit listrik tenaga hibrida.
- Observasi, yaitu mengumpulkan data dengan mengadakan pengamatan secara langsung pada Pulau Tunda mengenai konsumsi energi listrik, data sumber daya alam untuk



- pembangkit listrik yang menggunakan energi baru terbarukan dan Stasiun Meteorologi Kelas I mengenai validasi data yang diperoleh dari sumber daya alam Pulau Tunda.
- d) Perancangan dan pengujian, yaitu dengan merancang model sistem PLTH (surya-angin-diesel) serta menguji dan mensimulasikan menggunakan perangkat lunak HOMER, untuk mengetahui optimal kapasitas sistem PLTH terhadap hasil yang diinginkan dan teori yang ada.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Secara sederhana proses penelitian optimalisasi kapasitas pembangkit listrik tenaga hibrida pada Pulau Tunda menggunakan HOMER dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan Penelitian

Perancangan sistem PLTH yang dibuat pada penelitian digunakan untuk optimasi kapasitas pembangkit listrik tenaga hibrida di Pulau Tunda. Penelitian ini akan memodelkan konfigurasi dari setiap komponen PLTH baik itu dari pembangkit listrik tenaga surya, pembangkit listrik tenaga bayu dan pembangkit listrik tenaga diesel. Dari konfigurasi PLTS, PLTB dan PLTD akan diperoleh sistem hibrida yang optimal untuk konsumsi energi listrik di Pulau Tunda.

Pada subbab ini menjelaskan perhitungan untuk merancang sistem PLTH yang dipakai untuk mengoptimalkan kapasitas PLTS dan PLTB pada skenario 2 dan 3. Berikut perhitungannya:

2.3.1 Perancangan Dan Pengoptimalan Kapasitas PLTS

- a. Menghitung kapasitas pembangkitan dan jumlah panel surya

Daya yang dibangkitkan PLTS (W_p) disesuaikan dengan kebutuhan beban yang akan disuplai serta dipengaruhi oleh faktor pembangkitan panel surya (PGF).

Faktor pembangkitan panel surya (PGF) dari hasil perhitungan dengan nilai referensi CE (*Collection Efficiency*) panel surya pada perangkat lunak HOMER sebesar 80% dan nilai rata-rata intensitas matahari di Pulau Tunda tahun 2016 adalah sebesar 5,00kWh/hari. Apabila nilai CE dan rata-rata intensitas matahari di Pulau Tunda disubstitusikan diperoleh nilai PGF sebesar:

$$PGF = 0,80 \times 5\text{Wh/hari} = 4\text{kWh/hari}$$

Berdasarkan nilai PGF sebesar 4kWh/hari dan pemakaian energi listrik (E_L) selama 24 jam sebesar 467,48kWh/hari maka kapasitas pembangkitan panel surya (W_p) sebesar:

$$P_{24}(W_p) = 467,48 \div 4 = 116,87\text{kWp}$$



Pada skenario pertama panel surya sudah terpasang sebesar 25kWp, maka kapasitas yang akan dioptimalkan diubah menjadi 116,87kWp dengan menambahkan kapasitas pembangkit sebesar 91,87kWp.

Jumlah panel surya yang diperlukan untuk dapat membangkitkan 91,87kWp adalah sebanyak:

$$\text{Jumlah panel surya} = 91,87\text{kW} \div 200\text{W} = 459,35 \sim 460 \text{ panel surya}$$

Panel surya pada skenario pertama sebanyak 120 buah panel, agar optimal ditambahkan lagi sebanyak 460 buah panel surya. Jadi dibutuhkan 580 panel surya dengan kapasitas 200Wp.

b. Menghitung kapasitas dan jumlah baterai

Kapasitas baterai dihitung berdasarkan acuan total beban yang akan disuplai. Diketahui pemakaian energi listrik (E_L) 24 jam di Pulau Tunda sebesar 467,48kWh/hari. Saat siang hari, sebagian beban tidak perlu lama disimpan dalam baterai karena besarnya energi yang dihasilkan PLTS pada siang hari akan mencapai nilai maksimum sehingga energi dari panel surya dapat langsung disalurkan ke beban, proses penyaluran energi ini dapat memperpanjang masa hidup baterai, berdasarkan pertimbangan tersebut maka kapasitas baterai akan dihitung untuk kebutuhan energi pada malam hari saja yaitu sebesar 247,52kWh/hari.

Pada skenario pertama baterai yang dipakai adalah baterai NS OPzV 2-1000 yang termasuk jenis baterai *lead acid deep-cycle*, baterai jenis ini mempunyai kemampuan *Depth Of Discharge* sebesar 80%. Parameter lain yang mempengaruhi kapasitas baterai adalah TCF. TCF merupakan faktor koreksi temperatur yang mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan karena setiap kenaikan temperatur 1°C (dari temperatur standarnya) pada panel surya, maka hal tersebut akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel akan berkurang sekitar 0,5% sehingga kapasitas baterai yang dibutuhkan akan meningkat. Temperatur udara maksimum untuk wilayah Pulau Tunda adalah sebesar 30°C, dari data temperatur ini ada perbedaan suhu sebesar 5°C dari suhu standar 25°C dan akan mengurangi daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}). Besarnya daya yang berkurang pada selisih suhu 5°C dari temperatur standarnya dapat sebagai berikut:

$$P_{\text{saat naik } 5^\circ\text{C}} = [(0,5\% \times 200\text{W} \times 5^\circ\text{C})] = 5\text{W}$$

Daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) pada saat temperaturnya 30°C dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{MPP \text{ saat selisih } 5^\circ\text{C}} &= 200\text{W} - 5\text{W} \\ &= 195\text{W} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) pada saat terjadi selisih suhu 5°C, maka nilai TCF dapat dihitung sebagai berikut:

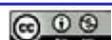
$$\begin{aligned} \text{TCF} &= 195\text{W} \div 200\text{W} \\ &= 0,975 \end{aligned}$$

Parameter lain yang mempengaruhi perhitungan kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah penentuan AD (*Autonomy Days*) yaitu keadaan baterai dapat menyuplai beban secara menyeluruh ketika tidak ada energi yang masuk dari panel surya. Penentuan AD pada penelitian ini adalah sebesar 3 hari. AD ditentukan berdasarkan tingkat curah hujan di Pulau Tunda. Rata-rata tingkat curah hujan pada musim hujan mencapai 15 hari/bulan sehingga dalam 1 minggu diasumsikan dapat terjadi hujan 3 sampai 4 hari. Penentuan nilai AD bertujuan agar pada saat insolasi harian matahari berada pada nilai yang paling rendah, maka baterai akan tetap menjaga kestabilan daya yang dibangkitkan.

Mencari nilai kapasitas baterai, saat nilai E_L malam hari adalah sebesar:

$$I = \frac{247,52\text{kWh/hari}}{0,8 \times 0,975 \times 400} \times 3 = 2380\text{Ah}$$

Pada skenario pertama baterai yang sudah terpasang berkapasitas 1000Ah dengan tegangan nominal baterai 2V. Adapun rangkaian baterai yang dipasang secara seri dan parallel, agar dapat



memenuhi kebutuhan 2380Ah/ hari dan sesuai tegangan *rating* pada system 400V maka jumlah baterai yang dipasang seri dan paralel sebanyak:

$$\text{Jumlah baterai dipasang seri} = 400 \div 2 = 200 \text{ unit}$$

$$\text{Jumlah baterai dipasang paralel} = 2380\text{Ah} \div 1000\text{Ah} = 2,38 \sim 3 \text{ rangkaian}$$

Baterai yang sudah terpasang ada 120 unit dalam 5 rangkaian yang masing-masing rangkaiannya terdiri dari 24 buah baterai. Untuk penambahan baterai agar sesuai *rating* tegangan maka perlu ditambah 80 buah baterai lalu dipasang di 3 rangkaian yang masing-masing rangkaian memiliki 26 buah baterai. Jadi untuk pengoptimalan kapasitas baterai ini membutuhkan 200 buah baterai berkapasitas 1000Ah dengan tegangan nominal 2V yang dipasang pada 8 rangkaian dengan masing-masing rangkaian memiliki 25 buah baterai.

c. Menghitung kapasitas *inverter*

Perhitungan kapasitas *inverter* berdasarkan beban puncak yang harus disuplai serta dihitung dengan menambahkan faktor *future margin*, *error margin* dan *capacity factor*. *Future margin* merupakan persentasi beban tambahan, margin ini ditambahkan sebagai antisipasi peningkatan beban puncak sedangkan *error margin* adalah faktor *error* perhitungan yang ditambahkan dan *capacity factor* adalah nilai efisiensi kerja *inverter*. Diasumsikan *future margin* dan *error margin* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 10% sedangkan *capacity factor* sebesar 90%. Pada beban harian yang dirancang di Pulau Tunda, didapatkan beban puncak bernilai 29,93kW, maka untuk dapat memenuhi kebutuhan beban puncak, kapasitas minimum *inverter* yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = \frac{29,93 \times 1,1 \times 1,1}{0,9} = 40 \text{ kW}$$

Pada skenario pertama *inverter* yang dipasang berkapasitas 25kW, sehingga dibutuhkan 15kW untuk menutupi kekurangan yang ada agar mencapai kapasitas *inverter* yang optimum yaitu 40kW.

2.3.2 Perancangan Dan Pengoptimalan Kapasitas PLTB

Penambahan unit PLTB perlu dilakukan perhitungan kapasitas turbin angin, turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Fuhrlander (FL)* 30kW karena turbin ini dinilai merupakan turbin yang cocok dikembangkan di Pulau Tunda selain daya pembangkit yang besar turbin ini juga dapat menghemat tempat jika dibandingkan dengan turbin angin yang berkapasitas kecil namun akan memakai tempat pemasangan yang cukup luas dalam mencapai kapasitas optimal dalam menyumbang energi pembangkitan daya listrik pada PLTH. Spesifikasi teknis turbin angin fuhrlander sebagai berikut: Daya nominal= 30 kW, Kecepatan Awal (*Vcut-in*)= 2,5 m/s, Kecepatan Nominal (*Vnom*)= 12 m/s, Kecepatan Akhir (*Vcut-off*)= 25 m/s, Tinggi menara= 24 m, Luas Area= 133 m².

Perhitungan potensi pemasangan turbin angin dilakukan dengan menggunakan distribusi kecepatan angin tahunan yang dapat didekati dengan suatu pola distribusi, dalam penelitian ini memakai distribusi weibull. Melihat penelitian yang dilakukan rosdiansyah yang dilakukan di Pulau Panjang yang berdekatan dengan Pulau Tunda maka diasumsikan bahwa distribusi weibull pada Pulau Tunda memiliki nilai *c*=6,1m/detik, *k*= 1,7 diperoleh daya keluaran turbin angin untuk ketinggian 24 sebesar:

$$P_{TB} = 30000 \left\{ \frac{\exp \left[- \left(\frac{2,5}{6,1} \right)^{1,77} \right] - \exp \left[- \left(\frac{12}{6,1} \right)^{1,77} \right]}{\left(\frac{12}{6,1} \right)^{1,77} - \left(\frac{2,5}{6,1} \right)^{1,77}} - \exp \left[- \left(\frac{25}{6,1} \right)^{1,77} \right] \right\}$$

$$= 7508 \text{ watt}$$

Jumlah turbin angin yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$N_{TB} = \frac{467480}{(7508 \times 24)} = 2,59 \sim 3 \text{ buah}$$



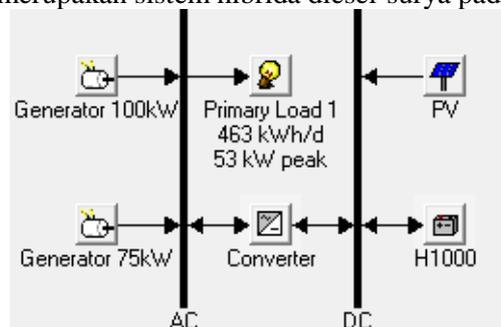
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi

Pada hasil simulasi yang dibuat terdapat tiga skenario, dimana pada skenario pertama ini pembangkit yang dirancang belum dioptimalkan kapasitas dayanya terdiri dari PLTS dan PLTD. Pada skenario kedua, pembangkit yang dirancang sudah dioptimalkan kapasitas dayanya terdiri dari PLTS dan PLTD dengan penambahan PLTB dengan sumber daya alam rata-rata. Skenario ketiga dioptimalkan kapasitas daya dari PLTS dan PLTD dengan penambahan PLTB dengan sumber daya alam diatas rata-rata.

3.1.1 Skenario Pertama

Pada Skenario pertama, pembangkit yang dirancang adalah pembangkit listrik tenaga diesel-surya ini sebagai pembandingan untuk skenario selanjutnya, dimana pada skenario ini adalah kondisi aktual pada Pulau Tunda yang sudah terpasang pembangkit listrik yang terdiri dari 2 unit mesin generator diesel dengan kapasitas 100KW dan 75KW, panel surya berkapasitas 25KW, *bi-directional inverter* 25KW, baterai dengan kapasitas 1000Ah untuk memenuhi beban rata perhari sebesar 463kWh. Gambar 3, berikut merupakan sistem hibrida diesel-surya pada *software* HOMER.



Gambar 3. Sistem Hibrida Diesel-Surya

Pemilihan komponen pembangkit yang dipakai juga memerlukan biaya untuk pengadaannya sampai biaya operasinya. Berikut merupakan harga masukan dari skenario pertama yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Harga Komponen Pembangkit Listrik Hibrida Diesel-Surya

Komponen	Kapasitas	Harga Perkomponen (\$)	Jumlah Komponen	Total Biaya (\$)	Umur Komponen
PV	25KW	395	120 panel	47400	20 Tahun
Generator 1	100KW	7800	1 mesin	7800	15000 Jam
Generator 2	75KW	7200	1 mesin	7200	15000 Jam
Baterai	1000Ah	577	120 baterai	69240	4 Tahun
Konverter	25KW	103 @5 KW	5 konverter	515	15 Tahun

Simulasi HOMER ini, menghasilkan keluaran berbagai macam nilai NPC yang paling tinggi hingga yang paling rendah. Namun untuk keluaran optimal dari aplikasi HOMER adalah hasil keluaran NPC yang paling kecil. Nilai bersih sekarang (NPC) adalah biaya siklus hidup merupakan biaya yang dikeluarkan selama proyek dilaksanakan yaitu 15 tahun. HOMER akan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasarkan nilai NPC terendah, seperti terlihat pada Gambar 4.

	PV (kW)	Label (kW)	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	25	75	120	25	\$ 132,818	74,744	\$ 823,143	0.527	0.19	62,289	0	3,772	6.7	
	25	100	75	120	\$ 141,618	74,433	\$ 829,071	0.531	0.19	62,289	0	3,772	6.7	
	25	100	120	25	\$ 133,418	82,730	\$ 897,499	0.575	0.19	69,827	3,688		6.6	
		75	120	25	\$ 77,955	91,417	\$ 922,266	0.591	0.00	75,485	4,167		5.4	
		100	75	120	\$ 86,755	91,106	\$ 928,194	0.595	0.00	75,485	0	4,167	5.4	
		100	120	25	\$ 78,555	100,333	\$ 1,005,211	0.644	0.00	83,849	4,166		5.4	
	25	75	25	25	\$ 63,578	116,361	\$ 1,138,274	0.729	0.15	100,510	0	8,285		
	25	100	75	25	\$ 72,378	116,051	\$ 1,144,202	0.733	0.15	100,510	0	8,285		
		75			\$ 8,200	124,201	\$ 1,155,297	0.740	0.00	107,018	0	8,759		
		100	75		\$ 17,000	123,890	\$ 1,161,225	0.744	0.00	107,018	0	8,759		
	25	100		25	\$ 64,178	146,423	\$ 1,416,518	0.908	0.13	129,550	8,285			
		100			\$ 8,800	155,328	\$ 1,443,380	0.925	0.00	137,057	8,759			

Gambar 4. Hasil Keluaran Simulasi HOMER Skenario Pertama

Total NPC dapat dihitung namun sebelumnya mencari keluaran dari faktor penutupan modal terlebih dahulu, untuk suku bunga yang dipakai adalah 6,78% per tahun 2016 yang didapatkan dari Bank Indonesia.

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{0,0678(1+0,0678)^{15}}{(1+0,0678)^{15}-1} = 0.108$$

Nilai dolar yang dipakai adalah nilai rata-rata pembelian dolar pada tahun 2016 dengan nilai dolar Amerika, \$1 adalah Rp 13.400,00.

$$C_{NPC} = \frac{88899}{0.108} = \$823143 \text{ atau Rp } 11.030.116.200,00$$

Selain mengeluarkan NPC, aplikasi HOMER juga mengeluarkan hasil COE. COE (*Cost Of Energy*) atau biaya energi merupakan perbandingan antara biaya total per tahun dari sistem dengan energi yang dihasilkannya selama periode yang sama. Berdasarkan nilai ekonomi, biaya pembangkit dari energi terbarukan lebih hemat dari biaya pembangkit dari energi konvensional. COE bisa dihitung sebesar:

$$COE = \frac{88899}{168995} = \$0.527 \text{ atau Rp } 7.061,80/\text{kWh}$$

Emisi Gas Buang Pada pembangkit listrik hibrida ini masih menghasilkan emisi gas buang yang cukup besar karena penggunaan PLTD yang membangkitkan energi listrik sebesar 81% dengan operasi pembangkitannya mencapai 24 jam untuk memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Tunda. Pada Tabel 2, merupakan emisi gas buang yang dihasilkan oleh PLTD selama setahun.

Tabel 2. Hasil Emisi Gas Buang Pembangkit Hibrida Diesel-Surya

Nama Polusi	Jumlah (Kg/Tahun)
Karbon Dioksida (CO ₂)	164,027
Karbon Monoksida (CO)	405
Unburned hydrocarbons (UHC)	44,8
Particulate matter (PM)	30,5
Oksida Belerang (SO _x)	329
Nitrogen Oksida (NO _x)	3.613

Berdasarkan hasil penelitian Devianti (2015), untuk negara Indonesia belum ada peraturan yang mengatur penalti/biaya yang harus dikeluarkan untuk pembuangan gas buang yang dihasilkan mesin diesel namun untuk peraturan pembatasan keluaran emisi gas buang sudah ada. Maka pada penelitian ini memakai nilai penalti yang harus dibayar oleh pembangkit listrik hibrida diambil dari riset yang dilakukan di Kanada dengan mengadopsi nilai dari mata uang dolar Amerika, berikut beberapa biaya polutannya:

1. Karbon Monoksida (CO) = \$205/ton



2. Partikulat (PM) = \$3,17/ton
3. Karbon Dioksida (CO₂) = \$205/ton
4. Belerang Dioksida (SO₂) = \$1000/ton
5. Nitrogen Oksida (NO_x) = \$934/ton
6. Hidrokarbon (HC) = \$44/ton

Nilai kerugian diatas dapat untuk mencari harga penalti dari emisi gas buang yang dihasilkan pembangkit tenaga listrik hibrida sebesar:.

$$C_{emisi} = \frac{[(205 \times 164027) + (205 \times 405) + (44 \times 44,8) + (3,17 \times 30,5) + (1000 \times 329) + (934 \times 3613)]}{1000}$$

$$= \$37414 \text{ atau Rp } 501.347.600,00/\text{tahun}$$

Biaya emisi, nilai pembagian 1000 dipakai untuk menyamakan biaya penalti per-ton dengan nilai emisi yang diperoleh dari aplikasi HOMER per-kg.

3.1.2 Skenario Kedua

Pada skenario ini PLTS yang sudah terpasang akan dioptimalkan kapasitas daya pembangkitan energi listriknya supaya waktu pengoperasian dari PLTD dapat dikurangi serta ditambahkan PLTB yang memungkinkan untuk membantu kinerja PLTS dalam memenuhi kebutuhan beban listrik Pulau Tunda. Perhitungan pengoptimalan kapasitas PLTS dan PLTB telah dijelaskan perhitungan sebelumnya pada subbab 3.4.1.

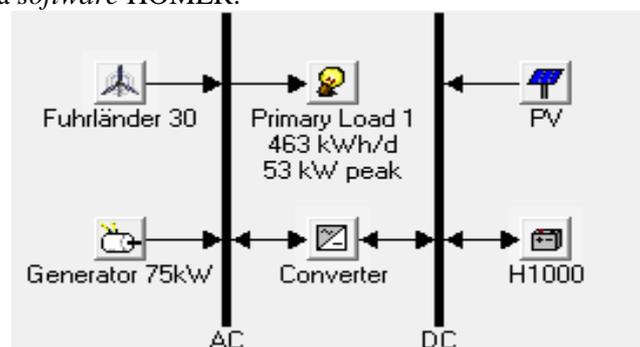
Pada skenario ini, jumlah turbin angin *Fuhrlander* 30kW yang diperlukan adalah 3 unit, 1 turbin membutuhkan lahan untuk berdiri seluas 133m². Sehingga luas lahan yang dibutuhkan untuk memasang 3 buah turbin angin adalah 399m², namun pemasangan turbin perlu diperhatikan 'effect wind park' yang menyebabkan turbin angin tidak dapat berputar maksimal akibat terhalangnya energi angin oleh turbin angin yang lainnya. Karena Pulau Tunda berbentuk memanjang sebagaimana telah diilustrasikan sebelumnya (Gambar 1) maka pemasangan turbin angin dilakukan mengikuti garis pantai dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jarak pemasangan} &= 5 \times \text{diameter baling-baling turbin} \\ &= 5 \times 13 \\ &= 65\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maka luas lahan yang dibutuhkan untuk dapat memasang 3 buah turbin:

$$\begin{aligned} L &= 399 + (65 \times 3) \\ &= 594\text{m}^2 \end{aligned}$$

PLTD yang akan dioperasikan adalah 1 buah mesin diesel generator dengan kapasitas 75kW. Karena, dalam pembangkitan energi listrik mesin diesel yang mempunyai kapasitas kecil lebih sedikit menggunakan bahan bakar daripada mesin diesel yang berkapasitas besar seperti 100kW pada skenario pertama yang sudah terpasang. Jam operasi PLTD ini dikurangi sebesar 12 jam, dari pukul 06.00-18.00 sehingga PLTD pada skenario ini hanya berfungsi saat melayani beban puncak yang tidak dapat terpenuhi oleh PLTB dan PLTS. Sedangkan untuk beban yang akan disuplai energi listrik masih tetap sama dengan kondisi awal sebesar 463,48 kW/hari. Gambar 5, merupakan sistem hibrida diesel-surya-angin pada *software* HOMER.



Gambar 5. Sistem Hibrida Diesel-Surya-Angin

Pada skenario kedua ini ditambahkan parameter sensitivitas, parameter sensitivitas ini dilakukan untuk memperoleh hasil kinerja pembangkit listrik yang berasal dari energi terbarukan saat

membangkitkan energi listrik namun energi yang diperlukan untuk membangkitkan listrik tersebut adalah energi rata-rata pada Pulau Tunda. Parameter sensitivitas pada PLTS yang dipakai adalah radiasi matahari sebesar 5,08kWh/m²/hari dan parameter sensitivitas pada PLTB yang dipakai adalah kecepatan angin sebesar 5,86m/detik.

Tabel 3. Harga Komponen Pembangkit Listrik Hibrida Diesel-Surya-Angin

Komponen	Kapasitas	Harga Perkomponen (\$)	Jumlah Komponen	Total Biaya (\$)	Umur Komponen
PV	116KW	395	580 panel	229100	20 Tahun
Turbin Angin	30KW	75000	3 turbin	225000	15 Tahun
Generator 2	75KW	7200	1 mesin	7200	15000 Jam
Baterai	1000Ah	577	200 baterai	115400	4 Tahun
Konverter	40KW	103 @5 KW	8 konverter	824	15 Tahun

Sensitivity Results Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d) 5.08 Wind Speed (m/s) 5.86

Double click on a system below for simulation

	PV (kW)	FL30	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	116...	3	75	200	40	\$ 631,180	568	\$ 636,430	0.408	0.99	2,384	145	14.7

Gambar 6. Hasil Keluaran Simulasi HOMER Skenario Kedua

Nilai NPC dapat berkurang dengan selisih \$186,713 dari skenario pertama. Perolehan nilai NPC dapat dihitung sebagai berikut:

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{0,0678(1 + 0,0678)^{15}}{(1 + 0,0678)^{15} - 1}$$

$$= 0.108$$

$$C_{NPC} = \frac{68734}{0.108}$$

$$= \$636430 \text{ atau Rp } 8.528.162.000,00$$

Nilai COE juga bisa berkurang dengan selisih \$0,119 pada skenario pertama. Perolehan nilai COE dapat dihitung sebagai berikut:

$$COE = \frac{68734}{168987}$$

$$= \$0.408 \text{ atau Rp } 5.467,20/\text{kWh}$$

Emisi gas buang pada skenario pembanding ini sudah berkurang. Hal ini disebabkan oleh penggunaan PLTD sebagai energi cadangan, sedangkan pada skenario awal PLTD bekerja sebagai penyuplai utama energi listrik untuk memenuhi kebutuhan beban. Pada Tabel 4, merupakan emisi gas buang yang dihasilkan oleh PLTD selama setahun.

Tabel 4. Hasil Emisi Gas Buang Pembangkit Hibrida Diesel-Surya-Angin

Nama Polusi	Jumlah (Kg/Tahun)
Karbon Dioksida (CO ₂)	6277
Karbon Monoksida (CO)	15,5
Unburned Hydrocarbons (UHC)	1,72
Particulate Matter (PM)	1,17
Oksida Belerang (SO ₂)	12,6
Nitrogen Oksida (NO _x)	138

Untuk biaya penalti yang dikeluarkan untuk emisi gas buang ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_{emisi} = \frac{[(205 \times 62770 + (205 \times 15,5) + (44 \times 1,72) + (3,17 \times 1,17) + (1000 \times 12,6) + (934 \times 138)]}{1000}$$

$$= \$1431 \text{ atau Rp } 19.175.400,00/\text{tahun}$$

3.1.3 Skenario Ketiga

Pada skenario kedua ini ditambahkan parameter sensitivitas, parameter sensitivitas ini dilakukan untuk memperoleh hasil kinerja pembangkit listrik yang berasal dari energi terbarukan saat membangkitkan energi listrik namun energi yang diperlukan untuk membangkitkan listrik tersebut adalah energi diatas rata-rata pada Pulau Tunda. Parameter sensitivitas pada PLTS yang dipakai adalah radiasi matahari sebesar 5,8kWh/m²/hari dan parameter sensitivitas pada PLTB yang dipakai adalah kecepatan angin sebesar 6,9m/detik. Pada hasil skenario ini, hasil kapasitas optimal untuk kapasitas PLTB adalah 60kW dengan memakai 2 unit turbin angin. Berbeda dengan skenario 2 yang membutuhkan 3 unit turbin akibat sumber daya alam yang kurang maksimal.

Pulau Tunda memiliki bentuk panjang sehingga pemasangan turbin angin dilakukan sejajar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jarak pemasangan} &= 5 \times \text{diameter baling-baling turbin} \\ &= 5 \times 13 \\ &= 65\text{m}^2 \end{aligned}$$

Maka luas lahan yang dibutuhkan untuk dapat memasang 3 buah turbin:

$$\begin{aligned} L &= 266 + (65 \times 2) \\ &= 396 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Tabel 5. Harga Komponen Pembangkit Listrik Hibrida Diesel-Surya.

Komponen	Kapasitas	Harga Perkomponen (\$)	Jumlah Komponen	Total Biaya (\$)	Umur Komponen
PV	116KW	395	580 panel	229100	20 Tahun
Turbin Angin	30KW	75000	2 turbin	150000	15 Tahun
Generator 2	75KW	7200	1 mesin	7200	15000 Jam
Baterai	1000Ah	577	200 baterai	115400	4 Tahun
Konverter	40KW	103 @5 KW	8 konverter	824	15 Tahun

Sensitivity Results Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d) 5.8 Wind Speed (m/s) 6.9

Double click on a system below for simulation

	PV (kW)	FL30	Label (kW)	H1000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	116...	2	75	200	40	\$ 551,180	-701	\$ 544,703	0.349	0.99	1,695	109	15.9
	116...	3	75	200	40	\$ 631,180	-2,133	\$ 611,476	0.392	1.00	964	67	19.0

Gambar 7. Hasil Keluaran Simulasi HOMER Skenario Ketiga

Nilai NPC dapat berkurang dengan selisih \$278,440 dari skenario pertama. Perolehan nilai NPC dapat dihitung sebagai berikut:

$$CRF(i, R_{proj}) = \frac{0,0678(1+0,0678)^{15}}{(1+0,0678)^{15}-1} = 0.108$$

$$C_{NPC} = \frac{58827}{0.108} = \$544703 \text{ atau Rp } 7.299.020.200,00$$

Nilai COE juga bisa berkurang dengan selisih \$0,178 pada skenario pertama. Perolehan nilai COE dapat dihitung sebagai berikut:

$$COE = \frac{58827}{168995} = \$0.349 \text{ atau Rp } 4.676,60/\text{kWh}$$

Emisi gas buang pada skenario ketiga ini dapat berkurang dibanding dengan kedua skenario sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan PLTD sebagai energi cadangan, sedangkan pada skenario awal PLTD bekerja sebagai penyuplai utama energi listrik untuk memenuhi kebutuhan beban. Pada Tabel 6, merupakan emisi gas buang yang dihasilkan oleh PLTD selama setahun.

Tabel 6. Hasil Emisi Gas Buang Pembangkit Hibrida Diesel-Surya-Angin

Nama Polusi	Jumlah (Kg/Tahun)
Karbon Dioksida (CO ₂)	4464
Karbon Monoksida (CO)	11
Unburned Hydrocarbons (UHC)	1,22
Particulate Matter (PM)	0,831
Oksida Belerang (SO ₂)	8,97
Nitrogen Oksida (NO _x)	98,3

Biaya penalti yang dikeluarkan untuk emisi gas buang ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_{emisi} = \frac{[(205 \times 4464) + (205 \times 11) + (44 \times 1,22) + (3,17 \times 0,831) + (1000 \times 8,97) + (934 \times 98,3)]}{1000}$$

$$= \$1018 \text{ atau Rp } 13.641.200,00/\text{tahun}$$

Pada skenario ketiga yaitu pembangkit listrik hibrida diesel-surya-angin adalah pembangkit hibrida yang paling optimal dalam memenuhi kebutuhan listrik Pulau Tunda. Dilihat dari biaya energi yang dikeluarkan relatif kecil dari pada skenario pertama dan kedua, namun pada skenario ketiga ini memiliki biaya investasi awal yang lebih sedikit dibanding skenario pertama dengan selisih sebesar \$278.440. Untuk skenario ketiga ini memakai parameter sensitivitas radiasi matahari dan kecepatan angin tertinggi sehingga bisa menghemat pemakaian dari jumlah PLTB yang dimanfaatkan, yaitu 2 buah.

Biaya energi yang kecil diperoleh dari biaya yang dikeluarkan selama proyek berlangsung kecil juga dikarenakan biaya pengoperasian pada skenario ketiga sudah mengurangi jam kerja PLTD yang akan memakan biaya dalam pengoperasian untuk konsumsi bahan bakar dan pergantian mesin yang dilakukan selama 15000 jam kerja. Untuk biaya investasi yang besar disebabkan oleh pengadaan turbin angin namun untuk pengoperasiannya cukup murah karena tidak menggunakan bahan bakar.

Pada skenario pembangkit ketiga ini memiliki kelebihan energi listrik yang lebih besar dibanding skenario pertama dengan selisih sebesar 274,051 kWh/tahun dan lebih sedikit dalam menghasilkan kelebihan energi dibanding skenario kedua dengan selisih besarnya mencapai 22,248 kWh/tahun. Skenario ketiga ini sangat tepat dipilih untuk membangkitkan listrik di Pulau Tunda selama, karena lebih murah dibandingkan dengan skenario pertama dan kedua.

Pengupayaan dan usaha untuk melestarikan lingkungan mengingat Pulau Tunda sudah dijadikan tempat wisata oleh pemerintah setempat, sebaiknya memakai pembangkit listrik hibrida diesel-surya-angin, karena pada pembangkit ini emisi gas buang yang dihasilkan cukup kecil dibanding skenario pertama dengan konfigurasi PLTD dan PLTS yang mengandalkan generator mesin diesel sebagai pembangkit listrik utamanya. Selain itu adanya turbin angin pada Pulau Tunda merupakan daya tarik tersendiri dalam menarik pengunjung untuk mengabadikan momen bersama turbin angin yang akan dipasang.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Hasil simulasi dari optimalisasi energi pembangkit hibrida di Pulau Tunda menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- a) Sistem PLTH yang optimal menggunakan software HOMER adalah skenario 3 dengan kapasitas pada masing-masing pembangkit adalah: 75kW pada PLTD, 117kWp pada PLTS dan 60kW pada PLTB.



- b) Hasil pengujian menggunakan *software* HOMER, sistem PLTH skenario 3 diperoleh nilai kontribusi PLTS sebesar 43% atau 198280kWh/tahun, PLTB sebesar 56% atau 256106kWh/tahun dan PLTD sebesar 1% atau 4165kWh/tahun.
- c) Sistem PLTH ini menghasilkan nilai NPC sebesar \$544703 dan biaya energi listrik (COE) sebesar \$0.349/kWh. Emisi gas buang berkurang sebesar 4584kg/tahun jika dibayarkan untuk penalti emisi gas buang sekitar \$1018/tahun.

4.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan agar ke depannya menjadi sempurna ataupun lebih baik lagi sehingga memiliki beberapa saran, diantaranya:

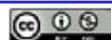
- a) Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai potensi pembangkit terbarukan lainnya yang dapat dimanfaatkan di wilayah Pulau Tunda.
- b) Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai penalti emisi gas buang yang berlaku di Indonesia.

REFERENSI

- [1] Herlina, R. Thayib., E. Lazuardy., P. D. Muthia. *Analisis Biaya Pembangkitan Energi Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Untuk Daerah Terisolasi*. 2013. Jurnal Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kelas 1 Serang. *Data Energi Terbarukan Pulau Tunda*. 2016. Kota Serang Provinsi Banten.
- [3] Herlina. *Analisis Dampak Lingkungan Dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Sebesi Lampung Selatan*. 2009. Tesis Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [4] Rosyid, O. A. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida Untuk Listrik Pedesaan Di Indonesia*. 2010. Jurnal Material dan Energi Indonesia Vol. 1 No. 1 Desember: 31-38.
- [5] Marsuadi, D. *Pembangkitan Energi Listrik*. 2005. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] Mintorogo, D. *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial*. 2000. Jurnal Arsitektur Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- [7] Santiari, I Dewa A. S. *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan Di Nusa Lamongan Bali*. 2011. Tesis Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [8] Wind Turbin Fuhrlander. 2016. Tersedia dari: <http://www.fuhrlander.de/en/> [URL dikunjungi pada 20 September 2016]
- [9] Hasugian, Juanda A. M. *Optimasi Pembangkit Listrik Hibrid (Diesel-Surya-Angin) Di Desa Si Onom Hudon 7 Kecamatan Parlilitan Kabupaten Humbang Hasundutan Provinsi Sumatera Utara*. 2016. Tugas Akhir Departemen Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara.
- [10] Nurhalim. *Studi Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Pembangkit Hibrida*. 2007. Jurnal Sains dan Teknologi 6 (2) September: 34-38.
- [11] Irawati, Rina., Zuhaidi. *Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Untuk Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik Di Pulau Pramuka*. 2012. Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan Vol. 11 No. 2 Desember: 81-92.
- [12] Rostyono, Didik. *Optimasi Pembangkit Hibrida (Fotovoltaik-Angin-Diesel) Dengan Algoritma Genetika*. 1999. Tesis Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [13] Astuti. *Optimasi Pembangkitan Energi Listrik Hibrida Surya-Angin-Diesel di Desa Pulo Panjang Banten Menggunakan Algoritma Genetik*. 2010. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [14] Gilman, P., Lilienthal, P. *Micropower System With Homer Chapter 15*. 2006. National Renewable Energy Laboratory. Jhon Wiley & Sons Inc Publication.
- [15] National Aeronautics and Space Administration (NASA). *Surface Meteorology and Solar Energy*. 2016. Tersedia dari: <https://eosweb.larc.nasa.gov> [URL dikunjungi pada 20 Desember 2016]



- [16] Rosdiansyah. *Optimasi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Panjang*. 2013. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [17] Bank Indonesia. *Nilai Tukar Mata Uang Rupiah dan Suku Bunga Tahun 2016*. Tersedia dari: <http://www.bi.go.id/id> [URL dikunjungi pada 20 Desember 2016]
- [18] Muziansyah, Devianti., S. Rahayu., S. Syukur. *Model Emisi Gas Buangan Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung*. 2015. JRSDD, Edisi Maret Vol. 3 No. 1 Hal: 57-70.
- [19] Huang, R., et al. *Optimal Design Of Hybrid Energy System With PV/Wind Turbine/Storage: A Case Study*. 2011. Journal Computing Mathematical Sciences, California Institute of Technology, USA.
- [20] Google Earth. *Pulau Tunda*. 2016. Tersedia dari: <https://www.google.co.id/earth/place/Pulau+Tunda> [URL dikunjungi pada 20 September 2016]
- [21] Thaib, R dan Hamdani. *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) di Kepulauan Simeulue Aceh*. 2014. Proceedings Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti.



Perencanaan Penempatan Antena Pemancar Wireless Indoor Berdasarkan Daya Terima

Dwi Harinitha¹

¹Institut Teknologi Padang.
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Kp. Olo, Nanggalo, Kota Padang, Sumatera Barat

Informasi Artikel

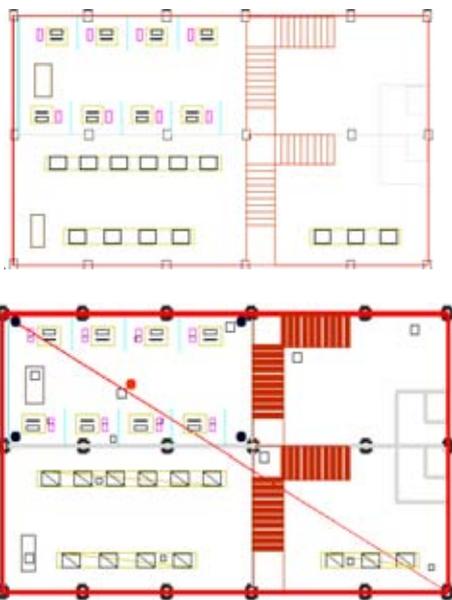
Naskah Diterima : 10 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 10 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
dwi.harinitha@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

The signal quality can be known from the received power. The higher/stronger the power received, the better the quality and vice versa. In today's growing wireless communications, transmitting antennas have an important role for signal quality. Planning of the transmitting antenna is required by taking into account the receiving power level in each receiving/antenna device. This paper simulates received power for typical indoor using Radiowave Propagation Simulator (RPS). Simulations performed on Computer room that will replace the wired LAN network to a wireless LAN. It is planned that five transmitting antennas are positioned in the center and in every corner of the first room. The system performances shown the best transmitting antenna is in position in the center of the room. The best received power is $-28,87804$ dBm with average receive power $-40,38082$ dBm and receiver that gets the best signal is 14 receiving antenna.

Keywords : Received Power, RPS, Transmitter Position

Abstrak

Kualitas suatu sinyal dapat diketahui dari daya yang diterima. Semakin tinggi/kuat daya terima, maka semakin baik kualitasnya dan begitu sebaliknya. Dalam komunikasi *wireless* yang berkembang saat ini, antena pemancar memiliki peranan penting terhadap kualitas sinyal. Perlu dilakukan perencanaan penempatan antena pemancar dengan memperhatikan level daya terima disetiap perangkat/antena penerima. Disini dilakukan simulasi menggunakan RPS pada suatu ruangan berisi komputer yang akan mengganti jaringan kabel LAN menjadi *wireless* LAN. Dari lima antena pemancar, yang direncanakan dimana diposisikan ditengah dan disetiap pojok ruangan pertama, ternyata penempatan antena pemancar terbaik yaitu pada posisi di tengah ruangan. Daya terima terbaik sebesar $-28,87804$ dBm dengan rata-rata daya terima sebesar $-40,38082$ dBm dan penerima yang mendapatkan sinyal terbaik berjumlah 14 antena penerima.

Kata kunci : Daya Terima, RPS, Posisi Transmitter

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Istilah *wireless* sudah tidak asing lagi diberbagai kalangan pengguna perangkat elektronik dan lebih cenderung digunakan dibanding istilah nirkabel/tanpa kabel. Komunikasi internet yang biasanya menggunakan kabel sekarang beralih ke *wireless*. Sebagai contoh di laboratorium komputer atau penyedia jasa internet.

Pada umumnya penempatan antena pemancar *wireless*, yang sering disebut *access point/hotspot*, hanya berdasarkan kebutuhan dan ditempatkan sesuai posisi yang tepat menurut pihak yang memasang. Hal ini sangat tidak tepat karena distribusi sinyal menjadi kurang efektif seperti ada area yang seharusnya memiliki sinyal yang baik ternyata tidak ter-*cover* dan begitu sebaliknya. Oleh karena itu, pada penelitian ini terlebih dahulu diperlukan penentuan penempatan antena pemancar

sehingga distribusi sinyal terima setiap komputer/ workstation menjadi lebih optimal dan sesuai dengan yang diharapkan.

Penelitian sebelumnya [3] telah melakukan simulasi dan pengukuran propagasi indoor di ruang perkantoran sebuah kampus. Sedangkan pada penelitian lainnya [4] merencanakan optimasi lokasi antena outdoor yang kemudian dibandingkan secara simulasi, perhitungan dan pengukuran langsung.

2. METODE PEMODELAN RUANGAN

A. Survei Ruang

Ruang yang disimulasikan adalah dua ruangan pada gedung di jalan Amangkurat No. 1 Jambi yang merupakan ruang komputer dengan jaringan kabel LAN dan akan dikembangkan menjadi jaringan wireless LAN. Bahan/material yang telah disurvei yaitu kayu, triplek, dan beton. Adapun isi dari ruangan tersebut berupa meja, monitor, CPU, televisi, pintu, dll. Tabel 1 menunjukkan data ruangan yang akan disimulasikan.

B. Gambar Ruang Simulasi

Pembuatan gambar simulasi dilakukan dengan menggunakan Software Radiowave Propagation Simulator (RPS). Gambar ruang simulasi yang dapat dilihat pada Gambar 1, dibuat berdasarkan data-data ruangan yang telah disesuaikan dengan survei ruangan pada Tabel 1.

C. Konfigurasi Sistem pada RPS

Konfigurasi sistem meliputi lima antena pemancar (Tx) dan 20 antena penerima (Rx) yang ditempatkan pada titik-titik tertentu di dalam ruangan. Untuk Tx menggunakan antena isotropic, yang posisinya di sudut dan di tengah ruangan dengan ketinggian 3.5 m. Tx mempunyai gain 20 dB, daya pancar sebesar 20 dBm dan frekuensi 2.4 GHz. Sedangkan untuk Rx menggunakan antena isotropic dengan ketinggian yang berbeda dan posisinya sesuai dengan benda-benda atau objek yang terdapat dalam ruangan simulasi. Posisi Tx dan Rx sesuai dengan Gambar 2(b): Tx ditunjukkan dengan bulatan biru/oren, Rx dengan bujur sangkar dengan garis pinggir setiap sisi berwarna biru.

3. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

A. Pemancar Aktif pada Tx1

Pada Gambar 3(a) - (c) terlihat distribusi sinyal mulai dari dipancarkan oleh Tx hingga diterima disetiap Rx. Sebelum dampai pada Rx, ada sinyal yang terlebih dahulu mengalami refleksi, penetrasi, dan atau difraksi. Setelah proses komputasi selesai, maka cakupan daya terima akan dapat diketahui dimana warna-warna pada Rx mengindikasikan kuat sinyal daya terima. Dari Gambar 3(d), daya terima paling besar/kuat ditunjukkan dengan warna merah sedangkan paling kecil/lemah dengan warna biru.

Perhitungan pathloss dapat dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (1). Besarnya pathloss berbanding terbalik dengan daya terima. Jadi semakin besar daya terima, maka pathloss akan semakin kecil dan ini yang diharapkan dalam propagasi.

$$PL_{(dB)} = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \dots\dots\dots(1)$$

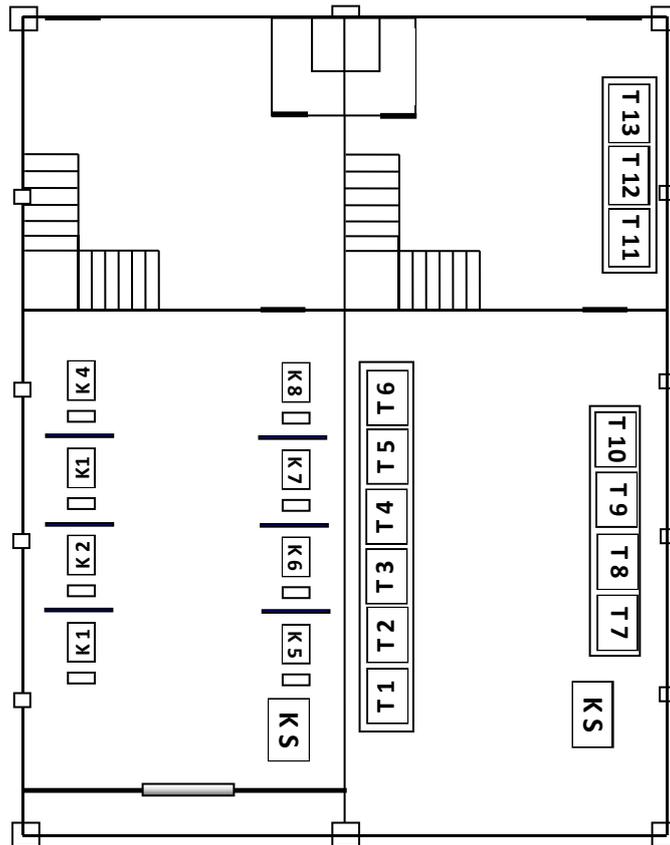
dimana PL merupakan pathloss atau rugi ruang bebas (dalam dB), P_t merupakan daya pancar dan P_r merupakan daya terima.

Berdasarkan hasil simulasi pada Tx1, dapat diketahui bahwa jumlah Rx yang memiliki daya terima terbaik (ditetapkan untuk daya terima kecil dari -45 dBm) sebanyak 12 Rx yaitu Rx1 - Rx12. Dari 20 Rx yang ada, daya terima terbesar adalah pada Rx2 yakni -28.81937 dBm dengan pathloss 48.81937 dBm. Dan daya terima terendah terdapat pada Rx16 sebesar -80.54169 dBm, pathloss 90.78038 dBm.

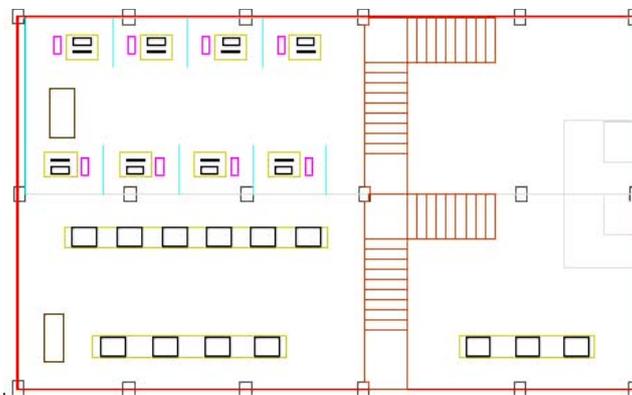
Tabel 1. Data Ruang

Ruangan	Furnitur	Nomor Identitas	Ukuran p x l x t (cm)	Tebal Bahan (cm)
Ruang 1	Meja	KS	182 x 61 x 29	3

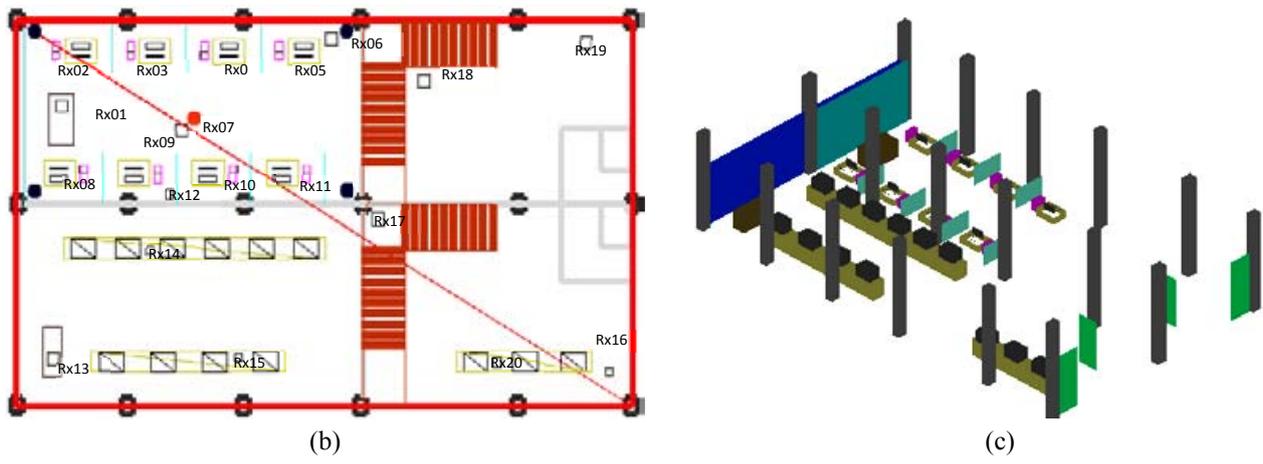
	Kasir			
	CPU	K	42,5 x 8,5 x 41	-
	Monitor	K	46 x 45 x 26	3
	Tangga	T1	P 257 x T 197	20
Ruang 2	Meja Kasir	KS	118 x 48 x 75	3
	Meja	T	679 x 30 x 73	3
	Televisi	T	67 x 46 x 47	-
Kamar Kecil	-	KK	182 x 71 x 245	13.5



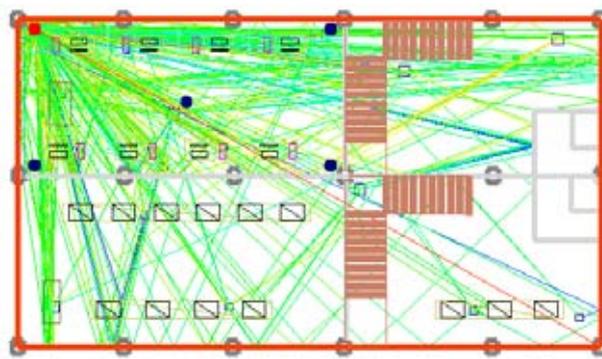
Gambar 1. Desain Awal Ruangan Simulasi



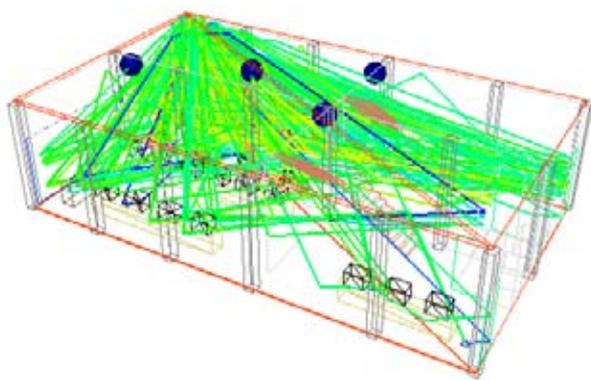
(a)



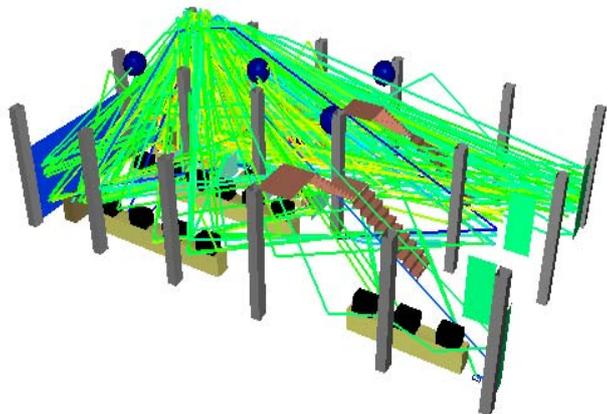
Gambar 2. Ruang Simulasi pada RPS: (a) Denah Ruang, (b) *Polyline* 2D, dan (c) *Database* 3D



(a)

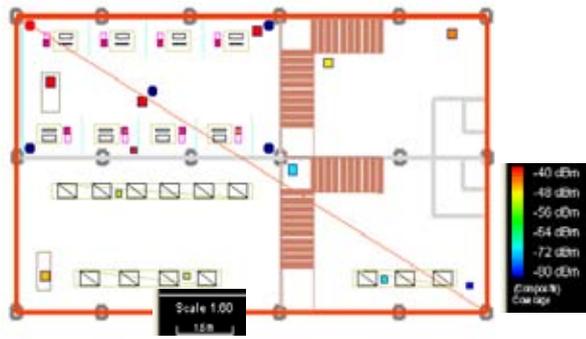


(b)



(c)





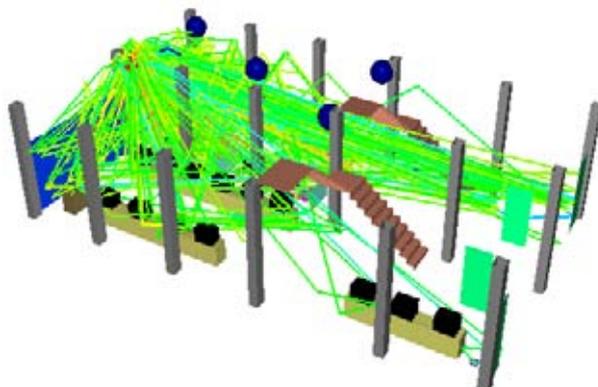
(d)

Gambar 3. Hasil Simulasi Tx1: (a) 2D, (b) 3D, (c) Poligon 3D, dan (d) Daya Terima Berdasarkan Cakupan

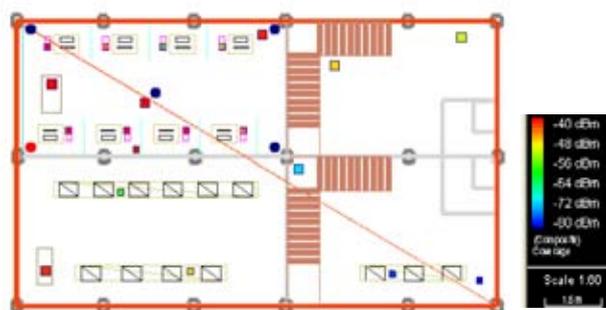
B. Pemancar Aktif pada Tx2



(a)



(b)

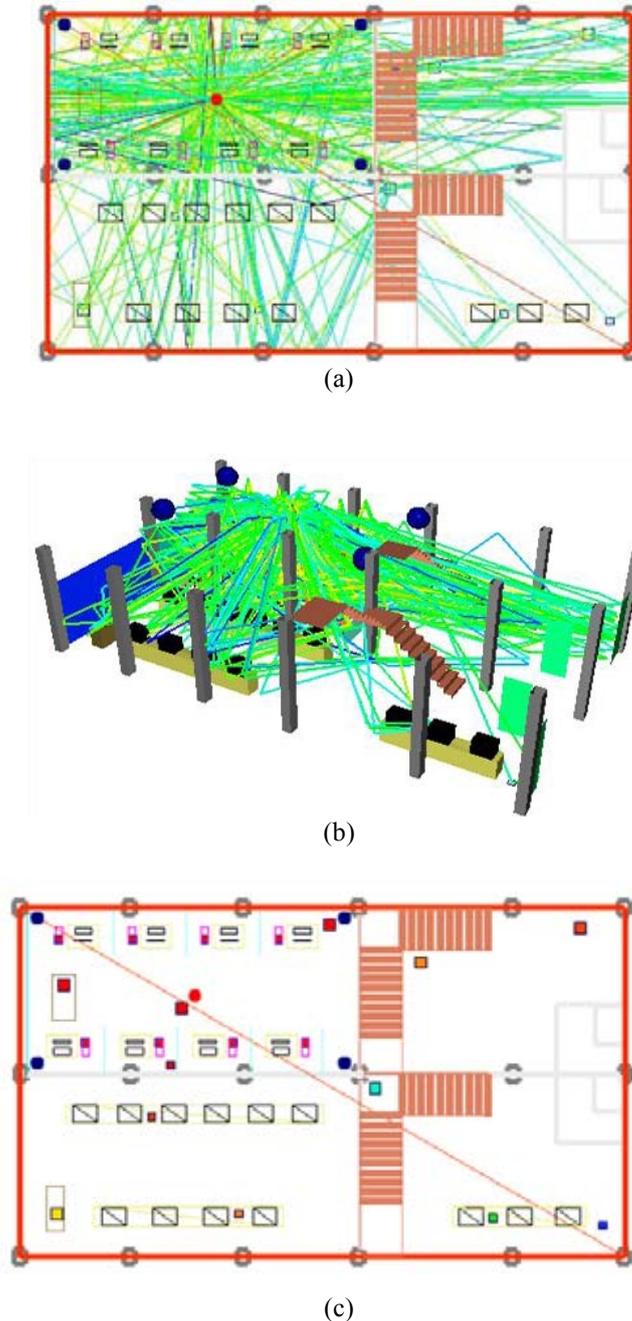


(c)

Gambar 4. Hasil Simulasi Tx2: (a) 2D, (b) Poligon 3D, dan (c) Daya Terima Berdasarkan Cakupan

Berdasarkan hasil simulasi pada Tx2, jumlah Rx yang memiliki daya terima terbaik sebanyak 11 Rx yaitu Rx1 – Rx3 dan Rx6 – Rx13. Untuk daya terima terbesar dari semua Rx adalah pada Rx2 yakni -28.81937 dBm dengan *pathloss* 48.81937 dBm. Dan daya terima terendah terdapat pada Rx16 sebesar -90.07507 dBm, *pathloss* 110.07507 dBm.

C. Pemancar Aktif pada Tx_Center

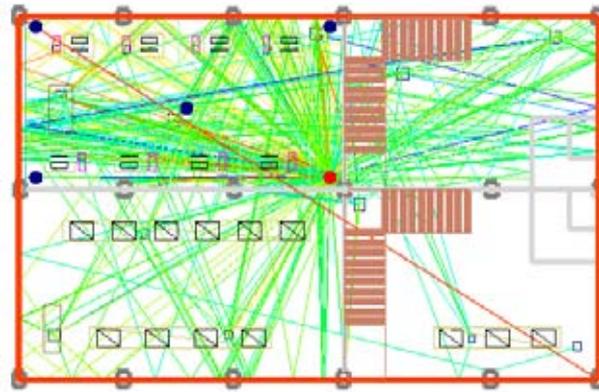


Gambar 5. Hasil Simulasi Tx_Center: (a) 2D, (b) Poligon 3D, dan (c) Daya Terima Berdasarkan Cakupan

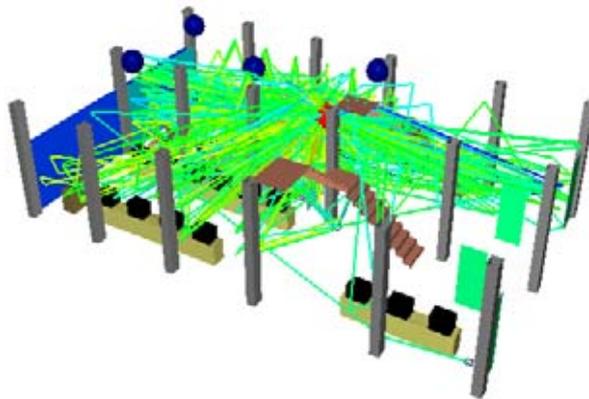
Berdasarkan hasil simulasi pada Tx_Center, jumlah Rx yang memiliki daya terima terbaik sebanyak 14 Rx yaitu Rx1 - Rx11, Rx13, Rx14, serta Rx19. Untuk daya terima terbesar dari semua

Rx adalah pada Rx7 yakni -28.87804 dBm dengan *pathloss* 48.87804 dBm. Dan daya terima terendah terdapat pada Rx16 sebesar -77.20703 dBm, *pathloss* 97.20703 dBm.

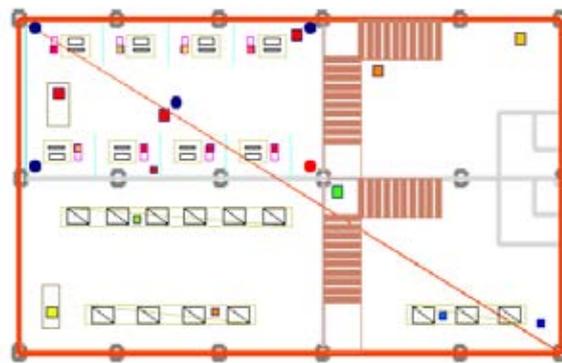
D. Pemancar Aktif pada Tx3



(a)



(b)

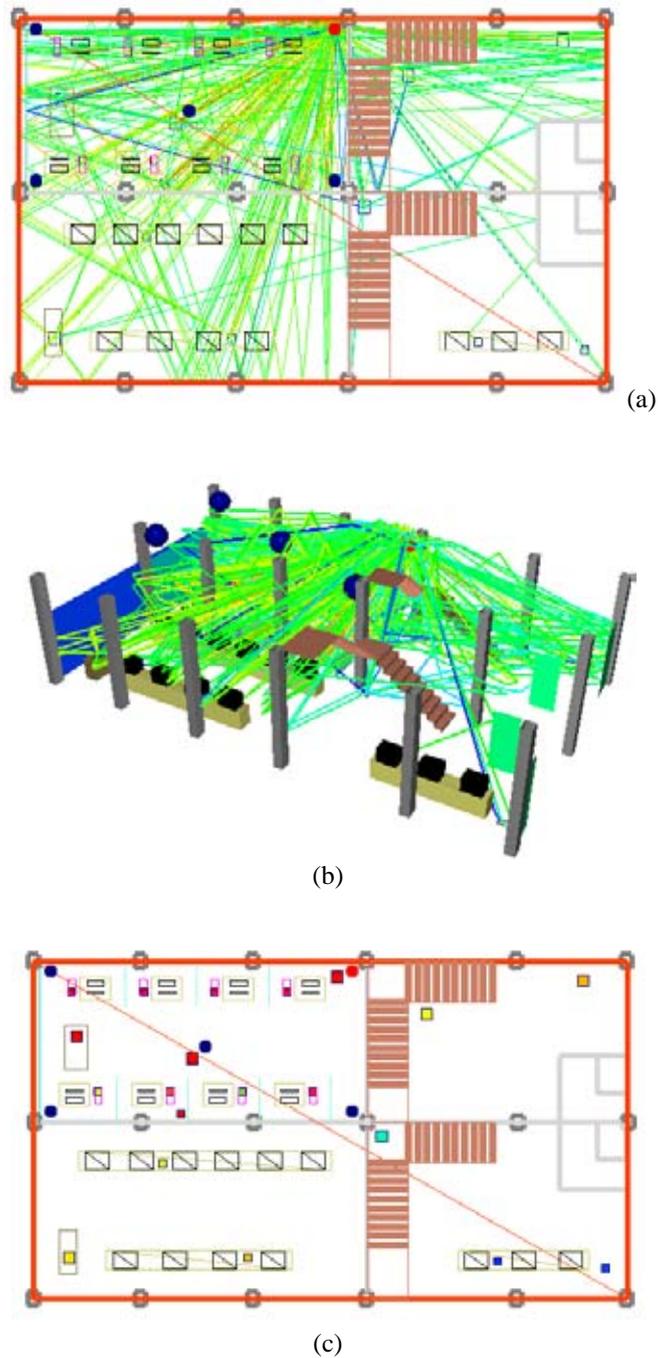


(c)

Gambar 6. Hasil Simulasi Tx3: (a) 2D, (b) Poligon 3D, dan (c) Daya Terima Berdasarkan Cakupan

Berdasarkan hasil simulasi pada Tx3, dapat diketahui bahwa jumlah Rx yang memiliki daya terima terbaik sebanyak sembilan Rx yaitu Rx1, Rx2, Rx5, Rx6, Rx7, dan Rx9 – Rx12. Untuk daya terima terbesar dari semua Rx adalah pada Rx11 yakni -29.5628 dBm dengan *pathloss* 49.5628 dBm. Dan daya terima terendah terdapat pada Rx16 sebesar -87.84386 dBm, *pathloss* 107.84386 dBm.

E. Pemancar Aktif pada Tx4



Gambar 7. Hasil Simulasi Tx3: (a) 2D, (b) Poligon 3D, dan (c) Daya Terima Berdasarkan Cakupan

Berdasarkan hasil simulasi pada Tx4, jumlah Rx yang memiliki daya terima terbaik sebanyak 10 Rx yaitu Rx1 – Rx7, Rx9, Rx11 dan Rx12. Untuk daya terima terbesar dari semua Rx adalah pada Rx6 yakni -28.4292 dBm dengan *pathloss* 48.42920 dBm. Dan daya terima terendah terdapat pada Rx20 sebesar -78.16776 dBm, *pathloss* 98.16776 dBm.

F. Pemilihan Penempatan Transmitter

Hasil simulasi telah memperlihatkan sebaran daya pada setiap Rx (Tabel 2). Daya terima tertinggi diberikan oleh Tx4 yakni $-28,42920$ dBm. Hanya saja rata-rata penerimaan sinyalnya masih kurang

bagus. Sehingga dari daya terima yang diperoleh dapat diketahui bahwa penempatan Tx sebaiknya diletakkan ditengah ruangan (Tx Center) dengan daya terima terbaik sebesar -28,87804 dBm, *pathloss* 48,87804 dB. Selain rata-rata daya terima yang paling baik (-40,38082 dBm), Tx *Center* juga memberikan jumlah Rx yang paling banyak dalam menerima daya terbaik (14 Rx). Namun posisi Rx16 sebaiknya ditiadakan karena hanya akan mendapatkan daya yang kurang baik.

Tabel 2. Daya Terima dari Setiap Pemancar

Rx	Data Terima ($P_{t,dBm}$)				
	Tx1	Tx2	TX Center	Tx3	Tx4
Rx1	-29,15781	-29,15781	-30,32039	-35,07721	-34,95068
Rx2	-28,81937	-28,81937	-37,48752	-39,51147	-38,71897
Rx3	-28,50292	-45,00864	-30,99075	-53,95169	-37,25906
Rx4	-33,91290	-57,85764	-29,87091	-50,18913	-51,14784
Rx5	-37,47945	-54,67819	-31,89360	-43,72755	-29,50606
Rx6	-47,33429	-41,26940	-32,90469	-30,86142	-28,42920
Rx7	-33,54399	-32,50192	-28,87804	-32,68193	-33,69999
Rx8	-41,37621	-29,52176	-31,36939	-47,39298	-51,14784
Rx9	-43,04576	-32,65650	-29,92196	-35,28861	-43,11508
Rx10	-41,91653	-35,60687	-30,37042	-33,70093	-57,03676
Rx11	-45,27221	-45,24092	-34,79595	-29,56280	-40,99534
Rx12	-41,16472	-32,69117	-30,84815	-34,35482	-35,23084
Rx13	-36,59366	-41,75367	-47,96233	-50,77503	-49,05120
Rx14	-52,86709	-57,27367	-42,79292	-5,44331	-51,28898
Rx15	-49,40289	-48,59904	-45,22217	-45,24215	-47,51711
Rx16	-80,54169	-90,07507	-77,20703	-87,84386	-77,48849
Rx17	-70,78038	-71,51618	-66,68238	-57,62179	-66,92825
Rx18	-49,03841	-48,31585	-45,23896	-45,08543	-50,38839
Rx19	-45,24392	-51,71892	-43,00752	-47,64878	-46,91274
Rx20	-69,06472	-77,73629	-59,85139	-76,41973	-78,16776
Mean P_t	-45,25295	-47,59994	-40,38082	-44,11903	-47,44903
Σ Rx	12	11	14	9	10

4. KESIMPULAN

Dari simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penempatan antenna pemancar terbaik adalah pada posisi Tx *Center*.
2. Daya pancar terbaik Tx *Center* -28,87804 dBm dan rata-rata daya terima -40,38082 dBm.
3. Penempatan penerima pada posisi Rx16 sebaiknya ditiadakan karena penerimaan daya sangat rendah sekali.

REFERENSI

- [1] T.S. Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice*. New Jersey: Prentice Hall PFR,
- [2] Deißer, J, Dr., Hübner, J., Hunold, D., and Voigt, J. Dr. (1997 – 2005). *RPS – Radiowave Propagation Simulator: User Manual-Version*. Dresden, Germany: Radioplan GmbH.
- [3] Harinitha, D., (2012). *Simulasi dan Pengukuran Propagasi WLAN Indoor (Kampus Akatel Jambi Gedung 1 dan 2)*. Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer 2012 Universitas Diponegoro Semarang
- [4] Harinitha, D., Asri, L. A., Fitrilina. (2013). *Perencanaan dan Simulasi Optimasi Antena Wireless LAN di Gedung Kuliah Universitas Andalas*. Seminar Nasional FORTEI 2013.



Model Pengukuran dan Analisis Pengaruh Sudut Antena pada Penguatan PICH Gain terhadap Kualitas Teknologi Jaringan 3G Selular Code Division Multiple Access 2000 1X

Budi Herdiana¹, Moszes A Anggara²

¹Program Studi Teknik Elektro, Jl. Dipatiukur No.102-116 Bandung 40132, UNIKOM

²Program Studi Teknik Elektro, Jl. Ters. Halimun 37 Bandung 40264, Univ. Kebangsaan

Informasi Artikel

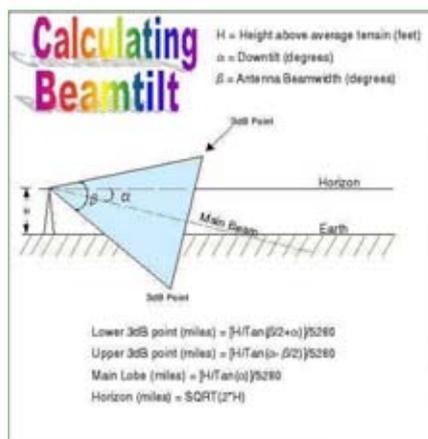
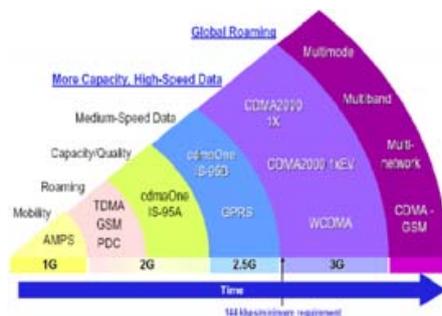
Naskah Diterima : 1 Maret 2017

Direvisi : 11 April 2017

Disetujui : 19 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
budi.herdiana@email.unikom.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Improvement of quantity and quality of signal, already become a must for telecommunication operator to keep maintaining or developing their customers satisfaction. Quantity and quality of signal have more influenced by many things, one of them is by coverage which is produced by power from transmitter (BTS). Pilot Channel Gain are one kinds which are have influence for output and oriented of signal in producing more large coverage optimal where one of controlled by tilting antenna. Even though those are have good and bad influence even for that coverage it selves or for others channels in CDMA 2000 1X network. The differences of results from simulation from those changes are the main of this research project, especially influence for E_c/I_o coverage value which is representative for signal quality and Rx level which is representative for signal quantity with change of tilting antenna factor. The final result showed that the tilt angle will produce greater gain PICH is achieved when a slope of 60degrees can result gain power of 243 dBm or 10023.74467 mW.

Keyword: PICH Gain, Rx Level, E_c/I_o , antenna

Abstrak

Peningkatan kuantitas dan kualitas sinyal sudah merupakan suatu keharusan bagi perusahaan penyedia jasa telekomunikasi untuk terus mempertahankan atau menambah pelanggannya. Kuantitas dan kualitas sinyal sangat dipengaruhi oleh besarnya cakupan yang dihasilkan oleh daya pemancar (BTS). Penguatan kanal pilot (PICH gain) adalah satu hal yang sangat mempengaruhi keluaran dan pemfokusan daya dalam menghasilkan cakupan sinyal lebih optimal dimana salah satunya dipengaruhi oleh pengendalian sudut kemiringan antena. Namun demikian keduanya memiliki pengaruh yang baik dan buruk terhadap cakupan itu sendiri atau pada kanal-kanal lain dalam jaringan CDMA 2000 1X. Perbandingan hasil simulasi dari kedua perubahan tersebut yang akan menjadi inti dari penelitian ini, terutama terhadap nilai cakupan E_c/I_o yang menunjukkan kualitas sinyal dan cakupan Rx level yang menunjukkan kuantitas terhadap perubahan sudut kemiringan antena. Adapun hasilnya menunjukkan bahwa sudut kemiringan semakin diperbesar akan menghasilkan PICH gain semakin besar yaitu terapai saat kemiringan 60 dapat menghasilkan penguatan sebesar 243 dBm atau 10023.74467 mW.

Kata kunci: PICH Gain, Rx Level, E_c/I_o , antena

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

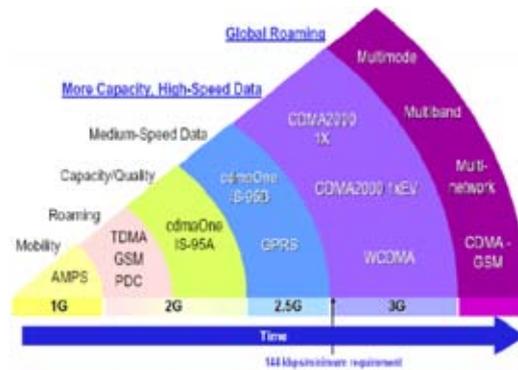
Perusahaan yang bergerak dibidang telekomunikasi dituntut memiliki kualitas jaringan yang optimal. Hal ini terjadi karena berkembangnya teknologi dewasa ini yang mengharuskan perusahaan dapat meningkatkan kualitas layanan secara kontinyu agar dapat terus berkompetitif antara satu

dengan yang lainnya. Salah satu yang mesti diperhatikan adalah masalah cakupan sinyal dimana hal ini sangat terkait dengan kualitas jaringan yang dibangun dan sangat berperan penting pada kepuasan pelanggan selain berdampak pada keuntungan yang didapat dalam bisnis jasa telekomunikasi. Hal yang menarik dalam kajian penelitian kali ini adalah bagaimana perubahan kualitas jaringan terjadi akibat dari adanya pengaturan kedudukan sudut antena terhadap tingkat penguatan kanal pilot atau *PICH Gain* terutama pada aplikasi jaringan CDMA 2000 1x yang saat ini sedang dikembangkan.

Kita tahu, saat ini teknologi CDMA 2000 1X merupakan salah satu pengembangan atau evolusi dari teknologi CDMA 2000 dan sebagian besar yang berkembang adalah CDMA 2000 1x, IS-2000 Rev kemudian disusul CDMA 2000 1X EV-DO (IS-856 Rev.0) dimana komponen utama yang dikembangkan didalamnya adalah kecepatan data hingga mencapai kecepatan 2,4 Mbps dengan proses pemisahan antara kanal layanan suara dengan kanal layanan data. Munculnya standar-standar dalam teknologi CDMA yang dimulai dari IS-2000 Rev.0, Rev.A, sampai dengan CDMA 2000 1X EV-DV yang merupakan IS-2000 Rev.C dan Rev.D yang memiliki kelebihan dalam hal layanan *voice circuit switched* yang *real time* serta memiliki paket data dengan bit rate sampai mencapai 3,09 Mbps pada suatu alokasi frekuensi pembawa RF yang sama.

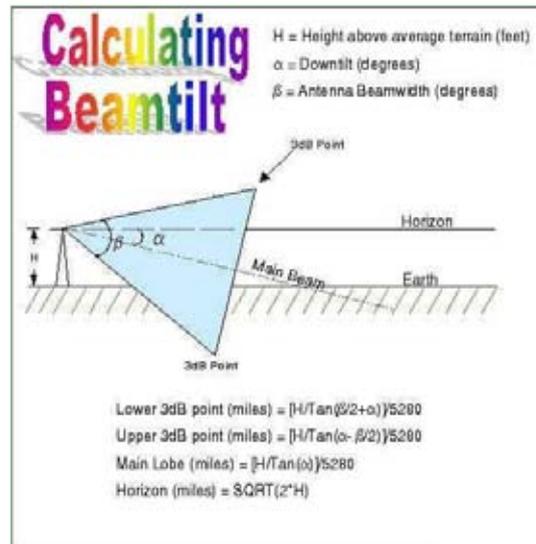
2. TEORI DASAR

Teknologi selular generasi ketiga (3G) yang cukup berkembang pesat saat ini memiliki kelebihan utama terutama dalam hal kemampuan transfer data yang cepat atau memiliki *bit rate* yang tinggi dengan kapasitas bandwidth yang besar, misalnya dapat memberikan layanan data dan berbagai aplikasi multimedia yang lebih baik dan bervariasi, seperti video klip, keadaan lalu lintas secara *real time*, *teleconference*. Gambaran perkembangan teknologi CDMA dari waktu ke waktu ditunjukkan seperti gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Evolusi perkembangan teknologi CDMA

Semua itu akan tercapai apabila kemampuan penguatan penerimaan sinyal tercapai dengan baik dan kontinyu yang mana salah satunya diperoleh dengan cara mengubah kedudukan sudut kemiringan antena secara benar. Karena ini diperlukan suatu model pendekatan untuk mengukur dan menganalisis terhadap seberapa besar dampak nyata parameter ini terhadap penguatan terutama penguatan kanal pilot atau *PICH Gain*. Gambaran umum terkait pengaruh sudut kemiringan antena ini ditunjukkan seperti gambar 2 berikut ini:



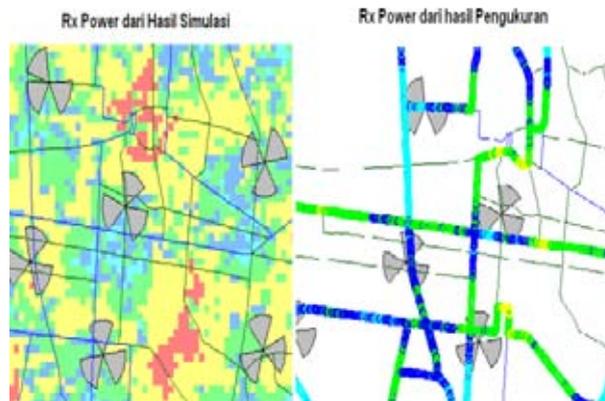
Gambar 2. Pengaruh sudut kemiringan antenna terhadap penguatan karakteristik kanal transmisi

Pada dasarnya sudut kemiringan antenna ini dapat tentukan besarnya mengguakan persamaan :

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \left(\frac{H}{L} \right) \times \frac{180}{\pi} + \frac{\beta}{2} - \theta_y \tag{1.1}$$

2.1 Rx Level

Indikator penerimaan kekuatan sinyal yang dinamakan Rx Level ini memberikan kekuatan energi yang diterima *handset* dari berbagai sinyal *base station* atau BTS lainnya. Rx Level ini dapat dipengaruhi oleh lingkungan sekitar pada saat melakukan *drivetest*. Cakupan Rx dapat dilihat dari hasil simulasi (*Design Proses*) ataupun dari hasil pengukuran (*Optimization Proses*) berikut ini:

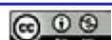


Gambar 2. Nilai Rx Level hasil simulasi & pengukuran

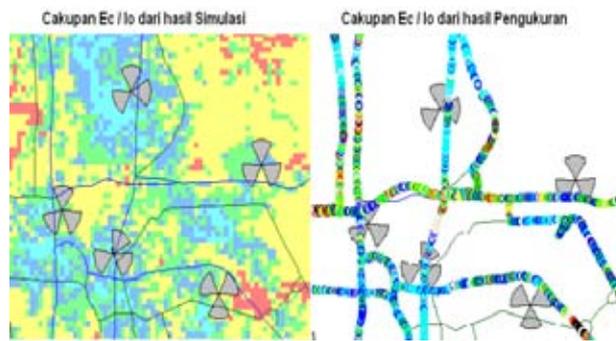
2.2 Ec/Io

Nilai perbandingan E_c/I_o menunjukkan sebuah kualitas sinyal pilot dari sektor *base station* tertentu yang merupakan representasi dari energi per chip sinyal suatu kanal pilot terhadap kerapatan daya atau *power density* per Hz interferensi. Bentuk formulasi pengukuran nilai E_c/I_o dapat dinyatakan sebesar :

$$\frac{E_c}{I_o} = \frac{\frac{P_{chip}}{R}}{\frac{I_{tot}}{W}} = \frac{\text{Energi yang diterima handset per chip}}{\text{Kerapatan daya interferensi per Hz}} \tag{1.2}$$



Sedangkan cakupan dari E_c/I_0 ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. Nilai E_c/I_c Level hasil simulasi & pengukuran

2.3. Pilot Kanal (PICH)

Pilot Channel merupakan kanal yang mempengaruhi daya pemancar dari *base station* atau dari sistem yang menyediakan cakupan sinyal. Kanal pilot digunakan oleh perangkat *mobile station* sebagai referensi sektor ketika akan melakukan perpindahan sel atau *handover* baik secara *soft*, *softer* maupun *hard*. Bentuk kanal pilot ini dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$Tx_{PICH} (dBm) = 10 \log \left(10^{\left(\frac{PICH \text{ Gain} - 255}{40} \right)} \right) \quad (1.3)$$

Salah satu teknik untuk meningkatkan kualitas E_c/I_0 ini selain menaikkan nilai I_0 juga harus meningkatkan nilai E_c sehingga menaikkan E_c ini identik dengan peningkatan daya pancar pada kanal pilot yang berhubungan erat dengan peningkatan penguatan kanal pilot yang nantinya berpengaruh terhadap peningkatan kualitas level E_c/I_0 ini. Pengaruh penambahan penguatan kanal pilot ini dapat berimbas pada terjadinya perubahan terhadap *forward pathloss* dan jarak, sehingga besarnya dapat diperhitungkan sebesar :

$$\frac{d'}{d} = 10^{\frac{\Delta}{40n}} \quad (1.4)$$

dengan penerimaan dayanya dinyatakan sebesar :

$$P_{rec}' (dbm) = P_{rec} (dBm) - 10n \log \left(\frac{d_A}{d_B} \right) \quad (1.5)$$

Sehingga daya kanal pilot yang diterima ini setelah mengalami perubahan terhadap jarak dapat dinyatakan kembali sebesar :

$$P_{rec}' (dbm) = P_{rec} (dBm) - 10n \log \left(\frac{d}{d 10^{\frac{\Delta}{40n}}} \right) \quad (1.6)$$

Penentuan nilai penguatan kanal pilot atau PICH gain terhadap perubahan kedudukan kemiringan antena dapat ditentukan merujuk pada persamaan (1.4) s.d (1.6) dimana hubungannya dapat dinyatakan sebesar :

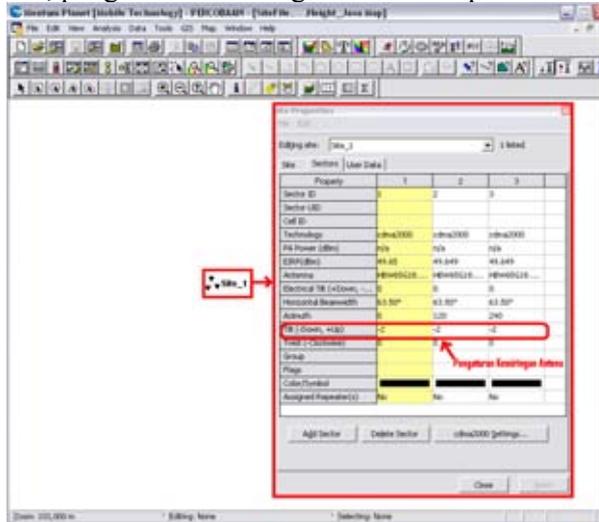
$$P_{Rec} (dBm) = EIRP - PathLoss + G_{ant} (MS) - Loss_{(MS)} \quad (1.7)$$



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Simulasi & Pengukuran Sudut kemiringan Antena (*Tilting Antenna*)

Pemakaian program simulasi digunakan sebagai media untuk mengitung posisi kemiringan antenna terhadap tingkat kualitas sinyal yang diperoleh dengan melihat dari sisi cakupannya (coverage). Pada simulasi ini, pengaturan kemiringan antenna dapat di lihat seperti gambar berikut ini:



Gambar 4. Tampilan program simulasi dalam menentukan posisi kemiringan antenna

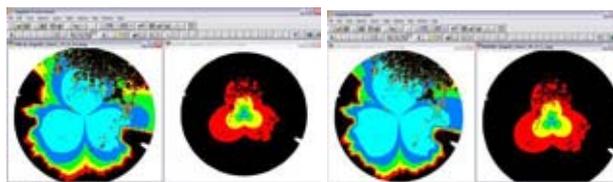
Sedangkan secara analisis lapangan, maka posisi pengukuran kemiringan antenna dapat dilihat seperti gambar berikut ini :



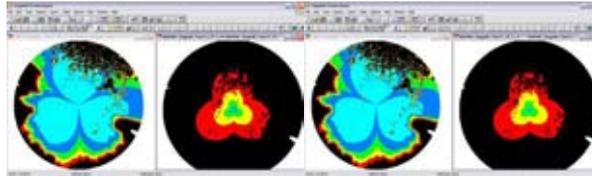
Gambar 5. Pengaturan pengukuran kemiringan antenna

Pengaturan nilai perubahan kemiringan antenna dilakukan dengan cara mengubah posisi derajat kemiringan yaitu mulai dari 0° sampai 6° dengan cara per step $\frac{1}{2}$ derajat dimana bentuk visual hasilnya diperlihatkan sebagai berikut :

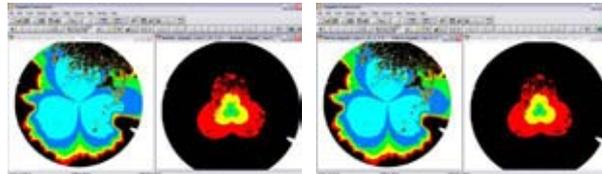
- posisi kemiringan 0° dan $0,5^{\circ}$



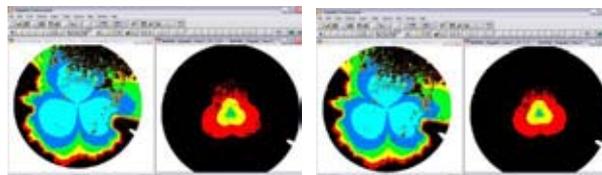
- posisi kemiringan 1° dan $1,5^{\circ}$



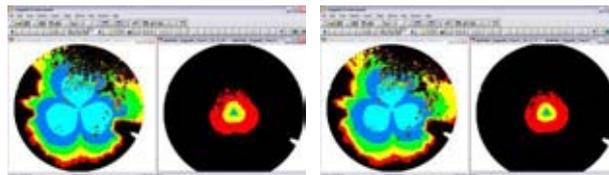
- posisi kemiringan 2° dan $2,5^{\circ}$



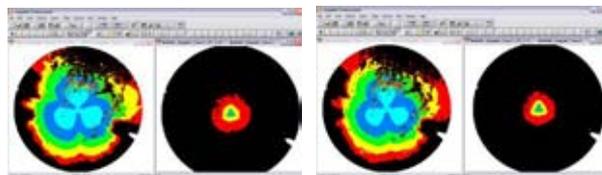
- posisi kemiringan 3° dan $3,5^{\circ}$



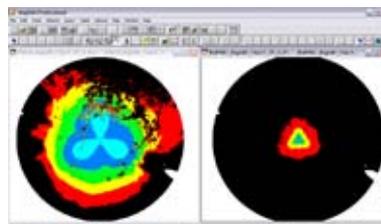
- posisi kemiringan 4° dan $4,5^{\circ}$



- posisi kemiringan 5° dan $5,5^{\circ}$

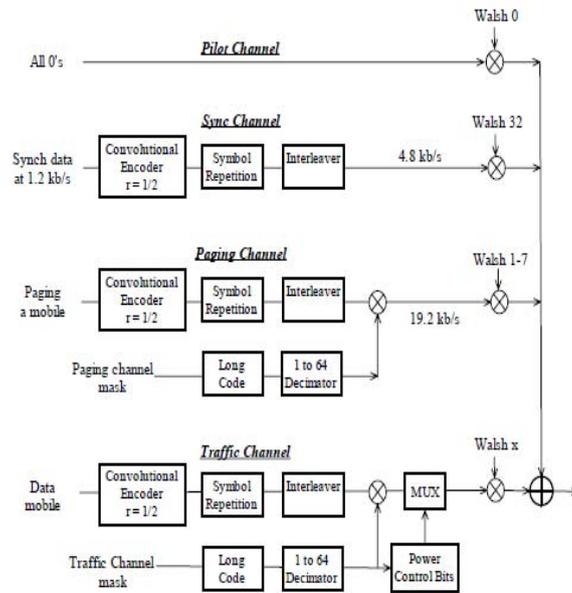


- posisi kemiringan 6°



3.2. Simulasi & pengukuran *PICH Gain*

Sistem Penguatan Kanal Pilot pada jaringan CDMA 2000 1X diperlihatkan seperti blok diagram berikut ini:



Gambar 4. Diagram blok jaringan kanal CDMA 2000 1X

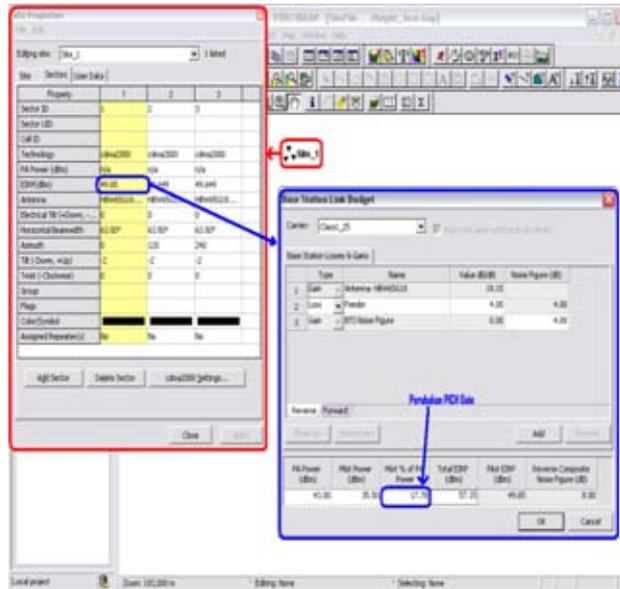
Perubahan PICH Gain sendiri pada kenyataannya dilakukan pada bagian *base station controller* (BSC) yang perubahannya diatur ke dalam DGU (*Digital Gain Unit*). Hal ini, dapat dilihat dari table 1.1. berikut ini:

Tabel 1.1 Data hasil analisis Digital Gain Unit (DGU)

BDG_SMG_CM_Pilot Channel Parameter (1X)				
BSSID	SYSTEM	CELL ID	CARRIER ID	PICH_GAIN
1	1	0	0	225
1	1	0	1	225
1	1	1	0	225
1	1	1	1	225
1	1	2	0	225
1	1	2	1	225
1	2	0	0	225
1	2	0	1	225
1	2	1	0	225
1	2	1	1	225
1	2	2	0	225
1	2	2	1	225

Berdasarkan hasil simulasi, maka nilai perubahan PICH Gain diperoleh dengan cara memasukan nilai perubahan posisi kemiringan antenna Δ ke dalam bentuk persen yang mana hasilnya dapat dilihat dari gambar berikut ini :





Gambar 5. Perubahan nilai PICH Gain hasil simulasi

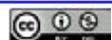
Pada gambar 5. di atas, terdapat lingkaran merah yang berarti site yang harus diedit untuk menemukan perubahan PICH gain. Sedangkan pada lingkaran biru adalah parameter pada site tersebut yang harus dirubah untuk mendapatkan perubahan PICH gain sedangkan perancangan untuk mendapatkannya, dimulai dari 221 sampai dengan 243 (dalam DGU) dengan step 2 yang nilainya dapat dilihat pada table 1.2 berikut ini :

Tabel 1.2 Data hasil perubahan PICH gain hasil simulasi

Tilt Antenna	PICH Gain (dBm)	Persentase	mWatt
0,0 ⁰	219	12.59%	2517.850824
0,5 ⁰	221	14.13%	2825.075089
1,0 ⁰	223	15.85%	3169.786385
1,5 ⁰	225	17.78%	3556.55882
2,0 ⁰	227	19.95%	3990.52463
2,5 ⁰	229	22.39%	4477.442277
3,0 ⁰	231	25.12%	5023.772863
3,5 ⁰	233	28.18%	5636.765863
4,0 ⁰	235	31.62%	6324.55532
4,5 ⁰	237	35.48%	7096.267785
5,0 ⁰	239	39.81%	7962.143411
5,5 ⁰	241	44.67%	8933.671843
6,0 ⁰	243	50.12%	10023.74467

3.3. Pengukuran Ec/Io & Rx Level

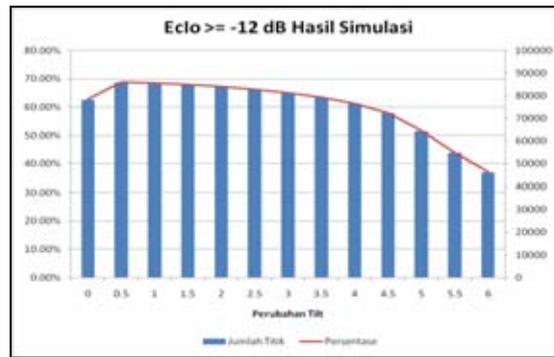
Dari hasil visual sudut kemiringan antenna diatas, secara kasat mata seluruh hasil pengukuran tidak ditemukan perbedaan mencolok, maka artinya bahwa nilai perubahan hanya dapat diterjemahkan ke dalam jumlah titik-titik yang mewakili cakupan dimana hasil simulasi dan pengukurannya ditunjukkan pada tabel 3.1 yang diurutkan dari nilai Ec/Io dan Rx level terbesar menuju nilai Ec/Io dan Rx level yang terkecil berikut ini:



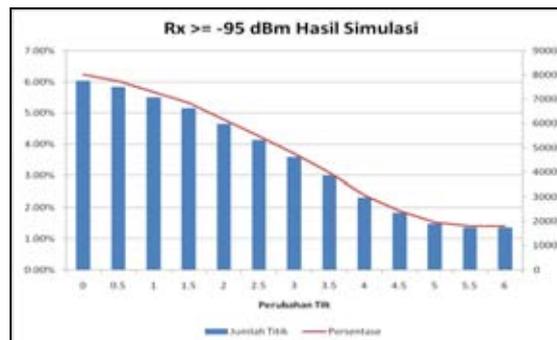
Tabel 1.3 Data hasil simulasi Ec/Io & Rx Level

Tilt Antenna	Ec/Io \geq -12 dB		Rx Level \geq -95 dBm	
	Jumlah Titik	Persentase	Jumlah Titik	Persentase
0,0 ⁰	78261	62.67%	7777	6.23%
0.5 ⁰	85887	68.76%	7519	6.02%
1,0 ⁰	85507	68.45%	7078	5.67%
1.5 ⁰	84854	67.92%	6638	5.31%
2,0 ⁰	83917	67.18%	5985	4.79%
2.5 ⁰	82710	66.20%	5328	4.26%
3,0 ⁰	81206	65.00%	4622	3.70%
3.5 ⁰	79174	63.38%	3866	3.09%
4,0 ⁰	76480	61.23%	2984	2.39%
4.5 ⁰	72359	57.95%	2356	1.89%
5,0 ⁰	64488	51.66%	1917	1.54%
5.5 ⁰	54813	43.93%	1758	1.41%
6,0 ⁰	46297	37.13%	1760	1.41%

Secara grafik hasil dari tabel 1.3 di atas, dapat digambarkan sebagai berikut :



(a)



(b)

Gambar 6. Grafik perubahan PICH Gain;
(a) Ec/Io, (b) Rx Level

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa penguatan kanal pilot berpengaruh pada cakupan Ec/Io dan Rx level akibat adanya perubahan kemiringan antenna dimana hasilnya menunjukkan bahwa perubahan penguatan kanal pilot tidak cukup besar.



4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis pengukuran & simulasi dari cakupan E_c/I_o dan Rx level diperoleh kualitas sinyal yang optimal saat penguatan kanal pilot atau PICH *Gain* menghasilkan penguatan sebesar 233 dBm atau 28.18 % dari total keseluruhan daya.
2. Sudut kemiringan antena semakin besar menghasilkan penguatan pilot kanal (PICH gain) semakin besar. Penguatan maksimal diperoleh saat derajat kemiringan antena sebesar 6^0 yaitu 243 dBm atau 10023.74467 mW.
3. Tingkat kelinearitasan hasil simulasi & pengukuran perubahan PICH gain pada E_c/I_o dan Rx Level menunjukkan bahwa tingkat kualitas jaringan CDMA yang akan dicapai menunjukkan tingkat keoptimalan yang diharapkan.

REFERENSI

- [1] Clint Smith., Daniel Colli, *3G Wireless Networking*, McGraw-Hill Telecom, 2002.
- [2] Wayne Tomasi, *Advanced Electronic Communication Systems*, Prentice Hall edition International, 1994.
- [3] Gatot Santoso, *Sistem Seluler CDMA*, Gaha Ilmu, 2004.
- [4] Uke Kurniawan U, *Sistem Komunikasi Seluler CDMA 2000 1x*, Graha Ilmu, 2004.
- [5] W. Gunawan, et al., "Multiband Bandpass Filter (BPF) based on Folded Dual Crossed Open Stubs," *International Journal of Technology*, vol. 5, pp. 32-39. 2014.
- [6] W. Gunawan, et al., "Design of Triple-band Bandpass Filter using Cascade Tri-section Stepped Impedance Resonators", *Journal of ICT Research and Applications*, vol. 10, pp. 43-56, 2016.
- [7] Scott Baxter, *Wireless RF Engineering*, Prentice Hall 2005.



Analisa Kinerja Sensor Inframerah dan Ultrasonik untuk Sistem Pengukuran Jarak pada *Mobile Robot Inspection*

Riky Tri Yunardi¹, Winarno², Pujiyanto³

^{1,2}Departemen Teknik, Fakultas Vokasi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

³Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

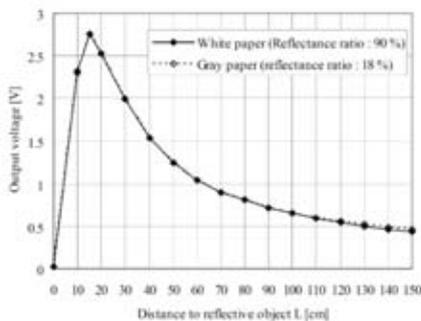
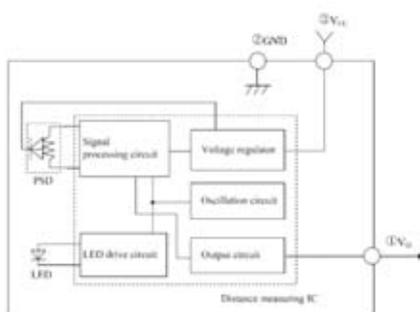
Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
riketryunardi@vokasi.unair.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Performance sensors to collect information about the object detection is very important in electronics and instrumentation technology. Infrared and ultrasonic sensors suitable used measuring distance using the reflected signal from transmitter to estimate the distance. Mobile robot inspection used in this experiment equipped with the wheels so that can move to give distance information. This paper describes the performance infrared and ultrasonic sensors for distance measurement on mobile robot inspection. Sensors mounted on the prototype of mobile robot. Sensor used for monitoring and measuring the distance between mobile robot and concrete underside surface. Performance value in this project evaluated in laboratory condition using concrete beam at height 15 - 150 cm from the ground. The result show infrared and ultrasonic sensors are able to measure distance with percentage of accuracy between 96,88 – 98,16%.

Keywords : Infrared sensor, ultrasonic sensor, measuring distance, mobile robot.

Abstrak

Kinerja sebuah sensor untuk mengumpulkan informasi dalam mendeteksi objek sangat penting dalam teknologi elektronika dan instrumentasi. Sensor inframerah dan ultrasonik sesuai digunakan untuk mengukur jarak menggunakan sinyal pantulan dari pemancar untuk memperkirakannya. Mobile robot inspection yang digunakan dalam penelitian ini dilengkapi dengan roda sehingga bisa bergerak dan memberi informasi dari jarak jauh. Makalah ini menyajikan analisa kinerja sensor inframerah dan ultrasonik untuk pengukuran jarak pada mobile robot inspection. Sensor dipasang pada prototipe mobile robot. Sensor digunakan untuk memantau dan mengukur jarak antara robot mobile dengan sisi permukaan bagian bawah beton. Hasil analisa kinerja dalam penelitian ini dievaluasi pada lingkungan laboratorium dengan menggunakan balok beton pada ketinggian 15 - 150 cm dari tanah. Hasilnya menunjukkan sensor inframerah dan ultrasonik mampu mengukur jarak dengan persentase akurasi antara 96,88 - 98,16%.

Kata kunci : Sensor inframerah, sensor ultrasonik, pengukuran jarak, mobile robot.

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Sensor inframerah dan ultrasonik secara luas telah banyak digunakan pada aplikasi pendeteksi objek. Dalam aplikasi pada bidang elektronika dan teknologi instrumentasi, sensor ini dapat digunakan untuk mengukur jarak [1-3]. Dalam sebuah modul sensor inframerah dan ultrasonik telah terbentuk perangkat *transmitter* dan *receiver* yang dapat memberikan informasi jarak. Prinsi kerja sensor inframerah dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi objek atau mengukur jarak, diawali dengan

mengirimkan sinyal dari *transmitter*. Sinyal yang terpantulkan dan diterima oleh *receiver* mewakili jarak antara sensor dengan permukaan suatu benda di depannya.

Pada penelitian sebelumnya telah mengembangkan sebuah *mobile robot* yang mampu melakukan tugas untuk memeriksa dan memantau kondisi lingkungan [4][5]. *Mobile robot inspection* adalah sebuah robot yang memiliki konstruksi aktuator yang dapat pindah dari satu tempat ke tempat lain [6]. Dari kondisi lingkungan kerja, *mobile robot* dibagi menjadi tiga jenis, bergerak di tanah, berenang di air, dan terbang di udara. Pada makalah ini akan dijelaskan kinerja sensor inframerah dan ultrasonik sebagai sistem pengukuran jarak pada *mobile robot inspection*. *Mobile robot inspection* yang digunakan dalam penelitian ini dilengkapi dengan roda sehingga dapat bergerak pada permukaan tanah dan melintasi sisi bawah sebuah objek.

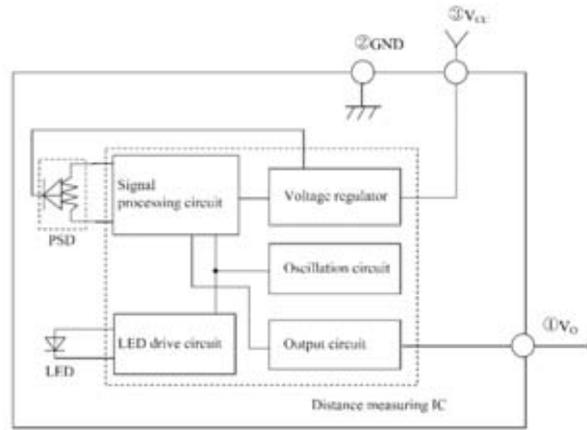
Sifat permukaan suatu objek memiliki karakteristik yang tidak rata. Representasi nilai jarak yang dihasilkan oleh sensor dipengaruhi dari sinyal yang dipantulkan oleh permukaan. Dari pengujian sebelumnya, menunjukkan bahwa pemantulan sinyal juga tergantung pada sudut datang sinyal dari permukaan objek. Keterbatasan ini menyebabkan masalah pada sensor dalam memberikan informasi nilai jarak. Sehingga sensor yang menggunakan sifat reflektansi dapat dianalisa kinerjanya sebagai instrumentasi pengukuran jarak [7][8]. Dalam makalah ini dilakukan analisa untuk membandingkan nilai keluaran dari sensor inframerah dan ultrasonik untuk menafsirkan informasi jarak.

2. METODE PENELITIAN

Sensor jarak dapat diartikan sebagai sensor yang berfungsi untuk mengukur jarak dan menentukan lokasi dari suatu objek. Sensor untuk menentukan jarak ini dalam perkembangannya memiliki dua jenis, yang pertama adalah sensor ultrasonik dan yang kedua adalah sensor inframerah. Prinsip kerja sensor inframerah dan ultrasonik, mendeteksi obyek atau mengukur jarak dengan mengirimkan sinyal dari *transmitter*. Sinyal yang dipancarkan akan menyebar dalam jangkauannya secara berkala. Sinyal yang telah dipancarkan akan dipantulkan kembali oleh permukaan objek. Sinyal yang dipantulkan, kemudian diterima oleh *receiver*. Intensitas kuat sinyal dan lama waktu sinyal yang diterima, setelah melalui proses perhitungan akan menghasilkan nilai keluaran yang digunakan pada sistem pengukuran jarak. Nilai keluaran dari sensor jarak dapat berupa data analog maupun data digital.

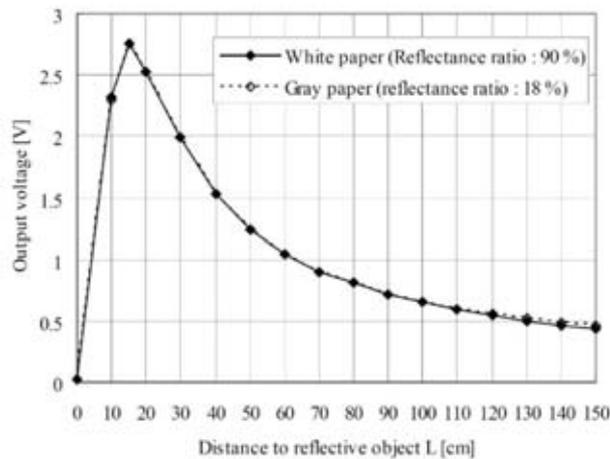
A. Sensor Inframerah

Pada penelitian ini menggunakan sensor jarak inframerah Sharp GP2Y0A02YK0F. Sensor yang memiliki kemudahan dalam penggunaannya untuk pengukuran jarak. Perangkat sensor ini menggunakan *light emitting diode infrared (LED infrared)* dan *position sensitive detector (PSD)* [9]. LED memancarkan cahaya inframerah dan dipantulkan kembali ke sensor melalui lensa fokus. Fungsi dari PSD adalah mendeteksi intensitas energi yang dipantulkan oleh permukaan objek dari pancaran LED. Lensa fokus digunakan untuk mengarahkan cahaya yang dipantulkan ke PSD. PSD beroperasi pada prinsip efek fotolistrik, energi cahaya berubah menjadi energi listrik. Hasil sinyal keluaran dari sensor tergantung dari energi yang terdeteksi oleh PSD. Nilai keluaran berupa tegangan yang berbanding terbalik dengan pendeteksian jarak. Diagram blok modul sensor inframerah ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok modul sensor inframerah [9]

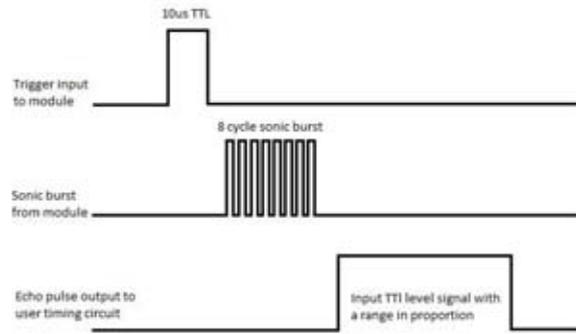
Karakteristik tegangan keluaran dari pengukuran jarak ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar karakteristik, sensor ini dapat mengukur untuk rentang jarak 15 sampai 150 cm. Sensor diposisikan 90 derajat menghadap permukaan suatu objek. Ketika sebuah objek dan sensor didekatkan dengan jarak antara 0 cm sampai 15 cm, cahaya dari LED inframerah dipantulkan dari objek dan ke detektor. Kondisi ini membuat hasil tegangan keluaran memiliki fungsi alih yang besar. Pada kondisi lain, tegangan keluaran berbanding terbalik dan tidak linier pada jarak mulai dari 15 sampai 150 cm. Ini disebabkan karena penurunan energi cahaya yang terdeteksi oleh detektor. Dengan demikian sensor inframerah untuk pengukuran jarak menggunakan nilai *threshold* [10-11].



Gambar 2. Karakteristik tegangan keluaran dari pengukuran jarak [9]

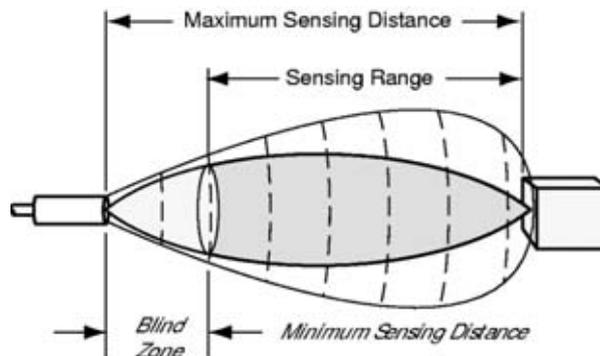
B. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik pada penelitian ini menggunakan modul SRF04 dengan dapat mengirimkan gelombang suara berupa sinyal ultrasonik [12]. sinyal gelombang suara yang dipancarkan melalui *transmitter*. Sinyal yang dipancarkan di udara akan dipantulkan pada permukaan objek. Menentukan jarak dapat dihitung dari interval lama waktu antara sinyal dipancarkan sampai kembalinya ke *receiver*.



Gambar 3. Diagram waktu sensor ultrasonik mengukur jarak [12]

Sensor ultrasonik menghasilkan gelombang suara dengan frekuensi 40 kHz. Sensor menghitung interval lama waktu antara mengirim dan menerima sinyal untuk menentukan jarak pada sebuah permukaan objek. Sensor ini memiliki jangkauan pengukuran antara 2 sampai 400 cm dan kurang dari 15 derajat sudut pengukuran. Modul sensor ultrasonik dikendalikan oleh sinyal pemicu dari mikrokontroler dengan durasi sekitar 10µs. Setelah sensor menerima sinyal pemicu, *transmitter* akan memancarkan gelombang tinggi suara melalui udara dengan kecepatan sekitar 340 meter per detik. Gelombang suara yang dipantulkan kembali ke modul sensor sebagai *echo* (gema). *Echo* terdeteksi oleh sensor, selanjutnya mikrokontroler akan mengukur lebar pulsa gema yang digunakan untuk menghitung jarak [13]. Diagram waktu sensor ultrasonik mengukur jarak ditunjukkan pada Gambar 3. Ilustrasi jarak jangkauan sensor ultrasonik ditampilkan dalam Gambar 4.

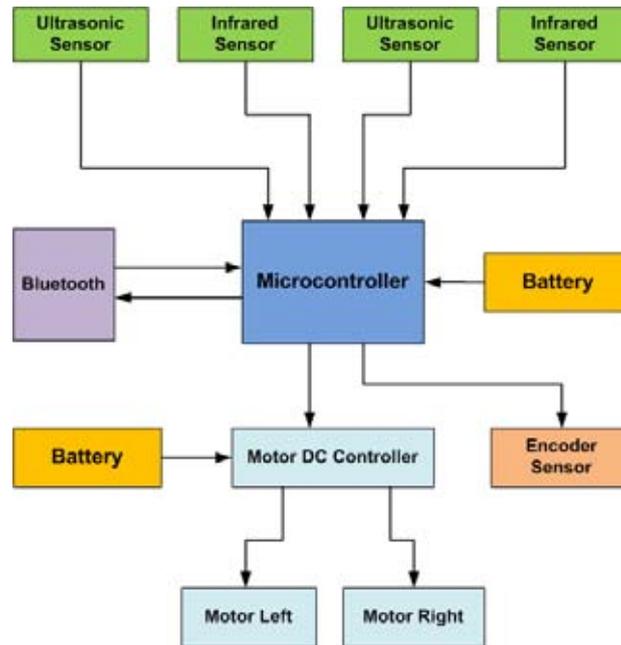


Gambar 4. Ilustrasi jarak jangkauan sensor ultrasonik

C. Desain Sistem Mobile Robot

Diagram blok rangkaian elektronika dari sistem *mobile robot* ditampilkan dalam Gambar 5. Mikrokontroler yang digunakan sebagai sistem pengendali *mobile robot* menggunakan perangkat modul Arduino. Perangkat ini digunakan untuk menendalikan sistem sensor, sistem gerakan dan sistem komunikasi. Sinyal pulsa pemicu untuk sensor ultrasonik juga ditentukan oleh mikrokontroler. Sinyal pulsa yang digunakan untuk mengukur jarak, diproses oleh mikrokontroler dengan mengukur lebar pulsa gema. Keluaran dari sensor inframerah adalah tegangan analog. Mikrokontroler juga digunakan untuk mengkonversi nilai tegangan menjadi nilai jarak. Tegangan yang diterima menggunakan fungsi analog to digital Converter (ADC). Perangkat ini menggunakan pengukuran 10 bit ADC.





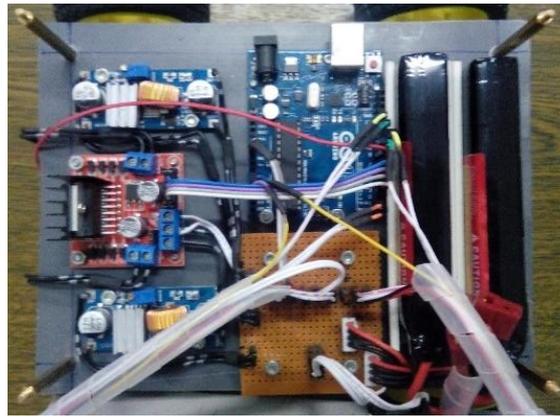
Gambar 5. Diagram blok rangkaian elektronika dari sistem *mobile robot*

Motor DC controller digunakan untuk mengendalikan gerakan motor DC 12 volt. Pengendalian motor DC menggunakan kombinasi logika digital yang diterjemahkan oleh komponen *integrated circuit* L298D untuk sistem gerakan motor DC. Sensor *encoder* digunakan untuk mengukur data pergerakan posisi pada *mobile robot*. Untuk sistem komunikasi, perangkat komunikasi Bluetooth terhubung ke komputer PC. Desain mekanika *mobile robot* ditampilkan dalam Gambar 6.

Pada penelitian ini sensor inframerah dan ultrasonik untuk pengukuran jarak dipasang pada prototipe robot mobile. Data yang diterima oleh mikrokontroler dari sensor akan dikirim ke komputer menggunakan komunikasi serial. komputer pribadi yang digunakan untuk mengumpulkan data dan software Delphi7 digunakan untuk menerjemahkan program ke bentuk grafis untuk menganalisis hasil pengukuran.



(a)



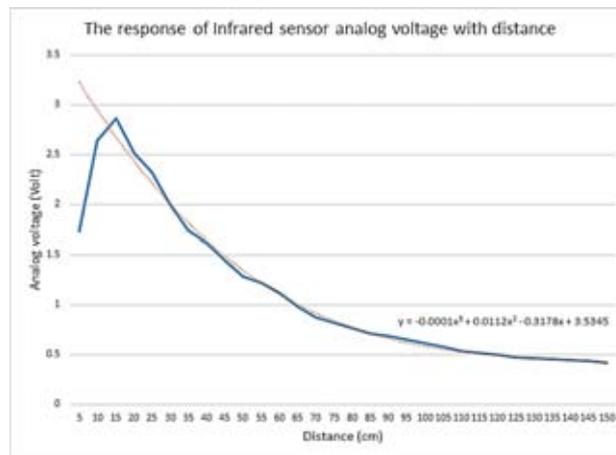
(b)

Gambar 6. Desain mekanika *mobile robot*

Pada sistem ini sensor inframerah dan ultrasonik untuk pengukuran jarak dipasang pada prototipe *mobile robot*. Data yang diterima oleh mikrokontroler dari sensor akan dikirim ke komputer menggunakan komunikasi serial. PC yang digunakan untuk mengumpulkan data menggunakan program Delphi7. Untuk menerjemahkan data pembacaan sensor digambarkan dalam bentuk grafik yang akan dianalisa hasil pengukurannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang diusulkan diuji menggunakan beberapa jarak untuk menunjukkan kinerja sensor inframerah dan ultrasonik. Untuk pengukuran jarak dilakukan mulai dari 15 sampai 150 cm dari permukaan objek. Kedua sensor dipasang pada prototipe *mobile robot*.



Gambar 7. Grafik respon tegangan keluaran sensor inframerah terhadap jarak

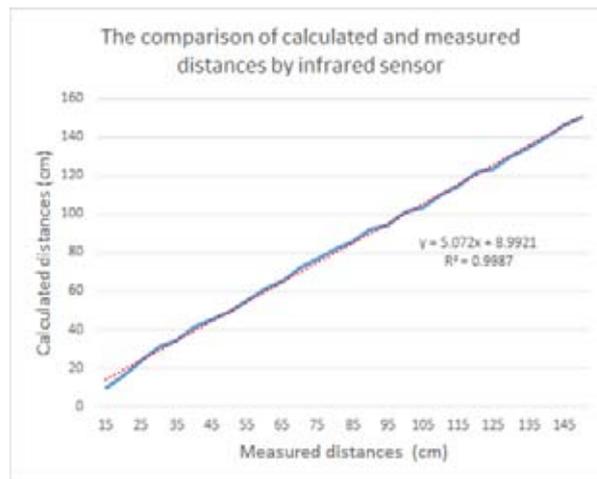
Pengujian pada sensor inframerah GP2Y0A02YK0F bertujuan untuk mengetahui respon dari tegangan keluaran terhadap jarak permukaan objek. Untuk menentukan respon dari sensor jarak, beberapa jarak telah diuji. Sesuai dengan prinsip fotolistrik sensor inframerah, sensor ini dapat menentukan jarak suatu objek berdasarkan intensitas cahaya inframerah yang diterima oleh receiver. Tegangan keluaran berbanding terbalik dan tidak linear terhadap jarak. Grafik respon tegangan keluaran sensor inframerah terhadap jarak ditunjukkan pada Gambar 7.

Setelah memperoleh grafik respon dari tegangan keluaran dengan jarak. Untuk proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan regresi polinomial seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1). Persamaan (1) diterapkan pada mikrokontroler dengan kode pemrograman. Mikrokontroler membaca

tegangan keluaran dari sensor inframerah dan dihitung untuk menentukan jarak. Dimana χ adalah tegangan keluaran analog dari sensor.

$$dist (cm) = -0.0001 x^3 + 0.0112 x^2 - 0.3x + 3.5 \quad (1)$$

Untuk pengujian sensor inframerah, kami menempatkan sebuah objek dan menghitung jarak antara objek dengan sensor. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran jarak menggunakan sensor inframerah ditampilkan dalam Gambar 8. Dalam pengujian, jarak kurang dari 20 cm sensor inframerah memberikan hasil yang tidak akurat. Pada jarak antara 20 cm sampai 150 cm dihasilkan nilai yang lebih akurat. Dari hasil pengamatan ada perbedaan kecil antara jarak perhitungan dan pengukuran.



Gambar 8. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran jarak menggunakan sensor inframerah

Dalam uji sensor ultrasonik, pengujian dilakukan menggunakan mikrokontroler untuk membaca sinyal *echo* pada modul SRF04 dengan menggunakan kode program. Modul sensor ultrasonik dikendalikan oleh pemicu sinyal 40 kHz dari mikrokontroler dengan durasi sekitar 10 μ s. Pengukuran jarak dilakukan dengan menghitung interval waktu antara pengiriman sinyal sampai menerima *echo*. Untuk menghitung jarak berdasarkan interval waktu perjalanan dari sensor ultrasonik ditunjukkan dalam persamaan (2) dan (3). Hal ini dilakukan untuk menentukan rentang jarak dari sensor ke permukaan objek.

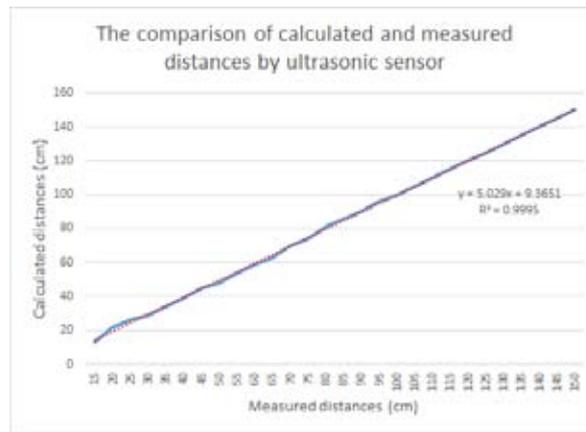
$$distance (m) = \frac{t_{in}}{2} \times 430(m/s) \quad (2)$$

Kemudian,

$$distance (cm) = \frac{t_{in}/2}{29.412(\mu s/cm)} \quad (3)$$

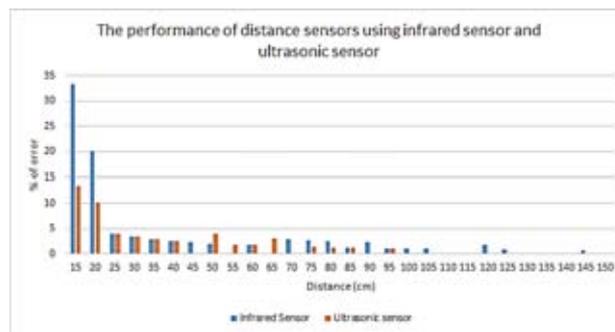
Di mana t_{in} adalah interval waktu ketika *transmitter* mengirimkan sinyal pulsa dan *receiver* mendeteksi *echo*. Kecepatan suara di udara sebesar 340 m/s.





Gambar 9. Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik

Menggunakan prosedur pengujian yang sama, sensor ultrasonik diuji dengan menggunakan modul sensor SRF04. Gambar 9 memberikan informasi perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik. Kami menemukan bahwa sensor ultrasonik memiliki kinerja rendah dalam pengukuran pada jarak yang rendah. Kinerja sensor memiliki hasil yang akurat untuk pengukuran jarak jauh. Kinerja sensor ultrasonik lebih optimal untuk mengukur jarak lebih dari 15 cm.



Gambar 10. Kinerja sensor jarak menggunakan sensor inframerah dan sensor ultrasonik

Kinerja sensor jarak menggunakan sensor inframerah dan sensor ultrasonik yang ditunjukkan pada Gambar 10. Perhitungan persentase akurasi data yang ditampilkan dalam persamaan (4). Di mana y adalah jarak mengukur dan \bar{y} adalah jarak yang sebenarnya.

$$Acc (\%) = 100 - \left(\left| \frac{y - \bar{y}}{y} \right| \times 100 \right) \quad (4)$$

Sistem ini diuji pada jarak 15 sampai 150 cm dengan sudut 90 derajat dari permukaan objek. pengukuran jarak didasarkan pada nilai-nilai dari keluaran mikrokontroler ketika sensor mendeteksi objek. Sensor inframerah memiliki presisi tinggi akurasi dibandingkan dengan sensor ultrasonik. Kedua sensor memiliki kelemahan untuk mendeteksi objek jika jarak kurang dari 15 cm. Masing-masing sensor ini memiliki presisi yang tinggi pada jarak pengukuran yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan inframerah dan sensor ultrasonik mampu mengukur jarak dengan persentase akurasi 96,88 - 98,16%

4. KESIMPULAN

Makalah ini menjelaskan analisa kinerja sensor inframerah dan ultrasonik untuk pengukuran jarak pada *mobile robot inspection*. Pada penelitian ini menggambarkan kinerja sensor inframerah dan



ultrasonik untuk pengukuran jarak. Nilai kinerja dalam penelitian ini dievaluasi pada lingkungan laboratorium dengan menggunakan balok beton pada ketinggian 15 - 150 cm dari tanah. Tegangan keluaran dari sensor infrasonik berbanding terbalik dan tidak linear terhadap jarak, Pada jarak pengukuran antara 20 cm sampai 150 cm lebih akurat. Kinerja sensor ultrasonik memiliki hasil yang akurat untuk jarak di atas 15 cm. Keduanya mampu mengukur jarak dengan persentase akurasi 96,88 - 98,16%. Pada penelitian selanjutnya, sensor dapat diimplementasikan menggunakan *sensor array* ketika mengukur jarak untuk aplikasi *mobile robot*.

REFERENSI

- [1] Abdubrani, R., & Alhady, S. S. N. (2012, April). Performance improvement of contactless distance sensors using neural network. In *Proceedings of the 11th WSEAS international conference on Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems, and Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Robotics, Control and Manufacturing Technology, and Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Multimedia Systems & Signal Processing* (pp. 146-151). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).
- [2] Gamarra-Diezma, J. L., Miranda-Fuentes, A., Llorens, J., Cuenca, A., Blanco-Roldán, G. L., & Rodríguez-Lizana, A. (2015). Testing accuracy of long-range ultrasonic sensors for olive tree canopy measurements. *Sensors*, 15(2), 2902-2919.
- [3] Musolino, A., Raugi, M., Tucci, M., & Turcu, F. (2007, August). Feasibility of defect detection in concrete structures via ultrasonic investigation. In *Progress in Electromagnetic Research Symposium, Prague, Czech Republic* (pp. 371-375).
- [4] Hanzel, J., Klůčik, M., Jurišica, L., & Vitko, A. (2012). Range finder models for mobile robots. *Procedia Engineering*, 48, 189-198.
- [5] Kim, J. H., Cho, H. H., Lee, U. K., & Kang, K. I. (2007, September). Development of a hybrid device based on infrared and ultrasonic sensors for human resource management. In *Proceedings of the 24th International Symposium on Automation & Robotics in Construction, Kochi, India* (pp. 19-21).
- [6] Ghidary, S. S., Tani, T., Takamori, T., & Hattori, M. (1999). A new Home Robot Positioning System (HRPS) using IR switched multi ultrasonic sensors. In *Systems, Man, and Cybernetics, 1999. IEEE SMC'99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on* (Vol. 4, pp. 737-741). IEEE.
- [7] Mustapha, B., Zayegh, A., & Begg, R. K. (2013, December). Ultrasonic and infrared sensors performance in a wireless obstacle detection system. In *Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (AIMS), 2013 1st International Conference on* (pp. 487-492). IEEE.
- [8] Mohammad, T. (2009). Using ultrasonic and infrared sensors for distance measurement. *Transport*, 2925, 8507.
- [9] Robotics, A. (2011). Sharp GP2Y0A02YK0F Analog Distance Sensor 20-150cm| Australian Robotics. *australianrobotics.com.au*, 24(08).
- [10] Do, Y., & Kim, J. (2013). Infrared range sensor array for 3D sensing in robotic applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10(4), 193.
- [11] Novotny, P. M., & Ferrier, N. J. (1999). Using infrared sensors and the Phong illumination model to measure distances. In *Robotics and Automation, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference on* (Vol. 2, pp. 1644-1649). IEEE.
- [12] Chen, X., & Wu, C. (2011). Ultrasonic Measurement System with Infrared Communication Technology. *JCP*, 6(11), 2468-2475.
- [13] Robots, A. Devantech SRF04 Ultra Sonic Ranger Module. 8 November 2006.



Deteksi Jarak Lokasi Gangguan Pada Saluran Transmisi 500 Kv Cilegon Baru - Cibinong Menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Muhamad Otong¹, Alimuddin¹, Chandra Arief B³

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Cilegon, Indonesia

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

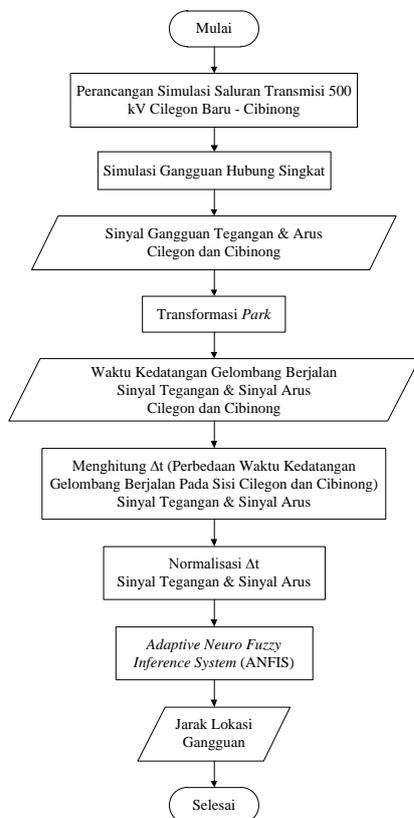
Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :

muhamadotonguntirta@yahoo.co

m

Graphical abstract



Abstract

On the transmission line required accurate and fast fault location detection methods needed to reduce search time so the maintenance will be quick. With combination of methods Transformation Park and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), can be detected the fault location directly after the disturbance by analyzing the travelling wave in the line transmission. When the fault occur on transmission line it will cause travelling wave on voltage and current. This wave will be transformed by the transformation parks on both line ends. By analyzing the results of the transformation parks will be obtained time of inception fault there is a time difference at each line end because of differences distance. The time difference has a trend which will be processed by ANFIS to obtain the fault location. By comparing the number of membership function and input selection, the best ANFIS design with membership function (MF) 5 and input selection Δt_V and Δt_I (V and I) with Mean Absolute Error (MAE) 1,33.

Keywords: Line transmission, Fault location detection, Travelling wave, Park transformation, ANFIS.

Abstrak

Pada saluran transmisi diperlukan metode deteksi lokasi gangguan yang akurat dan cepat untuk mengurangi waktu pencarian, sehingga mempercepat proses perbaikan. Dengan menggunakan kombinasi metode Transformasi Park dan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), dapat dideteksi jarak lokasi gangguan secara langsung setelah terjadinya gangguan dengan cara menganalisa gelombang berjalan pada saluran transmisi. Saat terjadi gangguan, akan menyebabkan timbulnya gelombang berjalan yang berupa tegangan dan arus. Tegangan dan arus ini akan ditransformasikan oleh transformasi park pada kedua ujung saluran untuk mendapatkan waktu kedatangan gelombang berjalan, yang mana terdapat perbedaan waktu pada tiap ujung saluran dikarenakan adanya perbedaan jarak yang ada. Perbedaan waktu ini akan di input kedalam ANFIS untuk mendapatkan jarak lokasi gangguan. Dengan membandingkan jumlah nilai keanggotaan dan pemilihan input, maka diperoleh desain ANFIS terbaik adalah dengan jumlah nilai keanggotaan (MF) 5 serta input perbedaan waktu Δt_V dan Δt_I (V dan I) dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 1,33.

Kata kunci: Deteksi lokasi gangguan, Saluran transmisi, Gelombang berjalan, Transformasi park, ANFIS.

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Saluran transmisi adalah komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Saluran transmisi merupakan penghubung antara pusat pembangkit dan beban. Maka dari itu, saluran transmisi harus mampu menjamin ketersediaan energi listrik secara kontinu pada setiap beban yang terhubung dengan sistem. Sebagian besar gangguan dalam sistem tenaga listrik terjadi pada saluran transmisi. Salah satu gangguan yang paling sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Gangguan

pada saluran transmisi dapat menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik. Oleh karena itu, gangguan tersebut perlu dideteksi, diklasifikasikan dan diperbaiki secepat mungkin. Dalam proteksi saluran transmisi, deteksi gangguan dan klasifikasi gangguan adalah dua hal penting yang perlu ditangani dengan andal dan akurat [1].

Terdapat beberapa metode dalam mendeteksi gangguan pada sistem tenaga listrik, metode tersebut dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu metode yang pertama berdasarkan komponen-komponen frekuensi daya, dan metode kedua berdasarkan sinyal-sinyal gangguan transien pada frekuensi yang lebih tinggi [2]. Kategori yang kedua yaitu teori gelombang berjalan merupakan sebuah diskriminan atau pola grafis yang digambarkan berdasarkan pada gelombang tegangan dan arus transien dalam bentuk hubungan silang antara nilai-nilai puncak kedatangan di titik pengukuran dari gelombang berjalan maju dan mundur. Pola grafis ini menunjukkan perkiraan waktu tempuh sinyal-sinyal transien dari sumber sinyal ke gangguan [3]. Metode tersebut adalah untuk mencari lokasi gangguan. Namun bagaimana jika resistansi begitu besar dan mengakibatkan arus gangguan sama dengan arus nominal. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan kerugian yang tak terdeteksi.

Banyak penelitian sebelumnya yang telah membahas deteksi lokasi gangguan pada saluran transmisi dengan berbagai metode. Dalam tugas akhir ini, disajikan suatu metode pendekatan yang berbeda menggunakan kombinasi metode Transformasi *Park* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Dengan metode ini diharapkan dapat mendeteksi jarak lokasi gangguan secara langsung setelah terjadinya gangguan, dengan cara menganalisa gelombang berjalan yang terjadi setelah saluran transmisi terkena gangguan. Gelombang berjalan ini merambat jauh dari titik gangguan ke kedua ujung saluran dengan kecepatan yang hampir mendekati kecepatan cahaya. Sehingga di kedua ujung terekam sebuah impulse frekuensi yang tinggi, tetapi puncak gelombang dari impuls di setiap ujung memiliki perbedaan waktu walaupun sangat kecil. Dengan mentransformasikan gelombang di kedua ujung dengan transformasi *park* dapat dilihat lebih jelas perbedaan waktu yang ada. Kemudian perbedaan waktu tersebut akan diolah oleh ANFIS untuk mendapatkan data *training*, yang dapat digunakan dalam mendeteksi jarak lokasi gangguan.

2. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Penelitian

Saluran transmisi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah saluran transmisi 500 kV sepanjang 130,81 km, dari Cilegon Baru sampai Cibinong. Pemodelan tugas akhir ini akan dibuat dalam sebuah perangkat lunak (*software*) MATLAB R2014a. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan simulasi gangguan hubung singkat sehingga data yang dibutuhkan adalah parameter sumber tiga fasa Cilegon dan Cibinong, data arus hubung singkat dan parameter saluran transmisi yang meliputi resistansi, induktansi serta kapasitansi seperti yang dipaparkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Parameter Sumber Tiga Fasa

Parameter	Cilegon Baru	Cibinong
Vrms (V)	499650,47	493596,176
Sudut Fasa (°)	0	4.999
Frekuensi (Hz)	50	50
Koneksi Internal	Yg	Yg
Short Circuit Level 3 Fasa (MVAsc)	32232,55	40095,96
Base Voltage (Vrms ph-ph)	500000	500000
X/R Ratio	15,7756	13,1

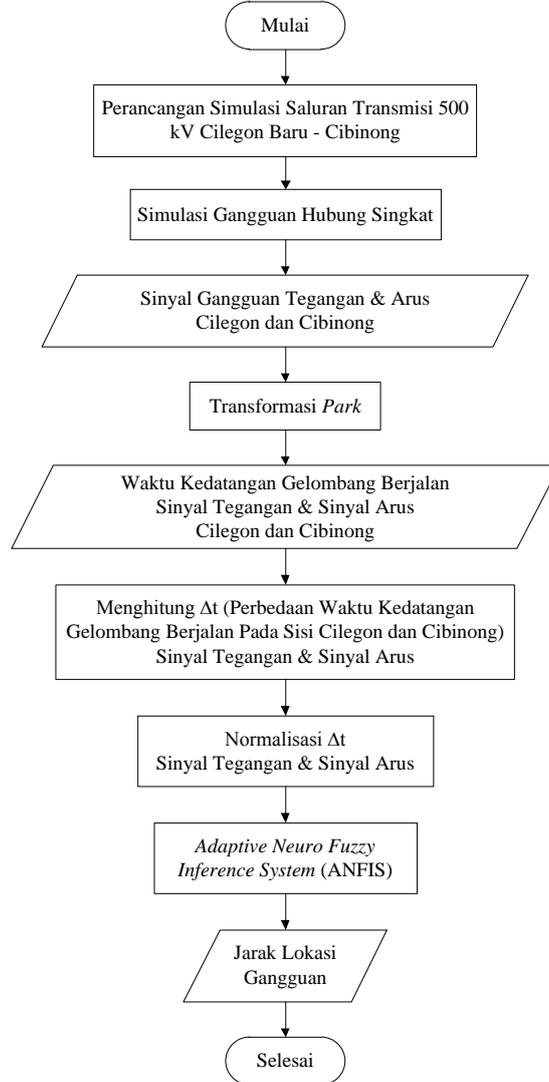
Tabel 2. Parameter Saluran Transmisi

Frekuensi (Hz)	50
----------------	----



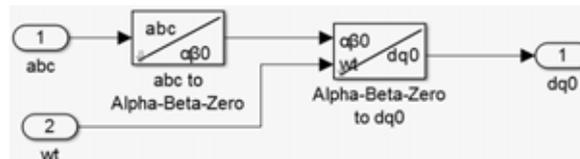
$[r_1 \ r_0]$ (Ohm/km)	[0,0251 0,1751]
$[l_1 \ l_0]$ (H/km)	[8,938e-4 26,8e-4]
$[c_1 \ c_0]$ (F/km)	[12,74e-9 7,751e-9]
Isec (km)	130,81

Setelah didapatkan semua data saluran transmisi, maka akan dimodelkan saluran transmisi dari data Tabel 1 dan Tabel 2. Dibutuhkannya beberapa langkah permodelan dan analisa untuk mendesain sistem yang dapat menentukan jarak lokasi gangguan pada saluran transmisi. Langkah-langkah tersebut dapat dijelaskan melalui diagram alir di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan Penelitian

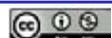
B. Transformasi *Park*



Gambar 2. Blok Tranformasi *Park*

Dalam blok transformasi *park* sinyal sinusoidal tiga fasa *abc* dihitung dan ditransformasikan menjadi sumbu *d*, sumbu *q*, *zero sequence* dengan persamaan [4]:

$$[U_{dq0}] = [T_{dq0}] [U_{abc}] \tag{1}$$



$$[Tdq0] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin(wt) & \sin\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(wt + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos(wt) & \cos\left(wt - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(wt + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Selanjutnya diambil data waktu kedatangan gelombang berjalan pada kedua ujung saluran dari sinyal tegangan dan sinyal arus tersebut dengan menganalisa gelombang berjalan setelah terjadinya gangguan.

Untuk mencapai hasil akurat dalam menentukan waktu kedatangan gelombang berjalan maka digunakan koefisien diferensial (*Cdif*) yang akan memperkuat hasil transformasi *park* sehingga akan mampu menentukan waktu awal terjadi gangguan. Dimana persamaan *Cdif* akan dijelaskan sebagai berikut [3][5]:

$$Cdif = \frac{Vd(i) - Vd(i-1)}{\Delta t} \quad (3)(3-2)$$

Dimana:

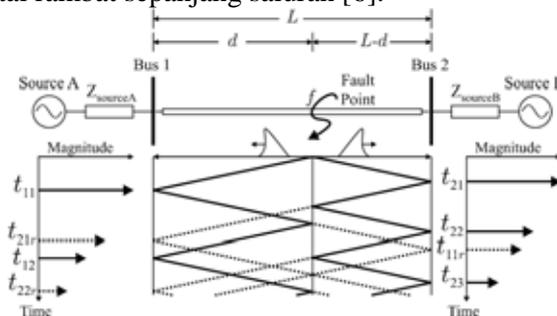
Vd = Tegangan sumbu d

I = *sample number* ke- i

Δt = *time step*

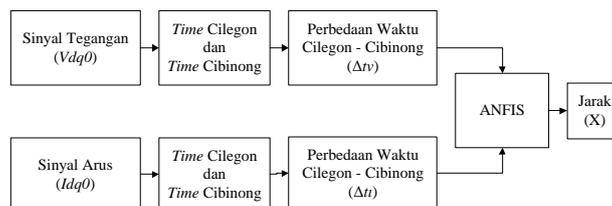
C. Gelombang Berjalan

Metode ini memanfaatkan sinyal transien yang dibangkitkan oleh gangguan. Ketika gangguan pada saluran terjadi, seperti gangguan hubung singkat, tegangan berubah secara kasar pada titik gangguan. Sehingga membangkitkan sebuah impuls elektromagnetik berfrekuensi tinggi disebut gelombang berjalan, yang merambat sepanjang saluran dalam dua arah berlawanan dari titik gangguan dengan kecepatan mendekati kecepatan cahaya. Lokasi gangguan ditentukan oleh ketelitian pengamatan waktu kedatangan gelombang berjalan pada tiap ujung saluran dan perbandingan selisih waktunya dengan waktu total rambat sepanjang saluran [6].

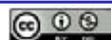


Gambar 3. Gelombang Berjalan Pada Kedua Ujung Saluran Transmisi [5]

Dengan mentransformasikan tegangan $Vabc$ dan arus $Iabc$ saat terjadi gangguan pada kedua ujung saluran, didapatkan tegangan $Vdq0$ dan arus $Idq0$. Kemudian diambil waktu kedatangan gelombang berjalan (*Time Cilegon* dan *Time Cibinong*) dari sinyal tegangan $Vdq0$ dan sinyal arus $Idq0$ tersebut. Waktu kedatangan gelombang berjalan pada kedua ujung memiliki perbedaan, selanjutnya dihitung perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan antara Cilegon dengan Cibinong (Δt). Dari perhitungan tersebut diperoleh nilai Δt_V (V) dan Δt_I (I), dimana nilai V dan I ini adalah perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan untuk masing-masing sinyal tegangan dan sinyal arus. Selanjutnya nilai V dan I akan diolah oleh ANFIS untuk menentukan jarak lokasi gangguan pada saluran transmisi (X).



Gambar 4. Diagram Blok Penelitian



D. *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menentukan jarak lokasi gangguan menggunakan ANFIS dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan Data

Dalam tahap ini ditentukan jumlah *input* pada struktur jaringan ANFIS. *Input* yang digunakan berdasarkan hasil analisis transformasi *park* berupa data Δt_v dan data Δt_f . Untuk memudahkan pemodelan maka data *input* akan di normalisasi. Rumus dari normalisasi yaitu [7]:

$$\text{Normalisasi} = \frac{\text{Data} - \text{Min Data}}{\text{Max Data} - \text{Min Data}} \quad (4)$$

Dimana:

- Data = Data ke-i
- Min Data = Data minimum
- Max Data = Data maksimum

Sedangkan *output* yang digunakan adalah X (Jarak gangguan aktual).

2. Membangun Sistem Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference System*)

Pada tahap ini ditentukan ditentukan jumlah nilai keanggotaan (2, 3 dan 5) serta jenis fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu *gbellmf* (*Generalized Bell*).

3. Menentukan Parameter Pelatihan

Pada tahap ini ditentukan metode optimasi yang digunakan adalah *hybrid* dan besar toleransi *error* sebesar 0. Kemudian ditentukan jumlah iterasi (*epoch*) sebanyak 100.

4. Proses Pelatihan

ANFIS dalam kerjanya menggunakan algoritma *hybrid*, yang akan mengatur parameter konsekuen (*p*, *q* dan *r*) secara maju (*forward*) dan akan mengatur parameter premis (*a*, *b* dan *c*) secara mundur (*backward*). Pada langkah maju (*forward*), *input* jaringan akan merambat maju sampai lapisan keempat, dimana parameter konsekuen (*p*, *q* dan *r*) akan diidentifikasi menggunakan metode *least squares*. Sedangkan pada arah mundur (*backward*), *error* sinyal akan merambat mundur dan parameter premis (*a*, *b* dan *c*) akan diperbaiki dengan metode *gradient descent*. Baik tidaknya kinerja dari pelatihan ANFIS dapat diperiksa berdasarkan nilai MAE (*Mean Absolute Error*) [8].

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_t - Z| \quad (5) \quad (2-40)$$

Dimana:

- n* = Banyaknya data
- Z_t* = Hasil prediksi
- Z* = Data runtun waktu asli (data aktual)

5. Analisis Hasil

Pada tahap ini dilakukan evaluasi dari hasil pelatihan terbaik ANFIS berdasarkan jumlah *input* dan jumlah nilai keanggotaan yang menghasilkan nilai MAE terkecil. Selanjutnya akan dibandingkan hasil jarak lokasi gangguan pengolahan ANFIS dengan hasil jarak gangguan aktual untuk mengetahui kemampuan metode ANFIS dalam mendeksi jarak lokasi gangguan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi gangguan hubung singkat

Setalah didapatkan pemodelan saluran transmisi, maka akan dilakukan simulasi gangguan hubung singkat pada saluran transmisi dengan berbagai variasi skenario. Variasi skenario hubung singkat yang akan disimulasikan meliputi:

- 1) Jenis gangguan hubung singkat tiga fasa
- 2) Jarak gangguan (setiap 10% dari 130 km)
- 3) Resistansi gangguan (10, 100, 500 dan 1000 Ω)

B. Simulasi Transformasi *Park*

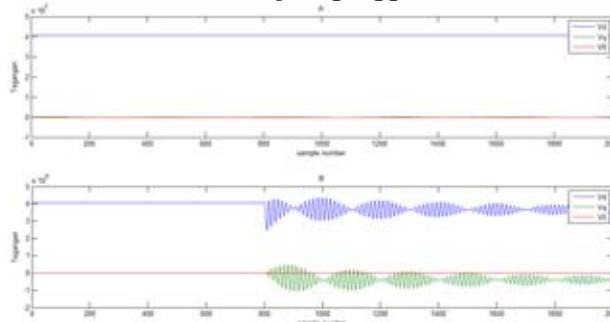


Di dalam blok transformasi *park* terdapat blok transformasi *clarke*, transformasi *clarke* bertujuan untuk menguraikan sistem tiga fasa tidak seimbang menjadi fasa seimbang sehingga dapat diselesaikan secara langsung dengan menggunakan rangkaian setara fasa tunggal. Transformasi *clarke* mempunyai prinsip sama dengan metode komponen simetris bahwa untuk rangkaian tiga fasa setiap kelompok fasor dapat diuraikan menjadi tiga kelompok fasor yang seimbang. Sehingga sumbu α dan β pada transformasi *clarke* adalah sama dengan rangkaian urutan positif dan negatif pada komponen simetris.

Dalam analisa tugas akhir ini tegangan dan arus tiga fasa dijumlahkan lalu diproyeksikan ke dalam sumbu α dan β menggunakan transformasi *clarke* akan tetapi tegangan dan arus pada kondisi ini nilainya masih berubah-ubah sehingga gangguan yang sifatnya transien masih sulit terdeteksi. Untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakanlah tranformasi *park* yang merubah sumbu α dan β stasioner ke dalam sumbu d dan q berputar agar tegangan dan arus nilainya konstan seperti pada Gambar 6 sehingga gangguan dapat dideteksi.

Saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa, maka tegangan dan arus yang mengalir dalam rangkaian akan tetap seimbang pada setiap fasanya. Oleh karena itu untuk menganalisa gangguan tiga fasa hanya dibutuhkan rangkaian urutan positif saja, sehingga dalam mendeteksi gangguan tidak perlu semua sumbu transformasi *park* yang diperhatikan, cukup sumbu d yang akan digunakan

Saluran transmisi pada simulasi ini diasumsikan seimbang. Dengan memanfaatkan transformasi *park* yang akan mentransformasikan tegangan dan arus pada kedua ujung saluran maka akan didapatkan keluaran sumbu d , sumbu q dan sumbu 0 . Dari hasil transformasi *park* tersebut dapat dilihat perbedaan antara keadaan normal dan terjadi gangguan.

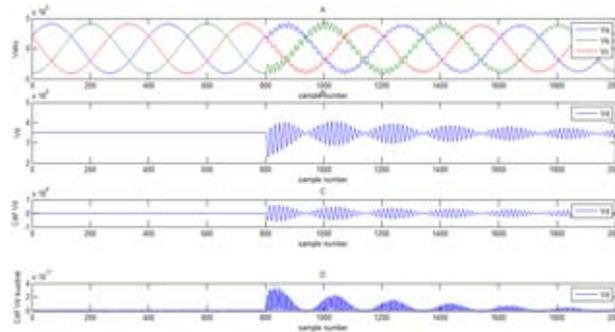


Gambar 5. (A) Wilayah Cilegon Tegangan Sumbu d , q , 0 Keadaan Normal. (B) Tegangan Sumbu d , q , 0 Saat Terjadi Hubung Singkat.

Gambar 5 adalah hasil keluaran sinyal transformasi pada wilayah Cilegon dapat dilihat perbedaan yang sangat jelas saat saluran pada keadaan normal dan mengalami gangguan. Dapat dilihat ketika saluran mengalami gangguan, sumbu d yang sebelumnya dalam *steady state* langsung menunjukkan lonjakan. Pada saat lonjakan itu dimana saat terjadi gangguan. Terjadinya lonjakan tersebut adalah karena adanya hubung singkat yang menyebabkan gelombang berjalan. Gelombang berjalan ini tidak hanya dipantulkan kembali ke wilayah Cilegon, tetapi juga diteruskan ke wilayah Cibinong. Sehingga pada wilayah Cibinong juga terlihat lonjakan tersebut. Tetapi karena adanya perbedaan jarak yang ada antara titik dimana terjadi gangguan sampai ke wilayah Cilegon dan titik gangguan sampai wilayah Cibinong, lonjakan sinyal di kedua ujung saluran memiliki perbedaan waktu (waktu kedatangan gelombang berjalan), dimana waktu kedatangan gelombang berjalan ini merupakan waktu awal terjadinya gangguan. Perbedaan waktu ini yang akan digunakan untuk menentukan jarak lokasi gangguan.

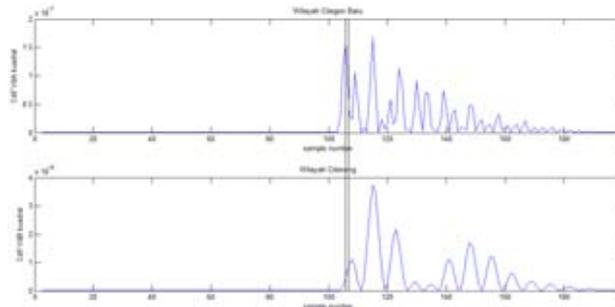
Untuk lebih akurat dalam menentukan awal terjadi gangguan dan menghilangkan nilai negatif, maka nilai $Cdif$ akan dikuatkan sehingga digunakanlah $[Cdif]^2$. Membuat nilai awal gangguan semakin besar, sehingga lonjakan semakin dapat terlihat.





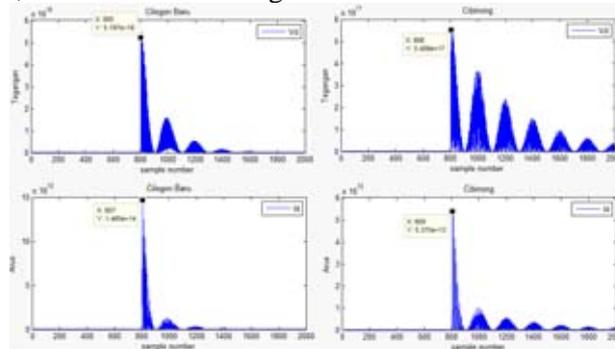
Gambar 6. (A) Tegangan Tiga Fasa, (B) Tegangan Sumbu d , (C) Tegangan Koefisien $Cdif$ Sumbu d , (D) Tegangan Koefisien $Cdif$ Sumbu d Dikuadratkan

Pada Gambar 6 dapat dilihat perbandingannya, dan $[Cdif]^2$ dapat lebih jelas dalam mendeteksi awal terjadi gangguan dibandingkan dengan yang lain. Selanjutnya akan dibandingkan antara waktu awal terjadi gangguan pada wilayah Cilegon Baru dan wilayah Cibinong, sehingga didapatkan perbedaan waktu.



Gambar 7. Perbandingan Lonjakan Awal Tegangan Antara Wilayah Cilegon Baru dan Cibinong

Pada Gambar 7 di atas dapat dilihat terdapat perbedaan pada lonjakan awal, dimana lonjakan awal ini adalah puncak waktu awal terjadinya gangguan pada kedua ujung saluran. Berikut akan disampaikan hasil simulasi untuk pengaruh jarak gangguan terhadap waktu awal terjadi gangguan menggunakan transformasi *park*. Pada analisa ini akan ditampilkan satu contoh hasil simulasi untuk jarak gangguan sejauh 39,243 km dari sisi Cilegon Baru.



Gambar 8. Hasil Transformasi *Park* Tegangan dan Arus Sumbu d Untuk Gangguan Satu Fasa Ke Tanah 39,243 km dari Cilegon Baru

Gambar 8 menunjukkan hasil transformasi *park* pada kedua sisi saluran untuk sinyal tegangan dan sinyal arus, dimana nilai sumbu x merupakan waktu kedatangan gelombang berjalan pada wilayah Cilegon Baru dan Cibinong. Berdasarkan Gambar tersebut diperoleh waktu kedatangan gelombang berjalan pada wilayah Cilegon Baru dan Cibinong. Saat simulasi telah ditentukan *switching times* gangguan hubung singkat pada waktu 0,04 detik sampai 0,0999 detik. Dari Gambar 7 dapat dilihat adanya perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan antara kedua sisi saluran, maka akan dihitung perbedaan waktu tersebut untuk digunakan sebagai *input* ANFIS dalam menentukan jarak lokasi gangguan.

$$t_{va} = \frac{805}{2000} \times 0,0999 = 0,04020975 \text{ s}$$



$$\begin{aligned}
 t_{vb} &= \frac{806}{2000} \times 0,0999 = 0,04030965 \text{ s} \\
 \Delta t_V &= t_{Va} - t_{Vb} = -0,0000999 \text{ s} \\
 t_{Ia} &= \frac{807}{2000} \times 0,0999 = 0,04030965 \text{ s} \\
 t_{Ib} &= \frac{810}{2000} \times 0,0999 = 0,0404595 \text{ s} \\
 \Delta t_I &= t_{Ia} - t_{Ib} = -0,00014985 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- t_{Va} = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cilegon untuk sinyal tegangan
- t_{Vb} = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cibinong untuk sinyal tegangan
- t_{Ia} = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cilegon untuk sinyal arus
- t_{Ib} = Waktu kedatangan gelombang berjalan di Cibinong untuk sinyal arus

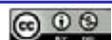
Dari perhitungan diatas diperoleh hasil selisih atau perbedaan waktu kedatangan gelombang berjalan (Δt_I dan Δt_V), yang mana kedua nilai tersebut nantinya akan dilatih oleh ANFIS dalam menentukan jarak lokasi gangguan. Dengan menggunakan tahapan-tahapan simulasi dan perhitungan yang sama dengan yang telah disampaikan untuk simulasi gangguan tiga fasa berjarak 39,243 km dari Cilegon Baru, maka dapat diperoleh pula waktu kedatangan gelombang berjalan dan selisihnya dengan berbagai skenario simulasi yang dituangkan dalam beberapa tabel dibawah ini.

Tabel 3. Perbedaan Waktu Kedatangan Gelombang Berjalan Δt_V (s)

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	-0,00015	-9,99E-05	0,0001499	0,0001499
26,162	-5,00E-05	-9,99E-05	-9,99E-05	-9,99E-05
39,243	-5,00E-05	-5,00E-05	-9,99E-05	-9,99E-05
52,324	0	-5,00E-05	0	0
65,045	0	5,00E-05	0	0
78,486	5,00E-05	5,00E-05	5,00E-05	5,00E-05
91,567	5,00E-05	5,00E-05	9,99E-05	9,99E-05
104,648	9,99E-05	9,99E-05	9,99E-05	9,99E-05
117,729	0,0001499	0,0001998	0,0001499	0,0001499

Tabel 4. Perbedaan Waktu Kedatangan Gelombang Berjalan Δt_I (s)

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	-	-2,00E-04	-	-
26,162	-2,00E-04	-1,50E-04	-2,00E-04	-1,50E-04
39,243	-9,99E-05	-9,99E-05	-1,50E-04	-9,99E-05
52,324	-5,00E-05	0	-5,00E-05	-5,00E-05



Tabel 4. Lanjutan

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
65,045	5,00E-05	0	0	0
78,486	5,00E-05	9,99E-05	5,00E-05	9,99E-05
91,567	1,50E-04	9,99E-05	1,50E-04	1,50E-04
104,648	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04	2,00E-04
117,729	0,0002997	0,0002498	0,0002498	0,0002498

Perbedaan waktu (Δt) merupakan selisih antara waktu awal terjadi gangguan sisi *sending end* dengan sisi *receiving end*. Saat jarak gangguan diubah semakin jauh dari wilayah *sending end*, nilai Δt semakin meningkat, sehingga terbentuknya *tren* dari perbedaan waktu tersebut. Untuk memudahkan pemodelan maka Δt akan dinormalisasi. Normalisasi ini bertujuan untuk mendapatkan data dengan ukuran yang lebih kecil yang mewakili data asli tanpa mengurangi karakteristik aslinya. Normalisasi terhadap data dilakukan agar keluaran jaringan sesuai dengan fungsi aktivasi yang digunakan. Normalisasi Δt tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

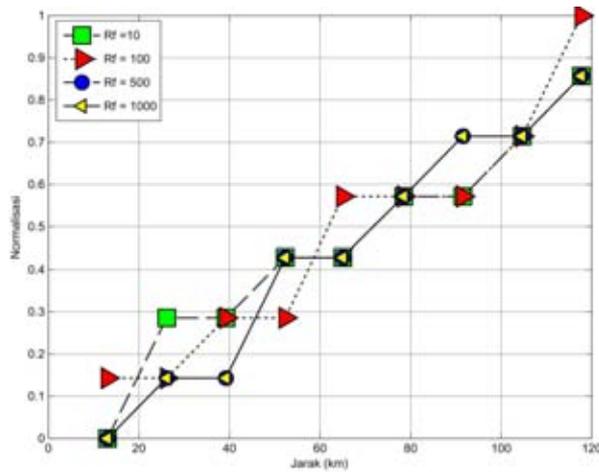
Tabel 5. Normalisasi Δt_v

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	0	0,1428571	0	0
26,162	0,2857143	0,1428571	0,1428571	0,1428571
39,243	0,2857143	0,2857143	0,1428571	0,1428571
52,324	0,4285714	0,2857143	0,4285714	0,4285714
65,045	0,4285714	0,5714286	0,4285714	0,4285714
78,486	0,5714286	0,5714286	0,5714286	0,5714286
91,567	0,5714286	0,5714286	0,7142857	0,7142857
104,648	0,7142857	0,7142857	0,7142857	0,7142857
117,729	0,8571429	1	0,8571429	0,8571429

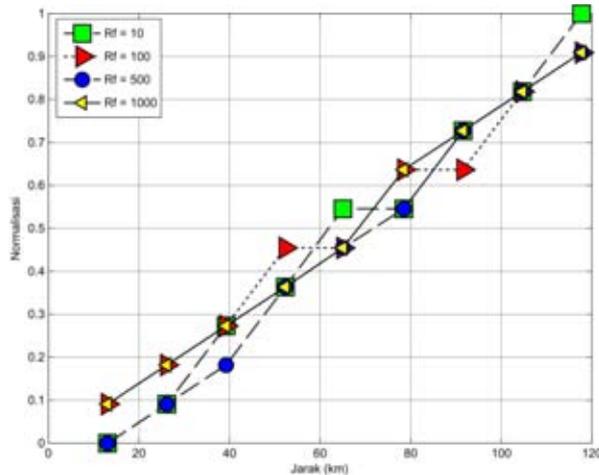
Tabel 6. Normalisasi Δt_t

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	0	0,0909	0	0,0909091
26,162	0,0909	0,182	0,0909	0,182
39,243	0,273	0,273	0,182	0,273
52,324	0,364	0,455	0,364	0,364
65,045	0,545	0,455	0,4545455	0,4545455
78,486	0,545	0,636	0,545	0,636
91,567	0,727	0,636	0,727	0,727
104,648	0,818	0,818	0,818	0,818
117,729	1	0,9090909	0,9090909	0,9090909





Gambar 9. Grafik Normalisasi Δt_V Terhadap Jarak (km)



Gambar 10. Grafik Normalisasi Δt_I Terhadap Jarak (km)

C. Hasil Simulasi ANFIS

Setelah didapatkannya normalisasi dapat dilihat sebuah *tren* dimana semakin jauh jarak gangguan maka nilai normalisasi semakin besar. Data tersebut memperlihatkan normalisasi sinyal tegangan dan sinyal arus. Dua normalisasi sinyal tegangan dan sinyal arus akan digunakan sebagai *input* ANFIS dengan melihat sinyal tegangan dan sinyal arus secara individu maupun secara bersamaan, hal ini dibutuhkan untuk membandingkan dan untuk mencapai hasil yang akurat dalam menentukan jarak lokasi gangguan.

Dengan didaptkannya data normalisasi dari semua skenario gangguan hubung singkat, maka data tersebut akan dilatih oleh ANFIS untuk menentukan jarak lokasi gangguan. Data yang digunakan dalam pengolahan ANFIS ini berupa *input* dan *output*. *Input*-nya berupa perbedaan waktu Δt_V (V), perbedaan waktu Δt_I (I) dan perbedaan waktu Δt_V dan Δt_I (V dan I), untuk *output*-nya memakai jarak gangguan yang diinginkan (X). Setelah didapat *input* dan *output* selanjutnya dibutuhkan *Membership Function*/MF dalam pengolahan data. Untuk tipe MF dalam pengolahan ini dipakai tipe *generalize bell*.

Data yang digunakan adalah data hasil simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa sebanyak 36 buah dibangkitkan dengan listing program membaca file gangguan dan pengolahan data menggunakan ANFIS (lampiran).

1. Memasukkan Data

Data yang akan dilatih (*training*) adalah sebanyak 36 buah.

2. Pemilihan Jumlah Nilai Keanggotaan (*Membership Function*/MF)

Dengan menggunakan fungsi keanggotaan *generalize bell* pada tiap pelatihan ANFIS dengan jumlah nilai keanggotaan beda-beda, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 7. MAE Jumlah Nilai Keanggotaan (*Membership Function*/MF)

Jumlah MF	MAE
2	3,02
3	1,79
5	1,33

Berdasarkan Tabel 7. didapatkan hasil jumlah MF 5 memiliki MAE paling kecil. Dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah nilai keanggotaan atau *membership function* (MF) maka semakin besar akurasi data yang akan dilatih. Dengan demikian masing-masing *input* akan memakai jumlah *membership function* (MF) 5.

3. Pemilihan *Input*

Berdasarkan analisis sebelumnya diperoleh bahwa jumlah MF terbaik adalah 5. Kemudian dilakukan pelatihan ANFIS dengan jumlah MF 5 terhadap beberapa *input* yang berbeda. Diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 8. MAE *Input* (*Membership Function*/MF)

Input	MAE
V	5,25
I	2,81
V dan I	1,33

Dari Tabel 8. didapatkan *input* terbaik yaitu yang menghasilkan MAE terkecil. Disimpulkan bahwa *input* terbaik adalah Perbedaan Waktu Δt_V dan Δt_I (V dan I).

4. Analisis Hasil

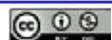
Dari pelatihan yang dilakukan pada data diperoleh kesimpulan bahwa model ANFIS terbaik adalah dengan jumlah MF 5, serta *input* perbedaan waktu Δt_V dan Δt_I (V dan I). Dari hasil simulasi diperoleh nilai MAE sebesar 1,33. Setelah didapatkan model ANFIS terbaik, maka akan diolah 36 data pelatihan (*training*). Semua data diolah oleh ANFIS dengan *input* perbedaan waktu Δt_V dan Δt_I (V dan I) serta *output* jarak gangguan aktual (X), setelah semua data diolah maka diperoleh hasil *training* yang merupakan *output* dari jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS.

Tabel 9. Jarak Gangguan Pengolahan ANFIS (km)

Jarak Aktual (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
13,081	13,08295	19,62117	13,08295	13,07479
26,162	26,15961	30,52977	19,62117	30,52977
39,243	39,23768	39,23768	30,52977	39,23212
52,324	52,32444	52,32741	52,32444	52,32444
65,045	65,04689	65,05013	65,0437	65,0437
78,486	78,48179	82,84917	78,48179	82,84917
91,567	91,56127	82,84917	91,56661	91,56661
104,648	104,6485	104,6485	104,6485	104,6485
117,729	117,7309	117,7293	117,7273	117,7273

Tabel 10. Error Jarak Pengolahan ANFIS (%)

Jarak (km)	Rf = 10 (Ω)	Rf = 100 (Ω)	Rf = 500 (Ω)	Rf =1000 (Ω)
------------	-------------	--------------	--------------	--------------



				(Ω)
13,081	0,014937	49,99748	0,014937	0,047465
26,162	0,009119	16,6951	25,00126	16,6951
39,243	0,013569	0,013569	22,20327	0,027733
52,324	0,000835	0,006514	0,000835	0,000835
65,045	0,0029	0,00789	0,001992	0,001992
78,486	0,005361	5,559163	0,005361	5,559163
91,567	0,006261	9,520717	0,000423	0,000423
104,648	0,000441	0,000441	0,000441	0,000441
117,729	0,001579	0,000237	0,001428	0,001428

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tabel 9 dapat dikatakan bahwa jarak gangguan dan resistansi gangguan memberikan pengaruh terhadap tingkat akurasi deteksi lokasi gangguan. Hal ini dapat dilihat pada perbedaan jarak gangguan aktual dengan jarak gangguan hasil simulasi. Nilai maksimal dari perbedaan jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 8,7178 km, sedangkan nilai minimal dari perbedaan jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 0,0003 km.

Besarnya presentase kesalahan yang menunjukkan fluktuasi tersebut dapat disebabkan oleh faktor kesalahan dalam penentuan waktu kedatangan gelombang berjalan. Faktor tersebut akan mempengaruhi hasil perhitungan deteksi lokasi gangguan sehingga dapat menimbulkan *error*.

Faktor kesalahan dalam menentukan waktu kedatangan gelombang berjalan memiliki kaitan yang erat dengan ketelitian pengamatan gelombang berjalan. Gelombang berjalan yang dihasilkan dari titik gangguan pada dasarnya merupakan gelombang transien yang terjadi dalam waktu yang sangat cepat. Oleh karena itu penentuan pengambilan waktu sampel (*time sampling*) akan sangat mempengaruhi waktu yang tercatat di kedua ujung saluran.

Untuk gangguan berada di tengah-tengah saluran yaitu 65,045 km dari Cilegon Baru dan Cibinong besarnya *error* cenderung mendekati nol begitu pula pada waktu kedatangan gelombang berjalan. Hal ini dapat terjadi karena jarak dari lokasi gangguan ke Cilegon Baru dan Cibinong adalah sama sehingga waktu kedatangan gelombang berjalan tersebut akan sama. Dengan demikian, hasil deteksi lokasi gangguan akan sama dengan jarak aktual sehingga *error* yang dihasilkan cenderung mendekati 0 %.

Sedangkan ketika gangguan berada dekat dengan ujung saluran Cilegon terjadi *error* yang relatif cukup besar. Hal ini dapat juga disebabkan oleh faktor-faktor yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu kesalahan dalam pengamatan waktu kedatangan gelombang berjalan karena pengaruh *time sampling*.

Selain faktor tersebut, kesalahan yang cukup besar juga dapat disebabkan oleh jarak gangguan itu sendiri yang terlalu dekat dengan sisi pengirim. Pada saat terjadi gelombang berjalan, gelombang akan dipantulkan dan diteruskan. Mengenai refleksi gelombang berjalan (pantulan) bahwa gelombang berjalan yang dibangkitkan oleh gangguan akan menuju ke keadaan diskontinyu seperti gangguan hubung singkat yang menyebabkan karakteristik impedansi pada suatu titik gangguan berubah. Apabila gangguan terjadi sangat dekat dengan ujung saluran transmisi maka pemantulan gelombang di sisi saluran tersebut akan berlangsung sangat cepat sehingga gelombang yang tercatat akan sangat rapat, hal ini menyebabkan penentuan waktu kedatangan gelombang berjalan akan lebih sulit dilakukan.

4. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisa yang didapat pada tugas akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode kombinasi transformasi *park* dan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dapat digunakan untuk menentukan jarak lokasi gangguan pada saluran transmisi.
2. Desain ANFIS terbaik adalah dengan jumlah nilai keanggotaan (MF) 5 serta *input* perbedaan waktu Δt_v dan Δt_r , diperoleh nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 1,33.



3. Nilai maksimal dari selisih jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 8,7178 km, sedangkan nilai minimal dari selisih jarak gangguan hasil pengolahan ANFIS dengan jarak gangguan asli adalah 0,0003 km.

B. Saran

Metode yang dipaparkan pada tugas akhir ini cukup baik dan memiliki akurasi tinggi sehingga cukup baik untuk diterapkan dalam prosedur deteksi lokasi gangguan. Akan lebih baik lagi jika dilengkapi dengan klasifikasi gangguan.

REFERENSI

- [1] Singh, Manohar. dan Maheshwari. (2011). *Transmission Line Fault Detection and Classification*. Prosiding Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT).
- [2] Saha, Jan. dkk. (2010). *Fault Location on Power Networks*. Springer.
- [3] Lopes, F. V. dkk. (2011). *Fault Location on Transmission Lines Based on Travelling Waves*. Jurnal International Conference on Power Systems Transients (IPST).
- [4] Toliyat, Hamid A. dan Campbell, Steven G. (2004). *DSP-Based Electromechanical Motion Control*. Departement of Electrical Engineering Texas A and M University.
- [5] Lopes, F. V. dkk. (2013). *A Traveling-Wave Detection Method Based on Park's Transformation for Fault Locators*. Jurnal IEEE Transaction on Power Delivery Vol. 28, No. 23.
- [6] Rozieanshah, Rhoibi. (2007). *Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi Menggunakan Transformasi Wavelet*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Insitut Teknologi Bandung.
- [7] Indrabayu. dkk. (2012). *Prediksi Curah Hujan Dengan Jaringan Syaraf Tiruan*. Prosiding Universitas Hasanuddin.
- [8] Ahmed, A. A. Masrur. dkk. (2015). *Application of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) to Estimate The Biochemical Oxygen Deman (BOD) of Surma River*. Jurnal King Saud University.
- [9] Muda, Galih Jatra. (2014). *Analisis Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Transmisi dengan Menggunakan Metode Gelombang Berjalan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [10] Wahyu, Febrianto. (2013). *Deteksi Gangguan pada Saluran Transmisi menggunakan Wavelet dan Discriminant Analysis*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Budi, Anggi S. (2013). *Deteksi Lokasi Gangguan pada Saluran Transmisi menggunakan Gelombang Berjalan dan Transformasi Park*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Kusumadewi, Sri. dan Hartati, Sri. (2010). *Neuro Fuzzy: Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [13] Elbaset, Adel A. dan Hiyama, Takashi. (2009). *Fault Detection and Classification in Transmission Lines Using ANFIS*. Jurnal IEEJ Transactions on Industry Applications.
- [14] Alimuddin. dkk. (2012). *Temperature Control System in Closed House for Broilers Based on ANFIS*. Jurnal TELKOMNIKA Vol. 10, No. 1, pp. 75-82.
- [15] Arafiyah, Ria. dan Alimuddin. (2010). *Prediction of Price of Local Fruits in Jakarta With ANFIS*. Jurnal AFIFTA International Conference.



Minimum System Berbasis Mikrokontroler ATmega32 untuk Pemantauan dan Tampilan Kondisi Instalasi Kelistrikan Otobis

Arief Goeritno¹, Irvan Mustofa²

¹ Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Otomasi,
Jurusan/Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Ibn Khaldun Bogor

²PT Prima Sentris Saputra

Jl. Bintang Mas no. 23, Nanggewer, Cibinong, Kabupaten
Bogor 16916

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017

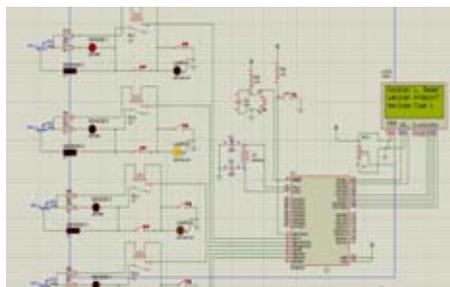
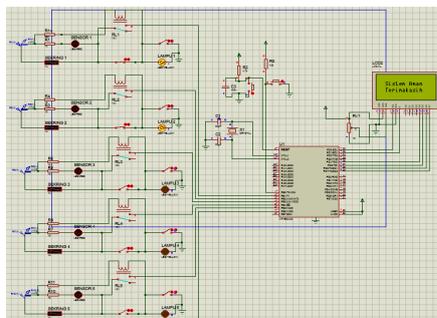
Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :

arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Fabricating and performance measurement on a minimum system based on ATmega32 microcontroller for monitoring and display condition of installation of electrical bus, through (a) the integration between subsystems for the acquisition of the minimum system structure based on microcontroller ATmega 32 and (b) the measurement of the performance of the minimum system through the provision of artificial conditions. Structure of minimum system based on microcontroller ATmega32, namely the determination of sensor-transducer system and power supply, manufacture and wiring board for ATmega32 microcontroller systems, and integration of sensor-transducers, ATmega32 microcontroller module, and Liquid Crystal Display (LCD). Giving artificial conditions of the prototype systems in the form of acquisition did not happen to see the condition of short circuit or system disruption safe and short circuit conditions and necessary corrective actions. The display on the LCD during a short circuit, a command examination of the fuse with the path indicated for improvement at the fuse box through the first emphasis on push-bottom. For conditions where further steps are needed, then the second emphasis on result Shown push button action to be taken, namely the examination based on the color of the cable as the corrective action to be performed by users..

Keywords: Minimum system, ATmega32 microcontroller, monitoring and display condition of installation of electrical bus.

Abstrak

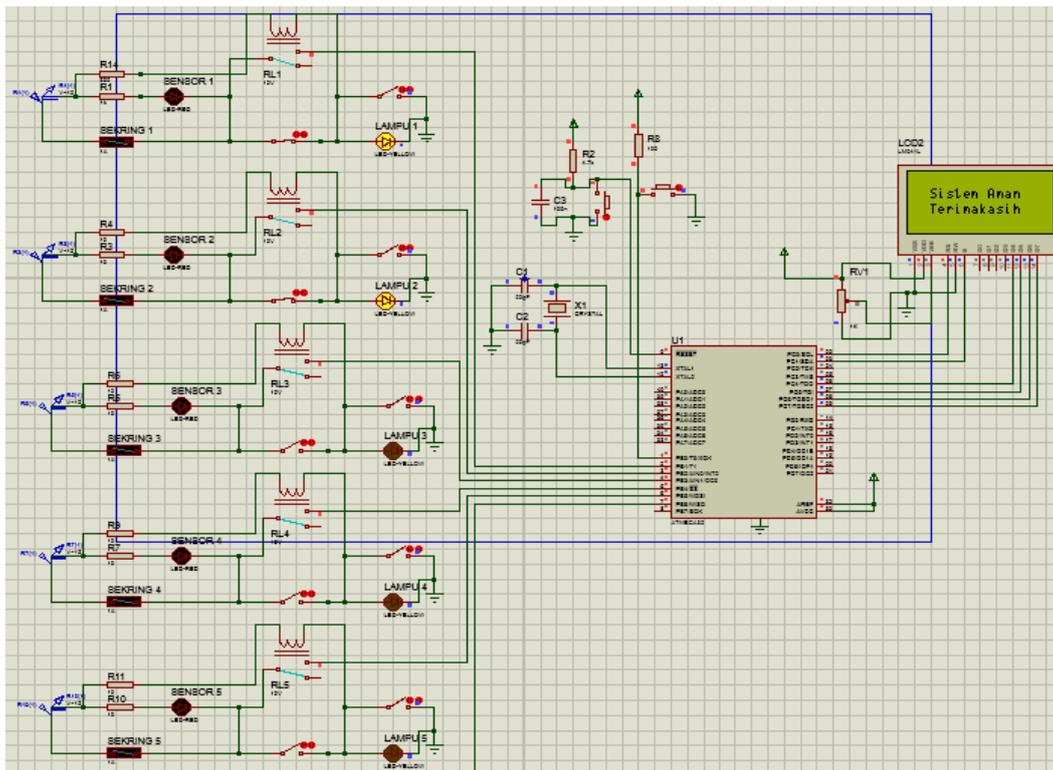
Telah dilakukan pembuatan dan pengukuran kinerja terhadap minimum system berbasis mikrokontroler Atmega32 untuk pemantauan dan tampilan kondisi instalasi kelistrikan otobis, melalui (a) pengintegrasian semua subsistem untuk perolehan struktur minimum system berbasis mikrokontroler ATmega 32 dan (b) pengukuran kinerja terhadap minimum system melalui pemberian kondisi buatan. Struktur minimum system berbasis mikrokontroler ATmega32, yaitu penentuan sistem sensor-transduser dan catu daya, pembuatan board dan pengawatan untuk sistem mikrokontroler ATmega32, dan pengintegrasian sensor-transduser, modul mikrokontroler ATmega32, dan Liquid Crystal Display (LCD). Pemberian kondisi buatan terhadap minimum system berupa perolehan tampilan kondisi tidak terjadi gangguan hubung singkat (sistem aman) dan kondisi terjadi gangguan hubung singkat dan perlu tindakan perbaikan. Tampilan pada LCD saat terjadi gangguan hubung singkat, berupa perintah pemeriksaan terhadap sekering dengan jalur yang terindikasi untuk perbaikan pada boks sekering melalui penekanan pertama pada push bottom. Untuk kondisi dimana diperlukan langkah lanjutan, maka penekanan kedua pada push button berakibat ditampilkan tindakan yang harus dilakukan, yaitu pemeriksaan berdasarkan warna kabel sebagai tindakan perbaikan yang harus dilakukan pengguna.

Kata-kata Kunci— Minimum system, mikrokontroler ATmega32, pemantauan dan tampilan kondisi instalasi kelistrikan pada otobis.

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

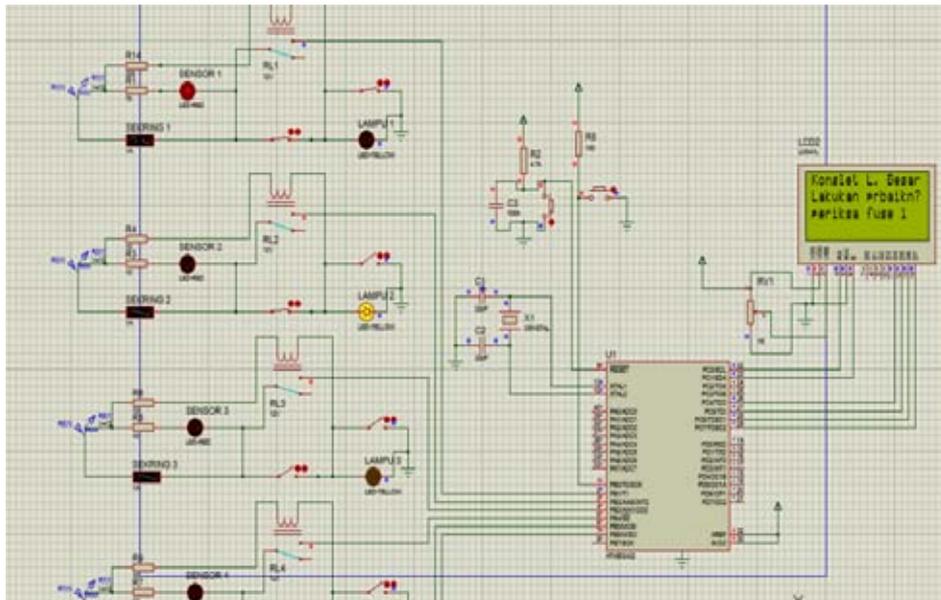
1. PENDAHULUAN

Minimum system berbasis mikrokontroler ATmega32 berupa pembuatan sistem elektronika [1] dan prototipe telah diuji verifikasi [1] terhadap program aplikasi *Proteus* [2]. Rancangan *minimum system* berupa rangkaian elektronika yang dilakukan melalui: (i) perancangan sistem elektronika [3] berbantuan program aplikasi *Easily Applicable Graphical Layout Editor* atau *EAGLE* [4],[5],[6], (ii) pembuatan algoritma dan penulisan sintaks berbasis bahasa pemrograman, dan proses uji verifikasi [1] berbantuan program aplikasi *Proteus*. Perancangan sistem elektronika [3] berupa: (i) sistem sensor-transduser [7], (ii) sistem mikrokontroler ATmega32 [8], (iii) sistem *Liquid Crystal Display* atau *LCD* [9], dan (iv) catu daya. Pembuatan algoritma dan penulisan sintaks program [1] digunakan untuk tahapan: (i) masukan sensor-transduser pada mikrokontroler, (ii) konfigurasi *pin*, (iii) deklarasi konstanta dari masukan, (iv) program utama, dan (v) tampilan keadaan pada *LCD*. Pelaksanaan uji verifikasi berupa perlakuan terhadap program berbasis bahasa *BasCom* [10] hasil rancangan [1] yang disimulasikan pada program aplikasi *Proteus* [2] melalui pemberian asumsi kejadian hubung singkat [1]. Tahapan awal berupa perangkaian kembali rangkaian elektronika [3] dengan program aplikasi *Proteus* [2], selanjutnya program berbasis bahasa *BasCom* [10] di-*comfile* menjadi bentuk heksadesimal dan di-*download*-kan ke aplikasi *Proteus* [2] untuk keperluan uji verifikasi terhadap rangkaian tersebut. Uji verifikasi terhadap *pin* pada *port-B* bernilai 1, maka ditampilkan letak kejadian hubung singkat dan tindakan perbaikan yang harus dilakukan [1]. Untuk kondisi dimana masukan *port-B* bernilai 0, maka pada *LCD* ditampilkan sistem aman, karena tidak terjadi hubung singkat [1]. Keberhasilan uji verifikasi pada aplikasi *Proteus* [2] ditindaklanjuti dengan penanaman sintaks program [1] berbahasa *BasCom* [10] ke *chip* mikrokontroler ATmega32 terprogram [1] berbantuan program aplikasi *AVRdude* [11]. Tampilan uji verifikasi untuk sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 berbantuan program aplikasi *Proteus* [2], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



a. Uji verifikasi kondisi pantauan tidak terdapat gangguan hubung singkat





b. Uji verifikasi kondisi pantauan saat terdapat gangguan hubung singkat di salah satu jalur

Gambar. 1 Tampilan uji verifikasi untuk sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 berbantuan program aplikasi Proteus

Struktur instalasi kelistrikan pada otobis pada umumnya masih berbasis konsep lama yang bertumpu kepada sekring [12], dimana sekring sebagai satu-satunya pengaman sekaligus indikator keberadaan atau ketidakberadaan pasokan daya listrik ke beberapa perangkat listrik yang terdapat pada otobis. Pemantauan terhadap gangguan hubung singkat (*short circuit*) yang mungkin terjadi di instalasi kelistrikan pada otobis, masih dilakukan melalui panel sekring [12]. Untuk kondisi dimana terjadi gangguan hubung singkat pada jalur ke beban listrik, maka perangkat listrik pada otobis tidak dapat dioperasikan kembali [12]. Pengoperasian kembali jalur yang telah terputus tersebut, dilakukan melalui penggantian sekring, karena elemen lebur sekring tersebut telah melebur akibat arus lebih. Gangguan hubung singkat, adalah suatu kejadian dengan kondisi resistansi listrik sangat kecil yang berakibat pada aliran listrik yang sangat besar dan apabila tidak dapat diantisipasi dapat berakibat terjadi ledakan dan/atau kebakaran. Hubung singkat tersebut berakibat kepada pasokan daya listrik ke perangkat listrik menjadi terhambat [12]. *Review* instalasi kelistrikan model lama pada otobis berupa sistem kelistrikan *body*, yaitu instalasi berbagai rangkaian penerangan pada kendaraan [12]. Fungsi sistem kelistrikan *body*, adalah sebagai penerangan pada ruangan dan kendaraan untuk pemberian tanda-tanda kepada pengemudi lain pada saat akan membelok maupun akan berhenti, sehingga pengemudi akan aman dari kecelakaan. Selain itu, juga untuk pemberian indikasi pada pengemudi, sebagai contoh lampu tanda belok ke kanan atau kiri sudah menyala, kondisi bahan bakar masih penuh atau sudah habis, dan lain-lain. Rangkaian sistem kelistrikan pada otobis, meliputi: (a) instalasi kelistrikan bagian luar (*exterior*) dan (b) instalasi kelistrikan bagian dalam (*interior*). Instalasi kelistrikan bagian luar terdiri atas dua komponen listrik, yaitu: (i) lampu depan dan (ii) lampu belakang. Komponen lampu depan terdiri atas: (a) lampu jauh, (b) lampu dekat, (c) lampu senja/kota, dan (d) lampu sein (tanda berbelok).

Instalasi kelistrikan model baru pada otobis mencakup pembaruan terhadap ukuran diameter kabel untuk penyesuaian beban pada sistem listrik bagian luar, sistem listrik bagian dalam, dan penggunaan sistem kontrol berbasis mikrokontroler untuk pemantauan dan tampilan kondisi saat terdapat gangguan hubung singkat. Basis data instalasi kelistrikan otobis model baru pada otobis, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Basis data instalasi kelistrikan otobis model baru pada otobis

(a) bagian luar (*exterior*)

Nama Komp.	Teg. (volt)	Arus (A)	Daya (watt)	Penamp. Kabel (mm ²)	Warna
Lampu Dekat	24	6	72	1,5	Abu-abu
Lampu Jauh	24	5,8	70	1,5	Ungu
Lampu Seri	24	2	10	0,75	Abu-abu
Lampu Sein	24	3,5	21	0,75	Kuning
Lampu Sein Spakbor	24	3,5	21	0,75	Kuning
Lampu Seri Atas	24	3,5	21	0,75	Abu-abu
Lampu Rem	24	1,75	21	0,75	Biru
Lampu Mundur	24	1,75	21	0,75	Hijau
Lampu Plat Nomor	24	0,03	0,726	0,75	Abu-abu
Lampu <i>Spoiler</i>	24	2,4	57,6	0,75	Abu-abu
Lampu Ruang Mesin	24	1,04	25	0,75	Cokelat

(b) bagian dalam (*interior*)

Nama Komp.	Teg. (volt)	Arus (A)	Daya (watt)	Penamp. Kabel (mm ²)	Warna
Lampu Plafon	24	10,8	259,2	0,75	Merah
Lampu Kaca	24	10,8	259,2	0,75	Merah Muda
Lampu <i>Smoking Area</i>	24	3	72	0,75	Merah
Lampu Embos Plafon	24	2,4	57,6	0,75	Biru
Lampu Tidur	24	3	72	0,75	Biru
Lampu <i>Louver</i>	24	1,1	26,62	0,75	Hijau
Kabel Aki				8	Merah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan pembuatan dan pengukuran kinerja terhadap *minimum system* berbasis mikrokontroler ATmega32 untuk pemantauan dan tampilan kondisi instalasi kelistrikan pada otobis, sehingga diperoleh tujuan penelitian melalui (a) pengintegrasian antar subsistem untuk perolehan struktur sistem minimalis berbasis mikrokontroler ATmega 32 dan (b) pengukuran kinerja terhadap *minimum system* melalui pemberian kondisi buatan.

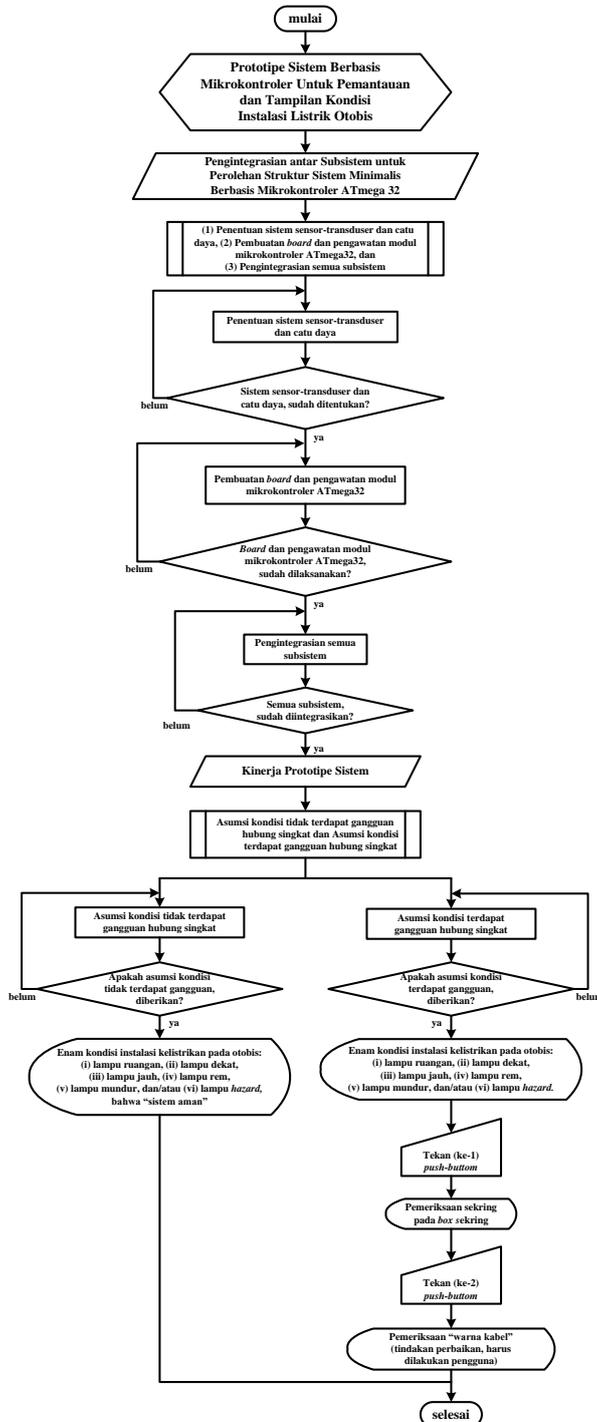
2. BAHAN-ALAT DAN METODE PENELITIAN

A. Bahan-alat Penelitian

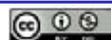
Bahan penelitian berupa analogi instalasi kelistrikan pada otobis berupa enam jalur, seperangkat prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler ATmega32 [8] yang telah ditanamkan program aplikasi berbasis bahasa *BasCom* [10], dan catu daya berupa akumulator. Alat penelitian berupa multimeter yang diposisikan pada pilihan untuk pengukuran tegangan atau resistans.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan-tahapan untuk pencapaian dan sesuai dengan tujuan penelitian. Terdapat dua tahapan, yaitu: (a) pengintegrasian semua subsistem untuk sebuah sistem minimalis dan (b) pengukuran kinerja prototipe sistem berbasis mikrokontroler ATmega32. Pengintegrasian merupakan tahapan yang disesuaikan terhadap hasil uji verifikasi yang telah diperoleh [1], sedangkan pengukuran kinerja sistem control berupa pemberian kondisi berbeda terhadap sistem sensor-transduser untuk tampilan kondisi tidak terjadi gangguan hubung singkat atau dikatakan sistem aman dan kondisi terjadi gangguan hubung singkat dan perlu tindakan perbaikan. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir metode penelitian

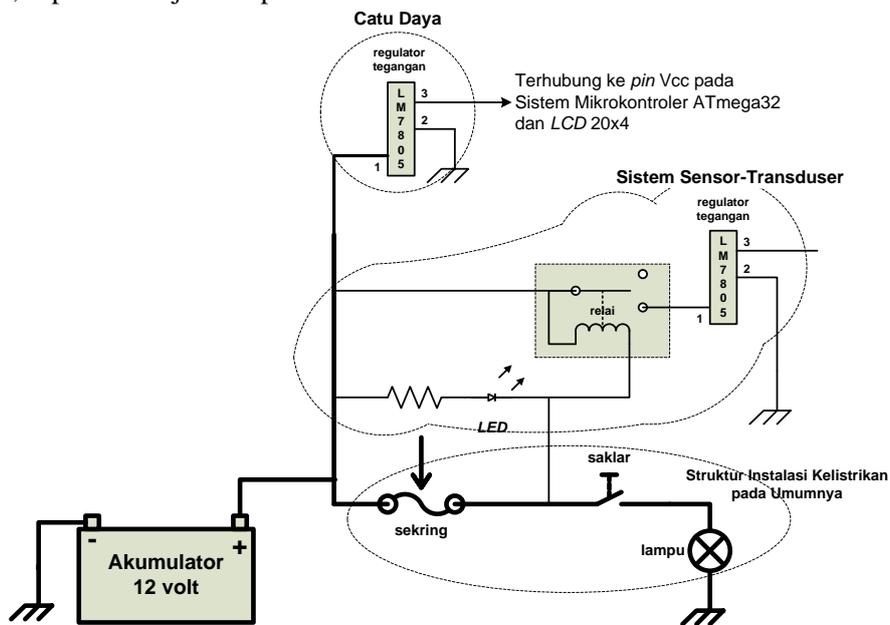


Berdasarkan Gambar 2 ditunjukkan, bahwa langkah-langkah untuk integrasi yang dilakukan sesuai rangkaian analogi instalasi kelistrikan model baru pada otobis, yaitu (1) penentuan sistem sensor-transduser dan catu daya, (2) pembuatan *board* dan pengawatan modul mikrokontroler ATmega32, dan (3) pengintergrasian sensor-transduser, modul mikrokontroler ATmega32, dan LCD. Langkah-langkah untuk pengukuran kinerja prototipe sistem pemantauan dan tampilan melalui dua kondisi. Pertama, pemberian kondisi berupa asumsi tidak terjadi gangguan hubung singkat, sehingga tampilan kondisi instalasi kelistrikan “sistem aman”, ditekankan kepada observasi terhadap enam kondisi instalasi kelistrikan pada otobis, yaitu: (i) lampu ruangan, (ii) lampu dekat, (iii) lampu jauh, (iv) lampu rem, (v) lampu mundur, dan (vi) lampu *hazard*. Kedua, pemberian kondisi berupa asumsi terjadi gangguan hubung singkat, sehingga perlu tindakan perbaikan. Asumsi terjadi gangguan hubung singkat, ditekankan kepada observasi terhadap enam kondisi instalasi kelistrikan pada otobis, yaitu: (i) lampu ruangan, (ii) lampu dekat, (iii) lampu jauh, (iv) lampu rem, (v) lampu mundur, dan (vi) lampu *hazard*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Integrasi Semua Subsistem untuk Sebuah Sistem Minimalis

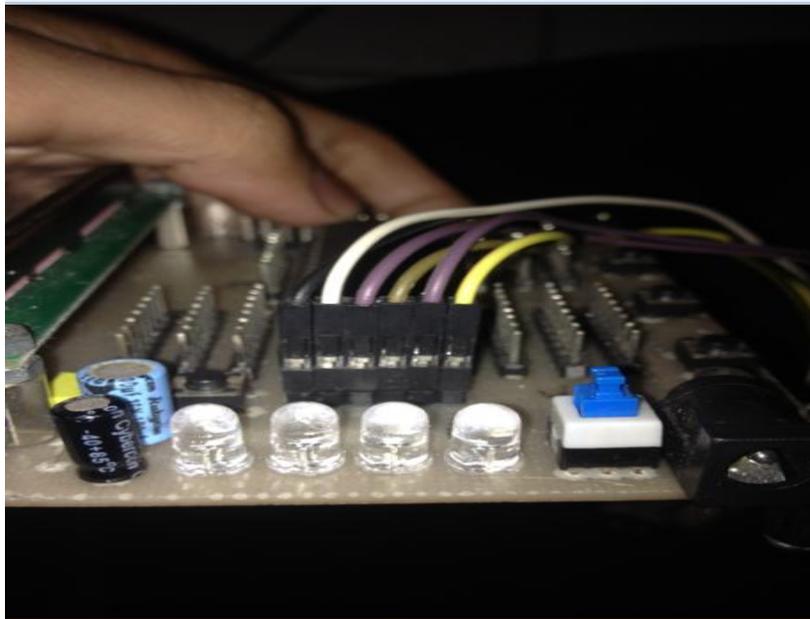
1) Sistem sensor-transduser dan catu daya: Komponen-komponen sebagai pendeteksi keberadaan gangguan hubung singkat pada saat instalasi kelistrikan otobis terdapat gangguan hubung singkat dan catu daya untuk pasokan daya ke sistem. Diagram skematis penentuan sensor-transduser dan catu daya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram skematis sensor-transduser dan catu daya

Berdasarkan Gambar 3 ditunjukkan, bahwa sensor pendeteksi kondisi instalasi kelistrikan dipilih LED yang terpasang paralel dengan kutub-kutub akumulator dan diseri dengan sebuah resistor. Relai dan IC regulator LM7805 dalam rangkaian ini digunakan sebagai transduser. Komponen IC LM7805, adalah regulator 5 volt *dc* melalui keluaran (*output*) teregulasi dengan nilai 4,8-5,2 volt *dc* yang dihubungkan ke *pin* masukan ADC pada mikrokontroler.

2) *Board* dan pengawatan untuk sistem mikrokontroler ATmega32: Perolehan *board* untuk sistem mikrokontroler ATmega32 melalui tahapan-tahapan pengawatan sistem kontrol berbantuan program aplikasi EAGLE, sehingga diperoleh tata letak komponen dan diperoleh bentuk fisis akhir sistem kontrol. *Board* dan pengawatan untuk sistem mikrokontroler ATmega32, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 *Board* dan pengawatan untuk sistem mikrokontroler ATmega32

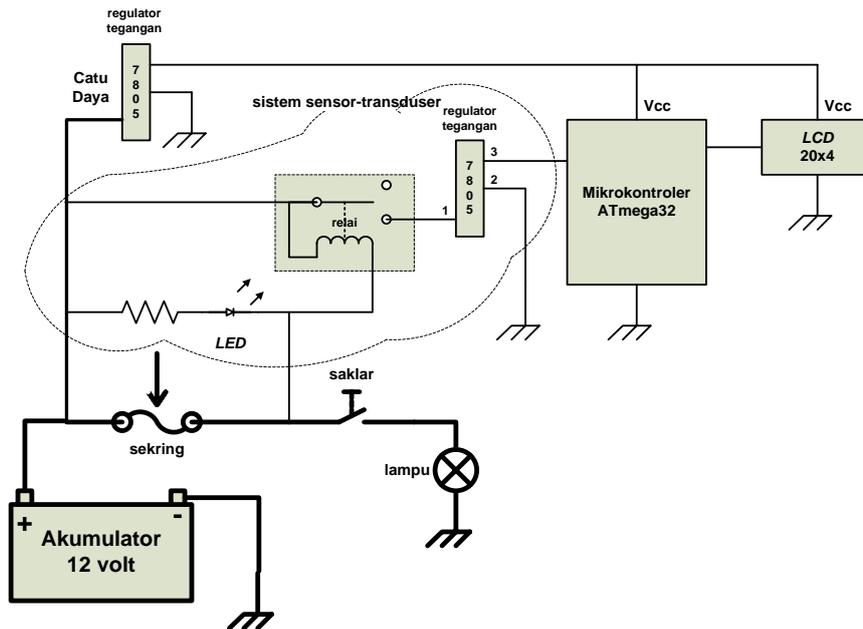
Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan, bahwa komponen dipasang sesuai dengan gambar yang telah dibuat dan dicetak pada *PCB*. Papan tercetak (*PCB*) dibor dengan *mini drill* untuk penempatan kaki/*pin* komponen, kemudian disambung dengan bantuan timah yang dilelehkan oleh *solder* listrik, agar pemasangan komponen ke *PCB* pada *board* prototipe untuk sistem mikrokontroler benar-benar terhubung. Penempatan dan pemasangan komponen pada *board* untuk sistem mikrokontroler, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Penempatan dan pemasangan komponen pada *board* untuk sistem mikrokontroler

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, bahwa *board* untuk mikrokontroler ATmega32 dibutuhkan masukan (*input*) tegangan 5 volt *dc* dari catu daya (*power supply*) yang berasal dari keluaran *IC* regulator 7805 untuk ATmega32 dan *LCD* 20x4. *Board* untuk mikrokontroler ATmega32 menyediakan lima *pin* yang digunakan untuk konektor catu daya 5 volt *dc*, sensor, *LCD* 4x20, *downloader*, dan keluaran (*output*). Lima *pin* tersebut merupakan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang berasal dari *pin* ATmega32.

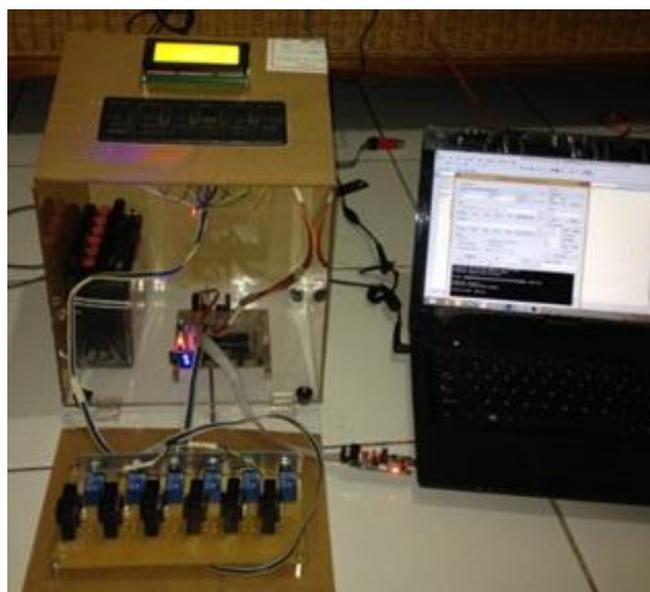
3) *Integrasi sensor transduser, modul mikrokontroler ATmega32, dan LCD*: Diagram skematis sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 untuk tampilan kondisi instalasi kelistrikan pada otobis, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram skematis sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 untuk tampilan kondisi instalasi kelistrikan pada otobis

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa sensor pendeteksi kondisi instalasi kelistrikan dipilih adalah *LED* terpasang paralel dengan kutub-kutub akumulator yang disertai dengan sebuah resistor. Komponen ini digunakan untuk pendeteksi keberadaan *ground* pada saat instalasi kelistrikan otobis terjadi hubung singkat. Relai dan *IC* regulator 7805 dalam rangkaian ini digunakan sebagai transduser. *Chip (IC)* 7805 adalah regulator 5 volt *dc* melalui keluaran (*output*) teregulasi dengan nilai 4,8-5,2 volt *dc* yang dihubungkan ke *pin* masukan *ADC* pada mikrokontroler. Untuk keperluan uji validasi berupa pengukuran performansi sistem kontrol, digunakan sebuah miniatur otobis yang telah diberi rangkaian analogi instalasi kelistrikan otobis pada umumnya.

Integrasi sensor transduser, modul mikrokontroler ATmega32, dan *LCD*, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Integrasi sensor transduser, modul mikrokontroler ATmega32, dan *LCD*

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa *pin* serial data yang terhubung ke mikrokontroler memberikan perintah pengalamatan pada *pin* data. *Pin* yang digunakan pada modul sensor terletak pada *port-A*, dimana dari 8 *pin* yang tersedia hanya digunakan 6 *pin* saja, yaitu A1, A2, A3, A4, A5 dan A6. Hal itu berkaitan dengan asumsi tempat untuk enam buah lampu. Untuk sambungan ke *LCD*, terletak pada *port-D*, dengan 8 *pin* tersedia hanya digunakan 6 *pin*, yaitu D2, D3, D4, D5, D6, dan D7.

B. Kinerja Prototipe Sistem Berbasis Mikrokontroler ATmega32

Seperangkat rangkaian elektronika pada sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 dibuat dalam kotak akrilik ukuran 30 cm x 25 cm x 20 cm, tempat penyimpanan sistem kontrol dan akumulator. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 untuk tampilan pantauan kondisi instalasi kelistrikan pada otobis, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 untuk tampilan pantauan kondisi instalasi kelistrikan pada otobis

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa sistem kontrol berbasis mikrokontroler ATmega32 dihubungkan ke miniatur otobis yang telah diberi analogi instalasi kelistrikan. Terdapat dua kondisi yang menjadi acuan dari hasil uji validasi rangkaian ini, yaitu a) tampilan kondisi saat diasumsikan tidak terjadi gangguan hubung singkat dan b) tampilan kondisi saat diasumsikan terjadi gangguan hubung singkat.

1) *Tampilan kondisi saat diasumsikan tidak terjadi gangguan hubung singkat*: Pengkondisian saat rangkaian listrik pada otobis tidak terjadi hubung singkat, adalah pemberitahuan pada *LCD* berupa tulisan “Sistem Aman Terimakasih”. Pemberitahuan muncul, karena pada sistem mikrokontroler menerima masukan sinyal digital dari rangkaian sensor-transduser bernilai 0. Hasil uji validasi enam asumsi tidak terjadi gangguan hubung singkat, seperti ditunjukkan pada TABEL II.

Tabel 2. Hasil Uji Validasi Enam Asumsi Tidak Terjadi Gangguan Hubung Singkat

Sistem diasumsi -kan tidak terjadi gangguan hubung	Tampilan Hasil pada:		
	Lampu Ruang	Lampu Dekat	Lampu Jauh



singkat atau dikatakannya "Sistem Aman"	Lampu Rem	Lampu Mundur	Lampu Hazard
			

Berdasarkan TABEL II ditunjukkan, bahwa tampilan enam asumsi tidak terjadi gangguan hubung singkat pada instalasi kelistrikan pada otobis, sehingga dikatakannya "sistem aman".

1) *Tampilan kondisi saat diasumsikan terjadi gangguan hubung singkat:* Hasil uji validasi dengan lampu dilakukan melalui pemberian tegangan pada lampu dan pemasangan sekering sebagai pengaman. Asumsi kejadian hubung singkat dilakukan pada board dengan cable jumper melalui tindakan penghubungan kabel ground ke pin keluaran kutub (+) dari lampu. Kondisi tersebut berakibat terhadap sekering pengaman pada box sekering di jalur yang diasumsikan, terputus. Dalam hal itu, terjadi kontak antara kabel jalur positif (+, plus) dan ground dan pengubahan sepanjang kabel pada instalasi menjadi ground, sehingga LED menyala dan koil relai terpasok daya (ter-energized). Hal itu berakibat kepada kontak utama (main contact) pada relai terhubung ke kutub positif 12 volt dc akumulator, sehingga kaki nomor 1 (masukan, input) pada IC regulator 7805 tersambung ke sumber tegangan 12 volt dc. Regulator LM7805 sebagai penstabil tegangan dengan keluaran menjadi 5 volt dc. Tegangan 5 volt dc bernilai 1 pada pin masukan ADC pada port-A mikrokontroler ATmega32. Nilai 1 merupakan perintah kepada mikrokontroler ATmega32 untuk menampilkan gangguan hubung singkat yang terjadi pada lampu ruang dan hasil tersebut ditampilkan pada LCD.

Uji validasi dilakukan terhadap enam asumsi kejadian hubung singkat pada rangkaian instalasi kelistrikan pada otobis, yaitu: (a) lampu ruang, (b) lampu dekat, (c) lampu jauh, (d) lampu rem, (e) lampu mundur, dan (f) lampu hazard. Hasil uji validasi untuk enam asumsi terjadi gangguan hubung singkat, seperti ditunjukkan pada TABEL III.

Tabel 3.
Hasil Uji Validasi Untuk Enam Asumsi Terjadi Gangguan Hubung Singkat

Kondisi sistem, diasumsikan terjadi gangguan hubung singkat	Tempat	Pemberian	Indikasi
	Asumsi	Asumsi	Hasil
Lampu Ruang			
Lampu Dekat			
Lampu Jauh			

	Lampu Rem		
	Lampu Mundur		
	Lampu Hazard		
	Tempat Asumsi	Tindakan ke-1	Tindakan ke-2
	Lampu Ruang		
	Lampu Dekat		
	Lampu Jauh		
	Lampu Rem		
	Lampu Mundur		
	Lampu Hazard		

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan, bahwa saat semua tempat asumsi (enam tempat) diberi kondisi terjadi gangguan hubung singkat, sekering yang bersesuaian putus. Tindakan ke-1 diperlukan penekanan pada *push button* yang berakibat ditampilkan tindakan pertama yang harus dilakukan untuk perbaikan, yaitu pemeriksaan sekering pada *box* sekering. Untuk tindakan berikutnya, berupa penekanan kedua (ke-2) pada *push button* yang berakibat ditampilkan tindakan yang harus dilakukan, yaitu pemeriksaan berdasarkan warna kabel sebagai tindakan perbaikan yang harus dilakukan pengguna.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Keberadaan analogi instalasi kelistrikan pada otobis telah disesuaikan dengan model baru yang mencakup pembaruan ukuran diameter kabel untuk penyesuaian beban pada sistem listrik bagian luar, sistem listrik bagian dalam, dan penggunaan sistem kontrol berbasis mikrokontroler untuk pantauan kondisi saat terdapat gangguan hubung singkat.

1. Integrasi semua subsistem untuk sebuah sistem minimalis berbasis mikrokontroler ATmega32, terdiri atas tiga 4 (empat) subsistem, yaitu: (i) sistem sensor-transduser, (ii) sistem mikrokontroler ATmega32, (iii) sistem *Liquid Crystal Display (LCD)*, dan (iv) catu daya.
2. Kinerja prototipe sistem berbasis mikrokontroler ATmega32 berupa pengkondisian saat instalasi kelistrikan pada otobis tidak terjadi atau terjadi hubung singkat. Kondisi saat tidak terjadi gangguan hubung singkat, adalah pemberitahuan ditampilkan pada *LCD* berupa tulisan "Sistem Aman Terimakasih". Pemberitahuan tersebut muncul, karena sinyal masukan (*input*) digital bernilai 0 diterima oleh sistem mikrokontroler. Keberadaan *ground* sepanjang instalasi dideteksi lampu *LED* yang dipasang paralel pada sekering dan pemicu lampu *LED* menyala dan menggerakkan (meng-*energized*) koil relai untuk penghubungan kontak bantu yang terhubung ke sumber 12 volt *dc* akumulator ke *IC* regulator 7805. Tegangan 5 volt *dc* sebagai bernilai 1 pada masukan *pin* di port-A mikrokontroler. Nilai 1 tersebut sebagai perintah kepada mikrokontroler untuk tampilkan kejadian hubung singkat yang terjadi pada salah satu lampu di *LCD*. Tampilan pada *LCD* berupa perintah pemeriksaan terhadap sekering dengan jalur yang terindikasi untuk perbaikan pada *box* sekering melalui penekanan pertama pada *push button*. Untuk kondisi dimana diperlukan langkah lanjutan, maka penekanan kedua pada *push button* berakibat tertampilkan tindakan yang harus dilakukan, yaitu pemeriksaan berdasarkan warna kabel sebagai tindakan perbaikan yang harus dilakukan pengguna.

REFERENSI

- [1] Mustofa, Irvan, Arief Goeritno, Bayu Adhi Prakosa, (2016), "*Prototipe Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler Untuk Pengaman Terhadap Gangguan Hubung Singkat pada Otobis*," dalam *Prosiding SNTI FTI-Usakti V-2016, Jakarta, 2016*, hal. 317-323.
- [2] Proteus2000, (1998), "*Proteus 2000 Operations Manual*", E-MU Systems, Inc., pp. 131-164.
- [3] Tooley, Mike, (2006), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 327-335.
- [4] Clarke, Tom, (2008), "*The EAGLE Schematic & PCB Layout Editor - A Guide*," in Course Material, Department of Electrical & Electronic Engineering, Imperial Collage London, pp. 1-17.
- [5] CadSoft Computer, (2010), "*Eagle Easily Applicable Graphical Layout Editor Manual Version 5*", CadSoft Computer Inc., pp. 37-80.
- [6] Aono, Kenji, (2011), "*Application Note: PCB Design with EAGLE*", ECE480 Design Team 5, Department of Electrical & Computer Engineering, Michigan State University, pp. 1-33.
- [7] Bishop, Owen, (2003), "*Understand Electronics*", Newnes, pp. 114-130.
- [8] Mazidi, Muhammad Ali, Sarmad Naimi, Sepehr Naimi, (2011), "*The AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*", Prentice Hall, pp. 40-43.
- [9] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013), "*Electronic Devices and Circuit Theory*", Pearson Education, Inc., pp.831-833.
- [10] The MCS Electronics Team, (2008), "*BASCOM-AVR User Manual Introduction*", MCS Electronics, pp. 222-252.



- [11] Dean, Brian S., (2010), “AVRDUDE: A program for download/uploading AVR microcontroller flash and eeprom, Version 5.10”, Savannah, pp. 1-26.
- [12] Green, Jennifer S., (2016), “*Mercedes Benz Sprinter Wiring Diagram*”, Sethrollins, pp.1-2.



Kendali Formasi Multi-UAV menggunakan *Line of Sight (LOS) Guidance Law*

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

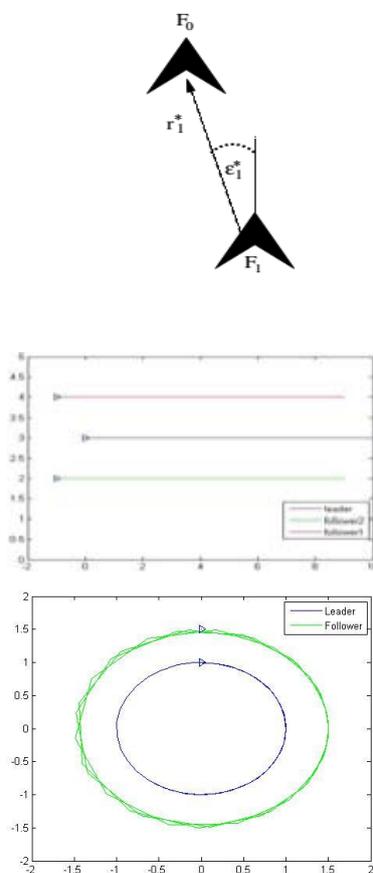
Disetujui : 15 Juni 2017

Dyah Anggun Sartika¹, Denny Hardiyanto²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

*Korespondensi Penulis :
dyah_anggun@akprind.ac.id

Graphical abstract



Abstract

While one of UAV (unmanned aerial vehicle) has reached its capability limit, multi-UAVs are required for assigned tasks to the UAV. So far, multi-UAVs are preferred in performing large tasks resulting in higher levels of effectiveness with better survival capability than single UAVs. The most important is how UAVs can coordinate and communicate with each other so UAV can fly with formation and stay on trajectory. To overcome the problem, this is require a method of formation control. In this research proposed *Line of Sight (LOS) Guidance Law* for the Multiple Unmanned Aerial Vehicle (UAV). This method is applied to a UAV that is considered to be a leader and another UAV is considered a follower. An algorithm is installed to UAV followers so UAV is able to find leader's trajectory and follow it. The results obtained UAV follower can follow UAV leader with a certain distance and specific position of the UAV leader. The information needed is visual information which is the coordinates of the leader and his velocity. Control with the *Line of Sight* method can be applied to any path both simple like a straight line and random path with many angles. Of course with different difficulty levels

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Line of Sight, LOS

Abstrak

Ketika suatu UAV (pesawat tanpa awak) sudah mencapai batas kemampuannya, maka diperlukan multi-UAV untuk menggantikan tugas yang dibebankan kepada UAV. Selama ini multi-UAV lebih dipilih dalam menjalankan tugas yang besar sehingga didapatkan tingkat efektivitas yang lebih tinggi disertai kemampuan bertahannya yang lebih bagus dibandingkan milik UAV tunggal. Namun yang perlu diperhatikan yaitu bagaimana antar UAV dapat saling berkoordinasi dan berkomunikasi sehingga setiap UAV mampu terbang mengikuti formasi dan tetap pada lintasannya. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu metode kendali formasi. Pada penelitian ini metode yang ditawarkan adalah menggunakan *Line of Sight (LOS) Guidance Law*. Metode ini diterapkan pada satu UAV yang dianggap sebagai kepala (*leader*) dan UAV lain yang dianggap sebagai pengikut (*follower*). Suatu algoritme dimasukkan ke dalam UAV *follower* sehingga UAV tersebut mampu mencari jalur milik UAV *leader* dan mengikutinya. Untuk lintasan diprogramkan pada UAV *leader*. Hasil yang didapat bahwa UAV *follower* dapat bergerak mengikuti UAV *leader* dengan jarak tertentu. Serta posisi tertentu dari UAV *leader*-nya. Informasi yang dibutuhkan untuk melakukan pengejaran adalah informasi visual, yang berupa koordinat dari *leader* serta kecepatannya. Kendali dengan metode *Line of Sight* ini dapat diterapkan untuk lintasan apapun, baik yang bersifat sederhana seperti garis lurus maupun lintasan dengan banyak sudut seperti lintasan acak, tentu saja dengan tingkat kesulitan yang berbeda.

Kata kunci: UAV, Pesawat Tanpa Awak, *Line of Sight*, LOS

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Semakin majunya suatu peradaban, maka permasalahan yang timbul di masyarakat pun semakin berkembang, baik dalam sisi sosial, hukum, ekonomi dan pembangunan bahkan berkaitan dengan alam. Segala upaya sudah diusahakan untuk mendapatkan solusi-solusi atas permasalahan tersebut. Solusi yang sedang dilakukan ini melibatkan berbagai bidang kehidupan, salah satunya dari bidang pengetahuan. Para intelektual dan ilmuwan berlomba-lomba untuk memecahkan permasalahan tersebut, sesuai dengan bidang pengetahuan yang dikuasainya. Salah satu bidang yang banyak berperan adalah bidang teknologi elektronika dan informatika, khususnya pemanfaatan robotika untuk mempermudah berbagai kegiatan dalam masyarakat. Bidang robotika meliputi berbagai hal, baik mesin otomatis, robot-robot pekerja, teknologi kendali serta salah satu bidang robotika yang banyak dioptimalkan penggunaannya yaitu pesawat tanpa awak (UAV).

Pesawat tanpa awak memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan wahana berawak lain ataupun satelit. Penggunaan UAV juga meliputi berbagai bidang baik dibidang perindustrian, pemasyarakatan, kelautan, bahkan untuk tujuan militer dan sipil [1]. Banyaknya penggunaan UAV dikarenakan keunggulan yang dimiliki baik dari sisi fungsi, operasional serta tingkat risikonya dibandingkan dengan keadaan manual. Bahkan pengembangan kinerja UAV telah sampai pada pengoperasian dalam bentuk formasi atau multi agen yang terdiri dari sejumlah UAV [2].

Pengaplikasian formasi UAV banyak dilakukan seperti untuk pengintaian, penjagaan, pembelajaran atmosfer, penyampaian pesan, pencarian dan penyelamatan yang dalam tindakannya cukup berbahaya dan tidak disarankan menggunakan pilot serta menjangkau area yang luas. Akan lebih bermanfaat apabila beberapa UAV digerakkan menjadi satu kesatuan dan terbang dalam formasi atau Multi-agen yang diinginkan untuk mempersingkat waktu dan efisiensi [3]. Namun yang menjadi permasalahan adalah bagaimana cara mengendalikan formasi terbang UAV dengan menggunakan satu pesawat saja sebagai acuannya.

Penelitian tentang UAV menjadi *trending topic* akhir-akhir ini [4]. Mulai dari sistem kendali terbang, pencarian jalur, penghindaran halangan serta pemanfaatan fitur-fitur pesawat sebagai pendeteksi. Penggunaannya juga sangat beragam mulai dari kepentingan keamanan atau militer (seperti penjagaan, pengintaian, patroli), kepentingan sosial sampai kepada kepentingan hiburan atau pribadi. Penggunaan multi-UAV dapat menjadi pilihan tepat apabila menginginkan kinerja UAV dengan waktu yang lebih dan lebih efisien. Beberapa UAV akan dikumpulkan dan ditugaskan dalam suatu formasi yang terstruktur. Masing-masing agen (anggota susunan) akan berkoordinasi dengan agen yang lain dalam menjalankan fungsinya. Koordinasi antar UAV ini dapat dilakukan dengan mengaplikasikan suatu sistem kendali. Pemilihan algoritme yang tepat merupakan hal yang sangat penting untuk mendapatkan koordinasi dan komunikasi antar agen. Bahkan dalam beberapa penelitian menggunakan metode atau algoritme yang berlainan seperti *Artificial Physics* [5] [6], *Model Predictive Control* (MPC) [7], *Pursuit Guidance Law* (punyaku 2nya) dan *Line of Sight* (LOS) [8].

Di antara algoritma yang ada, LOS sejauh ini adalah yang paling populer. Karakteristik dan sifat kestabilannya telah dipelajari Secara luas dalam beberapa literatur [9]. Namun, LOS, secara sederhananya, dirancang untuk menghasilkan titik lintasan referensi dengan kondisi tidak ada gangguan eksternal yang terjadi pada UAV. Dalam penggunaannya untuk kendali *Motion* di mana hal ini tidak terjadi, UAV akan gagal untuk menemukan jalur yang diinginkan, karena adanya kesalahan pada eror *cross-track* yang nilainya tidak mendekati nol. Nilainya akan tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran gangguan, geometri jalur yang diinginkan dan dinamika UAV. Untuk mengatasi hal tersebut LOS telah melalui banyak modifikasi pada penelitian sebelumnya agar mendapat hasil yang diinginkan. Namun pada penelitian ini LOS fokus digunakan hanya untuk mencari jalur untuk diikuti (*path following*) dari UAV *follower* atau UAV pengikut ke UAV *leader* ke UAV pemimpin.

2. STUDI PUSTAKA

A. Penelitian *Formasi UAV (Pesawat Tanpa Awak)*

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, UAV akan lebih bermanfaat apabila dioperasikan dalam bentuk formasi atau Multi agen dibandingkan dengan UAV yang bekerja secara sendiri-sendiri,



terutama apabila UAV bertujuan untuk melakukan kinerja pada area yang luas. Selain karena manfaatnya, penelitian tentang kendali untuk formasi atau Multi agen pun telah banyak dilakukan selama beberapa tahun terakhir, menggunakan bermacam-macam metode. Hal yang dikendalikan adalah bagaimana agar *leader* mampu menuntun *follower* agar sampai ke titik tujuan serta bagaimana *follower* tetap berada dalam formasi atau mengikuti lintasan *leader*.

Pengendalian untuk formasi terbang beberapa pesawat atau UAV telah menjadi topik khusus yang sangat populer dan banyak dilakukan penelitian berkaitan dengannya selama beberapa tahun terakhir. Secara dasar, terdapat tiga pendekatan pada kendali formasi untuk beberapa pesawat, yaitu *leader-following*, pembelajaran tingkah laku, dan struktur virtual. Pada struktur virtual, sebuah kesatuan formasi dianggap sebagai entitas tunggal, yang digunakan sebagai *rigid body* untuk mengarahkan pada orientasi yang dituju. Sedangkan *leader-following* adalah pendekatan di mana satu agen/pesawat dianggap sebagai *leader* sedangkan lainnya adalah *follower*. Untuk pembelajaran tingkah laku, seperti dialami pada penghindaran halangan. Hasil resultannya diatur oleh masing-masing bobot yang dihasilkan setiap objek.

Pengendalian untuk formasi atau Multi-agen bisa dilakukan dengan berbagai metode. Bahkan untuk melakukan penjejakan terhadap target (dalam penelitian ini diasumsikan sebagai *leader*) dapat pula meniru perilaku makhluk lain. Meskipun tidak secara sempurna dipahami, perilaku berkelompok burung, perilaku pembelajaran pada ikan bahkan tentang serangga telah memberikan inspirasi bagi konsep terkoordinasi pada operasi *multi-vehicle* [10]. Gerakan kelompok yang terkoordinasi termasuk pada pendekatan untuk sintesis gerakan berkelompok *boids* (burung dan hewan mirip ikan). Seperti pada penelitian tentang koordinasi gerak multi robot yang bias dibangun dari dasar suatu set perilaku sederhana. Aturan yang digunakan memungkinkan setiap *follower* diinformasikan untuk mengatur jangkauan dan orientasi relatif terhadap *leadernya*. [11] Masalah lain pada formasi adalah jarak antar dua UAV yang perlu diperhitungkan, atau jarak ke leader selama tetap memperhitungkan adanya halangan. Perubahan UAV *leader* kadang menjadi masalah tersendiri mengingat bentuk formasi akan berubah pula. Pekerjaan yang perlu dilakukan pada pengendali formasi termasuk di dalamnya tentang formasi UAV yang memungkinkan dan pergerakan dalam formasi itu sendiri.

Algoritme A* merupakan salah satu algoritme yang digunakan beberapa penelitian [12][13][14] untuk melakukan penjejakan (*Tracking*). Algoritme ini termasuk pada metode *sampling* (pencuplikan) yang membagi *workspace* menjadi sel-sel yang lebih kecil. Selain algoritme A*, terdapat algoritme Djikstra yang bertugas untuk mencari jalur terpendek dari titik awal sampai titik akhir. Parulekar [15], menggunakan algoritme Djikstra untuk navigasi kendaraan secara otomatis. Hasil pencarian jalur terpendek ini disimpan dalam bentuk matriks dan kemudian dikirimkan kepada kendaraan lain.

Metode lain adalah menggunakan kendali *sliding mode*, Suatu kendali nonlinier untuk memaksa sistem meluncur ke sepanjang sistem tujuan. Kendali ini diaplikasikan untuk penjejakan lintasan, masalah pada formasi terbang baik dalam penerbangan secara horizontal untuk pesawat tanpa awat yang berjumlah banyak sejenis quadrotor [16]. Sebuah kendali *sliding mode* digunakan *follower* untuk tetap menjaga formasinya mengikuti leader. Bahkan terdapat percobaan lain dengan *sliding mode* yang diterapkan dengan algoritme pursuit untuk sistem pemburu dan penangkapan target [17].

Selain untuk formasi dan multi agen pesawat UAV saja, Kendali formasi dilakukan pula untuk kombinasi antara UAV dengan *Unmanned Ground Vehicle* (UGV) [18][19]. Serta penelitian lain, yang memanfaatkan perbedaan pesawat menjadi sebuah tim untuk mengarahkan pada lingkungan yang sudah dikenal, ataupun memanfaatkan umpan balik linear sehingga setiap agen dinamis kembali menjadi integrator tunggal [10]. Ada juga pemanfaatan untuk menjejak sebuah kumpulan *centroid* [20][21]. Bahkan, meskipun tidak secara sempurna dipahami, perilaku berkelompok burung, perilaku pembelajaran pada ikan bahkan tentang serangga telah memberikan inspirasi bagi konsep koordinasi pada operasi *multi-vehicle* [22]. Aturan yang digunakan memungkinkan setiap *follower* diinformasikan untuk mengatur jangkauan dan orientasi relatif terhadap *leadernya*.

Penelitian lain menggunakan sistem pengawasan otonom untuk memberikan informasi video melalui *Ultra Wide Angle* (UWA) menggunakan platform multi-UAV. Awalnya UAV berada pada formasi yang sesuai (seperti segitiga, berlian, atau garis) dengan kamera yang mengarah ke luar untuk menutupi daerah yang diincar *region of interest* (ROI). Untuk teknik pengolahan gambar, formasi



UAV akan dioptimalkan menggunakan temporal dan sebagai informasi spasial untuk mencapai overlap yang layak antara dua sumber video yang berdekatan. Setelah itu, video yang ditangkap secara terpisah akan digabung bersama membentuk video UWA dengan mengekstrak dan mencocokkan fitur poin di *base station*. Hasil akhirnya, sebuah percobaan diilustrasikan dengan video UWA yang dihasilkan oleh sistem yang diusulkan. [23]

Hal menarik lainnya pada formasi adalah penentuan apakah ada komunikasi antar UAV atau tidak. Untuk formasi UAV dengan komunikasi, yang perlu dibahas adalah bagaimana agar perbedaan waktu (*time delay*) antara waktu pengiriman informasi dari *leader* dengan waktu diterimanya informasi oleh *follower* tidak menimbulkan masalah yang mempengaruhi formasi UAV. Terdapat beberapa penelitian untuk formasi dengan adanya komunikasi. Salah satunya menggunakan grafik asiklik langsung (*directed acyclic graph*) [24]. Pada grafik ini dideskripsikan untuk multi-agent dengan inisial bahwa agen tanpa tetangga (agen lain di dekatnya) disebut *leader* sedangkan lainnya adalah *follower*. *Leader* bergerak dalam suatu formasi dengan kecepatan yang bergantung pada waktu (*time varying velocity*) dan *follower* dapat mengakses posisi relatif dari tetangganya serta kecepatan *leader*.

Untuk formasi UAV tanpa adanya komunikasi, masalah terletak dari bagaimana cara menghitung estimasi jarak serta sudut yang hendak dituju UAV itu sendiri. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pendekatan menggunakan Kalman Filter. Informasi yang diperoleh untuk perhitungan pada kalman filter biasanya berasal dari algoritma vision. Banyak penelitian yang telah dilakukan, seperti pada penelitian untuk pengendalian terbang beberapa UAV yang juga menghindari halangan. Penelitian ini hanya menggunakan informasi visual yang disediakan dalam formasi. Metode pengendalian formasi ini antara menggunakan kalman filter untuk mengestimasi jarak dari informasi visual atau secara langsung meregulasi ukuran citra pesawat *leader* pada citra pesawat. Ketika citra ini tidak dapat diukur maka dipastikan jaraknya sangat lebar sehingga hanya dapat menggunakan informasi dari *bearing* saja. Jarak yang relatif antar UAV pada formasi diatur melalui formasi geometri yang bergantung pada waktu (*time-dependent formation geometry*).

B. *Line of Sight (LOS) Guidance Law*

Algoritme LOS telah digunakan pada penelitian sebelumnya. Diantaranya adalah LOS. LOS telah dimodifikasi, digabungkan dengan metode lain seperti MCHSI (*Monotone Cubic Hermite Spline Interpolation*) sebagai perencanaan jalur (*path planning*) dan LOS sebagai pengikut jalur (*path following*) yang diterapkan untuk mencari model prediksi posisi dari sebuah kapal, dengan dibantu *controller* LQI. [25]

Selain untuk UAV, *LOS Guidance* dikembangkan untuk aplikasi pelacakan 2-D *straight path* dari kapal laut yang tidak aktif dan terhalang arus laut yang tak diketahui [26]. Bahkan LOS digunakan dengan dua umpan balik pengendali linierisasi untuk mencapai jalur pengikut (*path following*) masing-masing kapal laut. Kondisi integral ditambahkan ke *LOS Guidance* untuk mengimbangi efek akibat arus laut pada setiap kapal [27][28]. Hal serupa juga dilakukan oleh Caharija (2016) yang menggunakan integral LOS dengan tiga umpan balik teradaptasi untuk menetralkan arus laut vertikal [29].

3. METODE PENELITIAN

A. *Model UAV*

Diasumsikan N quadrotor dengan karakteristik gerak yang sama. Sistem multi-UAV terdiri dari N quadrotor dan satu *leader* (pemimpin). Setiap quadrotor memiliki empat rotor dan pengontrol. Pengontrol tersebut memberikan perintah kontrol pada masing-masing rotor secara terpisah. Untuk sekadar memodelkan quadrotor, kita asumsikan berikut. Pertama, quadrotor terbang cukup lambat untuk mengabaikan gaya aerodinamika dari luar seperti drag aerodinamis dan *Interface vortex* yang bekerja pada quadrotor. Kedua, rotor menanggapi perintah cukup cepat untuk mengabaikan waktu delay dari saat pengontrol memberi rotor perintah sampai rotor benar-benar menghasilkan kekuatan. Akhirnya, saat menguap tidak pernah diproduksi.

Dengan kondisi yang melayang di ketinggian konstan adalah titik equilibrium dari sistem quadrotor nonlinear, sebuah model quadrotor kolektif linear dari longitudinal dan model lateral dapat dinyatakan sebagai berikut [30] Persamaan (1):



$$\dot{r}(t) = A_c r(t) + B_c M(t) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana $r \in R^{n_A}$ dan $M \in R^{n_U}$ adalah kombinasi keadaan (*state*) dan control masukan pada pesawat horizontal. Matrik $A_c \in R^{n_A \times n_A}$ dan $B_c \in R^{n_A \times n_U}$ didefinisikan pada Persamaan (2):

$$A_c = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \otimes I_2 \text{ dan } B_c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \otimes I_2 \dots\dots\dots(2)$$

Dengan \otimes adalah produk Kronecker dan $I_n \in R^{n \times n}$ adalah matrik n-dimensi. Model waktu diskrit dapat didefinisikan Persamaan (3):

$$r(k + 1) = Ar(k) + BM(k) \dots\dots\dots(3)$$

Dengan k adalah bilangan integer *nonnegative* yang menunjukkan step waktu, dan terhubung ke waktu $t=k\Delta T$ dengan ΔT adalah waktu sampel. Selain itu $A = e^{A_c \Delta T} \in R^{n_A \times n_A}$ dan $B = \int_0^{\Delta T} e^{A_c \Delta T} d_T B_c \in R^{n_A \times n_u}$

B. Model Multi-UAV

Klasifikasi Untuk model sistem multi-UAV merupakan sekumpulan sistem dinamis dari beberapa UAV dan sebuah *leader* yang saling bertukar informasi satu sama lain. Hubungan pertukaran ini dapat dideskripsikan dengan teori graph.

Didefinisikan suatu graph $G=(V,A)$ untuk memodelkan hubungan informasi antara N-jumlah UAV dimana $V=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_N\}$ adalah node nya dan $A \in V \times V$ adalah tepinya. Tepi (v_i, v_j) pada graph menunjukkan jalur dari UAV i ke UAV j. dengan kata lain UAV j dapat membawa informasi dari UAV i.

Dimisalkan $A \in R^{N \times N}$, $D \in R^{N \times N}$ dan $L \in R^{N \times N}$ menjadi matrik adj, matrik sudut dan matrik graph Laplacian yang berhubungan dengan graph G. komponen adj matrik $A=[a_{ij}]$ pada Persamaan (4)

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{untuk } (v_j, v_i) \in A \\ 0, & \text{untuk selainya} \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

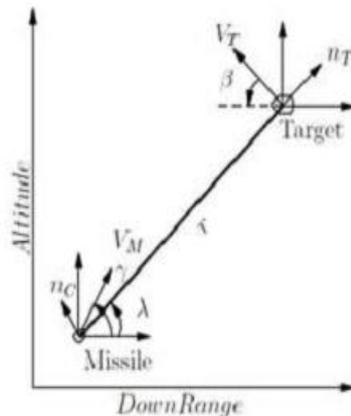
A_{ij} diset 1 jika UAV I membawa informasi dari UAV j melewati jaringan, selainya a_{ij} diset 0. Untuk matrik sudut D didefinisikan pada Persamaan (5):

$$D = \text{diag}(\text{deg}(v_1), \text{deg}(v_2), \dots, \text{deg}(v_N)) \dots\dots\dots(5)$$

Dengan $\text{deg}(v_i)$ adalah jumlah hubungan komunikasi yang masuk ke v_i . Matrik graph Laplacian L didefinisikan Persamaan (6):

$$L = D - A \dots\dots\dots(6)$$

C. LOS Guidance



Gambar 1 Skema LOS [31]



Dengan sudut seperti pada Gambar 1 dan menggunakan koordinat polar, dapat disimpulkan bahwa:

- a. R_t dan r_m adalah range target dan misil dan r adalah range relative antara target dan misil tersebut
 - b. Λ adalah sudut rotasi LOS dari nilai inisial
 - c. B dan Y adalah sudut terbang target dan misil
 - d. V_t dan V_m adalah kecepatan linier target dan misil
 - e. N_T dan n_m adalah akselerasi target dan misil
- dari beberapa dinamika tersebut dapat disimpulkan:

$$\dot{r} = v_x \dots\dots\dots(7)$$

$$\dot{v}_x = r\lambda^2 + \sin(\gamma - \lambda) \dot{u} - n_T \sin(\beta - \lambda) \dots\dots\dots (8)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{V_T \sin(\beta - \lambda) - V_M \sin(\gamma - \beta)}{r} \dots\dots\dots(9)$$

$$\ddot{\lambda} = -2 \frac{\dot{\lambda} v_x}{r} - \frac{\cos(\gamma - \lambda)}{r} \dot{u} + \frac{n_T \cos(\beta - \lambda)}{r} \dots\dots\dots(10)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{1}{V_M} u \dots\dots\dots(11)$$

$$\dot{\beta} = \frac{n_T}{V_T} \dots\dots\dots(12)$$

Dengan u adalah input skalar. Sistem state $x = A \in \mathbb{R}^{N \times N}$.

Keadaan sistem diketahui sebagai $x = [x_1, x_2, \dots, x_6]^T \in \mathbb{R}^6$ dengan $x_1=r, x_2=v_x, x_3=\lambda, x_4=\dot{\lambda}, x_5=Y, x_6=\beta$
Maka sistem dapat dituliskan sebagai :

$$\dot{x} = f(x) + g_1(x)u + g_2(x)d_1 \dots\dots\dots(13)$$

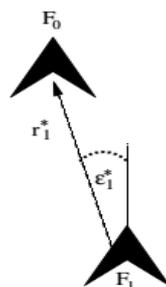
Dengan nilai $f(x), g_1(x)$ dan $g_2(x)$ adalah

$$f(x) = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 x_4^2 \\ x_4 \\ -2 \frac{x_2 x_4}{x_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g_1(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ \sin(x_5 - x_3) \\ -\frac{\cos(x_5 - x_3)}{x_1} \\ \frac{1}{V_M} \\ 0 \end{bmatrix}, g_2(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ -\sin(x_6 - x_3) \\ 0 \\ \frac{\cos(x_6 - x_3)}{x_1} \\ 0 \\ \frac{1}{V_T} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(14)$$

D. Sistem Kendali Multi-UAV

Sistem pengejaran yang dibuat, diklasifikasikan sesuai lintasan yang dilalui *leader*. Terdapat dua lintasan, yaitu lintasan sederhana serta lintasan acak yang dapat berubah-ubah dan tanpa aturan khusus. Sedangkan untuk masing-masing lintasan diklasifikasikan lagi menjadi lintasan tanpa halangan maupun lintasan dengan halangan. Untuk *follower*-nya terdiri dari beberapa UAV.

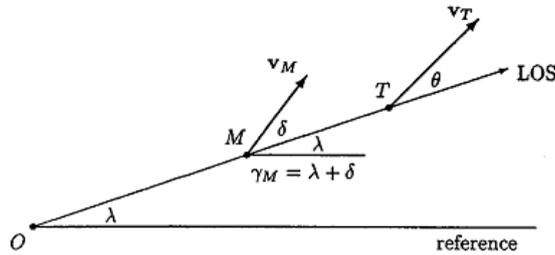
Pada lintasan sederhana dibuat sebuah lintasan yang berbentuk garis lurus serta kurva. Untuk lintasan ini dicobakan algoritme untuk sebuah *leader - follower*. *Follower* diharapkan dapat mengikuti bentuk lintasan *leader* dan mencapai tujuan akhir yang sama (sesuai). Algoritme yang digunakan merupakan *LOS Guidance Law* yang juga berperan sebagai umpan balik ke sistem agar memperoleh koordinat posisi sesuai *leadernya*.



Gambar 2. Formasi dua buah UAV dan nilai yang diinginkan



Secara sederhana posisi *leader* dan *follower* dapat dilihat pada Gambar 2 [32]. Diasumsikan terlebih dahulu terdapat dua buah UAV dimana F_0 adalah *leader* dan F_1 adalah *follower*-nya. Jarak yang diinginkan serta sudutnya antara *leader* dan *follower* disimbolkan dengan rI^* dan ϵI^* . Nilai estimasi *Line of Sight (LOS) rate* dan sudutnya diperlukan untuk menghasilkan nilai yang diinginkan tersebut.



Gambar 3. Geometri LOS Guidance [32]

Sedangkan dari Gambar 3 merupakan aturan LOS yang digunakan untuk *LOS Guidance* geometri planar. Pada titik planar O (titik referensi), T (target) dan M (misil) terdapat vector kecepatan vT dan vM . Ox merupakan garis referensi dengan sudut LOS λ yang terukur. Dari referensi yang sama jalur T dengan sudut γT dan jalur M dengan sudut γM juga terukur. Sedangkan vT dan vM adalah sudut θ dan δ dengan LOS. Panjang rT dan rM adalah jarak OT dan OM. M dan T terletak pada jalur yang sama maka persamaannya menjadi [33]:

$$\lambda' = \frac{vT \sin \theta}{\gamma T} = \frac{vM \sin \delta}{\gamma M} \tag{15}$$

Dari persamaan (15) tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai LOS rate dengan memposisikan UAV *leader* pada titik M dan *followernya* sebagai T. Besarnya nilai LOS akan digunakan untuk mendapatkan besaran percepatan. Percepatan ini diperoleh berdasarkan *proportional navigation* dari LOS seperti pada Persamaan (16) berikut ini [33]:

$$a_c^N = NV_i (K_N \hat{\lambda} + (1 - K_N) e_{\epsilon i}) \tag{16}$$

Dengan a_c^N adalah percepatan normal, N adalah konstanta *proportional navigation*, V_i adalah kecepatan *forward follower*, K_N adalah parameter range [0,1], $\hat{\lambda}$ adalah LOS rate dan ϵ adalah *lead angle*. Hasil persamaan tersebut digunakan pada model UAV untuk penelitian ini, dengan persamaan 17, 18, 19 dan Persamaan 20.

$$x_i = V_i \cos \psi_i \tag{17}$$

$$\dot{x}_i = V_i \sin \psi_i \tag{18}$$

$$= a_i^N / V_i \tag{19}$$

$$\dot{\gamma} \tag{20}$$

Untuk mengatasi kesalahan pada multi-UAV yang, setiap UAV perlu dibekali dengan kemampuan membuat keputusan sendiri namun tetap bersesuaian dengan UAV lainnya. Misalkan setiap UAV bisa membuat keputusan yang kooperatif berikut:

$$Y = F(x) \tag{21}$$

dengan X adalah *input* keputusan, F adalah metode keputusan, Y adalah *output* keputusan. Untuk semua UAV keputusan diberlakukan, hanya jika kedua metode keputusan F dan masukan keputusan X sama, maka hasilnya keputusan Y keluaran tiap UAV sama.



Untuk semua UAV, agar menjaga F dan X sama, tiga kondisi berikut harus terpenuhi:

- 1) Setiap UAV harus terus bersama dengan UAV lainnya, yang memastikan setiap UAV untuk mendapatkan keputusan yang sama pada saat bersamaan
- 2) Untuk semua UAV dan keputusan yang sama, metode keputusan juga sama;
- 3) Untuk semua UAV dan keputusan yang sama, masukan keputusan juga sama.

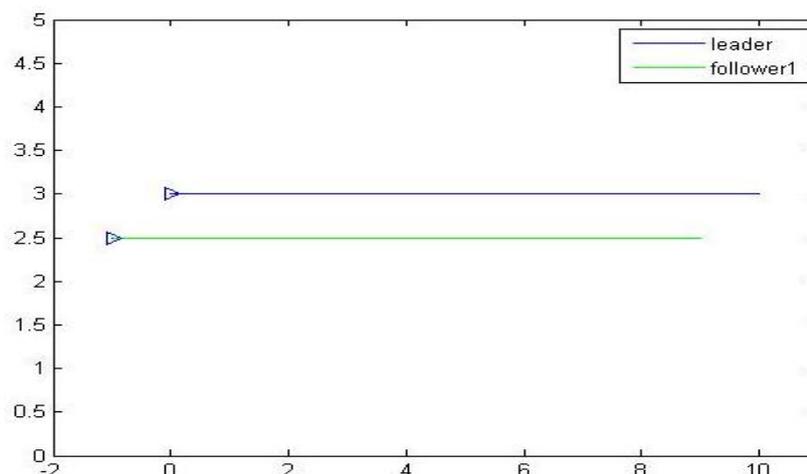
Untuk memenuhi ketiga kondisi di atas, alur kerja diperlukan pada multi-UAV. Alur kerja merupakan urutan kegiatan yang terdiri dari deskripsi aktivitas, kondisi awal dan penghentian kerja. Fungsinya adalah menerjemahkan tugas ke dalam urutan kegiatan, dan untuk mengendalikan kegiatan berikutnya. Berikut adalah beberapa kondisi yang harus dipenuhi pada alur kerja [34]:

- 1) Untuk terus bersama dengan UAV lainnya, semua UAV harus mengatur alur kerja yang sama sebelum memulai tugasnya
- 2) Menjaga metode pengambilan keputusan F yang diberikan untuk semua UAV, keputusan yang sama pada Metode F dari suatu kegiatan pengambilan keputusan sudah ditentukan sebelumnya
- 3) Menjaga masukan keputusan koperasi yang diberikan untuk semua UAV, masukannya harus disinkronisasi sebelum membuat keputusan.

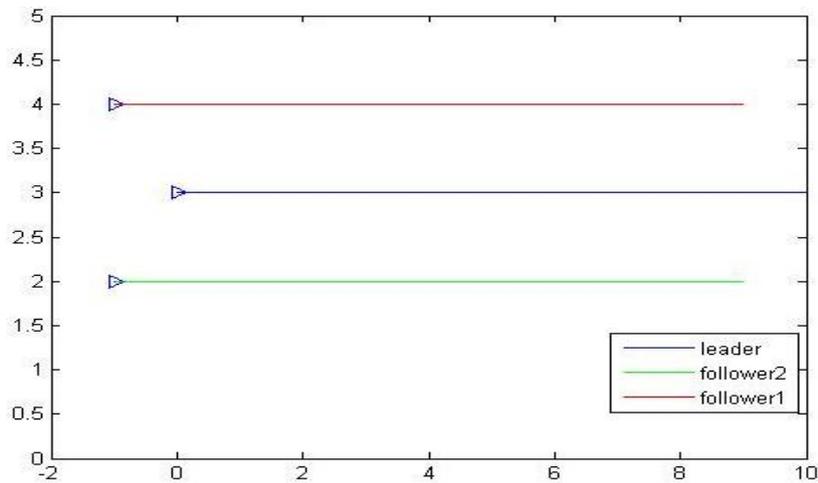
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan lintasan lurus, lintasan berbelok dan lintasan melingkar. Pada lintasan sederhana dibuat sebuah lintasan yang berbentuk garis lurus serta kurva dengan sebuah *leader-follower*. *Follower* diharapkan dapat mengikuti bentuk lintasan *leader* dan mencapai tujuan akhir yang sama (sesuai). Metode yang digunakan merupakan metode *Line of Sight Guidance Law* yang juga berperan sebagai umpan balik ke sistem agar memperoleh koordinat posisi sesuai leadernya.

Pada lintasan garis lurus digunakan sebuah lintasan berupa garis horizontal yang mengikuti sumbu x. Jumlah *follower* yang mengikuti lintasan adalah satu *follower* (tunggal) serta lebih dari satu (jamak). Hasil keduanya sama, yaitu *follower* dapat bergerak mengikuti *leader* tepat di belakangnya. Pada Gambar 4 (b) menunjukkan formasi yang dibentuk oleh tiga pesawat (satu *leader* dan dua *follower*). Terlihat bahwa masing-masing *follower* bergerak mengikuti dan mempunyai lintasan yang sama dengan *leadernya*. Letak *follower* tersebut berada di atas dan di bawah letak lintasan *leader* mengapit dan tepat di belakangnya dengan selisih waktu satu detik. Koordinat awal *leader* adalah (0;3) dengan titik akhir pada koordinat (10;3). Untuk *follower1* ada pada koordinat (-1; 2) dan titik akhir koordinat (9;2), sedangkan *follower2* pada titik koordinat awal (-1;4) dan berakhir pada koordinat (9;4). Garis biru menunjukkan lintasan milik *leader*, garis merah untuk lintasan *follower1* sedangkan garis hijau untuk lintasan *follower2*.



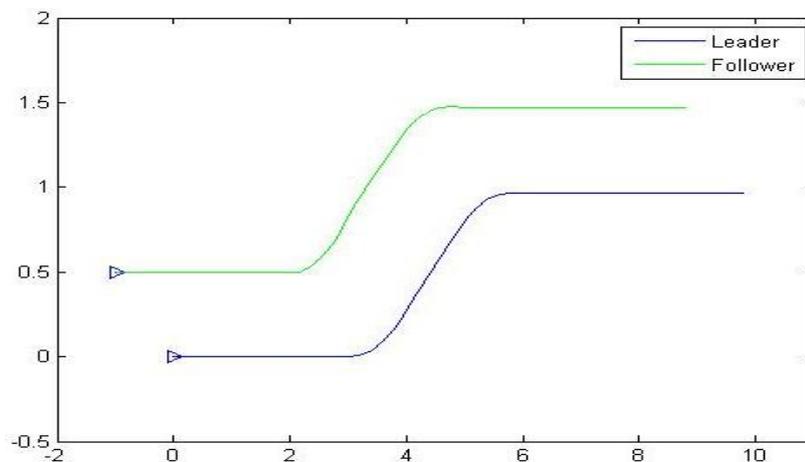
(a)



(b)

Gambar 4 Lintasan Garis Lurus (a) Tunggal (b) 2 Follower

Pada lintasan lain berbentuk kurva seperti terlihat pada Gambar 5 dapat terlihat bahwa posisi awal berada pada titik koordinat (0;0). Untuk proses pengejarannya, *follower* diletakkan tepat di belakang *leader* dengan selisih waktu satu detik yaitu pada koordinat (-1;0,5). Kemudian setelah disimulasi, hasilnya menunjukkan bahwa lintasan yang dilalui *follower* berbentuk menyerupai dan mengikuti lintasan milik *leader*. Lintasan berwarna garis hijau merupakan lintasan milik *follower* sedangkan lintasan berwarna biru merupakan lintasan milik *leader* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil simulasi

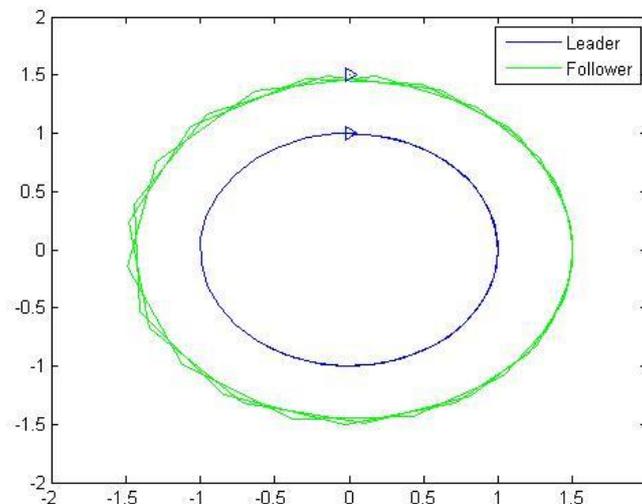
Perlu diketahui, bahwa bentuk lintasan *follower* memiliki sedikit lonjakan dibandingkan dengan lintasan *leadernya*. Namun pada akhirnya *follower* mampu kembali mengikuti bentuk lintasan *leader*. Pengejaran yang optimal akan menghasilkan koordinat *follower* dengan berjarak 1 koordinat sumbu x ke kiri dan 0,5 koordinat sumbu y dari koordinat milik *leader*. Sedangkan apabila dilihat dari Tabel 1 hasilnya menunjukkan bahwa antara koordinat *follower* tidak selalu memiliki selisih 1 koordinat kurangnya pada sumbu x (karena ke kiri maka dikurang 1) dan 0,5 koordinat lebihnya dari sumbu y (karena ke atas sehingga ditambah 0,5) dibandingkan dengan koordinat milik *leader*. Hal ini terjadi terutama pada saat melewati 3 detik di mana *leader* mulai membentuk kurva. Karena perbedaan inilah dapat dicari nilai persentase kesalahannya yang dilihat dari acuan posisi *leader* yang terukur. Dengan selisih -1 dari sumbu x dan 0,5 dari sumbu y didapat posisi *follower* yang seharusnya.

Tabel 1 Lintasan kurva

Detik Ke-	Posisi <i>Leader</i>		Posisi <i>Follower</i>	
	X	Y	X	Y
0	0	0	-1,0	0,5
3	3	0	1,9915	0,5
5	4,8364	0,7243	3,8159	1,2608
8	7,7953	0,9691	6,7848	1,4719
10	9,7953	0,9691	8,7848	1,4719

Perbedaan dari hasil perhitungan posisi *follower* dengan hasil pengukuran inilah yang dapat digunakan untuk mencari kesalahan relatifnya. Dari hasil perhitungan, rata-rata perbedaan (selisih) nilai perhitungan dengan hasil simulasi untuk sumbu X sebesar 0,012 dan sumbu Y sebesar 0,095 serta persentase kesalahan rata-ratanya 1,15% untuk sumbu X dan 0,91% untuk sumbu Y. Hasil tersebut merupakan hasil yang paling optimal dengan konstanta pursuit N bernilai 4,5.

Pada lintasan kontinu ini digunakan sebuah lintasan berupa lingkaran dengan titik akhir lintasan berada pada titik awalnya yaitu pada koordinat (0;1). Titik tengah lintasan berada pada koordinat (0;0). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Lintasan lingkaran

Dari Gambar 6 diatas terlihat bahwa *leader* dan *follower* memiliki bentuk lintasan yang sama dengan garis biru adalah lintasan milik *leader* dan garis hijau adalah lintasan milik *follower*. *Leader* diatur pada koordinat awal (0;1) dan berakhir pada titik yang sama. Sedangkan *follower* tepat berada dibelakang *leader* dengan jarak sebesar 0.5 dari lintasan *leader*. Karena hal itulah *follower* berada pada titik awal koordinat (0;1.5) dan mencapai koordinat akhir yang sama. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Lintasan lingkaran

Detik Ke-	Posisi Leader		Posisi Follower	
	X	Y	X	Y
0	0	1	0	1.5
3	0.141	-0.990	-0.022	1.500
5	-0.959	0.284	1.161	-0.950
8	0.989	-0.146	-0.675	-1.340
10	-0.544	-0.839	-0.706	1.323

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

- Metode *Line of Sight Guidance Law* dapat diterapkan sebagai kendali pada pengejaran objek formasi UAV. dalam hal ini dilakukan oleh pesawat yang bertindak sebagai *follower* terhadap pesawat lain di depannya yang dianggap sebagai *leader*.
- Informasi yang dibutuhkan untuk melakukan pengejaran adalah informasi visual. yang berupa koordinat dari *leader* serta kecepatannya.
- Kendali dengan metode *Line of Sight* ini dapat diterapkan untuk lintasan apapun. baik yang bersifat sederhana seperti garis lurus maupun lintasan dengan banyak sudut seperti lintasan acak. tentu saja dengan tingkat kesulitan yang berbeda
- Untuk lintasan lurus. pengejaran optimal terjadi saat konstanta *proportional navigation* (N) bernilai 3 dengan hasil lintasan *follower* yang sama dengan lintasan *leadernya*
- Untuk lintasan kurva. pengejaran optimal terjadi saat konstanta *proportional navigation* (N) bernilai 4.5 dengan hasil lintasan *follower* memiliki perbedaan sebesar 0.01 dari koordinat x dan 0.05 dari koordinat y dibandingkan dengan lintasan *leadernya*

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan agar ke depannya menjadi sempurna ataupun lebih baik lagi sehingga memiliki beberapa saran, diantaranya:

- Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai teknik atau metode kendali UAV yang lebih fleksibel dan mampu mengikuti leader dengan tepat dan akurat.
- Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai teknik-teknik pengendalian sistem multi-UAV

REFERENSI

- [1] H. Lee, S. Uav, and K. Aerospace, "IMPLEMENTATION OF COLLISION AVOIDANCE SYSTEM USING TCAS II TO UAVS Necessity of Collision Avoidance System On-Board Requirements Types of Collision Avoidance Sensors," pp. 1–9, 2005.
- [2] N. H. M. Li and H. H. T. Liu, "Formation UAV Flight Control using Virtual Structure and Motion Synchronization," pp. 1782–1787, 2008.
- [3] D. Luo, T. Zhou, and S. Wu, "Obstacle avoidance and formation regrouping strategy and control for UAV formation flight," *2013 10th IEEE Int. Conf. Control Autom.*, pp. 1921–1926, Jun. 2013.
- [4] E. D. Arisandi and P. Lapan, "Kemudahan Pemrograman Mikrokontroler Arduino Pada Aplikasi Wahana Terbang," vol. 3, no. 2, pp. 3–6, 2014.
- [5] Y. Fu, X. Wang, L. Huan, and H. Zhu, "Multi-UAV Formation Control Method Based on Modified Artificial Physics," pp. 2523–2529, 2016.
- [6] F. U. Yu, W. Xiangke, Z. H. U. Huayong, and Y. U. Yangguang, "Parameters Optimization of Multi-UAV Formation Control Method based on Artificial Physics," pp. 2614–2619, 2016.
- [7] Y. Kuriki and T. Namerikawa, "Formation Control with Collision Avoidance for a Multi-UAV System using Decentralized MPC and Consensus-based Control," pp. 3079–3084, 2015.



- [8] D. Anggun Sartika, "PERANCANGAN KENDALI PURSUIT UNTUK PESAWAT TANPA AWAK (UAVS) BERBASIS LINE OF SIGHT (LOS) DAN REPULSIVE POTENTIAL FIELD," *Univ. Gadjah Mada*, 2015.
- [9] B. F. Giulietti and M. Innocenti, "By Fabrizio Giulietti, Lorenzo Pollini, and Mario Innocenti," no. December, pp. 34–44, 2000.
- [10] Y. Gu, B. Seanor, G. Campa, M. R. Napolitano, and L. Rowe, "Design and Flight Testing Evaluation of Formation Control Laws," vol. 14, no. 6, pp. 1105–1112, 2006.
- [11] W. Ren and R. W. Beard, "Formation feedback control for multiple spacecraft via virtual structures."
- [12] X. Liu, "A Comparative Study of A-star Algorithms for Search and rescue in Perfect Maze," 2011.
- [13] H. Wang, J. Zhou, G. Zheng, and Y. Liang, "HAS: Hierarchical A-Star Algorithm for Big Map Navigation in Special Areas," *2014 5th Int. Conf. Digit. Home*, pp. 222–225, Nov. 2014.
- [14] S. M. Lavalle, "Simplicial Dijkstra and A * Algorithms : From Graphs to Continuous Spaces," pp. 1–19.
- [15] M. Parulekar, V. Padte, T. Shah, K. Shroff, and R. Shetty, "Automatic Vehicle Navigation using Dijkstra 's Algorithm," 2013.
- [16] D. A. Mercado, R. Castro, and R. Lozano, "Quadrotors Flight Formation Control Using a Leader-Follower Approach *," no. 5, pp. 3858–3863, 2013.
- [17] T. Yamasaki and S. N. Balakrishnan, "Sliding mode based pure pursuit guidance for UAV rendezvous and chase with a cooperative aircraft," *Proc. 2010 Am. Control Conf.*, pp. 5544–5549, Jun. 2010.
- [18] A. Aghaeeyan and H. A. Talebi, "UAV Guidance For Tracking Control Of Mobile Robots In Presence Of Obstacles 2," pp. 135–140, 2013.
- [19] B. Y. B. E. N. Grocholsky, J. Keller, V. Kumar, and G. Pappas, "A Scalable Approach to the Detection and Localization," no. September, pp. 16–26, 2006.
- [20] H. G. Tanner and D. K. Christodoulakis, "Decentralized Cooperative Control of Heterogeneous Vehicle Groups," no. March 2007, pp. 1–31.
- [21] N. Michael, J. Fink, and V. Kumar, "Controlling a Team of Ground Robots via an Aerial Robot," pp. 965–970, 2007.
- [22] E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz, "Swarm Intelligence: From natural to Artificial Systems," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 192–193, 2000.
- [23] C. Yu, J. Wang, and J. Shan, "Multi-UAV UWA Video Surveillance System," vol. 2016, no. November, pp. 13–15, 2016.
- [24] W. Ding, G. Yan, Z. Lin, and Y. Lan, "Leader-following formation control based on pursuit strategies," *2009 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 4825–4830, Oct. 2009.
- [25] T. Nagai, "Applying Position Prediction Model for Path Following of Ship on Curved Path," pp. 3675–3678, 2016.
- [26] A. M. Lekkas and T. I. Fossen, "Trajectory Tracking and Ocean Current Estimation for Marine Underactuated Vehicles," 2014.
- [27] D. J. W. Belleter and K. Y. Pettersen, "Path Following for Formations of Underactuated Marine Vessels under Influence of Constant Ocean Currents," 2014.
- [28] C. Chen, J. Kouh, and J. Tsai, "Modeling and Simulation of an AUV Simulator With Guidance System," vol. 38, no. 2, pp. 211–225, 2013.
- [29] W. Caharija, "Integral Line-of-Sight Guidance and Control of Underactuated Marine Vehicles."
- [30] "Line-of-Sight Guidance for Path Following of Marine Vehicles Line-of-Sight Guidance for Path Following of Marine Vehicles," no. June 2013, 2015.
- [31] N. F. Palumbo, R. A. Blauwkamp, and J. M. Lloyd, "Basic Principles of Homing Guidance," pp. 25–41.
- [32] a. Betser, P. a. Vela, G. Pryor, and a. Tannenbaum, "Flying in formation using a pursuit guidance algorithm," *Proc. 2005, Am. Control Conf. 2005.*, pp. 5085–5090, 2005.
- [33] N. . Shneydor, *Missile Guidance And Pursuit*. .
- [34] C. Wenjing, "A New Multi-UAV Cooperation Method," 2016.



Desain Low Pass Filter Metode Stepped Impedance dengan Frekuensi Cutoff 2 GHz

Alief Maulana, Hamdan Kelana Aziz

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, ²Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

Informasi Artikel

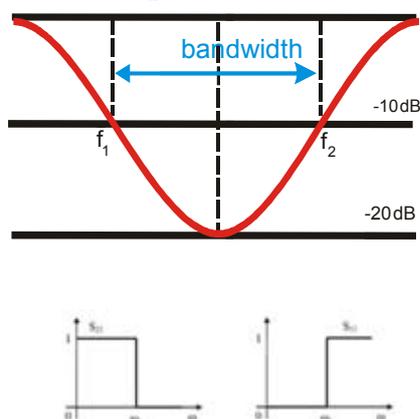
Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
aliefmaulana@untirta.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Along with the development of technology and the growth of human population make the need for information exchange either in the form of data, voice, and the bigger picture. Wireless telecommunication technology is the most developed today, based on increased human mobility that can adapt to high levels of human mobility and faster network construction than cable communications technology. In satellite broadcasting technology is highly dependent on the band that L-Band has a frequency range with satellite equipment to transfer the satellite signal from the LNB in the dish to the receiver. The official frequency range for L-band is 1 to 2 GHz. Standard satellite LNBs use 950-1450 MHz as an intermittent frequency. From it came the author's idea to create a Design for Lowpass Simulation that is able to pass into the L Band frequency spectrum with a cutoff at 2GHz Frequency.

Keywords: LPF, Microstrip.

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi dan pertumbuhan populasi manusia membuat kebutuhan akan pertukaran informasi baik berupa data, suara, maupun gambar semakin besar. Teknologi wireless telecommunication merupakan yang paling berkembang saat ini, didasarkan mobilitas manusia yang semakin tinggi sehingga dapat menyesuaikan dengan tingkat mobilitas manusia yang tinggi dan pembangunan jaringan yang lebih cepat dibandingkan teknologi komunikasi via kabel. Pada teknologi satelit broadcasting sangat tergantung pada band yang L-Band memiliki rentang frekuensi dengan peralatan satelit untuk mentransfer sinyal satelit dari LNB di dish ke receiver. Rentang frekuensi resmi untuk L-band adalah 1 sampai 2 GHz. Standar LNB satelit menggunakan 950-1450 MHz sebagai frekuensi yang intermiten. Dari hal tersebut muncul pemikiran penulis untuk membuat suatu Design untuk Simulasi Lowpass yang mampu meloloskan yang masuk kedalam spektrum frekuensi L Band dengan cutoff pada Frekuensi 2Ghz.

Kata Kunci: LPF, Microstrip.

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya teknologi dan pertumbuhan populasi manusia membuat kebutuhan akan pertukaran informasi baik berupa data, suara, maupun gambar semakin besar. Tidak dapat dipungkiri, setiap detik waktu berlalu manusia seakan tidak dapat lepas dari peran telekomunikasi. Manusia yang sejatinya merupakan makhluk sosial selalu membutuhkan komunikasi, informasi, data, voice dan lain sebagainya secara real time dan berkesinambungan. Kebutuhan akan kemampuan jaringan telekomunikasi yang cepat, high capacity dan handal membuat semakin canggih dan modern teknologi telekomunikasi. Teknologi wireless telecommunication merupakan yang paling berkembang saat ini, didasarkan mobilitas manusia yang semakin tinggi sehingga dapat menyesuaikan dengan

tingkat mobilitas manusia yang tinggi dan pembangunan jaringan yang lebih cepat dibandingkan teknologi komunikasi via kabel.

Pada teknologi satelit broadcasting sangat tergantung pada band yang dilewatinya, diantaranya VHF Band, UHF Band, B-Band, L-Band, C-Band, Ku-Band, dan Ka-Band. Masing – masing band memiliki fungsi masing pada teknologi satelit broadcasting. L-Band memiliki rentang frekuensi dengan peralatan satelit untuk mentransfer sinyal satelit dari LNB di dish ke receiver. Rentang frekuensi resmi untuk L-band adalah 1 sampai 2 GHz. Standar LNB satelit menggunakan 950-1450 MHz sebagai frekuensi yang intermiten. Jaringan Dish menggunakan bandwidth yang lebih luas dari 950-2250 MHz untuk Dish mereka yang Pro Plus LNB.

Dari hal tersebut muncul pemikiran penulis untuk membuat suatu Design untuk Simulasi Lowpass yang mampu meloloskan yang masuk kedalam spektrum frekuensi L-Band dengan cutoff pada Frekuensi 2Ghz. Pembuatan design filter menggunakan Software Advance Design System (ADS) 2011. ADS mampu memfasilitasi semua yang dibutuhkan simulasi untuk design Filter Microstrip. Pembatasan masalah dibuat agar tidak meluas dari tema yang telah ditentukan. Batasan masalah pembahasan laporan ini diantaranya adalah :

1. Membahas filter *low pass cut off* 2 Ghz
2. Menggunakan software ADS 2011.
3. Jenis *substrate* yang digunakan adalah Rogers Duroid 5880

2. DASAR TEORI

2.1 Parameter Filter

1. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V_{\max}|$) dengan minimum ($|V_{\min}|$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut koefisien refleksi tegangan (Γ).

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran berada dalam keadaan *matching* sempurna. Namun pada kenyataannya nilai tersebut sulit didapatkan sehingga nilai dasar VSWR yang digunakan pada antena umumnya ≤ 2 .

2. Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara gelombang amolitudo yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*missmatched*), besarnya return loss bervariasi tergantung pada frekuensi.

Nilai *return loss* yang biasa digunakan adalah di bawah -9,54 dB, untuk menentukan lebar *bandwidth*, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini digunakan sebagai salah satu acuan apakah antena sudah bekerja pada frekuensi yang sesuai atau tidak.

3. Impedansi Masukan

Impedansi masukan adalah perbandingan (rasio) impedansi pada bagian terminal antena atau perbandingan antara tegangan dan arus listrik pada terminal antena. Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu. Impedansi masukan, Z_{in} terdiri dari dua bagian real (R_{in}) dan bagian imajiner (X_{in}).

$$Z_{in} = R_{in} + X_{in} \Omega \quad (2.1)$$

Resistansi masukan (R_{in}) mewakili disipasi yang terjadi karena dua hal. Pertama karena daya yang meninggalkan antena dan tidak kembali lagi (radiasi), yang kedua karena rugi-rugi ohmic yang terkait

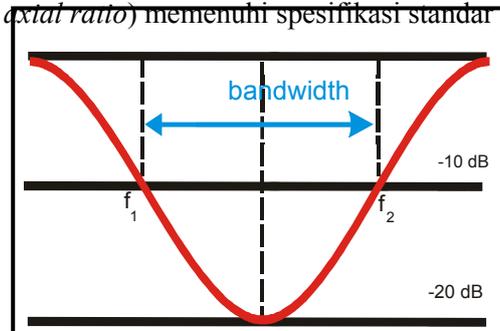


dengan panas pada struktur antenna. Namun pada banyak antenna, rugi-rugi ohmic sangat kecil bila dibandingkan dengan rugi-rugi akibat radiasi.

Komponen imajiner (X_{in}) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna. Kondisi matching harus sedemikian rupa sehingga mendekati $50+j0 \Omega$.

4. Bandwith

Bandwidth suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana kerja yang berhubungan dengan berapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar



Gambar 1 Rentangan Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*

Dengan melihat Gambar 1. *Bandwidth* dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

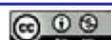
- f2 : frekuensi tertinggi
- f1 : frekuensi terendah
- fc : frekuensi tengah

Ada beberapa jenis *bandwidth* diantaranya:

- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *patch* antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dB dan 2, secara berurutan.
- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *beamwidth*, *sidebole* atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari.
- c. *Polarization* atau *axial ratio* adalah rentang frekuensi dimana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi melingkar adalah kurang dari 3 dB. [6]

2.2 Filter

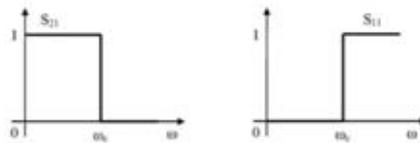
Filter memegang peranan penting pada banyak aplikasi RF/gelombang mikro. Aplikasi penting seperti komunikasi wireless memberikan tantangan untuk kemajuan filter RF/gelombang mikro sehingga lebih baik dari sebelumnya, performa tinggi, ukuran yang lebih kecil, lebih ringan dan harga yang lebih murah. Kemajuan yang baru pada bahan dan teknologi pembuatan termasuk superkonduktor suhu tinggi (HTS), keramik kofir suhu rendah (LTCC), rangkaian integrasi gelombang mikro monolitik (MMIC), sistem mikroelektromekanik (MEMS) dan teknologi mikromesin telah memacu kemajuan pesat pada aplikasi mikrostrip dan filter lain untuk RF/gelombang mikro. Dalam kemajuan desain alat pembantu komputer (CAD), seperti simulator elektromagnetik gelombang penuh (EM) telah memberikan perubahan desain filter. Banyak filter mikrostrip baru dengan kemajuan karakteristik filtering telah ditemukan.[7]



Filter mikrostrip untuk aplikasi RF/gelombang mikro menawarkan perawatan yang unik dan komprehensif berdasarkan struktur mikrostrip, menyediakan hubungan untuk aplikasi alat desain pembantu komputer dan kemajuan bahan dan teknologi. Banyak bahan dan filter yang bagus menggunakan desain bahan pembantu komputer didiskusikan, dari konsep dasar sampai realisasi praktis.

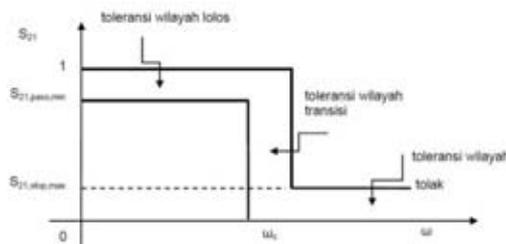
2.3 Low Pass Filter

Secara ideal, sebuah filter lowpass memiliki karakteristik yang ekstrim. Pada wilayah lolos, yaitu di dalam interval frekuensi 0 sampai suatu frekuensi batas tertentu (frekuensi cutoff ω_c), seluruh sinyal akan diteruskan, sedangkan mulai frekuensi cut-off sampai tak terhingga, seluruh sinyal akan tertolak. Seluruh sinyal diteruskan, artinya faktor refleksi dari sinyal di frekuensi ini bernilai $S_{11} = 0$ atau $S_{11,db} = -\infty$ dB sedangkan faktor transmisinya $S_{21} = 1$ atau $S_{21,db} = 0$ dB. Pada sinyal ditolak secara sempurna (di wilayah tolak/stop band) berlaku kebalikannya, yaitu $S_{11} = 1$ atau $S_{11,db} = 0$ dB dan $S_{21} = 0$ atau $S_{21,db} = -\infty$ dB. Gambar dibawah ini menunjukkan karakteristik dari filter lolos bawah ideal.



Gambar 2.2 Kiri: karakteristik refleksi ideal dari filter lolos bawah, kanan: karakteristik transmisi ideal dari filter lolos bawah

Filter ideal yang dibahas di atas secara praktis tidak mungkin untuk direalisasikan. Untuk tetap bisa membuat filter yang secara teknis bekerja dengan relatif baik, digunakan pendekatan-pendekatan. Pendekatan ini dilakukan dengan memodifikasi spesifikasi ideal di atas menjadi spesifikasi realistis. Spesifikasi yang realistis adalah dengan memberikan toleransi-toleransi dari karakteristik ideal tersebut. Gambar 2.3 menunjukkan tiga toleransi. Yang pertama adalah toleransi pada wilayah lolos, diperbolehkannya ada sebagian energi sinyal yang tidak diloloskan, sehingga menghasilkan S_{21} yang sedikit di bawah nilai 1, atau sedikit di bawah nilai 0 dB. Toleransi kedua diberikan pada interval tolak, bahwa tidak seluruh energi sinyal harus ditolak, ada sebagian yang diteruskan, sehingga sedikit di atas nilai 0, atau $S_{21,db} > -\infty$ dB. Toleransi ketiga diberikan pada transisi antar wilayah lolos dan tolak, bahwa perubahan tidak secara drastis terjadi.



Gambar 2.3 Karakteristik filter riil untuk faktor transmisi filter lolos bawah.

Dengan toleransi di gambar 2.3, ada beberapa pendekatan yang telah dilakukan, misalnya dengan karakteristik datar maksimal (maximally flat characteristics) atau aproksimasi Butterworth. Pendekatan ini cukup mudah, tetapi tidak memanfaatkan toleransi pertama di atas dengan optimal. Aproksimasi lainnya, misalnya Chebychev dan Elips, dengan effort yang sama, memberikan hasil yang lebih baik. Pendekatan dengan fungsi-fungsi di atas dimasukkan ke dalam parameter S_{21} , yaitu :

$$|S_{21}(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 F_n^2(\Omega)} \tag{1}$$

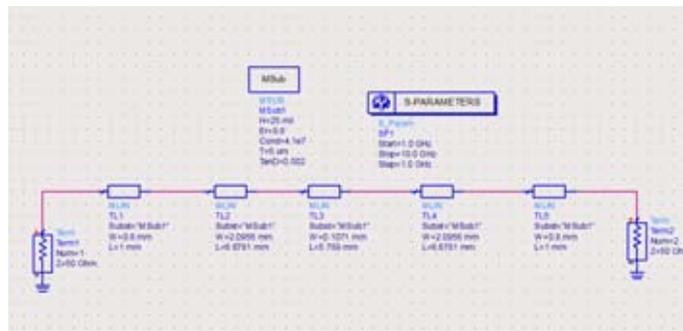


Dengan ϵ konstanta ripple, $F_n(\Omega)$ fungsi filter, dan Ω adalah variable frekuensi, yang biasanya dirancang pada prototype filter lolos bawah dengan frekuensi cut-off $\Omega_c = 1$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

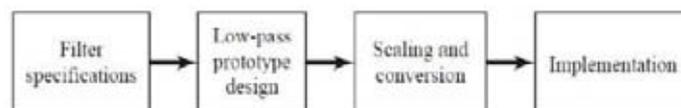
Pembuatan Simulasi Filter

Pada pembuatan filter ini menggunakan software ADS 2011, dan pembuatan awalnya dari skematik terlebih dahulu tidak langsung pada pembuatan melalui layout. Ini bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat dalam segi iterasi nantinya karena proses menjalankan simulasi filter pada skematik lebih cepat ini disebabkan saat proses di skematik ini masih gambaran kasar yang keakuratannya masih belum bagus jika ingin di fabrikasi apabila mengacu pada desain filter pada skematik dan hasil simulasi pada skematik menunjukkan hasil yang ideal. Pada desain skematik ini membuat filter dengan menggunakan komponen komponen dari toolbox yang ada yang disusun menjadi filter. Bisa dilihat bentuk skematik untuk filter *ultra wide band* pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Pembuatan Filter melalui Skematik

Pada Gambar 4.1 bisa dilihat terdapat komponen-komponen yang berjajar sebanyak 10 buah, itu nantinya akan menjadi *stub-stub* pada filter. Komponen-komponen yang dipakai dalam pembuatan filter ini pada skematik adalah MLIN, MTEE, VIAGND, PIN, TERM, GROUND, S PARAM, VAR dan MSUB. Komponen – komponen ini disusun dan dirangkai hingga menjadi sebuah filter *ultra wide band* yang diinginkan. Pada pembuatan filter ini menggunakan *substrate* Rogers Duroid 5880 untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada Tabel 4.1. Pada proses pembuatan skematik ini belumlah selesai karena proses selanjutnya adalah pada layout karena bisa saja hasil dari skematik ini berubah pada saat dijalankan di layout walaupun perubahannya tidak sangat signifikan namun ini tidak boleh diabaikan bisa saja filter yang dibuat berubah menjadi lebih bagus hasil simulasinya atau sebaliknya saat filter dijalankan di layout.



Gambar 4.2 Diagram alir saat menentukan design filter

Pada Step pertama memilih filter dengan orde $N = 3$. Ada 2 protoipe untuk mendesign lowpass filter yaitu :

1. Butterworth
2. Chebysev

Untuk butterworth menggunakan rumus untuk menemukan nilai G dengan cara dibawah ini :



$$\begin{aligned}
 g_0 &= 1 \\
 g_k &= 2\sin[(2k-1)\pi/2n], \quad k=1,2,\dots,n \\
 g_{n+1} &= 1, \quad \text{for all } n
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Maka akan didapat data pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data sheet Rogers Duroid 5880

PROPERTY	0.508mm (0.020")	0.762mm (0.030")	1.270mm (0.050")	UNIT	PROPERTY	0.508mm (0.020")	0.762mm (0.030")	1.270mm (0.050")	UNIT
Dielectric Constant, ε _r	2.95 ± 0.05 (max)	2.95 ± 0.05 (max)	2.95 ± 0.05 (max)	±	Moisture Content, %	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.10 ± 0.02	%
Thermal Expansion Coefficient, α	16.5	16.5	16.5	ppm/°C	Surface Impedance, Ω	0.0001 ± 0.0002	0.0001 ± 0.0002	0.0001 ± 0.0002	Ω
Dielectric Loss Tangent, tan δ	0.0015 ± 0.0005	0.0015 ± 0.0005	0.0015 ± 0.0005	±	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, MHz	1000	1000	1000	MHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, GHz	100	100	100	GHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, THz	10	10	10	THz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, PHz	1	1	1	PHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, EHz	0.1	0.1	0.1	EHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, ZHz	0.01	0.01	0.01	ZHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, YHz	0.001	0.001	0.001	YHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, XHz	0.0001	0.0001	0.0001	XHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, WHz	0.00001	0.00001	0.00001	WHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, VHz	0.000001	0.000001	0.000001	VHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, UHz	0.0000001	0.0000001	0.0000001	UHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, THz	0.00000001	0.00000001	0.00000001	THz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, GHz	0.000000001	0.000000001	0.000000001	GHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, MHz	0.0000000001	0.0000000001	0.0000000001	MHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, kHz	0.00000000001	0.00000000001	0.00000000001	kHz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω
Resonance Frequency, Hz	0.000000000001	0.000000000001	0.000000000001	Hz	Surface Resistance, Ω	100 ± 20	100 ± 20	100 ± 20	Ω

4.1 Desain Filter Low Pass

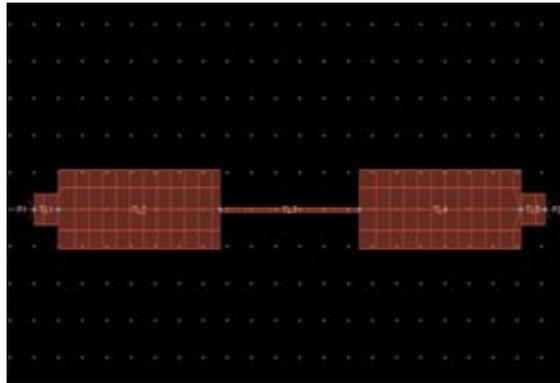
Pada perancangan awal digunakan aproksimasi Butterworth ordo N =3. serta menggunakan model L-C-L, filter yang terbentuk dari struktur impedansi tinggi-rendah-tinggi. Untuk ZOL digunakan nilai 93 ohm dan untuk ZOC dipakai 24 ohm. Dari data-data ini (PCB yang digunakan TMM10 dengan permitivitas relatif 9,2 dan tebal 0,762 mm). Pada program ads ada fitur yang bernama Line Calculator yang berfungsi untuk mendapatkan lebar dan panjang strip. Dan didapatkan lebar dan panjang gelombang relatif seperti ditunjukkan di tabel dibawah ini:

Tabel 4.2 Data lebar dan panjang tiap strip

	Mikrostrip Feed	Impedansi Tinggi	Impedansi Rendah
Nilai Impedansi	50 Ohm	93 Ohm	24 Ohm
Lebar Strip	0.8 mm	0.15.17 mm	2.0956 mm
Panjang Strip	0.88 mm	5.789 mm	6.6781 mm

Nilai panjang dan lebar masing-masing strip adalah $lW1=0.1517$ mm $lW2 = 2.0956$ mm, $CW1 = 2.789$ mm, dan $CW2 = 6.6781$ mm.

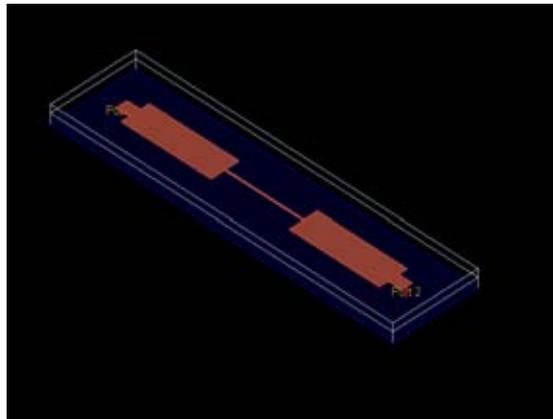
Gambar 4.1 menunjukkan model filter mikrostrip untuk kasus dikompensasi. Besaran-besaran dibulatkan sampai suatu besaran tertentu (akurasi 0,025 mm) sehingga memory RAM yang dibutuhkan tidak terlalu besar, dalam hal ini 16 MB. Jika dibuat akurasi 0,01 mm dibutuhkan 69 MB, jika terus diturunkan menjadi 0,005 mm atau 5 mikrometer maka diperlukan RAM sebesar 226 MB. Besarnya RAM yang diperlukan ini berbanding dengan waktu yang diperlukan untuk mensimulasikan problem sampai didapatkan hasil.



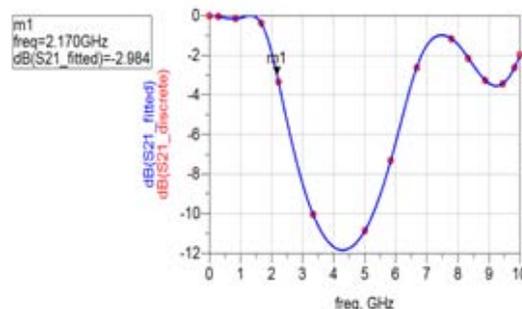
Gambar 4.2 Tampilan Layout Lowpass filter ads 2011

Pada gambar 4.2 kita dapat mengetahui Panjang Lebar dari setiap TL(Strip) :

- WTL1 : W=0.8 mm, L= 0.8 mm
- WTL2 : W= 2.0956 mm, L= 6.6781 mm
- WTL3 : W= 0.1517 mm, L= 5.789 mm
- WTL4 : W= 2.0956 mm, L= 6.6781 mm
- WTL5 : : W=0.8 mm, L= 0.8 mm



Gambar 4.3 Layout 3d filter lowpass pada software ADS 2011



Gambar 4.4 Hasil Simulasi Filter lowpass menggunakan program ADS 2011

Bisa dilihat pada gambar 4.4 titik cut off berada pada frequensi 2.17 Ghz, dilihat dari spesifikasi design awal yang targetnya pada frequensi 2 Ghz hasil yang di dapat melebihi design tetapi masih dalam batas toleransi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil kerja praktik yang dilakukan di Pusat Penelitian Elektronika Dan Telekomunikasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) – Bandung didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada kerja praktik ini Filter low pass filter 2ghz



2. Data panjang lebar strip yang dihasilkan program ads:

WTL1 : W=0.8 mm, L= 0.8 mm

WTL2 : W= 2.0956 mm, L= 6.6781 mm

WTL3 : W= 0.1517 mm, L= 5.789 mm

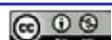
WTL4 : W= 2.0956 mm, L= 6.6781 mm

WTL5 : : W=0.8 mm, L= 0.8 mm

Filter Lolos Bawah dengan teknik stepped impedance memiliki kelebihan yaitu perancangan yang mudah secara teori rankain dan simulasi dengan software elektromagnetika secara numerik (full-wave solution) meberikan hasil yang akurat. Pada kasus filter ini bisa diperidiksi nilai di cutoff secara cukup signifikan. Yaitu sampai dengan -10 dB. Penggunaan aprokimasi butterworth dan chebychev tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Diduga rippel yang digunan tidak terlalu besar, sehingga untuk N=3 masih belum ada perbedaan yang jauh.

REFERENSI

- [1] J.-S. Hong, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, 2nd ed. Wiley, 2011.
- [2] N.N. Sonnet v13.56, www.sonnetsoftware.com
- [3] M. Alaydrus, Designing microstrip bandpass filter at 3,2 GHz, *Intel. Journal on Electrical Engineering & Informatics*, Vol.2, no.2, 2010. www.ijeei.org
- [4] Y.-C. Chiou, Planar Multiband Bandpass Filter with Multimode Stepped-Impedance Resonators, *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 114, 129-144, 2011
- [5] W.-Y. Chen, M.-H. Weng, S.-J. Chang, H. Kuan, and Y.-H. Su, A New Tri-band Bandpass Filter for GSM, WiMax and Ultra-Wideband Responses by using Asymmetric Stepped Impedance Resonators, *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 124, 365-381, 2012
- [6] M. Alaydrus, *Saluran Transmisi Telekomunikasi*, Graha Ilmu, Jogjakarta, 2009.
- [7] W. Gunawan, et al., "Multiband Bandpass Filter (BPF) based on Folded Dual Crossed Open Stubs," *International Journal of Technology*, vol. 5, pp. 32-39. 2014.
- [8] W. Gunawan, et al., "Design of Triple-band Bandpass Filter using Cascade Tri-section Stepped Impedance Resonators", *Journal of ICT Research and Applications*, vol. 10, pp. 43-56, 2016.



Perancangan Sistem Kontrol Pada Prototip Pengerik Kerupuk Berbasis IC Digital Menggunakan Software Proteus 7.0

Syifaul Fuada

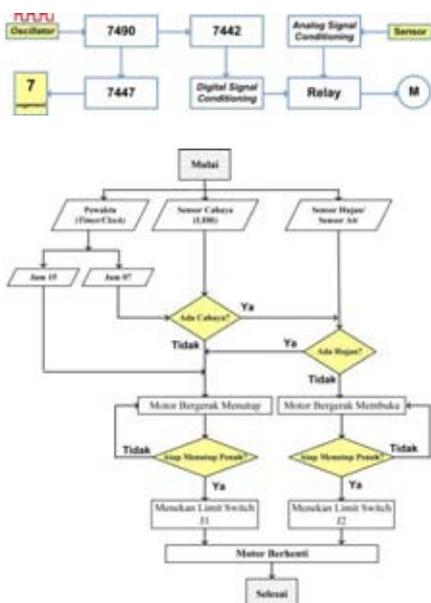
University Center Of Excellence On Microelectronics, Institut Teknologi Bandung
IC Design Laboratory, Gedung Pau Lantai Iv, Jl. Tamansari No.126, Bandung, Jawa Barat, 40132, Indonesia

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017
Direvisi : 14 April 2017
Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
fsyifaul@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Generally, simulations are used as the first approach to implement a particular system, from simple to complex systems. In the electronic circuit, simulation can be done in order to know the working principle of the circuit. The aim of this article is to design a digital control circuit based on digital IC for cracker drying device. The PROTEUS 7.0 with the student version is used as a simulator tool. The PROTEUS® consists of two software that each of them have a specific purpose, i.e. ISIS® which has been embedded in SPICE® macro model. Thus, able to simulate electronic circuits with an interactive display, and then ARES® is dedicated to PCB layout only. The advantages of PROTEUS® e.g. easy to operate; has a good of user interactivity; Contains a large selection of active components (such as BJT transistors, MOSFET transistors, IC, IGBT, diode, and etc.), passive components such as resistors, capacitors and inductors, components of input and output, and sensor devices from various vendor. The designed control circuit is consist of four main parts, i.e. counter circuit as timer. In this case, we use two digits Seven-segment as clock representative from 12 PM to 12 AM. ii) circuit for controlling the DC motor with CW mode and CCW mode; iii) rain sensor circuit; and iv) light sensor circuit, in this paper we use the Light Dependent Resistor (LDR). This paper is focus on control circuit only.

Keywords: IC Digital, Prototip alat pengerik kerupuk, PROTEUS, Rangkaian Elektronika, Simulasi

Abstrak

Simulasi umumnya dipergunakan sebagai pendekatan awal sebelum mengimplementasikan suatu sistem, baik yang sederhana maupun kompleks. Dalam rangkaian elektronika, simulasi dapat dilakukan untuk mengetahui cara kerja rangkaian tersebut. Tujuan penulisan makalah ini adalah merancang rangkaian kendali pada prototip pengerik kerupuk otomatis berbasis IC digital. Perangkat lunak simulator menggunakan PROTEUS 7.0 student version. PROTEUS® terdiri atas dua perangkat lunak yang masing-masing memiliki tujuan tersendiri, yakni: ISIS® yang didalamnya memuat SPICE® sehingga dapat mensimulasikan rangkaian elektronika secara interaktif dan ARES® untuk layout PCB. Kelebihan PROTEUS® antara lain: mudah dioperasikan; interaktifitas kepada user yang baik; memuat banyak pilihan komponen aktif (seperti transistor BJT, transistor MOSFET, Integrated Circuit, IGBT, diode, dsb.), komponen pasif seperti resistor, kapasitor dan induktor, komponen input dan output, serta perangkat sensor dari berbagai vendor. Rangkaian kendali yang dirancang terdiri atas empat bagian utama yang mana akan dirinci satu persatu, yakni: i) rangkaian counter sebagai pewaktu (timer) yang dalam hal ini diwakili dua digit yang merepresentasikan variabel waktu yakni 12 sampai 00; ii) Rangkaian kendali motor DC dari pewaktu; iii) Rangkaian sensor hujan; dan iv) Rangkaian sensor cahaya yang dalam hal ini digunakan Light Dependent Resistor (LDR). Makalah ini berfokus pada rangkaian kendali.

Kata kunci: Digital IC, Electronic Circuit, PROTEUS, Prototype of cracker drying device, Simulation

1. PENDAHULUAN

Kerupuk merupakan salah satu makanan tradisional di Indonesia [1] yang kini telah banyak *home industry* untuk memproduksinya. Berdasarkan observasi sederhana, pengeringan kerupuk mentah dapat dilakukan dengan tiga cara, i) secara tradisional, yakni dengan penjemuran atau dihadapkan langsung ke matahari (*direct solar drying*) dimana alas pengering umumnya menggunakan bahan sederhana (anyaman bambu, kayu, kain, dsb), metode lain adalah dengan tungku pemanggang konvensional (cerobong oven); ii) secara modern, yakni menggunakan oven listrik; dan iii) metode *hybrid* atau campuran antara tradisional (dihadapkan ke arah matahari) dengan bantuan alat. Penggunaan oven umumnya diterapkan oleh *home industry* kelas menengah keatas atau bahkan perusahaan besar, sementara *home industry* sebatas pemanfaatan terik matahari mengingat selain harga oven skala besar yang ada dipasaran tidak cukup terjangkau juga biaya tagihan listrik yang tinggi. Metode yang terlalu tradisional pun juga kurang ergonomi dan *high-effort* karena pegawai harus rutin menjemur dikala matahari mulai terik dan meneduhkan kerupuk dikala menjelang sore serta siap siaga ketika suatu saat terjadi hujan. Jika terkena air hujan, kerupuk tersebut akan rusak dan tidak layak jual (menyusut) karena kurang mekar ketika digoreng.

Pendekatan sistem pengeringan pada penelitian ini adalah dengan *hybrid* untuk industri kecil kelas paling bawah, adapun penelitian yang relevan adalah seperti yang dilakukan oleh T. Panggabean, dkk yang merancang alat pengering kerupuk jenis rengginang ubi kayu untuk industri menengah kebawah, alat didesain secara bertumpuk dengan memanfaatkan biomassa dan panas matahari sebagai energi utama dalam proses pembakaran untuk mengeringkan kerupuk tersebut [2]. Kemudian S. Nandiroh, dkk melakukan *redesign* alat pengering kerupuk jenis intip yang didedikasikan untuk industri kecil menengah. Alat pengering menggunakan pemanas tungku bara api dimana proses pengambilan kerupuk menggunakan alat tambahan, yakni mekanisme pedal yang disesuaikan dengan postur pekerja sehingga lebih nyaman dan aman [3]. Selanjutnya, R. Firdaus, dkk merancang alat pengering berbasis kolektor surya, yakni memantulkan serta memfokuskan panas matahari ke wadah terisolasi, dalam hal ini objek dalam ruangan hampa tersebut adalah kerupuk. Dengan alat tersebut, dapat meningkatkan suhu hingga 70°, dan mengeringkan lebih cepat sebesar lima sampai delapan kali dari waktu normal [4].

Adapun perbedaan dari penelitian ini dengan yang sebelumnya terletak pada substansi materi, dimana alat yang dirancang tanpa menggunakan kolektor surya. Artinya, kerupuk dijemur secara konvensional yakni dihadapkan langsung ke matahari, namun dilengkapi otomatisasi yang dapat membuka dan menutup atap alat pengering secara otomatis sesuai dengan waktu yang telah diatur (*setting*) dan juga mampu menghindari air hujan dengan dua sensor utama yakni sensor cahaya yang mendeteksi redup sinar matahari serta sensor hujan yang mendeteksi rintik air hujan. Fokus utama terletak pada rangkaian sistem kontrol dan simulasinya, sementara desain mekanik serta bahan material akan didiskusikan pada makalah yang berbeda.

Simulasi menggunakan alat bantu komputer merupakan langkah awal dalam rancang bangun suatu alat atau sistem, hal ini bertujuan agar penulis mampu mengetahui cara kerja alat apakah berjalan sebagaimana mestinya. Selain itu juga dipergunakan untuk mengetahui perilaku dan karakteristik dari suatu rangkaian, (misalnya: temperatur [5], *noise* [6], *received power* [18], *bode plot*, dsb.). Dengan melakukan proses simulasi, maka proses *engineering design* akan lebih mudah, praktis, efektif, dan efisien dari segi *effort*, waktu, tenaga, dan biaya. Adapun *software* yang dipergunakan adalah PROTEUS® buatan Lab Center Electronics. Inc, *software* terbagi menjadi dua bagian yakni khusus untuk merakit rangkaian/ membuat skematik sekaligus simulasi, (menggunakan program *Intelligent Schematic Input System* atau ISIS dan *Advanced Routing and Editing Software* atau ARES untuk melayout *Printed Circuit Board* (PCB), memiliki keunggulan dalam hal menyediakan berbagai komponen dari berbagai vendor [7], *Graphical User Interface* (GUI) yang interaktif sehingga cocok untuk kelas pemula bahkan tingkat lanjutan, perangkat alat ukur virtual yang lengkap (seperti: *logic analyzer*, *multimeter*, *oscilloscope*, *frequency analyzer*, dsb.), dapat ditambahkan komponen dari vendor lain dengan syarat tersedia *SPICE component*, mampu mensimulasikan rangkaian dengan perangkat mikrokontroler (*load* bahasa C kedalam IC mikrokontroler virtual) dan sebagainya. *Software* ini telah banyak dipergunakan untuk pembelajaran elektronika interaktif [8], simulasi rancangan sistem elektronika dari suatu penelitian [9-10],



pembuatan PCB dalam suatu penelitian elektronika, [11-12], bahkan sebagai *proof-of-concept* untuk pengerjaan skripsi, tesis, ataupun tugas akhir [13-14].

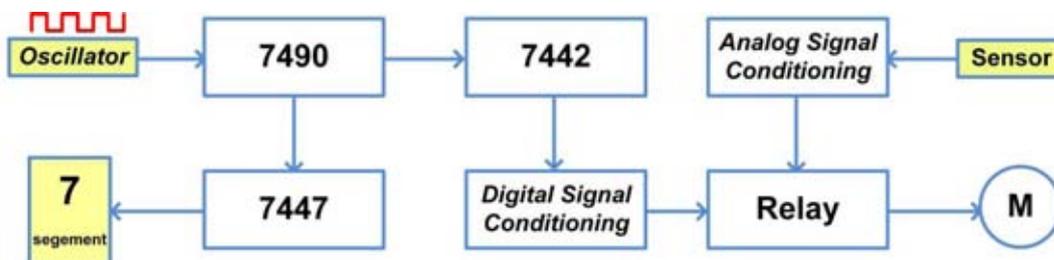
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh penulis adalah mensimulasikan rangkaian kontrol menggunakan *software* LIVEWIRE® [15], namun kelemahannya *software* tersebut tidak dilengkapi dengan transformasi skematik ke PCB sehingga PROTEUS® merupakan pilihan yang tepat. Dengan komponen pembangun menggunakan IC digital CMOS, maka dari segi *cost* lebih terjangkau dibandingkan dengan menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang mana harganya cukup mahal [16]. Harapan penulis, adalah dengan adanya sistem kontrol ini, dapat membantu meningkatkan produktivitas kerupuk yang disesuaikan dengan kapasitas minimum produksi. Proses mulai pengeringan dan meneduhkan lebih efektif dibandingkan metode konvensional.

Makalah ini terbagi menjadi empat bagian utama, bagian pertama mendeskripsikan latar belakang penelitian, bagian kedua menjabarkan metode perancangan yang mencakup blok diagram dan *flowchart* kerja rangkaian, bagian ketiga adalah hasil dan analisis yang mencakup realisasi blok diagram sistem dan pengujian fungsional secara simulasi dan terakhir adalah penarikan kesimpulan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Blok diagram

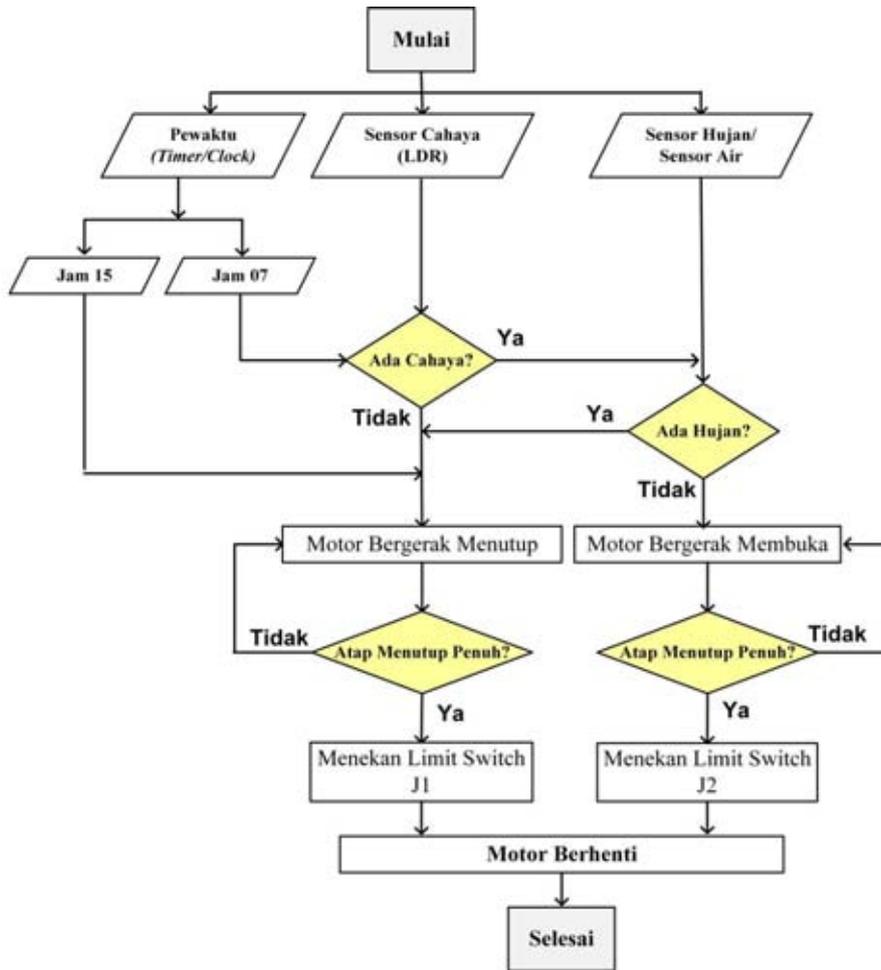
Adapun blok diagram rangkaian elektronik pengendali atap dari prototip pengering kerupuk ditunjukkan pada Gambar 1. Rangkaian tersusun atas beberapa komponen yang meliputi IC digital, sensor dan aktuator. Yakni sebagai berikut: 1) IC 7447 yang merupakan *binary-count-decimal* (BCD) ke komponen *output* seven-segment; 2) IC 7490 yang merupakan BCD *counter* yakni pencacah desimal dari bilangan biner; 3) IC 7442 yang merupakan *4-line BCD to 10-line decimals*, dipergunakan sebagai *decoder*; 4) rangkaian pembangkit pulsa digital; 5) Sensor LDR sebagai detektor redup dan terang cahaya matahari, (6) Sensor hujan sebagai detektor keberadaan butiran air hujan, (7) komponen *output* aktuator yakni sebuah Motor DC; dan 8) dua buah saklar (*switch*) *Normally Closed* (NC) untuk memberhentikan putaran motor ketika berputar searah jarum jam atau *Counter Wise* (CW) dan berlawanan jarum jam atau *Counter Clock Wise* (CCW).



Gambar 1. Blok diagram

2.2 Flowchart

Cara kerja dari sistem yang dirancang mengacu pada Gambar 2. Karena sebatas simulasi, maka representasi jam (*clock*) menggunakan dua digit dengan dua 2 buah komponen Seven-segment dan dicacah (*counting*) dari 00 sampai 23 oleh IC 7490 dan IC 7447. Kemudian, *output* IC 7490 dihubungkan ke IC 7442 untuk diubah menjadi bilangan desimal. Selanjutnya, *output* IC 7442 diproses oleh rangkaian *digital signal conditioning* yang terdiri atas IC 4049 (*NOT gate*) dan IC 4081 (*AND gate*), kemudian disambungkan ke rangkaian *driver* motor DC yang dalam hal ini menggunakan *relay* dua *switch*. Maka, motor DC bergerak kekanan atau membuka *rolling door* saat waktu menunjuk pukul 07 dan berhenti saat menyentuh saklar J2. Motor bergerak ke kiri atau menutup *rolling door* saat waktu menunjuk pada pukul 15 dan berhenti ketika menyentuh *limit switch* J1. Kedua rangkaian sensor dihubungkan langsung ke *relay*, dengan demikian saat sensor aktif pada rentang waktu 07 (7 AM) sampai 15 (3 AM) maka secara otomatis *rolling door* bergerak ke kiri. Saat sensor nonaktif antara waktu 07 sampai 15, maka *rolling door* bergerak ke kanan secara otomatis.



Gambar 2. Flowchart cara kerja sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Pewaktu dan Osilator

Implementasi kedalam rangkaian *clock* dan osilator ini mengacu pada Gambar 1 dimana jam digital menggunakan *counter* (IC 7490) dan *driver* Seven-segment (IC 7447) serta Seven-segment *Common Anode* dimana *output* IC 7447 dari $Q_A - Q_G$ disambungkan ke kaki a - b dari Seven-segment dan *input* IC 7447 dari A - D disambungkan ke IC 7490 dari $Q_0 - Q_3$. Kaki Q_1 IC U2 dan kaki Q_2 IC U4 diumpun ke IC *AND gate* 7408, karena pewaktu diatur mulai dari 00 sampai 23, yakni diambil saat kondisi 0010 dari U2 dan 0100 dari U4. Dengan demikian, ketika Seven-segment menunjukkan angka 23 atau pukul 23.00 (11 PM), maka *clock* akan melakukan *counting* ulang mulai dari 00 dan seterusnya. Acuan waktu yang digunakan dalam perancangan adalah waktu Indonesia barat (WIB) atau GMT+7.

Lama waktu (T) dari detik jam analog ketika bergerak adalah 1 *second* atau $f = 1$ Hertz, sehingga osilator yang didesain dalam simulasi ini untuk memberikan sinyal PWM adalah 1 Hz. Adapun perhitungannya mengacu pada persamaan(1), dimana detail penurunan persamaannya didiskusikan di [17]. Mengacu pada persamaan(2), $R_1 = R_2 = 1 \text{ K}\Omega$, maka $\beta = 0.5$, kemudian dipilih $R_3 = 50 \text{ K}\Omega$ sehingga $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$, untuk mencari T dilakukan dengan menyelesaikan persamaan(3). Rangkaian integrasi *clock* dengan osilator Astable Mutivibrator ditunjukkan pada Gambar 4.

$$T = \frac{1}{f}, f = 1 \text{ Hz maka } T = 1 \text{ s} \tag{1}$$

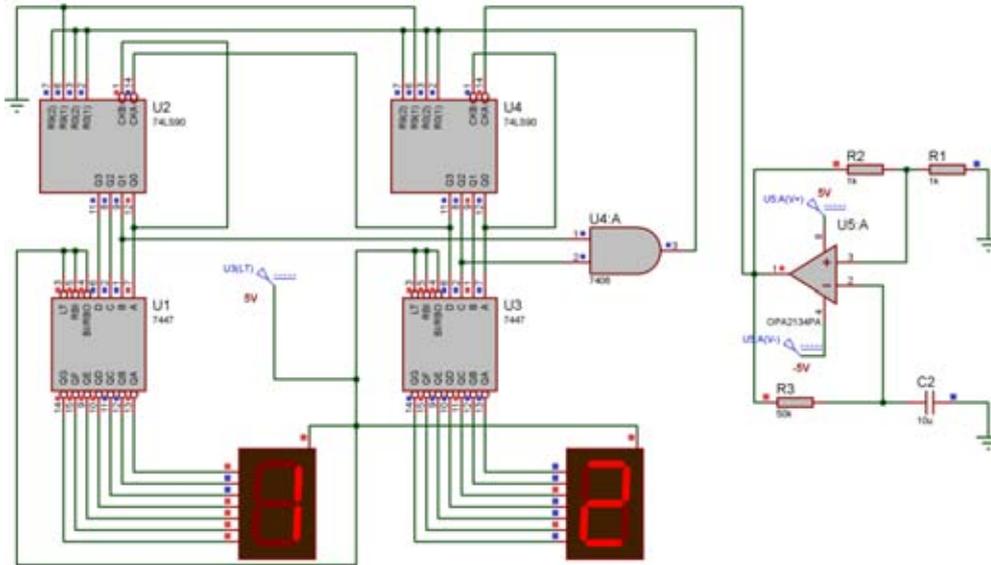
$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \tag{2}$$



$$T = 2 * R * C * \ln\left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta}\right) \tag{3}$$

$$1s = 2 * 50 \text{ K}\Omega * C * 1.098$$

$$C = \frac{1}{2 * 50 \text{ K}\Omega * 1.098} = 9.1 \times 10^{-6}, \text{dipilih } 10 \mu\text{F}$$



Gambar 4. Rangkaian pewaktu (*timer*) dan Osilator Astable Multivibrator

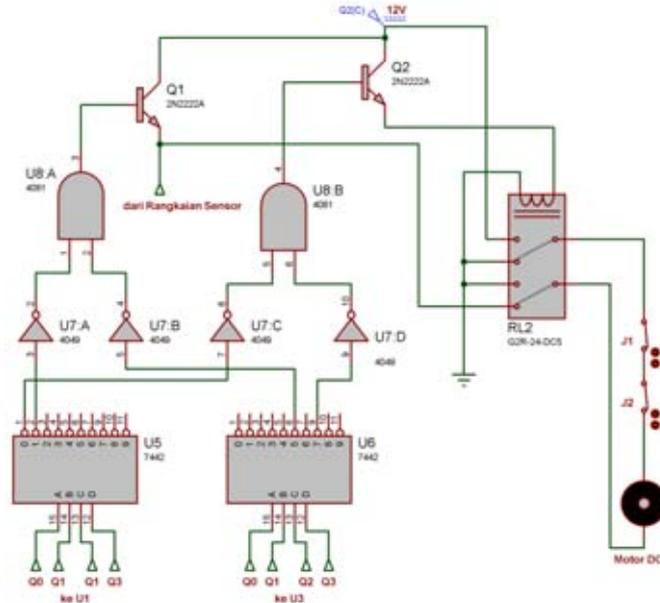
B. Perancangan kendali motor DC

Implementasi kedalam blok tahap akhir ini mengacu pada Gambar 1, dimana blok terdiri atas rangkaian pengkondisi sinyal digital dan rangkaian *driver* motor DC. Rangkaian *decoder* menggunakan IC 7442. Untuk menghasilkan angka desimal 07 dan 15 diperlukan konfigurasi dari kombinasi IC *counter* dan IC *decoder* sebagai berikut:

- *Output* dari U2 dihubungkan ke *input* U5 (diambil kaki pada saat U2 mencacah bilangan biner 0000 dan 0001), sehingga *output* U5 akan menghasilkan angka desimal 0 dan 1.
- *Output* U4 dihubungkan ke *input* U6 (diambil kaki pada saat U4 mencacah bilangan biner 0101 dan 0111), sehingga *output* U4 akan menghasilkan angka desimal 5 dan 7.
- *Output* dari IC U5 dan U6 adalah *high* atau ‘logika 1’, sehingga harus dibalik (*invert*) dengan menggunakan IC *NOT-gate* yakni 4049 atau U7.
- *Output* dari IC U5 dan U6 yang bernilai desimal 0 dan 7 dihubungkan ke IC U7:C dan U7:D, kemudian dihubungkan ke *input* IC *AND-gate* yakni 4081 atau U8:B
- *Output* dari IC U5 dan U6 yang bernilai desimal 1 dan 5 dihubungkan ke IC U7:A dan U7:B, kemudian dihubungkan ke *input* U8:A.

Dengan demikian bila *timer* menunjukkan angka desimal 07 pada seven-segmen, maka U8:B akan menghasilkan ‘logika 1’, dan saat menunjukkan angka desimal 15, U8:A akan menghasilkan ‘logika 1’. Tengganan *output* dari U8:A dan U8:B belum cukup untuk mengaktifkan relay 12 V_{DC}. Dengan demikian, dipasang transistor BJT 2N2222 sebagai *switch* dengan konfigurasi *common collector* karena hanya sebagai *buffer*. Ketika U8:A maupun U8:B dalam kondisi ‘on’, maka kaki basis akan mendapatkan tegangan >0.7 V_{DC} dan arus mengalir dari kaki kolektor IC ke *relay*, motor DC dan menuju *ground*, sehingga motor DC akan bekerja dan berhenti ketika *rolling door* menyentuh *limit switch* J1 atau J2.





Gambar 5. Rangkaian pengkondisi sinyal digital dan driver motor DC

C. Perancangan Sensor

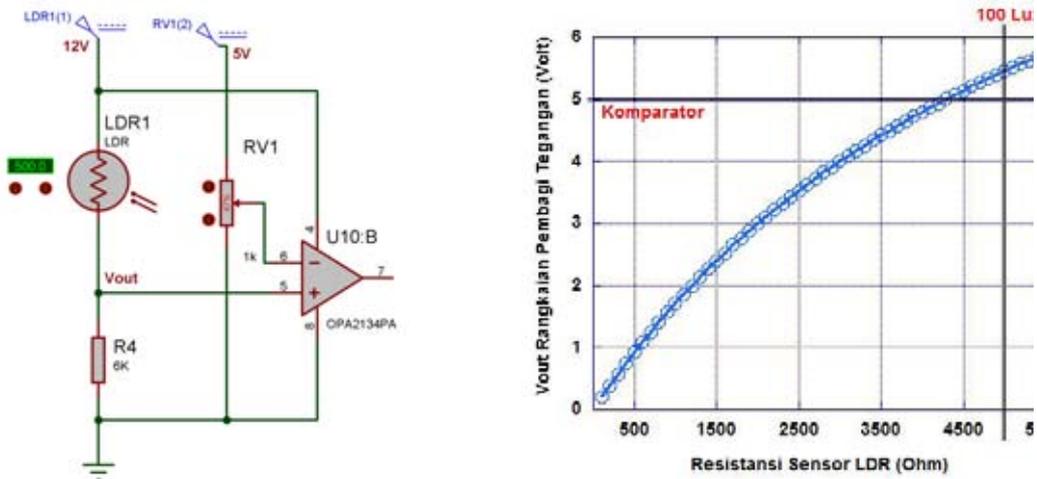
Untuk merancang sensor diperlukan karakterisasi masing-masing sensor yang dipakai (sensor cahaya dan sensor hujan), dalam hal ini sensor LDR menggunakan jenis MJ12516 $\phi 12$, memiliki tipikal hambatan sebesar 1 M Ω dalam keadaan gelap (*dark resistance*) dan 5 – 10 K Ω saat 100 Lux. Untuk keperluan perancangan sensor cahaya pada prototip pengering kerupuk, dipergunakan referensi 100 Lux sebagai maksimum intensitas cahaya matahari sebagai representasi mendung, dimana saat itu resistansi LDR adalah ~5 K Ω . Adapun perhitungan menggunakan rumus *voltage divider* ($\frac{R_{LDR}}{R_4 + R_{LDR}} \times V_{CC}$), hasil hitung ditunjukkan pada persamaan (4) ketika matahari tertutup oleh awan (sekitar 100 Lux), dan persamaan (5) ketika kondisi terang (sekitar 1000 Lux dimana resistansi LDR \ll 5 K Ω). Perangkat relay dua switch OMRON G2R-24-DC5 yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah minimal disuplai 5 V_{DC}. Dengan demikian hanya ketika intensitas matahari 100 Lux, relay aktif dan menjadikan motor berputar CCW atau atap menutup. Rangkaian komparator dipergunakan sebagai pembangding dan memastikan bahwa tegangan output dari rangkaian sensor 5V_{DC} ketika ‘logika 1’ dan 0V_{DC} ketika logika 0. Rangkaian sensor LDR ditunjukkan pada Gambar 6(a) dan Karakteristik sensor LDR ditunjukkan pada Gambar 6(b).

$$\frac{5 \text{ K}\Omega}{6 \text{ K}\Omega + 5 \text{ K}\Omega} \times 12 \text{ VDC} = 5.45 \text{ VDC} \quad (4)$$

$$\frac{3 \text{ K}\Omega}{6 \text{ K}\Omega + 3 \text{ K}\Omega} \times 12 \text{ VDC} = 4 \text{ VDC} \quad (5)$$

Sementara sensor air hujan dalam simulasi ini direpresentasikan sebagai perangkat switch, yakni ketika terkena air (basah) diseluruh permukaannya akan bernilai ‘logika 1’ atau 5 V_{DC} dan logika 0 atau 0V_{DC} ketika permukaan sensor kering. Kedua sensor tersebut dihubungkan ke kaki emiter Q2. Dengan demikian, ketika kondisi ‘logika 1’, motor DC akan berputar tanpa memperdulikan *counting* pewaktu. Hal ini sesuai dengan kondisi yakni apabila terjadi hujan (sinar matahari redup dan sensor hujan terkena tetesan air secara simultan) antara pukul 07 sampai 15, maka motor DC akan berputar CCW dan apabila hujan mereda total maka motor DC akan berputar CW.





(a) Rangkaian pengkondisi sinyal dari sensor LDR; (b) kurva resistansi sensor LDR terhadap tegangan output dari rangkaian pembagi tegangan

D. Pengujian Fungsional

Pengujian secara fungsional dilakukan untuk memastikan apakah rangkaian kontrol yang telah dirancang sesuai dengan *flowchart* kerja atau tidak. Dalam hal ini, hasil pengujian ditampilkan dalam Tabel 1. Dimana kondisi ‘1’ merupakan variabel aktif dan kondisi ‘0’ adalah variabel nonaktif. Dalam hal ini terdapat empat *input* yakni *limit switch* J1 dan J2, jam digital dan sensor. Sedangkan *output* X dan Y merupakan motor DC. Hasil sesuai dengan perancangan yang telah dideskripsikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Pengujian Fungsional Rangkaian Kontrol

INPUT				OUTPUT			Indikator
A	B	C	D	X	Y	C	
Jam Digital	Sensor	J1	J2				
0	0	0	0	0	0	-	
0	0	0	1	0	0	Nonaktif	
0	0	1	0	0	0	Nonaktif	
0	0	1	1	0	0	Nonaktif	
0	1	0	0	0	0	Nonaktif	
0	1	0	1	0	0	Nonaktif	
0	1	1	0	0	0	Nonaktif	
0	1	1	1	0	0	Nonaktif	
1	0	0	0	0	1	-	
1	0	0	1	0	1	CCW	3 AM
1	0	1	0	1	0	CW	7 AM
1	0	1	1	0	0	-	
1	1	0	0	1	0	-	
1	1	0	1	0	0	CCW	Hujan
1	1	1	0	0	0	Nonaktif	
1	1	1	1	0	0	-	



4. KESIMPULAN

Desain dan implementasi kedalam simulasi tentang rangkaian kendali berbasis IC digital pada alat pengering kerupuk telah dibahas dalam makalah ini yang mana cara kerja sesuai dengan ekpektasi. Adapun simulasi yang digunakan adalah PROTEUS® versi *student*. Secara singkat, prinsip kerja dari rangkaian ini adalah mengatur putaran motor DC untuk membuka (mode CW) dan menutup (mode CCW) atap alat pengering dengan dua variabel *input*, yakni: *timer*, sensor hujan dan sensor cahaya. Pada saat waktu menunjukkan pukul 07 yang berasal dari *count* IC digital, maka motor DC akan membuka dan akan menutup ketika menunjukkan pukul 15. Pengaturan waktu ini mengacu pada WIB atau GMT+7. Ketika sinar matahari redup dalam *range* waktu antara 07 sampai 15 maka sensor LDR akan aktif. maka motor DC akan berputar CCW atau menutup *rolling door* dengan otomatis tanpa menghiraukan *timer*. Begitu pula dengan sensor hujan saat aktif. Kemudian, saat LDR mendeteksi cahaya matahari sesuai dengan minimum level intensitasnya, maka atap secara otomatis akan membuka tanpa menghiraukan *timer*. Perangkat *Limit switch* J1 dan J2 yang dihubungkan secara seri pada *relay* berfungsi untuk menghentikan putaran motor saat *rolling door* menyentuhnya baik dalam mode CW atau CCW. Pada penelitian berikutnya, diperlukan perangkat *charger* berbasis sel surya sehingga mampu menyediakan suplai daya mandiri. Dan penggunaan menggunakan IC mikrokontroler AVR, *board* ARDUINO dan *board* FPGA dinilai lebih mudah, lebih terkustomisasi, dan lebih praktis dalam implementasi sistem control dibandingkan IC digital.

REFERENSI

- [1] S. Fuada, "Control System Design of Automatic Roof for Chips Drying Device (Software Version)," *Int. J. of Scientific & Engineering Research (IJSER)*, Vol. 4(7), 1408 – 1412, Juli 2013. ISSN 2229-5518.
- [2] T. Panggabean, A.N. Triana, dan A. Hayati, "Rancangan Alat Pengering Rengginang Hybrid Energi Surya dan Biomassa Pelepah Kelapa Sawit," *Prosiding Seminar Nasional FTIP UNPAD-PERTETA-HIPI*, pp. 79-86, November 2014. ISBN: 978-602-9238-92-1.
- [3] S. Nandiroh, C.C. Clarasari, dan Suranto, "Redesign Alat Pengering Intip untuk Industri Kecil Menengah Menggunakan Metode *Reverse Engineering*," *Prosiding Seminar Nasional IENACO*, pp. 64-72, 2016. ISSN: 2337-4349.
- [4] R. Firdaus, G.P. Annanto, dan B.S. Wibowo, "Alat Pengering Surya Tanpa Listrik (APKOSTRIK) untuk UMKM Kerupuk di Desa Brabo," Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang, *Prosiding PKMT* 2015.
- [5] M.Y. Fathany, S. Fuada, B.L. Lawu, dan M.A. Sulthoni, "Modelling and simulation of parallel triangular triple quantum dots (TTQD) by using SIMON 2.0," *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1725, 020018, 2016, DOI: 10.1063/1.4945472.
- [6] S. Fuada, A.P. Putra, T. Adiono, dan Y. Aska, "Noise Analysis of Trans-impedance Amplifier (TIA) in Variety Op Amp for Use in Visible Light Communication System," *unpublished*.
- [7] S. Fuada dan F.T. Aquari, "Square Wave Generator Circuit Analysis Using MATLAB Approach," *Int. J. of Engineering Sciences and Research Technology (IJESRT)*, Vol. 2(2), pp. 371-382, Februari 2013.
- [8] N. Cholis dan A. Noortjahja, "Pembelajaran Rangkaian Listrik Berbasis *Software Proteus* sebagai Media Pembelajaran di MAN Gresik 1," *J. Inovasi Pendidikan Fisika*, Vol. 2(3), pp. 157 – 161, 2013.
- [9] S. Motahir, A. Chalh, A. Ghzizal, S. Sebti, dan A. Derouich, "Modeling of Photovoltaic Panel by using Proteus," *J. of Engineering Science and Technology Review (JESTR)*, Vol. 10, pp. 8 – 13, 2017.
- [10] H. Himawan, C. Supriyanto, dan A. Thamrin, "Design of Prepaid Energy Meter based on PROTEUS," *Prosiding 2nd Int. Conf. on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, pp. 239-243, Oktober 2015. DOI: [10.1109/ICITACEE.2015.7437806](https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2015.7437806)
- [11] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska, dan T. Adiono, "Trans-impedance Amplifier (TIA) Design for Visible Light Communication (VLC) using Commercially Available OP-AMP," *Proc. of the 3rd*



- Int. Conf. on Information Tech. Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, pp. 31 – 35, October 2016. DOI: [10.1109/ICITACEE.2016.7892405](https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892405).
- [12] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska and T. Adiono, “A First Approach to Design Mobility Function and Noise Filter in VLC System Utilizing Low-cost Analog Circuits,” *Int. J. of Recent Contributions from Engineering, Science, and IT (iJES)*, Vol. 5(2), pp. 14 – 30, 2017. DOI: [10.3991/ijes.v5i2.6700](https://doi.org/10.3991/ijes.v5i2.6700).
- [13] S. Fuada, “Pengembangan Trainer Oscilator Pada Mata Kuliah Workshop Instrumentasi Industri (PTEL-660) di Jurusan Teknik Elektro FT UM,” Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, Juni 2014. Skripsi tidak diterbitkan.
- [14] S. Fuada, “Design and Implementation of Analog Front-End Transceiver Module for Visible Light Communication System,” M.T. thesis, Dept. Elect. Eng., School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2017.
- [15] S. Fuada, M. Huda dan R. Aprilowena, “A Study Basic Programmable Logic Controller (PLC) for Effective Learning,” *Int. Journal of Computers & Technology (IJCT)*, Vol. 3(3), pp. 470 – 473, 506. November – December 2012.
- [16] S. Fuada, “Pembuatan *Trainer Board* Astable Multivibrator (AM) sebagai Media Pembelajaran Pendidikan,” *J. Nasional Teknik Elektro (JNTE)*, Vol. 5(2), pp. 244 – 251, Juli 2016. DOI : [10.20449/jnte.v5i2.264](https://doi.org/10.20449/jnte.v5i2.264).
- [17] S. Fuada, A.P. Putra, dan T. Adiono, “Analysis of Received Power Characteristics of Commercial Photodiodes in Indoor LoS Channel Visible Light Communication,” *Int. J. of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 8(7), Juli 2017.



Antena Cerdas untuk Mitigasi Interferensi dengan Algoritma Least Mean Square

Rahmad Hidayat¹, Hamdani Setiawan², Yakob Liklikwatil³, Sabar Santoso⁴, Ninik Sri Lestari⁵

^{1),2),3),4),5)}Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung

Informasi Artikel

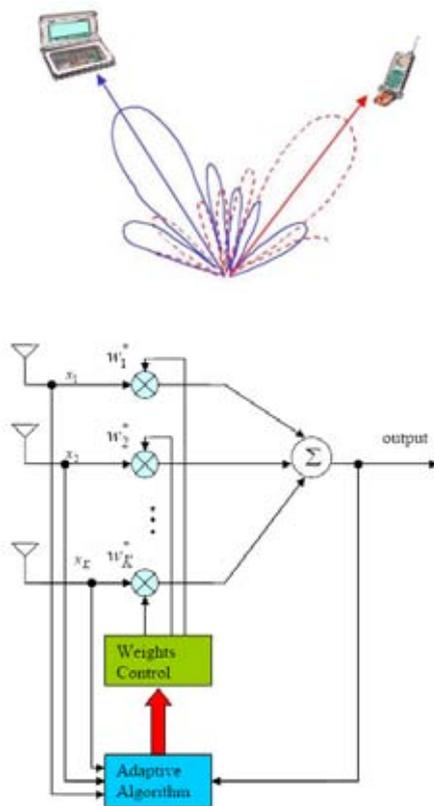
Naskah Diterima : 10 Maret 2017

Direvisi : 10 April 2017

Disetujui : 19 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
rhidayat4000@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Smart antenna is basically an array antenna with signal processing capability to send / receive information adaptively. This capability should continue to be explored to look for the best algorithm for adaptive beamforming capability desired. This paper aims to provide a review and analysis of the Least Mean Square (LMS) algorithms effect on the setting nulling beam smart antenna radiation pattern arrangement in its role to mitigate interference. Beamformer performance simulation for as many as 250 iterations performed with Matlab tool in Additional White Gaussian Noise (AWGN) channel and simulation parameters modified to compare two prices step size μ in the LMS algorithm for some number of antenna elements. Influence value step size μ , look at the number of iterations carried out before the minimum noise error is obtained, which rise in value step size is then further reduce the number of iterations, the average being 60. From the amplitude response pattern after beamforming process, the position of the main signal (0 dB) is right on angle of 30° and produced 15 nulling position of 16 antenna elements. Source of interference is removed / closed by putting 'nulls' in the direction of the source of interference in position 60° and -40° with each level gained ranges of -115 dB.

Keywords: Smart antenna, Beamforming, Adaptive algorithm, Least Mean Square, Interference

Abstrak

Antena cerdas pada dasarnya merupakan susunan antenna dengan kemampuan pemrosesan sinyal untuk mengirim/menerima informasi secara adaptif. Kemampuan ini harus terus didalami untuk dicarikan algoritma adaptif terbaik bagi kemampuan beamforming yang diinginkan. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan kajian dan analisis pengaruh algoritma Least Mean Square (LMS) pada pengaturan nulling beam pola radiasi susunan antenna cerdas dalam perannya terhadap mitigasi interferensi. Simulasi kinerja beamformer untuk sebanyak 250 iterasi dilakukan dengan tool Matlab pada kanal AWGN (Additional White Noise Gaussian) dan parameter simulasi diubah untuk membandingkan dua buah harga step size μ pada algoritma LMS untuk beberapa jumlah elemen antenna. Pengaruh nilai step size μ , terlihat pada jumlah iterasi yang dilangsungkan sebelum error noise minimum diperoleh, dimana dengan naiknya nilai step size ini maka semakin mengurangi jumlah iterasi, rata-rata menjadi 60. Dari pola respon amplitudo setelah proses beamforming, posisi sinyal utama (0 dB) tepat di sudut 30° dan dihasilkan 15 posisi nulling untuk 16 elemen antenna. Sumber interferensi dihilangkan / ditutup dengan menempatkan 'nulls' dalam arah sumber interferensi tersebut di posisi 60° dan -40° dengan masing-masing level diperoleh berkisar sebesar -115 dB.

Kata kunci: Antena cerdas, Beamforming, Algoritma adaptif, Least Mean Square, Nulling, Interferensi

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

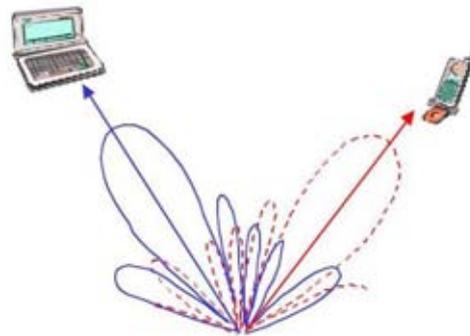
Antena cerdas terdiri dari susunan dua atau N buah antenna dengan jarak spasi sama, bersama-sama bekerja untuk mencapai pola radiasi yang spesifik. Pola radiasi ini akan menentukan pengarah dan penguatan antenna yang dihasilkan sedangkan bahannya sebagai contoh dapat terbuat dari mikrostrip

dengan bentuk *patch* dalam berbagai pilihan. Elemen antena bekerja dalam kelompok susunan/array yang dihasilkan baik secara hardware maupun software. Sistem antena cerdas memiliki kemampuan untuk mengubah pola radiasi guna memberikan reaksi terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat meningkatkan kapasitas dan S/N sistem wireless. Manfaat lain dari antena cerdas adalah bahwa efek dari *multipath* diatasi dengan menekan pengguna yang tidak diinginkan dan memaksimalkan *beam* pancaran ke arah sudut yang diinginkan. Sistem antena cerdas dapat membedakan sinyal yang diinginkan dan kanal interferensi yang berdekatan secara normal. Sistem ini membutuhkan tidak saja tentang pengetahuan sinyal referensi tapi juga arah sumber sinyal yang diinginkan. Dengan kata lain sistem antena cerdas juga membutuhkan suatu pelatihan untuk memperbarui nilai bobot yang ada. [1][2] [3][4]

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan kajian pembaruan (update) nilai bobot beamforming adaptif pada sistem antena cerdas dengan menggunakan algoritma least mean square, mensimulasikan pembentukan *beam* pola radiasi untuk beberapa elemen susunan antena linier dan menganalisis semua dampaknya dalam proses eliminasi sinyal yang tidak diinginkan berupa interferensi ataupun noise.

2. TEKNIK ANTENA CERDAS

Sebagai ilustrasi awal, gambar berikut ini menunjukkan teknik pengaturan pola pancar antena cerdas :



Gambar.1 *Beamforming* dan mitigasi interferensi [5]

Meskipun sistem Antena Cerdas kadang-kadang disebut Space Division Multiple Access, namun SDMA ini bukanlah merupakan antena yang cerdas. Pada SDMA, fungsi antena hanya untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik atau sebaliknya, tidak ada yang lain. Beberapa algoritma adaptif yang digunakan dalam pemrosesan sinyal memiliki pengaruh signifikan pada kinerja sistem Antena Cerdas. Tugas algoritma dalam sistem Antena Cerdas adalah untuk menyesuaikan sinyal arah terima sehingga sinyal yang diinginkan tersebut merupakan hasil penggabungan. Beberapa metode diterapkan sebagai algoritma adaptif. [6]

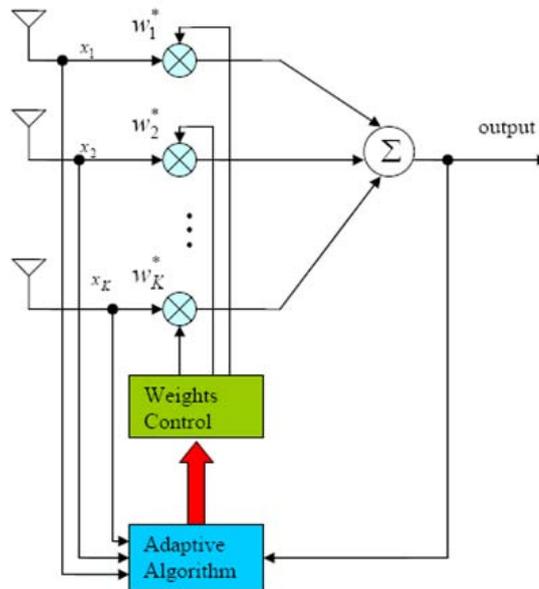
Sebagai perbandingan, manusia bahkan dapat mendengarkan suara yang lebih lemah dari suatu interferensi sekalipun. Algoritma adaptif dalam sistem antena cerdas melakukan hal yang mirip dengan kemampuan otak pada analogi ini, meskipun kecanggihannya di bawah otak tentunya. Otak kita dapat melakukan pemilihan sinyal di atas dan penindasan interferensi dengan hanya dua telinga, namun beberapa antena diperlukan bagi algoritma adaptif sehingga informasi yang cukup pada sinyal pengguna dapat diperoleh. Pada manusia, beberapa orang lebih cerdas dari yang lain. Agar mereka menjadi lebih cerdas, mereka harus memiliki otak yang lebih berkembang. Demikian pula, beberapa algoritma lebih cerdas daripada algoritma lainnya. Sebuah algoritma pintar biasanya membutuhkan sumber daya lebih dari algoritma yang kurang cerdas. Tidak seperti otak kita yang merupakan sumber bebas, banyak sumber daya di dunia teknologi selalu merupakan komponen yang lebih mahal dan lebih lengkap. [6]

A. *Beamforming* Adaptif

Beam pada pola pancar susunan antena dapat diatur (*beamforming*) sesuai desain. Sementara itu, algoritma adaptif adalah salah satu algoritma yang memberikan kecerdasan bagi sistem *smart antenna*. Tanpa algoritma adaptif, sinyal asli tidak lagi dapat diekstraksi. Dalam pendekatan beamforming dengan bobot tetap, besarnya sudut datang tidak berubah terhadap waktu, sehingga

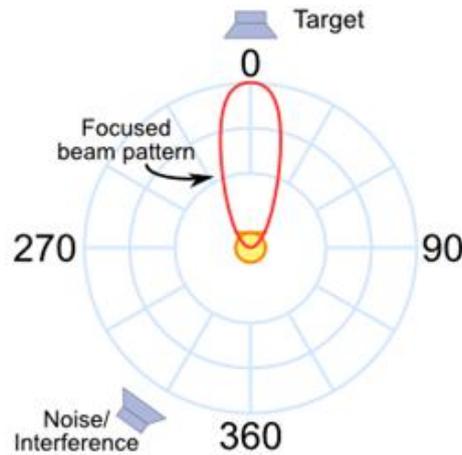
bobot optimum tidak akan perlu disesuaikan. Namun, jika sudut datang yang diinginkan berubah terhadap waktu, maka perlu untuk merancang skema optimasi yang beroperasi *on-the-fly* sehingga tetap menghitung ulang bobot array optimum yang dilakukan dengan menggunakan algoritma beamforming. [6]

Beamforming menerapkan teknik pemrosesan sinyal untuk mengontrol pengarahannya (direksionalitas) sinyal terima atau transmisi sinyal pada susunan transduser antenna. Beamforming menciptakan pola radiasi dari susunan antenna dengan menambahkan fase sinyal dalam arah yang diinginkan dan dengan poses pola *nulling* untuk arah yang tidak diinginkan. Fase dan amplitudo disesuaikan untuk mengoptimalkan sinyal yang diterima. Suatu hal standar untuk menganalisis kinerja beamformer dengan vektor data masukan $x(k)$ adalah respon vektor bobot elemen antenna $w(k)$ sebagai fungsi respon *beam*. [6] [7]



Gambar.2 Beamformer Adaptif K-elemen [8]

Beamforming adaptif yang kuat telah menjadi topik penelitian intensif selama beberapa dekade karena, di satu sisi, pentingnya komunikasi nirkabel, radar, sonar, mikrofon, radioastronomi, pencitraan medis, dan bidang lainnya; dan di sisi lain, karena adanya tantangan terkait aplikasi praktis dengan syarat kehandalan yang ketat. Kehadiran komponen sinyal yang diinginkan dalam data pelatihan, ukuran sampel yang kecil, dan pengetahuan yang tidak tepat dari vektor pengarah sinyal yang diinginkan adalah penyebab utama dari penurunan kinerja beamforming adaptif. Pendekatan desain tradisional untuk beamforming adaptif tidak memberikan ketahanan cukup dan tidak berlaku dalam situasi seperti itu, sehingga berbagai teknik beamforming adaptif yang kokoh telah dikembangkan. Beberapa contoh pendekatan beamforming adaptif populer konvensional yang kokoh adalah teknik pembebanan diagonal, teknik beamforming proyeksi dan beamforming berbasis ruang eigen. [9]



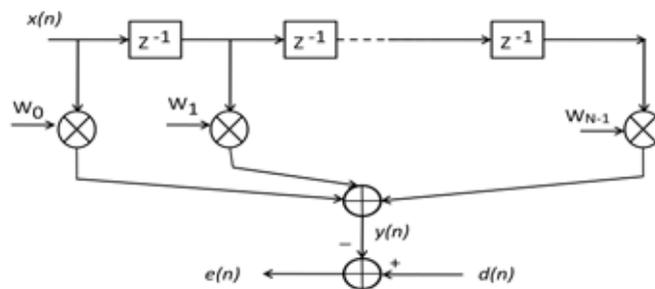
Gambar.3 Pola *beam* untuk menghindari *unwanted signal* [10]

B. Algoritma Least Mean Square (LMS)

Suatu susunan antenna jenis Uniform Linear Array (ULA) dengan N buah elemen isotropik, dimana berbentuk bagian utuh dari sistem beamforming adaptif ditunjukkan pada Gbr. 4 di bawah. Output susunan antenna $x(t)$ diberikan oleh : [11]

$$x(t) = s(t)a(\theta_0) + \sum_{i=1}^{N_u} u_i(t)a(\theta_i) + n(t) \quad (1)$$

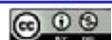
Sebagaimana ditunjukkan di bawah bahwa output setiap sensor dikombinasikan secara linier setelah dikalikan dengan nilai bobot tertentu pola susunan antenna tersebut. Proses optimalisasi ini untuk memperoleh penguatan (gain) maksimum yang mungkin dalam arah sinyal yang diinginkan dan meniadakan penguatan (*nulls gain*) dalam arah sumber interferensi.



Gambar.4 Beamformer LMS adaptif [11]

Nilai bobot kemudian akan dihitung menggunakan algoritma LMS berdasarkan kriteria Minimum Squared Error (MSE). Oleh karena itu masalah filter spasial melibatkan proses estimasi sinyal $s(t)$ dari sinyal penerimaan $x(t)$ pada output susunan antenna. Proses estimasi ini dilakukan dengan meminimalkan error antara sinyal referensi $d(t)$ dan sinyal $y(t)$. Sinyal $y(t)$ adalah sinyal output beamformer dan sinyal estimasi yang diinginkan. Proses umum dengan filter Wiener ini disolusikan dengan iterasi algoritma LMS. Untuk formula algoritma LMS dengan grafik *steepest descent method*, persamaan vektor nilai bobot diberikan oleh :

$$w(n+1) = w(n) + \frac{1}{2} \mu [-\nabla(E\{e^2(n)\})] \quad (2)$$



dimana μ adalah parameter *step-size* . Besarnya $e^2(n)$ yang merupakan kendali karakter konvergen dari algoritma LMS yaitu nilai error kuadrat rata-rata antara output beamformer $y(n)$ dan sinyal referensi, diberikan oleh :

$$e^2(n) = [d^*(n) - w^h x(n)]^2 \quad (3)$$

Vektor gradien pada persamaan update nilai bobot di atas menjadi : $\nabla_w (E\{e^2(n)\}) = -2r + 2Rw(n)$ (4)

Masalah utama metode *steepest descent* adalah pada perhitungan untuk menemukan nilai matriks r dan R secara *realtime*. Sementara itu, algoritma LMS menyederhanakan perhitungan tersebut dengan menggunakan nilai instan r dan R di samping nilai aktual r dan R yang ada . Nilai instan ini berupa $S(t)$ untuk sinyal yang diinginkan tiba dengan sudut θ_o dan $u_i(t)$ untuk sinyal interferensi yang tiba dengan sudut θ_i . Nilai $a(\theta_o)$ dan $a(\theta_i)$ masing-masing menunjukkan vektor pengarah (steering) untuk sinyal yang diinginkan dan sinyal interferensi. Parameter di atas dibutuhkan untuk menghasilkan sinyal total yang diinginkan dari sinyal penerimaan yang mengandung interferensi dan noise tambahan $n(t)$.

$$R(n) = x(n)x^h(n) \quad (5)$$

$$r(n) = d * (n)x(n) \quad (6)$$

Kemudian nilai update bobot dapat diberikan dari persamaan berikut :

$$\begin{aligned} w(n + 1) &= w(n) + \mu x(n)[d^*(n) - x^h(n)w(n)] \\ &= w(n) + \mu x(n)e^*(n) \end{aligned} \quad (7)$$

Algoritma LMS diinisiasi dengan nilai bebas $w(0)$ untuk vektor bobot pada $n=0$. Koreksi berurut terhadap vektor bobot kemudian segera menuju nilai minimum dari error kuadrat rata-rata. Algoritma LMS ini kemudian diringkas menjadi :

$$Output, y(n) = w^h x(n) \quad (8)$$

$$Error, e(n) = d^*(n) - y(n) \quad (9) \quad Weight, w(n + 1) = w(n) - \mu x(n)e^*(n) \quad (10)$$

3. Metodologi

Pada penelitian ini digunakan tool Matlab untuk mensimulasikan kinerja beamformer. Kanal propagasi yang diambil berupa kanal noise Gaussian (Additional White Noise Gaussian, AWGN). Parameter diubah untuk membandingkan dua buah harga step size μ pada algoritma LMS untuk jumlah elemen susunan sebanyak 4,8 dan 16. Dan untuk perubahan bobot sistem algoritma adaptif diambil nilai iterasi sebanyak 250 kali. Sedangkan parameter selengkapnya yang penulis ambil dalam penelitian ini tertera pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Parameter Simulasi

No.	Item	
1	Jumlah elemen antenna, N	4 ; 8; 16
2	Spasi antar elemen antenna, d (dalam λ)	0.5
3	Jumlah iterasi	250



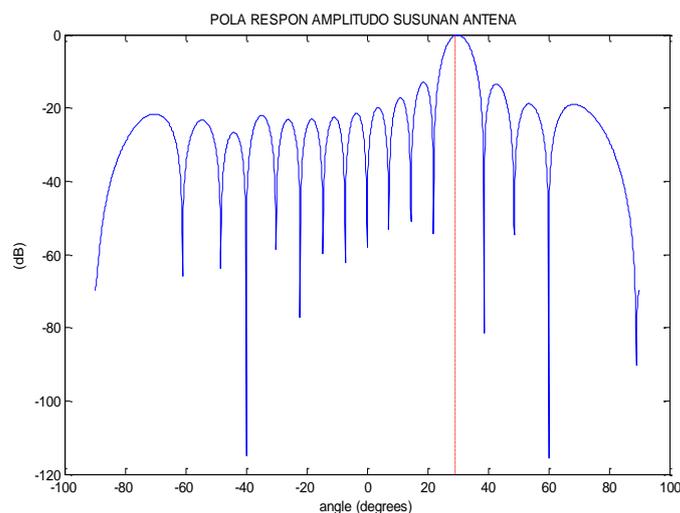
4	Domain respon angular (derajat)	-90 s.d +90
5	Sudut sinyal utama, θ_x (derajat)	+30
6	Sudut sumber interferensi-1, θ_{i-1} (derajat)	+60
7	Sudut sumber interferensi-2, θ_{i-2} (derajat)	- 40
8	Step size, μ	0.0025; 0.01
9	Bit rate, BR (bit/s)	100
10	Frekuensi simulasi (Hz)	4 BR

4. Hasil dan Pembahasan

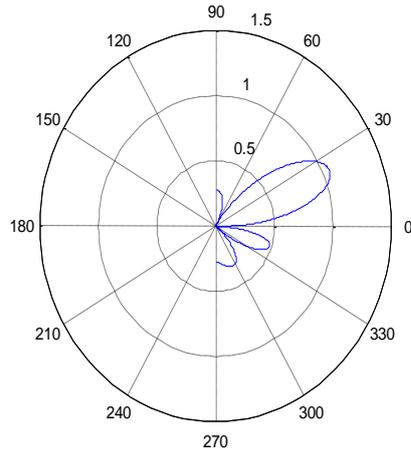
Simulasi dilakukan untuk jumlah elemen susunan antenna dimulai dair 4,8 dan 16 untuk kedua nilai μ yang dipilih sebagaimana Tabel 2 untuk melihat posisi dan jumlah *nulling* serta posisi titik sampel yang menunjukkan awal noise minimum sistem.

Gbr.6 memperlihatkan hasil simulasi pola radiasi susunan antenna dengan arah sinyal utama tepat sesuai parameter masukan sebesar 30° dengan respon susunan antenna sebesar 0 dB. Terlihat bahwa semakin menambah jumlah elemen maka beamwidth pola radiasi semakin sempit, yang menunjukkan besarnya pengarahan (direktivitas) dan penguatan (gain) susunan antenna semakin bertambah. Dari aspek praktis operasional, beamwidth yang semakin sempit mengharuskan kekokohan posisi antenna untuk tidak bergeser sedikitpun terhadap arah target penerima, baik sudut azimuth maupun elevasinya.

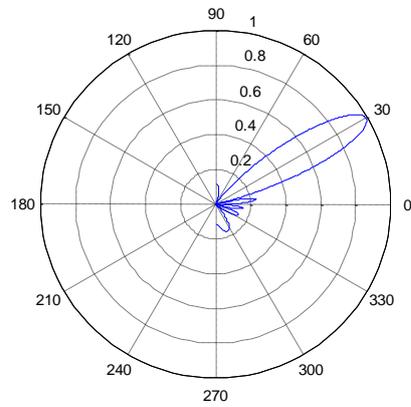
Dari pola respon amplitudo setelah proses beamforming , posisi sinyal utama dan kedua sumber interferensi masing-masing tepat di sudut 30° , 60° dan -40° . Sebagaimana vektor susunan elemen pada Gambar 5 tersebut, dihasilkan 15 buah *nulling* untuk 16 buah elemen antenna. Sumber interferensi dihilangkan/ditutup (blokir) dengan menempatkan 'nulls' dalam arah sumber interferensi tersebut, yaitu dalam hal ini di posisi 60° dan -40° dengan masing-masing level berkisar sebesar -115 dB.



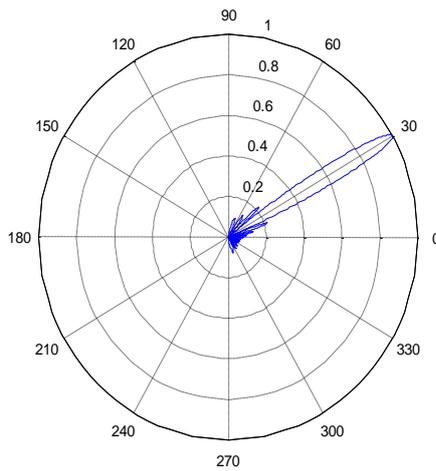
Gambar.5 Respon amplitudo setelah beamforming



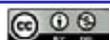
Gambar.6a Pola radiasi (N=4)

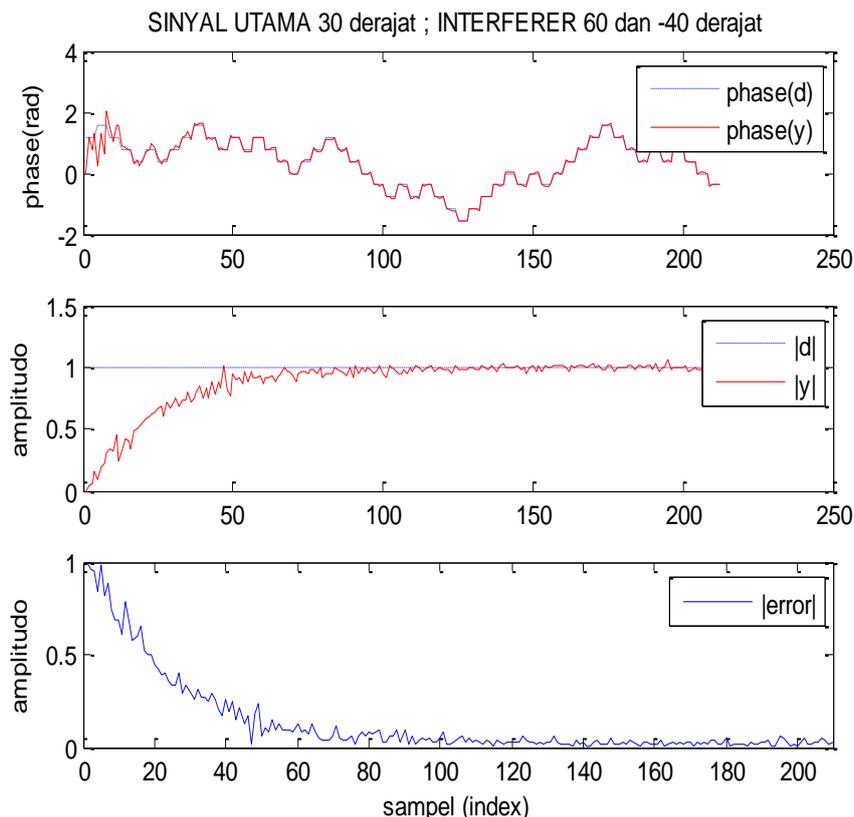


Gambar.6b Pola radiasi (N=8)



Gambar.6c Pola radiasi (N=16)





Gambar.7 Hasil algoritma LMS

Tabel 2. Hasil Simulasi

	$\mu = 0.0025$			$\mu = 0.01$		
	N=4	N=8	N=16	N=4	N=8	N=16
Jumlah <i>nulling</i>	3	7	15	3	7	15
Noise minimum sistem terjadi setelah sampel ke	120	100	80	80	60	40

Kemudian dari jumlah iterasi yang dilakukan pada simulasi ini sebanyak 250 kali, error noise minimum sistem terjadi setelah sampel ke- 80 sebagaimana Gambar.7 untuk N=16 dan $\mu=0.0025$. Error minimum merupakan hasil dari penambahan noise sistem ke seluruh elemen antenna. Hal ini dipertegas dari grafik amplitudo output susunan antenna $y(t)$, relatif berimpit dengan kumpulan sinyal yang diharapkan $d(t)$ pada titik sampel 80 tersebut.

4. KESIMPULAN

Nilai step size μ pada algoritma LMS mempengaruhi jumlah sampel simulasi. Dengan menaikkan harga μ ke 0.01 maka semakin mengurangi jumlah sampel simulasi menjadi rata-rata 60 sampel/iterasi sebelum error noise minimum diperoleh untuk total 250 sampel simulasi.

Beamforming adaptif dengan algoritma LMS bekerja cukup baik dalam proses update nilai bobot susunan antenna untuk menempatkan posisi *nulling* yang tepat bagi sumber interferensi yang dalam hal simulasi ini berada di sudut 60° dan -40° untuk μ sampai 0.01.

REFERENSI

[1] Balanis,C. (2005). *Antenna Theory*, 3rd ed. Wiley, New Jersey.



- [2] Sawant,V.V.dan Chavan, M.S.(2013). *Performance Of Beamforming For Smart Antenna Using Modified LMS Algorithm*. International Journal of Engineering Research and Science & Technology, Vol. 2, No. 3,hal.176.
- [3] Hidayat,R. (2016). *Desain Dan Analisis Patch Sirkular untuk Aplikasi Antena Tag RFID dengan Algoritma Propagasi Balik Jaringan Syaraf Tiruan*. Prosiding SNaPP Sains dan Teknologi, Vol.6,No.1, Universitas Islam Bandung.
- [4] Jonifan, Supriyatin,W., Rafsyam,Y., Firmansyah,T., Herudin dan Herudin,A. (2016). *Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular menggunakan metode Array 1x8 untuk Aplikasi Radar Maritim Frekuensi 3,2 GHz*. Jurnal Ilmiah SETRUM Vol.5, No.2, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [5] Arefi,R. (2002). *Proposed Text for Mitigation Techniques Section of Part 3 of the Coexistence Recommended Practice – Working Document Version 1.3* . IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group ArrayComm, Inc.
- [6] Sahu,R., Mohan,R. dan Shrama,S. (2013). *Evaluation of Adaptive Beamforming Algorithm of Smart Antenna*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 9.
- [7] Zarifi,K., dan Ghayeb,A. (2010). *Collaborative Null-Steering Beamforming* . IEEE Transactions on Signal Processing, 58(3):1889-1903.
- [8] Zheng,Y. (2008). *Adaptive Antenna Array Processing for GPS Receivers*. Thesis, University of Adelaide, South Australia.
- [9] Khabbazibasmenj,A. , Vorobyov, S.A. dan Hassanien, A. (2012). *Robust Adaptive beamforming Based on Steering Vector Estimation With as Little as Possible Prior Information*. IEEE Transactions On Signal Processing, Vol. 60, No. 6, hal.2974-2987.
- [10] <http://www.labbookpages.co.uk/audio/beamforming/delaySum.html#pattern>
- [11] Sawant, V.V. dan Chavan, M.S. (2013). *Performance Of Beamforming For Smart Antenna Using Modified LMS Algorithm*. International Journal of Engineering Research and Science & Technology, Vol. 2, No. 3,hal.177-179.



Perhitungan Kuat Cahaya Pada Penerangan Jalan Umum Berstandar SNI 7391:2008

Mustaqim, Muhamad Haddin

Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

Informasi Artikel

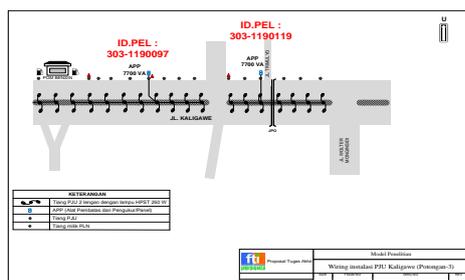
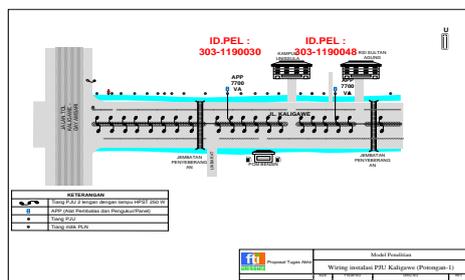
Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
haddin@unissula.ac.id

Graphical abstract



Abstract

This paper presents the decreasing the illumination of lamp street lighting (PJU) in Semarang city is mostly due to the lamp life and the use of lamps that still use conventional lamps or pressurized gas lamps such as HPS (high pressure sodium) or lamp type MH (metal halide), Consequently the level of road safety is disrupted and comfort condition becomes reduced during the night. Types of lights that can be used with strong light reflection, longer charge and lamp life are replacing lamps with LED (light emitting diode) lamp type. The approach step is to calculate the illumination of the emitted light and compare with SNI 7391: 2008 standard on street lighting specification in urban area, then take sample of lamp type that has been installed and according to the standard to replace the decreasing lamp and the calculation of its requirement. The results showed PJU on Jl. Kaligawe Km-3 to Km-6 illumination average (E) measured 8.56lux, and calculated 9.92 lux while the illumination average according to the standard is 11-20 lux, therefore it has not met the standard. To meet these standards required replacement lamps with LED type and has a minimum light flux of 30500 lumens.

Keywords: illumination, street lighting, SNI 7391:2008

Abstrak

Paper ini membahas tentang penurunan kualitas kuat cahaya lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) di kota Semarang lebih banyak disebabkan karena umur lampu dan penggunaan lampu yang masih memakai lampu konvensional atau lampu gas bertekanan seperti jenis lampu HPS (high pressure sodium) atau jenis lampu MH (metal halide), akibatnya tingkat keamanan di jalan terganggu dan kenyamanan menjadi berkurang pada waktu malam hari. Jenis lampu yang dapat digunakan dengan pertimbangan kuat cahaya lebih terang, biaya dan umur lampu lebih lama adalah dengan mengganti lampu dengan jenis LED (light emitting diode). Tahapan pendekatan yang dilakukan adalah menghitung kuat cahaya yang dipancarkan dan membandingkan dengan standar SNI 7391:2008 tentang Spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan, kemudian mengambil sample jenis lampu yang sudah terpasang dan sesuai standar untuk menggantikan lampu yang mengalami penurunan dan perhitungan kebutuhannya. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa PJU di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 kuat cahaya rata rata terukur 8,56 lux, dan terhitung 9,92 lux sedangkan kuat cahaya rata rata menurut standar adalah 11-20 lux, oleh karena itu belum memenuhi standar. Untuk memenuhi standar tersebut diperlukan penggantian lampu dengan jenis LED dan mempunyai flux cahaya minimal 30500 lumen.

Kata kunci: kuat cahaya, PJU, SNI 7391:2008

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Keberadaan penerangan jalan umum (PJU) sebagai sarana penunjang jalan sangat diperlukan untuk memberikan kenyamanan, keamanan dan keselamatan bagi pengguna jalan. Data PJU Kota Semarang, bahwa lampu lucutan gas intensitas tinggi atau biasa di sebut HID (*high intensity discharge*), khususnya lampu gas sodium tekanan tinggi atau biasa disebut HPS (*high pressure sodium*) sering digunakan untuk PJU di beberapa tempat atau jalan raya. Lampu HPS yang

terpasang saat ini masih ditemukan kendala kurang terang, refleksi cahaya kurang baik, tidak merata dan belum sesuai dengan standar yang berlaku. Standar yang dipakai dalam penerangan jalan umum adalah SNI 7391:2008^[1], yang mengatur tentang spesifikasi penerangan jalan di kawasan perkotaan. Faktor penyebab cahaya PJU masih kurang terang dan belum sesuai standar, antara lain perencanaan, umur lampu (*life time*) yang berpengaruh pada seringnya mengganti lampu dan intensitas cahaya yang dikeluarkan pada masa tertentu. Jenis lampu yang digunakan dan sumber tegangan jala jala, menjadi faktor lainnya yang menunjang efisiensi pencahayaan PJU. Akibatnya PJU yang tidak standar menimbulkan masalah, antara tidak terang, tidak nyaman, dan rawan kejahatan khususnya pada malam hari. Sementara eksternalitas negatif muncul ketika fasilitas PJU tidak berfungsi dan dipelihara dengan baik. Sehingga pengelolaan penerangan jalan umum oleh Pemerintah diharapkan bisa diwujudkan peran sektor akademisi dan masyarakat untuk memantau dan memelihara sebagai fasilitas publik. Akibat lain dari minimnya PJU adalah membuat jarak penglihatan di jalan menjadi terbatas yang berdampak pada meningkatnya kecelakaan membuat pengemudi tidak bisa melihat kondisi kendaraan lain yang saling melintas. Sehingga untuk menghindari berbagai kemungkinan yang dapat terjadi tersebut dan untuk mengatasi pencahayaan PJU yang kurang terang, dilakukan penelitian dan perhitungan dengan menggunakan standar SNI 7391:2008^[1] tentang Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan agar penerangan di jalan sesuai peruntukannya. Seiring dengan perkembangan teknologi, lampu PJU dari masa ke masa mengalami kemajuan yang pesat dan signifikan, berawal dari lampu pijar dan hingga kini yang paling terbaru adalah lampu dengan teknologi LED (*light emitting diode*). LED memancarkan cahaya putih yang menghasilkan pencahayaan lebih terang dan menggunakan daya listrik yang lebih rendah dibanding lampu gas konvensional yang saat ini digunakan PJU, sehingga bisa menggantikan lampu-lampu jalan yang ada. Kelebihan lainnya PJU LED adalah bisa bertahan lebih lama karena memiliki umur lampu yang panjang sehingga tidak terlalu memerlukan biaya pemeliharaan yang besar jika dibandingkan dengan PJU konvensional. Cahaya lampu LED memiliki waktu hidup lebih lama dari pada lampu jalan konvensional yaitu 50.000 jam lebih, dengan pemeliharaan yang lebih baik.

Penelitian ini membahas tentang perhitungan kuat cahaya pada penerangan jalan umum berstandar SNI 7391:2008^[1]. Sebagai objek penelitian diambil studi kasus di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 Kota Semarang.

2. DASAR TEORI

2.1 Sumber Cahaya

Suatu sumber cahaya akan memancarkan energi dimana sebagian dari energi ini diubah menjadi cahaya tampak. Perambatan cahaya di ruang hampa dilakukan oleh gelombang-gelombang elektromagnetik. Gejala-gejala yang sejenis dengan cahaya adalah gelombang gelombang panas, radio, radar dan sebagainya. Gelombang-gelombang ini hanya berbeda frekuensinya saja.

Macam-macam sumber cahaya modern yang digunakan saat ini adalah lampu dengan klasifikasi dan beberapa karakter cahaya, yaitu:

1. Lampu Pijar

Cahaya lampu pijar dibangkitkan dengan mengalirkan arus listrik dalam suatu kawat halus. Dalam kawat ini energi listrik diubah menjadi panas dan cahaya. Sebagai kawat pijar umumnya digunakan kawat wolfram, karena memiliki titik lebur yang tinggi, yaitu 3.655°K. Kalau suhu kawat pijar wolfram ditingkatkan sampai kira-kira 3.300° K, akan diperoleh lampu dengan fluks cahaya spesifik yang sangat tinggi yaitu 50 lumen per watt (lm/w). Akan tetapi pada suhu ini kawat pijarnya akan terlalu cepat menguap, sehingga umur lampu menjadi terlalu pendek. Suhu yang terlalu tinggi akan mempercepat penguapan kawat pijarnya dan akan memperpendek umur lampunya.

Setelah dipakai sekian lama, fluks cahaya lampu pijar akan menurun. Karena penguapan maka luas penampang kawat pijarnya akan berkurang, sehingga tahanan listriknya akan meningkat dan menyebabkan arus listrik dari lampu pijar tersebut juga akan berkurang. Selain itu, bagian dalam bolanya akan menjadi hitam. Karena itu banyak perusahaan yang menggunakan lampu pijar, akan diganti setelah menyala 700-800 jam, tanpa menunggu putusanya lampu. Penggantian kelompok demi kelompok ini dilakukan bertujuan untuk menghemat banyaknya jam kerja. Lampu-lampu pijar kebanyakan dilengkapi dengan kawat monel, yang dipasang seri didalam lampu. Kawat monel ini

berfungsi sebagai pengaman lebur. Kalau terjadi gangguan hubung singkat di dalam lampu, maka kawat monel tersebut akan lebur sehingga pengaman instalasinya menjadi tidak sampai rusak.

2. Lampu Halogen

Lampu halogen adalah lampu sejenis lampu pijar dimana sebuah filamen wolfram disegel didalam sampul transparan kompak yang diisi dengan gas lembam dan sedikit unsur halogen seperti iodine atau bromin. Iodine atau biasa disebut yodium dalam lampu akan mengalami reaksi kimia, yang mengembalikan wolfram yang telah menguap ke kawat pijar lampu. Jadi dengan mencampurkan sedikit yodium, wolfram yang telah menguap dapat dikembalikan ke kawat pijar. Lampu pijar yodium ini adalah sebuah lampu pijar dengan bola yang sangat panas. Suhu dinding bola mempunyai panas kira-kira 600°C, supaya reaksinya dapat berlangsung dengan baik. Karena itu bola lampu ini terbuat dari kuarsa lampu yodium. Lampu Halogen masa kini memiliki fluxcahaya spesifik 20 lm/w untuk lampu dengan umur 2.000 jam nyala, dan 25 lm/w untuk lampu dengan umur 200 jam. Diameter lampu yodium kira-kira 10mm dan panjangnya 200 mm.

3. Lampu tabung gas

Lampu tabung gas terdiri dari tabung berbagai bentuk yang diisi dengan gas dan uap logam. Gas dalam tabung berfungsi untuk membentuk menyalakan lampunya. Gas yang digunakan adalah gas mulia misalnya neon atau argon. Gas-gas mulia mempunyai sifat tidak melakukan reaksi kimia dengan unsur-unsur lain. Logam-logam yang digunakan adalah natrium, air raksa dan sodium. diantaranya adalah:

a. Lampu natrium

Lampu natrium terdiri dari tabung berbentuk U dengan dua elektroda. Masing-masing elektroda dilengkapi dengan sebuah emiter, tabungnya diisi dengan natrium cair dan suatu gas bantu. Gas bantu yang digunakan biasanya berupa gas neon, karena itu bila baru dinyalakan cahayanya mula-mula berwarna merah. Setelah beberapa saat, sesudah dicapai suhu kerja sebenarnya, baru dipancarkan cahaya yang sebenarnya.

b. Lampu tabung fluoresen

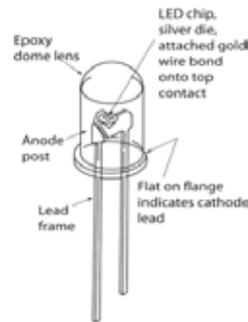
Lampu ini berbentuk tabung, yang bagian dalamnya diberi lapisan serbuk fluoresen. Pada setiap ujung tabung terdapat sebuah elektroda. Elektroda ini terdiri dari kawat pijar dari wolfram dengan sebuah emitter untuk memudahkan emisi elektron-elektron. Tabung fluoresen diisi dengan uap air raksa dan gas mulia argon.

c. Lampu sodium

Jenis lampu berbentuk tabung dan kedua ujungnya terpasang elektroda yang biasanya terdiri dari filamen tungsten. Untuk menjaga dinding tabung dari kerusakan akibat tekanan uap sodium maka tabung gas dibuat dari gelas "*lime borate*" khusus yang tahan terhadap tekanan uap sodium. Cara kerjanya, jika rangkaian lampu dihubungkan terhadap sumber arus bolak-balik, maka arus akan mengalir melalui ballast dan seterusnya ke lampu, Setelah beberapa menit, panas dalam tabung gas akan mencapai temperatur tertentu sehingga sodium yang ada dalam tabung gas akan berubah menjadi uap (vapour) dan hasilnya akan memancarkan cahaya kekuningan.

4. Lampu LED

Lampu *Light Emitting Diode* (LED) merupakan jenis dioda semikonduktor yang dapat mengeluarkan energi cahaya ketika diberikan tegangan listrik. Dengan penggunaan energi yang lebih kecil Lampu LED mampu menghasilkan cahaya yang memiliki 60 - 100 Lumens / Watt dan bahkan teknologi LED ini berkembang seiring kemajuannya karena bahan semikonduktor semakin bagus kualitasnya.



Gambar 1. Struktur dasar LED

Semikonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik jika diberi energi lebih besar dari 1 eV (Electron Volt). Semikonduktor umumnya dibuat dari bahan dari Golongan IVA seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Carbon (C) yang diberi ‘pengotor’ berupa material lain. Dalam LED digunakan konduktor dengan gabungan unsur logam aluminium-gallium-arsenit (AlGaAs). Konduktor AlGaAs murni tidak memiliki pasangan elektron bebas sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu dilakukan proses doping dengan menambahkan elektron bebas untuk mengganggu keseimbangan konduktor tersebut, sehingga material yang ada menjadi semakin konduktif.

2.2 Besaran Satuan Pengukuran

Dalam teknik penerangan dikenal beberapa istilah, lambang dan metode perhitungan yang perlu diketahui untuk memberikan gambaran yang lebih baik tentang teknik penerangan. Besaran dan satuan yang dipakai dalam penghitungan dalam teknik penerangan adalah sebagai berikut:

a. Fluks Cahaya

Fluks cahaya yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya adalah seluruh jumlah cahaya yang dapat dipancarkan oleh sumber cahaya selama satu detik. Jika sumber cahaya ditempatkan dalam suatu reflektor, maka cahaya yang dipancarkan akan diarahkan tetapi jumlah fluks cahayanya tetap, dalam perhitungannya dapat ditulis dalam persamaan (1):

$$\Phi = Q / t \quad (1)$$

dengan :

Φ = Fluks cahaya dalam lumen (lm)

Q = Energi cahaya dalam lumen jam atau lumen detik

t = waktu dalam jam atau detik

b. Intensitas Cahaya (candela)

Adalah arus cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya dalam satu *cone* atau kerucut cahaya. Intensitas cahaya dapat diartikan fluks cahaya persatuan sudut ruang dalam arah pancaran cahaya yang ditulis dengan persamaan (2):

$$I = \Phi / \omega \quad (2)$$

Atau $\Phi = I \times \omega$

dengan :

Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

I = intensitas cahaya, dalam satuan candela (cd)

ω = sudut ruang, dalam satuan steradian (sr)^[7]

c. Iluminasi

Iluminasi atau tingkat kuat cahaya penerangan didefinisikan sebagai sejumlah arus cahaya yang jatuh pada permukaan seluas 1 (satu) meter persegi sejauh 1 (satu) meter dari sumber cahaya 1 (satu) lumen dalam satuan Lux. Iluminasi dapat diartikan kerapatan fluks cahaya yang mengenai suatu permukaan, intensitas penerangan rata-rata secara matematis dapat ditulis :

$$E = \Phi / A \quad (3)$$

dengan :

E = illuminasi, dalam satuan lux (lx)

Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)



A = luas bidang, dalam satuan meter persegi (m²)

Intensitas penerangan pada suatu titik, umumnya tidak sama untuk setiap titik pada bidang tersebut. Intensitas penerangan suatu bidang karena suatu sumber cahaya dengan intensitas, berkurang dengan kuadrat dari jarak antara sumber cahaya dan bidang itu (inversesquare law).

$$E = I/r^2 \text{ lux} \quad (4)$$

dengan :

E = Intensitas penerangan, dalam satuan lux (lx)

r = jari jari pada bidang cahaya, dalam satuan meter (m)

d. Luminasi

Luminasi adalah fluks cahaya per satuan sudut ruang per satuan luas terproyeksi dari arah yang diberikan, atau intensitas cahaya dari suatu permukaan persatuan luas hasil proyeksi dari arah yang diberikan. Luminasi ialah suatu ukuran terang suatu benda, luminasi yang terlalu besarkan menyilaukan mata. Besaran ini mempunyai persamaan (5):

$$L = \Phi / (\omega (A \times \cos\theta)) \quad (5)$$

atau $L = I / (A \times \cos\theta)$

dengan :

L = luminasi dalam satuan candela per meter persegi (cd/m²)

θ = sudut antara penglihatan dengan bidang normal permukaan dalam satuan derajat (°)

Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

A = luas bidang, dalam satuan meter persegi (m²)

e. Efikasi Cahaya

Efikasi cahaya adalah perbandingan antar fluks cahaya yang dihasilkan lampu dengan daya listrik yang dipakainya, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$K = \Phi / P \quad (6)$$

dengan :

K = efikasi cahaya dalam satuan lumen per watt (lm/W)

P = daya listrik dalam satuan Watt (W)

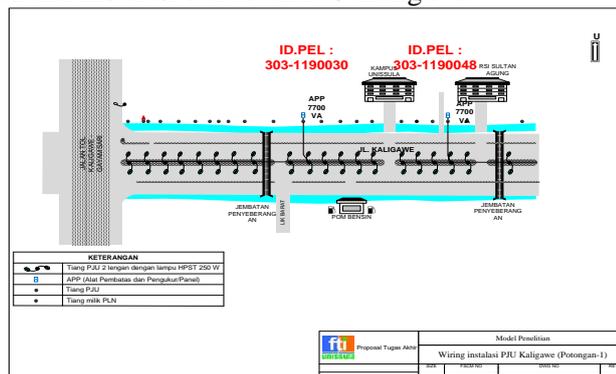
Φ = fluks cahaya, dalam satuan lumen (lm)

3. Metodologi Penelitian

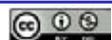
Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

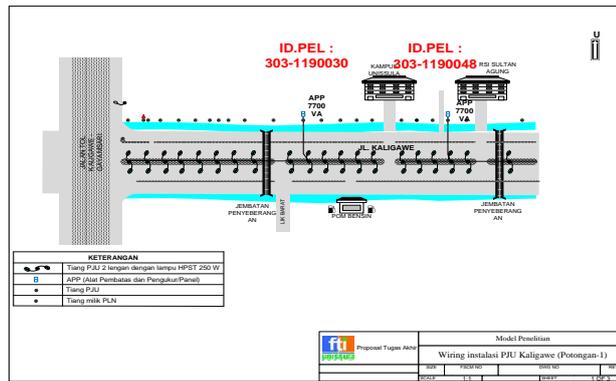
a. Model Penelitian

Model penelitian dengan memakai instalasi dan letak PJU Kaligawe.

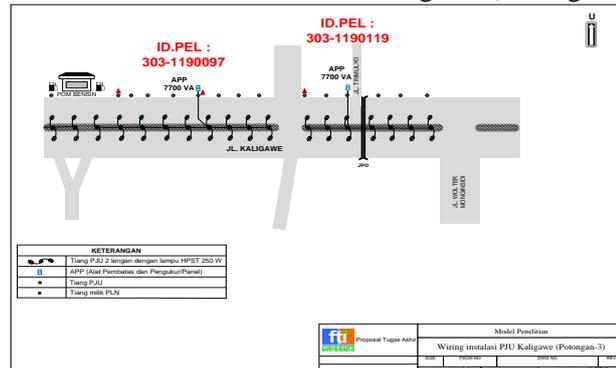


Gambar 2. Model instalasi PJU Kaligawe (Potongan-1)





Gambar 3. Model instalasi PJU Kaligawe (Potongan-2)



Gambar 4. Model instalasi PJU Kaligawe (Potongan-3)

b. Metode Pengumpulan data

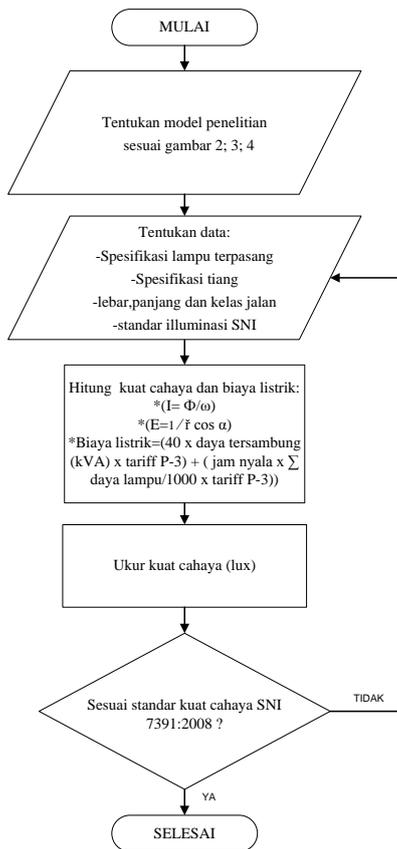
Pengumpulan data dimulai dengan pengamatan langsung di lapangan dengan mencari informasi spesifikasi PJU di Jalan Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 meliputi jenis armature lampu dan daya lampu yang digunakan, tinggi dan jarak tiang penopang lampu, lebar jalan atau klasifikasi jalan. Pengambilan data selanjutnya adalah dengan pengukuran kuat cahaya pada PJU di Jl. Kaligawe pada malam hari untuk mengetahui tingkat iluminasi (kuat cahaya) dengan menggunakan lux-meter. Hasil yang telah didapatkan di uji kesesuaiannya dengan standarisasi sebagai variable tetap atau acuan perhitungan kuat cahaya PJU. Dalam penelitian ini perhitungannya memakai standar SNI 7391:2008.

c. Metode Analisis Data

Menganalisa data dengan menghitung kuat penerangan dengan berdasarkan teori dalam besaran satuan pengukuran cahaya dan menganalisa data dilapangan sebagai data komparatif. Sehingga diketahui data spesifikasi lampu yang yang terpasang, data uji lampu dengan menggunakan software.

3.2 Tahapan Penelitian





Gambar 5. Flowchart Tahapan Penelitian.

1. Model Penelitian

Memahami instalasi dan data titik penerangan jalan di lokasi penelitian dari gambar atau wiring diagram secara utuh dalam penelitian ini.

2. Pengambilan data

Pada tahap ini berisi tentang survey lapangan yang dilakukan di lokasi penelitian untuk mengetahui spesifikasi jalan, spesifikasi lampu, spesifikasi tiang penopang lampu, jarak antara tiang penopang lampu dan data pengukuran kuat cahaya lampu. Data ukur kuat cahaya lampu dari lampu terpasang dan jenis lampu yang sesuai sebagai pengganti lampu yang sudah ada.

3. Menghitung kuat cahaya (E)

Pada tahap ini berisi pengolahan data dan analisa yang didapatkan dari hasil pengambilan data di lapangan.

4. SNI 7391:2008

Sebagai bahan referensi dan valisadi standar kuat penerangan PJU di perkotaan.

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian adalah di sepanjang jalan dari terowongan tol Jl. Kaligawe sampai dengan persimpangan (*intersection*) Jl. Kaligawe–Jl. Wolter Monginsidi seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.

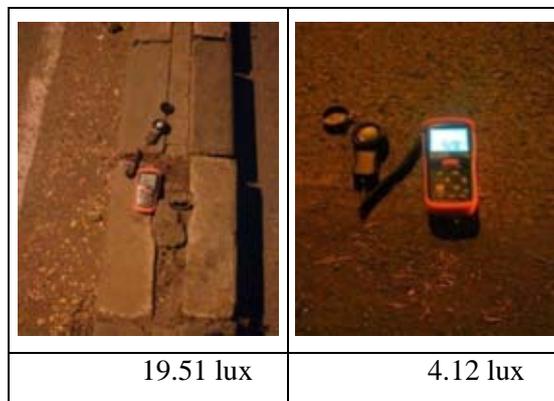


Gambar 6. Lokasi penelitian di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Evaluasi pencahayaan lampu

Untuk melakukan perhitungan dan evaluasi pencahayaan lampu, langkah yang harus dilakukan adalah menentukan peralatan pengukuran pencahayaan yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan luxmeter.



Gambar 6. Foto sampling pengukuran kuat cahaya (E) menggunakan lux-meter.

Hasil pengamatan langsung di jalan kaligawe yang dapat dilihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kuat cahaya lampu di tiang lampu 9 meter dengan titik 0 dibawah lampu pada radius 4 meter hasilnya adalah 19,51 dan radius 8 meter adalah 4,12 lux. Data pengamatan ini akan dipakai sebagai variable ukur untuk mengetahui kesesuaian kuat cahaya lampu di Jl. Kaligawe pada saat ini.

Tabel 1. Data eksisting PJU di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6

No.	Data	Jenis Spesifikasi
1	Jenis Lampu	SON-T 250W E E40
2	Lebar jalan kiri	8< meter
3	Lebar jalan kanan	8< meter
4	lebar median jalan	1 meter
5	Tinggi tiang I	9 meter
6	Tinggi tiang II	12 meter
7	Lengan tiang	1,5 meter

Dari Tabel 1 dan data informasi yang didapat dari dinas terkait, bahwa klasifikasi jalan Kaligawe Km 3+00 sampai dengan Km 6+00 adalah arteri primer dan masuk dalam wilayah kerja Balai Besar Jalan Nasional. Tiang mayoritas menggunakan tiang dengan tinggi 12 meter dan beberapa titik lampu di depan Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang menggunakan tiang dengan tinggi 9 meter.

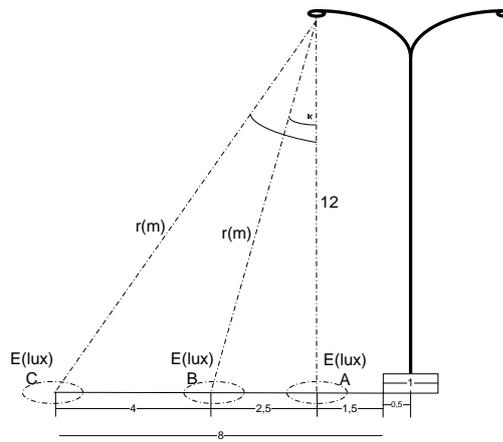
Sehingga dapat disimpulkan bahwa kelas jalan sebagai studi kasus penelitian ini adalah jalan arteri bebas hambatan dan menurut SNI 7391:2008 kuat cahaya (E) rata rata 11-20 Lux.

Tabel 2. Data teknis lampu type SON-T 250W [4]

Light Technical

Color Code	220 [CCT of 2000K]	Lumen Maintenance 5000 h (Nom)	96 %
Luminous Flux (Rated) (Min)	25200 lm	Correlated Color Temperature (Nom)	2000 K
Luminous Flux (Rated) (Nom)	28000 lm	Luminous Efficacy (rated) (Nom)	110 lm/W
Lumen Maintenance 2000 h (Min)	95 %	Color Rendering Index (Max)	25
Lumen Maintenance 2000 h (Nom)	98 %	Color Rendering Index (Nom)	-
Lumen Maintenance 5000 h (Min)	92 %		

Dari data teknis lampu akan diketahui berapa flux cahaya lampu. Untuk memudahkan perhitungan perlu dibuat penggambaran titik lampu pada jalan agar diketahui sudut pencahayaan yang akan dihitung.



Gambar 7. Diagram perhitungan kuat cahaya (E) di jalan

Jadi, sebagai contoh kuat cahaya (E) pada PJU pada titik B pada Gambar 7 dengan jarak dari titik-0 paling bawah adalah 2,5m dan tinggi tiang 12m dapat dihitung sebagai berikut :

Menghitung intensitas cahaya ($I = \Phi/\omega$), sudut ruang cahaya ditentukan dalam satuan seteradian adalah 4π [7] dan dari persamaan efikasi $K=\Phi/P$, Flux dapat dihitung dengan koefisien lampu 110 lm/W (data teknis lampu type SON-T 250W), yaitu : $\Phi = 110 \text{ lm/W} \times 250 \text{ W}$, maka , $I = \Phi/\omega$

$$I = [110 \text{ lm/W} \times 250 \text{ W}] / [4 \times 3,14]$$

$$I = 2189,49 \text{ cd}$$

Menghitung kuat cahaya ($E= I/(r^2) \cos \alpha$) pada titik B.

Pertama, hitung jari jari pencahayaan/ jarak cahaya atau “r”

$$r = \sqrt{2,5^2 + 12^2}$$

$$r = \sqrt{150,25}$$

$$r = 12,25 \text{ m}$$

maka, $E= [I/(r^2)] \cdot \cos \alpha$

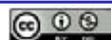
$$E= [2189,49/(150,25)] \cdot 12/(12,25)$$

$$E = 14,27 \text{ lux}$$

Dengan memakai persamaan serupa hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan kuat cahaya (E) pada tiang 9 meter dan 12 meter

No.	Tinggi tiang (m)	Hasil perhitungan kuat cahaya dari titik dibawah lampu radius(m)				E rata-rata (Lux)
		0	4	8	17,5	
1.	9	27,0	20,6	11,2	2,5	15,3



		3	3	9	9	8
2.	12	15,2 0	12,9 8	8,76	2,7 5	9,92

Dapat disimpulkan, bahwa kuat cahaya rata rata pada tiang 9 meter adalah 15,38 lux dan kuat cahaya rata rata pada tiang 12 meter adalah 9,92 lux. Pada saat yang sama dilakukan pengukuran langsung kuat cahaya (E) di jalan kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran kuat cahaya (E) pada tiang 9 meter dan 12 meter

No.	Tinggi tiang (m)	Hasil pengukuran kuat cahaya menggunakan luxmeter radius(m)				E rata-rata (Lux)
		0	4	8	17,5	
1.	9	22,63	19,51	4,12	1,51	11,94
2.	12	16,32	12,47	3,99	1,47	8,56

4.2 Analisa perhitungan kuat cahaya

Dari perhitungan dan pengukuran pada tabel 3 dan tabel 4 dapat dilakukan analisa dan perbandingan nilai pengukuran dan perhitungan kuat cahaya (E) serta pemerataan cahaya menurut SNI 7391:2008 sebagai berikut.

Tabel 5. Perbandingan kuat cahaya (E) pengukuran langsung dengan SNI 7391:2008^[1]

No.	Tinggi tiang (m)	E rata-rata (Lux)	E rata-rata (Lux) SNI	Hasil analisa
1.	9	11,94	11-20 Lux	Kurang
2.	12	8.56		

Pada Tabel 5 dijelaskan bahwa hasil pengukuran illuminasi (E) pada tiang 12 meter 8,5 lux, masih kurang memenuhi standar minimal illuminasi menurut SNI 7391:2008.

Tabel 6. Perbandingan kuat cahaya (E) perhitungan rumus dengan SNI 7391:2008^[1]

No.	Tinggi tiang (m)	E rata-rata (Lux)	E rata-rata (Lux) SNI	Hasil analisa
1.	9	15,38	11-20 Lux	Kurang
2.	12	9,92		

Pada Tabel 6 dijelaskan bahwa hasil perhitungan menggunakan teori rumus, pada tiang 12 meter 9,92 lux, masih kurang memenuhi standar menurut SNI 7391:2008.

Jadi, pada jalan tersebut walaupun dengan mengganti lampu baru dengan jenis sama, masih akan kurang memenuhi standar.



Tabel 7. Perbandingan pemerataan cahaya (*Uniformity*) pengukuran langsung dengan SNI 7391:2008^[1]

No.	Tinggi tiang (m)	Kemerataan <i>Uniformity</i> (Emin/Emax)	Kemerataan <i>Uniformity</i> (Emin/Emax) SNI	Hasil analisa
1.	9	0,067	0,14 - 0,20	Kurang
2.	12	0,090		

Untuk mengatasi kurangnya kuat cahaya (E) dan *uniformity* PJU di jalan Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 adalah dengan mengganti lampu yang sudah ada dengan lampu yang mempunyai flux cahaya yang lebih tinggi dan armatur yang mempunyai daya penyebaran lebih baik agar pemerataan cahaya juga memenuhi standar.

Dari perhitungan diatas pada Tabel 3, dapat dilihat dengan menggunakan lampu 27500 lumen (110 lumen/watt type SON-T 250 W) kuat cahaya (E) rata rata masih kurang memenuhi standar. Kemudian dengan menggunakan perhitungan yang sama, untuk mendapatkan hasil sesuai standar SNI 7391:2008 dapat dihitung dengan meningkatkan nilai flux cahaya berbeda dengan tujuan akan mendapatkan jenis lampu dengan flux cahaya yang sesuai.

Tabel 8. Perhitungan kuat cahaya (E) dengan beberapa jenis Flux cahaya (lm) berbeda.

No	Flux cahaya (lm)	Tinggi tiang (m)	Hasil perhitungan kuat cahaya dari titik dibawah lampu radius(m)				E rata-rata (Lux)
			0	4	8	17,5	
1.	27500	9	27,03	20,63	11,29	2,59	15,38
2.		12	15,20	12,98	8,76	2,75	9,92
3.	30500	9	29,98	22,88	12,52	2,87	17,06



4.		12	16,86	14,40	9,71	3,05	11,01
5.	32000	9	31,45	24,00	13,13	3,01	17,90
6.		12	17,69	15,11	10,19	3,20	11,55

Dari Tabel 8. untuk mencapai standar SNI yaitu 11-20 lux di Jalan Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 dibutuhkan flux cahaya minimal adalah 30500 lumen yang menghasilkan E rata rata pada tiang 12 meter adalah 11,01 lux. Jadi, dengan memperhatikan teknologi saat ini, kemampuan lampu jenis LED menjadi jenis yang sesuai untuk menggantikan lampu yang sudah ada karena lampu tersebut memiliki flux cahaya yang tinggi dan warna cahaya lebih baik. Dan pilihan lampu yang digunakan adalah lampu yang mempunyai spesifikasi flux minimal 30500 lm.

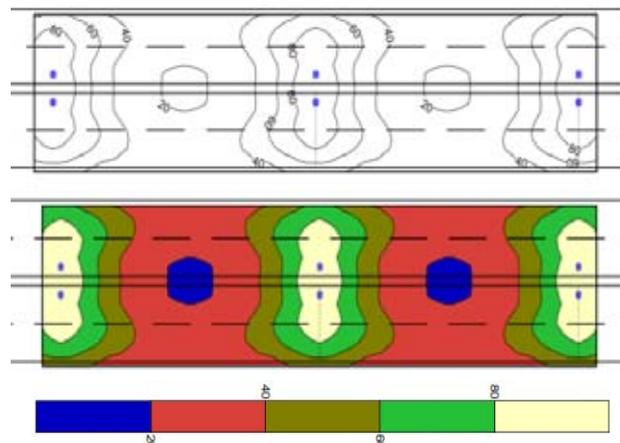
4.3 Analisa pengujian kuat cahaya

Untuk meningkatkan pencahayaan di jalan Kaligawe maka dalam penelitian ini mencoba dengan menggunakan software *calculux road 6.5*.

Dengan program ini, lampu HPS 250 Watt baru dan Lampu LED 200 Watt baru disimulasikan untuk mengetahui tingkat pencahayaannya. Dengan jarak tiang selalu sama yaitu 35 meter, tinggi tiang juga sama yaitu 9 meter, dengan lebar jalan utama 2 x 8 meter.

a. Pencahayaan lampu HPS 250 Watt

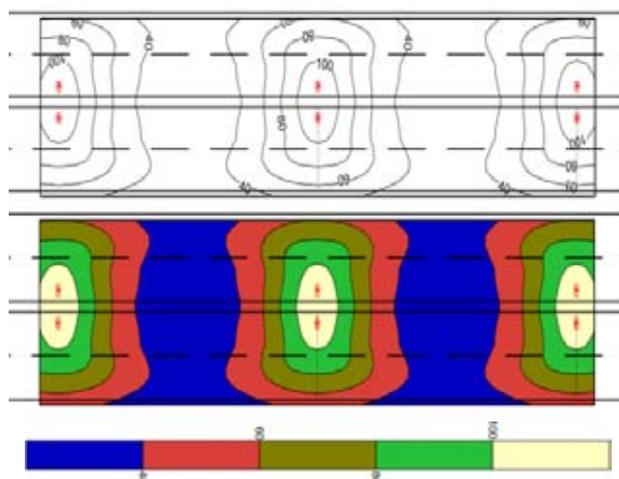
Dengan menggunakan lampu HPS 250 Watt, di dapat hasil dengan simulasi calculux adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Hasil simulasi program *calculux road 6.5* pencahayaan lampu HPS 250 Watt
Terlihat pada Gambar 8 hasil simulasi software *calculux* dengan menggunakan lampu HPS 250 Watt, hasil yang didapat adalah nilai illuminasi (E) tertinggi sebesar 98,3 lux, terendah sebesar 17,9 lux dan rata rata sebesar 49,3 lux. tentu berbeda dengan hasil yang di dihasilkan dengan pengukuran dengan hasil kuat cahaya (E) rata rata hanya sebesar 15,38 lux.

b. Pencahayaan lampu LED 200 Watt

Dengan menggunakan lampu LED 200 Watt, di dapat hasil dengan simulasi calculux adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Hasil simulasi program calculux road 6.5 pencahayaan lampu LED 200 Watt

Terlihat pada Gambar 9, hasil simulasi dengan software *calculux* dengan menggunakan lampu LED 200 Watt nilai intensitas kuat pencahayaannya (E) tertinggi sebesar 113,2 lux, terendah sebesar 26 lux dan rata rata sebesar 57,8 lux. Tentunya hasil ini tidak sama persis jika diaplikasikan di jalan.

Hasil jenis lampu ini setelah dipasang di jalan dengan tinggi tiang 9 meter kuat pencahayaannya (E) tertinggi sebesar 58 lux, terendah sebesar 3 lux dan (E) rata rata sebesar 18 lux.

Mengacu pada perhitungan Tabel 8, untuk memenuhi standar SNI 7391:2008 di jalan Kaligawe flux cahaya minimal yang harus digunakan adalah 30500 lumen untuk lampu dengan ketinggian 9 meter dengan kuat cahaya (E) rata rata minimal sebesar 17,06 lux. Jadi lampu yang ideal untuk meningkatkan kuat cahaya di Jl. Kaligawe Km-3 sampai dengan Km-6 adalah jenis lampu LED yang telah disimulasikan pada Gambar 9.

4.4 Analisa biaya listrik

Biaya penggunaan energi lampu PJU adalah biaya yang dikeluarkan setiap bulannya untuk setiap kWh energi listrik yang dipakai. Penetapan penyesuaian tarif tenaga listrik pemerintah diatur dalam (*tariff adjustment*) yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero).

Dengan tarif beban per kWh untuk P-3/TR sebesar Rp 1.410,12 (*Tariff Adjustment*-bulan Agustus 2016) maka dapat dihitung biaya penggunaan energi listrik PJU setiap bulannya, dengan asumsi setiap hari lampu PJU menyala selama 12 jam maka perhitungan biayanya adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik} &= \text{Biaya Beban} + \text{Biaya Pemakaian} \\ &= (40 \text{ (jam nyala)} \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{tariff P-3}) + (360 \text{ (jam nyala)} \times \Sigma \text{ daya} \\ &\text{lampu}/1000 \times \text{tariff P-3}) \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat kita hitung biaya PJU setiap bulannya menurut daya lampunya :

a) Biaya Energi Lampu PJU setiap bulan dengan lampu HPS 250 Watt adalah sebagai berikut:

Contoh perhitungan pada APP- JL.K.GAWE/SMA-SMP S.

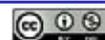
- Diketahui : Jumlah lampu = 26 Buah ;
 daya Lampu = 250 W ;
 waktu Nyala = 12 jam (Jam 17.30-05.30) ;
 daya Tersambung = 7700 VA ;

- Berapa biaya tagihan PJU per bulan?

- Jawab : dengan daya diatas 6600 VA menurut tariff adjustment yang berlaku, biaya beban masuk kategori Rekening Minimum-1 (RM1).

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Biaya Listrik} &= (40 \times \text{Daya Tersambung (kVA)} \times \text{tariff P-3}) + (\text{jam nyala} \times \Sigma \text{ daya} \\ &\text{lampu}/1000 \times \text{tariff P-3}) \\ &= [(40 \times (7700/1000) \times 1410,12)] + [(12 \times 30) \times ((250 \times 26)/1000) \times \\ &1410,12] \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= (40 \times 7,7 \times 1410,12) + (360 \times 6,6 \times 1410,12) \\
 &= 434.317 + 3.299.681 \\
 &= 3.733.998 \text{ Rupiah}
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Perhitungan biaya PJU setiap bulan dengan lampu HPS 250 Watt

NO.	LOKASI	ID.PEL	Daya (VA)	Jumlah Lampu	Daya Lampu (250 W)	Tariff Adjustmen 1410,12	Biaya PJU 1 Bulan (30 hari)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	JL.K.GAWES/MA-SMP S.	523031190030	7.700	26	6.500	1410,12	3.733.998
2	JL.K.GAWE DEPAN UNIS	523031190048	7.700	18	4.500	1410,12	2.718.711
3	JL.K.GAWE/TERMINAL T	523031190055	7.700	10	2.500	1410,12	1.703.425
4	JL.TRIMULYO	523031190063	7.700	20	5.000	1410,12	2.972.533
5	JL.K.GAWE/TRIMULYO	523031190071	7.700	16	4.000	1410,12	2.464.890
6	JL.K.GAWE DEPAN POLS	523031190097	7.700	16	4.000	1410,12	2.464.890
7	JL.K.GAWE/TRIMLYO-K	523031190119	7.700	14	3.500	1410,12	2.211.068
Jumlah Biaya PJU Jl. Kaligawe dengan Lampu 250 W tiap Bulan							18.269.515

b) Biaya Energi Lampu PJU setiap bulan dengan lampu LED 200 Watt adalah sebagai berikut:

Tabel 10. Perhitungan biaya PJU setiap bulan dengan lampu LED 200 Watt

NO.	LOKASI	ID.PEL	Daya (VA)	Jumlah Lampu	Daya Lampu (200 W)	Tariff Adjustmen 1410,12	Biaya PJU 1 Bulan (30 hari)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	JL.K.GAWES/MA-SMP S.	523031190030	7.700	26	5.200	1410,12	3.074.062
2	JL.K.GAWE DEPAN UNIS	523031190048	7.700	18	3.600	1410,12	2.261.832
3	JL.K.GAWE/TERMINAL T	523031190055	7.700	10	2.000	1410,12	1.449.603
4	JL.TRIMULYO	523031190063	7.700	20	4.000	1410,12	2.464.890
5	JL.K.GAWE/TRIMULYO	523031190071	7.700	16	3.200	1410,12	2.058.775
6	JL.K.GAWE DEPAN POLS	523031190097	7.700	16	3.200	1410,12	2.058.775
7	JL.K.GAWE/TRIMLYO-K	523031190119	7.700	14	2.800	1410,12	1.855.718
Jumlah Biaya PJU Jl. Kaligawe dengan Lampu 200 W tiap Bulan							15.223.656

Pada Tabel 9 dan Tabel 10 di atas terlihat bahwa biaya yang harus dibayar untuk penggunaan energi listrik untuk PJU setiap bulannya dengan memakai lampu LED 200W adalah 15.223.656 rupiah lebih murah dibandingkan dengan HPS 250 W yang nilainya sebesar 18.269.515 rupiah.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Meningkatkan cahaya dan menghitung kuat cahaya (E) PJU harus dengan berstandar SNI 7391:2008 dengan mengukur kuat cahaya (E) langsung dilapangan dengan seksama, menguji dengan software *calculux*, membandingkan dengan perhitungan teori serta mendapatkan nilai ekonomi sebagai investasi penggantian.
2. Pengukuran kuat cahaya PJU di Jl. Kaligawe Km 3+00 sampai dengan Km 6+00 saat ini adalah rata rata 11,94 lux pada tiang 9 meter dan 8,56 lux pada tiang 12 meter, sedangkan standar lux rata rata menurut SNI 7391:2008 adalah 11-20 lux, jadi belum memenuhi standar.
3. Untuk memenuhi standar SNI di Jl. Kaligawe Km 3+00 sampai dengan Km 6+00 adalah dengan mengganti lampu dengan lampu jenis LED dengan flux cahaya minimal 30500 lumen.

5.2 Saran

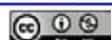
1. Pemilihan jenis lampu LED sebaiknya memperhatikan pada spesifikasi teknis lumen output, serta dapat dilakukan uji sampling terlebih dahulu, karena perbedaan teknologi masing-masing produsen yang berpengaruh pada efisiensi pencahayaan.
2. Untuk memenuhi standar SNI secara tepat, dapat dipilih jenis lampu yang dapat diatur kuat cahaya yang dipancarkan lampu tersebut.

REFERENSI

- [1] SNI 7391:2008. (2008). *Spesifikasi Penerangan jalan di kawasan Perkotaan*, Badan Standardisasi Nasional,(BSN).



- [2] Muhaimin. (2010). *Teknologi Pencahayaan*, Bandung: PT. Refika Aditama.
- [3] PT. PLN (Persero) (2016). *Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (Tariff Adjustment)*, Agustus 2016.
- [4] http://www.lighting.philips.com/main/prof/lamps/high-intensity-discharge-lamps/son-high-pressure-sodium/son-t/928487200098_EU/product.
- [5] Standar Penerangan Jalan berdasarkan CIE 114.
- [6] Van Harten. (2002). *Instalasi Listrik Arus Kuat 2, Edisi ke-4*, Trimitra Mandiri, Jakarta.



Identifikasi Konten Negatif pada Citra Digital Berbasis Tanda Vital Tubuh Menggunakan Ekstraksi Fitur GLCM dan Warna YCbCr

Denny Hardiyanto¹, Dyah Anggun Sartika²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 16 Maret 2017

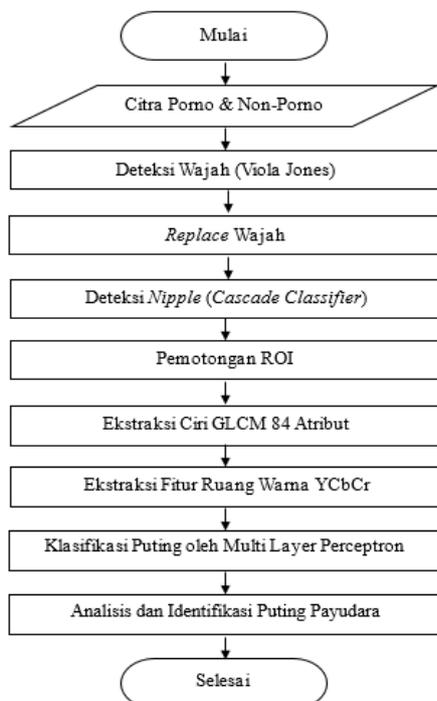
Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
denny.hardiyanto@akprind.ac.id

Graphical abstract

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1. China*	620.7	643.6	669.8	700.1	736.2	777.0
2. US**	246.0	252.9	259.3	264.9	269.7	274.1
3. India	167.2	215.6	252.3	283.8	313.8	346.3
4. Brazil	99.2	107.7	113.7	119.8	123.3	125.9
5. Japan	100.0	102.1	103.6	104.5	105.0	105.4
6. Indonesia	72.8	83.7	93.4	102.8	112.6	123.0
7. Russia	77.5	82.9	87.3	91.4	94.3	96.6
8. Germany	59.5	61.6	62.2	62.5	62.7	62.7
9. Mexico	53.1	59.4	65.1	70.7	75.7	80.4
10. Nigeria	51.8	57.7	63.2	69.1	76.2	84.3
11. UK**	48.8	50.1	51.3	52.4	53.4	54.3
12. France	48.8	49.7	50.5	51.2	51.9	52.5
13. Philippines	42.3	48.0	53.7	59.1	64.5	69.3



Abstract

Currently, the rapid development of information technology causes various positive impacts and negative impacts. All information (positive and negative contents) are available on the internet. They can easily accessible by various community members including students. Negative content or pornography contained in the internet can have adverse effects, affect the psychological and mental state, especially among students. The purpose of this research is to develop a system for identifying negative content based on the detection of the body's vital signs. The object of the body's vital signs is the nipple. The proposed method is a combination of face detection and face replace to reduce false positive error in the face area. Furthermore, Haar-Cascade Classifier training uses 1000 positive images data (nipple images) and 8000 negative images data (images that not contain of nipple). The feature extraction stage uses the Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) 84 attribute and the result is continued YCbCr color space feature extraction process. The classification process use Multi Layer Perceptron with architecture of 10 neurons and 1 hidden layer. By using 158 data of nipple candidate objects, this research was able to detect nipple content with accuracy value of 90,3%, specificity value of 84,60%, and sensitivity value of 92,4%. This is shows that the addition of YCbCr color space feature extraction can increase the accuracy value of 0.9% and the sensitivity value of 1.04%.

Keywords: Nipple Detection, GLCM, porn, YCbCr space color

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi yang semakin pesat seperti saat ini menyebabkan berbagai dampak positif dan dampak negatif. Segala informasi (konten positif dan negatif) tersedia di internet dan dengan mudah diakses oleh berbagai kalangan masyarakat diantaranya adalah pelajar. Konten negatif (pornografi) yang terkandung di dalam internet dapat berdampak buruk dan mempengaruhi keadaan psikis maupun mental khususnya kalangan pelajar. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem untuk identifikasi konten negatif berbasis deteksi tanda vital tubuh. Objek penelitian tanda vital tubuh adalah puting payudara. Metode yang diusulkan adalah kombinasi deteksi wajah dan replace wajah untuk mengurangi tingkat kesalahan deteksi di area wajah. Selanjutnya pelatihan Haar-Cascade Classifier menggunakan 1000 data citra positif (citra berkonten puting payudara) dan 8000 data citra negatif (tidak berkonten puting payudara) untuk mendeteksi adanya puting payudara pada citra digital. Tahapan ekstraksi fitur menggunakan Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) 84 atribut, hasilnya dilanjutkan proses ekstraksi fitur warna YCbCr. Klasifikasi yang digunakan adalah Multi Layer Perceptron dengan arsitektur 10 neuron dan 1 layer tersembunyi. Dengan menggunakan 158 data objek kandidat puting payudara, penelitian ini mampu mendeteksi konten puting payudara dengan nilai akurasi 90,3%, nilai spesifisitas 84,60%, dan nilai sensitivitas 92,4%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ekstraksi fitur warna YCbCr mampu menaikkan nilai akurasi 0,9% dan nilai sensitivitas 1,04%.

Kata kunci: Deteksi Puting Payudara, GLCM, pornografi, YCbCr

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang semakin pesat seperti saat ini menyebabkan berbagai dampak positif dan dampak negatif. Segala informasi (konten positif dan negatif) tersedia di internet dan dengan mudah diakses oleh berbagai kalangan masyarakat diantaranya adalah kalangan pelajar. Konten negatif (pornografi) yang terkandung di dalam internet dapat berdampak buruk dan mempengaruhi keadaan psikis maupun mental khususnya para kalangan pelajar yang mengaksesnya. Sebagai generasi penerus bangsa, generasi pelajar haruslah dibekali dengan kesiapan mental dan keteguhan iman sehingga generasi ini akan lebih produktif, kreatif dan memajukan Negara Indonesia. Pengguna internet di Indonesia termasuk dalam kategori medium yang artinya penggunaan internet merata di berbagai wilayah di Indonesia. Sebagaimana data yang telah disajikan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika RI bahwa Indonesia menduduki peringkat enam dunia sebagai pengguna internet.

Tabel 1. Data Pengguna Internet Tahun 2013 – 2018 [1]

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1. China*	620.7	643.6	669.8	700.1	736.2	777.0
2. US**	246.0	252.9	259.3	264.9	269.7	274.1
3. India	167.2	215.6	252.3	283.8	313.8	346.3
4. Brazil	99.2	107.7	113.7	119.8	123.3	125.9
5. Japan	100.0	102.1	103.6	104.5	105.0	105.4
6. Indonesia	72.8	83.7	93.4	102.8	112.6	123.0
7. Russia	77.5	82.9	87.3	91.4	94.3	96.6
8. Germany	59.5	61.6	62.2	62.5	62.7	62.7
9. Mexico	53.1	59.4	65.1	70.7	75.7	80.4
10. Nigeria	51.8	57.7	63.2	69.1	76.2	84.3
11. UK**	48.8	50.1	51.3	52.4	53.4	54.3
12. France	48.8	49.7	50.5	51.2	51.9	52.5
13. Philippines	42.3	48.0	53.7	59.1	64.5	69.3
14. Turkey	36.6	41.0	44.7	47.7	50.7	53.5
15. Vietnam	36.6	40.5	44.4	48.2	52.1	55.8
16. South Korea	40.1	40.4	40.6	40.7	40.9	41.0
17. Egypt	34.1	36.0	38.3	40.9	43.9	47.4
18. Italy	34.5	35.8	36.2	37.2	37.5	37.7
19. Spain	30.5	31.6	32.3	33.0	33.5	33.9
20. Canada	27.7	28.3	28.8	29.4	29.9	30.4
21. Argentina	25.0	27.1	29.0	29.8	30.5	31.1
22. Colombia	24.2	26.5	28.6	29.4	30.5	31.3
23. Thailand	22.7	24.3	26.0	27.6	29.1	30.6
24. Poland	22.6	22.9	23.3	23.7	24.0	24.3
25. South Africa	20.1	22.7	25.0	27.2	29.2	30.9
Worldwide***	2,692.9	2,892.7	3,072.6	3,246.3	3,419.9	3,600.2

Hal ini menunjukkan bahwa internet menjadi hal yang penting dalam menggali informasi dan diakses di berbagai sektor perindustrian. Kamus KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia) menyebutkan bahwa pornografi merupakan penggambaran tingkah laku secara erotis dengan lukisan atau tulisan untuk membangkitkan nafsu birahi, bahan bacaan yang dengan disengaja, dan semata-mata dirancang untuk membangkitkan nafsu birahi seks [2]. Selain itu, pornografi juga mengandung unsur SARA (Suku, Agama, Ras, dan Antargolongan) sehingga sangat bertentangan dengan Negara Pancasila seperti di Indonesia.

Perkembangan penelitian terhadap penyaringan konten negatif semakin maju seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, perkembangan teknologi informasi, dan perkembangan *software*



machine learning. Segala jenis algoritme digunakan untuk memberikan solusi dalam penanggulangan serta pemblokiran konten negatif khususnya di internet [3]. Penelitian dimulai dengan adanya penapisan teks yang mengandung unsur pornografi (pengenalan kata-kata yang sifatnya dapat menimbulkan gairah dari pembaca), kemudian penapisan terhadap gambar-gambar wanita maupun pria telanjang dan video panas. Penelitian tentang konten negatif khususnya untuk foto, gambar, maupun video terbagi menjadi dua jenis yaitu penelitian berdasarkan deteksi area kulit seperti yang telah dikerjakan oleh [4], [5], [6], [7]. Kulit merupakan bagian dari tubuh yang dapat dijadikan acuan dalam kategori pornografi. Deteksi tanda vital tubuh (seperti dada, puting payudara, dan alat kelamin) merupakan cara yang digunakan untuk mendeteksi adanya unsur pornografi pada citra digital maupun video. Selanjutnya, penelitian yang dikerjakan oleh Adji dkk [8] tentang penyaringan konten negatif berbasis lokalisasi area kulit dan homomorphic filter. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi citra porno dengan menghitung persentase rasio area kulit terdeteksi berbanding dengan area citra keseluruhan. Apabila rasio perbandingan di atas ambang *threshold* penelitian, maka citra tersebut dianggap sebagai citra porno. Akan tetapi, penelitian konten negatif berdasarkan deteksi area kulit memiliki kelemahan yang belum teratasi oleh sistem, diantaranya kemiripan warna latar citra dengan warna kulit manusia (seperti warna tembok, kayu, pasir, korden, kucing, dll). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini diusulkan metode untuk mendeteksi tanda vital tubuh berbasis deteksi puting payudara.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem untuk identifikasi konten negatif berbasis deteksi tanda vital tubuh dengan metode GLCM dan ruang warna YCbCr. Objek penelitian tanda vital tubuh adalah puting payudara.

2. STUDI PUSTAKA

Penelitian berbasis tanda vital tubuh seperti yang telah dikerjakan oleh Wang dkk [9], tentang deteksi puting payudara pada tubuh dengan algoritme pelatihan AdaBoost. AdaBoost merupakan salah satu *machine learning* klasifikasi yang sering digunakan dalam penelitian untuk mendeteksi sebuah objek menggunakan pelatihan fitur. Fitur yang sering digunakan adalah fitur *Haar-like*, *Histogram of Oriented Gradient* (HOG), dan *Linear Binary Pattern* (LBP). Kemudian dilakukan algoritme *template matching* untuk menyamakan bentuk objek dengan *template* yang telah dibuat. Adapun kekurangan dari penelitian Wang adalah masih banyak terjadi kesalahan pada objek yang memiliki kemiripan bentuk dengan puting payudara.

Kemudian pada tahun berikutnya, Pengyu dkk [10] mengerjakan hal yang sama dengan Wang, yaitu mendeteksi puting payudara dengan melakukan pelatihan dataset dengan AdaBoost atau *Cascade Classifier*. Akan tetapi, perbedaan dengan Wang, Pengyu menambahkan fitur *Extended Haar* dan fitur *Joint* untuk mendeteksi objek puting payudara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada peningkatan akurasi 90,37%. Kesalahan deteksi berkurang dengan adanya penambahan jenis fitur tersebut.

Selanjutnya, Hidayattullah dkk [11] melakukan penelitian yang sama dengan Wang, yaitu mendeteksi puting payudara dengan melakukan pelatihan dataset citra puting payudara dengan *machine learning* AdaBoost. Data yang digunakan sebagai data latih sedikit sehingga keakuratan dalam melakukan deteksi masih kurang. Selain itu, penelitian ini masih sangat sederhana, belum ada penambahan atau kombinasi algoritme, sehingga masih terdapat banyak kesalahan (*false positive*) khususnya pada citra non-porno. Seperti penelitian Wang, yaitu kesalahan deteksi terjadi pada objek yang memiliki bentuk dan tekstur yang mirip dengan puting payudara, misalnya objek berbentuk lingkaran kecil, objek seperti polkadot, dan lain sebagainya.

Kemudian berikutnya Verapluth dkk [12] memberikan ide-ide baru dalam mendeteksi puting payudara. Metode yang dilakukan adalah menghitung area proporsional tubuh ideal wanita dalam citra digital. Bagian tubuh tersebut dibagi menjadi beberapa area sehingga diperoleh area dada yang telah tersegmentasi. Pada area dada yang telah tersegmentasi tersebut, dilakukan deteksi puting payudara. Penelitian tersebut menjadi suatu ide baru dalam mendeteksi puting payudara wanita. Akan tetapi, kelemahan metode yang ditawarkan Verapluth adalah tidak bisa menghitung area proporsional tubuh wanita ketika tubuh tersebut dalam posisi horizontal atau tiduran. Hal ini dikarenakan, algoritme yang diterapkan adalah penghitungan area yang dimulai dari titik atas menuju bawah.



Dengan kata lain, apabila pose tubuh itu miring atau tegak lurus dengan citra, metode tidak dapat diterapkan.

Selain meneliti cara identifikasi tanda vital tubuh manusia, banyak peneliti yang mengembangkan metode identifikasi warna kulit manusia berdasarkan ekstraksi ruang warna RGB, YCbCr, dan lainnya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jinxin Ruan, dkk [13] bahwa ruang warna RGB setiap komponen merepresentasikan tidak hanya warna tetapi juga iluminasi. Di dalam penelitiannya, dipilih ruang warna YCbCr sebagai solusi yang tepat dalam mengatasi masalah iluminasi yang disebabkan oleh kondisi cahaya pada citra. Ruang warna ini dikembangkan dari sistem TV dan banyak digunakan dalam standar kompresi JPEG, MPEG, maupun video digital lainnya. YCbCr merepresentasikan sebuah iluminansi yang terpisahkan oleh sebuah ruang warna.

Pada tahun 2011, Jorge dkk [3] telah mengembangkan deteksi pornografi berdasarkan persentasi pixel yang terdeteksi sebagai kulit pada citra dan memanfaatkan ruang warna YCbCr dan HSV sebagai segmentasi kulitnya. Hasil penelitiannya diaplikasikan pada *software Paraben's Porn detection* dan *FTK Explicit Image Detection*.

Pada tahun 2015, denny dkk [3] melakukan penelitian terkait dengan penapisan konten negatif pada video. Adapun metode yang dilakukan adalah mengekstraksi video menjadi frame-frame citra digital sebanyak 256 frame dengan interval waktu yang merata. Selanjutnya 256 frame terpilih tersebut dilakukan klasifikasi citra dan diberlakukan metode deteksi kulit berdasarkan metode segmentasi warna YCbCr untuk mendeteksi adanya unsur pornografi. Jika nilai unsur pornografi lebih tinggi dari batas threshold yang diberikan oleh peneliti, maka frame pada video tersebut dianggap porno atau berkonten negatif. Ide tersebut memberikan suatu pemikiran yang bagus dalam mendeteksi unsur pornografi pada sebuah video.

Selanjutnya di tahun 2016, denny dkk [14] melakukan penelitian tentang penapis konten negatif pada citra digital. Adapun objek yang diteliti adalah tanda vital tubuh (puting payudara). Metode yang diusulkan adalah melakukan kombinasi antara deteksi wajah dan *replace wajah* untuk mengurangi kesalahan deteksi di area wajah (*false positif*). Selanjutnya dilakukan pelatihan pengenalan puting melalui *Cascade Classifier* dengan menggunakan 1000 data latih citra positif puting dan 8000 data latih citra negatif selain puting. Selanjutnya dilakukan ekstraksi fitur statistika warna dan klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi MLP dengan 10 neuron dan 1 layer tersembunyi.

3. METODE DAN DATASET

Pada Bab III ini, akan dibahas tentang tahapan metode yang diusulkan oleh peneliti, dataset yang digunakan dalam penelitian.

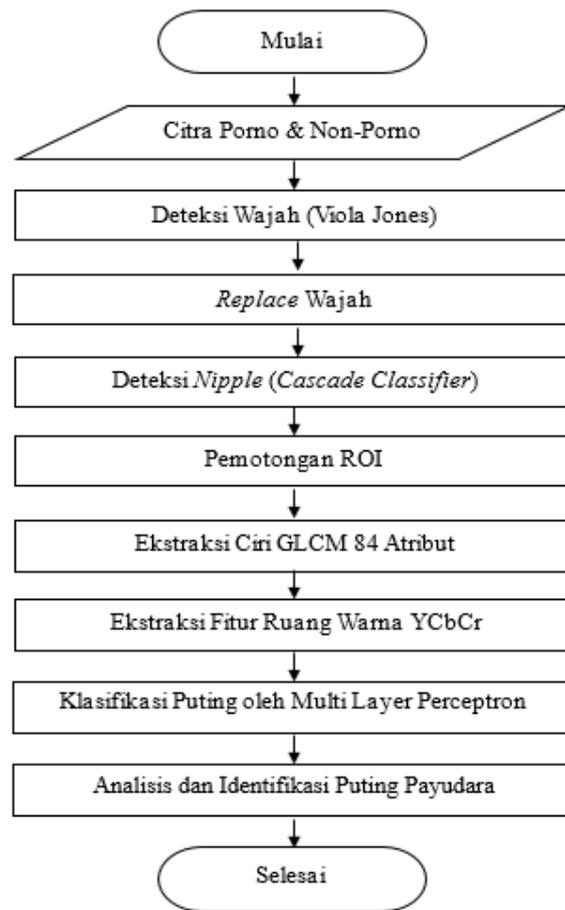
A. Dataset

Pada penelitian ini, dataset atau citra yang digunakan berasal dari pihak ketiga (internet) melalui Google. Citra yang digunakan terdiri atas citra porno (citra yang mengandung konten puting) dan citra non-porno (citra bebas dan tidak mengandung konten puting payudara). Dalam melakukan pelatihan algoritme *Cascade Classifier* melalui Adaboost digunakan 1000 data citra positif (citra mengandung konten puting) dan 8000 data citra negatif (citra tidak berkonten puting). Proses pre-pengujian deteksi wajah menggunakan 100 data citra. roses klasifikasi menggunakan *Multi Layer Perceptron* (MLP) dan menggunakan 158 data citra ROI kandidat puting.

Penelitian ini dikerjakan pada sebuah laptop dengan spesifikasi *processor* Intel Core i5-4210U CPU @1.7GHz, RAM 8 *Gigabyte* dan sistem operasi Windows 7 64 bit. *Software* yang digunakan meliputi MATLAB 2014a, Python, dan *Machine Learning Weka Copyright University of Waikato Hamilton, New Zealand*.

B. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat beberapa tahapan algoritme yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem

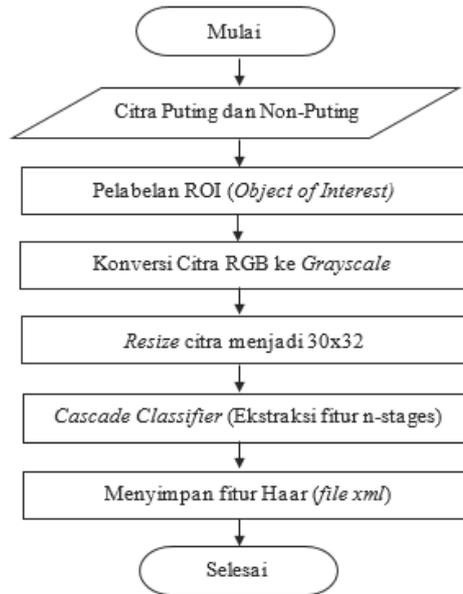
Input citra berupa citra porno (mengandung konten puting) dan citra non-porno. Proses selanjutnya akan dijelaskan secara bertahap sebagai berikut:

1) *Deteksi Wajah dan Replace Wajah*

Pada penelitian sebelumnya, banyak kesalahan yang terjadi (*false positive*) pada area wajah, yaitu mata dianggap sebagai puting payudara dan lain sebagainya. Oleh karena itu, deteksi wajah merupakan tahapan penting dalam penelitian ini, karena deteksi wajah berperan sebagai filter pertama sebelum dilakukannya proses deteksi puting payudara. Deteksi wajah yang digunakan adalah deteksi yang diusulkan oleh Viola Jones [15]. Setelah ditemukannya area wajah, lalu dilakukan proses *replace* wajah. Semua intensitas piksel dalam ROI wajah, dikalikan dengan nilai 0 sehingga menjadi berwarna hitam. *Replace* wajah bertujuan untuk menggantikan wajah untuk mengurangi *false positive* (FP) pada deteksi puting payudara.

2) *Deteksi Puting Payudara*

Pada proses deteksi puting payudara, terbagi menjadi dua proses yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. Algoritme yang digunakan dalam proses pelatihan adalah *Cascade Classifier* (algoritme klasifikasi bertingkat). Algoritme ini merupakan pengembangan dari metode Viola Jones dengan menggunakan fitur *Haar-like*. Pada proses pelatihan, digunakan 1000 data citra positif (citra porno mengandung puting payudara) dan 8500 data citra negatif (citra bukan porno dan biasanya merupakan *background* dari *object of interest*). Adapun tahapan pelatihan deteksi puting ini ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Pelatihan Deteksi Puting Payudara [14]

1) *Pemotongan ROI*

Pada proses sebelumnya, telah dilakukan deteksi puting payudara menggunakan algoritma *Cascade Classifier*. Hasil deteksi ditunjukkan dengan adanya ROI pada objek terdeteksi kandidat puting. Kemudian, objek kandidat puting yang dilakukan ROI dipotong dan diproses pada tahapan selanjutnya. Jumlah ROI kandidat puting payudara pada sebuah citra masih sangat banyak, karena algoritme pelatihan *Cascade Classifier* masih mendeteksi objek-objek mirip puting payudara dalam citra tersebut sehingga dibutuhkan proses selanjutnya.

2) *Ekstraksi Fitur Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)*

Citra input pada proses ekstraksi fitur merupakan citra objek kandidat puting payudara yang telah diproses pada tahapan sebelumnya. Kandidat-kandidat puting payudara tersebut dikumpulkan untuk dilakukan ekstraksi fitur guna mendapatkan keakuratan dalam deteksi puting payudara. Ekstraksi fitur dimaksudkan untuk mendapatkan nilai fitur suatu objek berdasarkan hubungan nilai intensitas piksel suatu citra. Pada penelitian ini, digunakan 84 fitur tekstur GLCM. Adapun 84 fitur GLCM tersebut terdiri dari 21 fitur pada masing-masing sudut 0°, 45°, 90°, dan 135°. Haralick mengusulkan 13 fitur GLCM [16] meliputi:

$$ASM = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2 \tag{1}$$

$$Contrast = \sum_{n=0}^{Ng-1} n^2 \{ \sum_{|i-j|=n} p(i, j) \} \tag{2}$$

$$Correlation = \frac{\sum_{i=1} \sum_{j=1} p(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \tag{3}$$

$$SSVar = \sum_i \sum_j (i - \mu)^2 p(i, j) \tag{4}$$

$$IDM = \sum_i \sum_j \frac{1}{1+(i-j)^2} p(i, j) \tag{5}$$

$$SAV = \sum_{i=2}^{2Ng} i \cdot p_{x+y}(i) \tag{6}$$

$$SEntro = - \sum_{i=2}^{2Ng} p_{x+y}(i) \log_2 \{ p_{x+y}(i) \} \tag{7}$$

$$SVar = \sum_{i=2}^{2Ng} (i - f_7)^2 p_{x+y}(i) \tag{8}$$

$$Entro = - \sum_i \sum_j p(i, j) \log_2 p(i, j) \tag{9}$$

$$DVar = \text{varian dari } p_{x-y} \tag{10}$$



$$DEntro = - \sum_{i=0}^{N_g-1} p_{x-y}(i) \log_2\{p_{x-y}(i)\} \quad (11)$$

$$IMCorr1 = \frac{HXY-HXY1}{\max\{HX, HY\}} \quad (12)$$

$$IMCorr2 = (1 - \exp[-2(HXY2 - HXY)])^{1/2} \quad (13)$$

Selain 13 fitur di atas, Soh dan Tsatsoulis mengusulkan 5 fitur GLCM lain, [17] yaitu:

$$ACorr = \sum_i \sum_j (ij) \cdot p(i, j) \quad (14)$$

$$Dissi = \sum_i \sum_j |i - j| \cdot p(i, j) \quad (15)$$

$$CShade = \sum_i \sum_j (i + j - \mu_x - \mu_y)^3 \cdot p(i, j) \quad (16)$$

$$CProm = \sum_i \sum_j (i + j - \mu_x - \mu_y)^4 \cdot p(i, j) \quad (17)$$

$$MProb = MAX p(i, j) \quad (18)$$

Clausi juga mengusulkan 3 fitur lagi sebagai pelengkap fitur GLCM di atas [18], yaitu *Inverse Difference (IDiff)*, *Inverse Difference Moment Normalized (IDN)*, dan *Inverse Difference Normalized (INN)* dengan formula yakni:

$$IDiff = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1+|i-j|} \quad (19)$$

$$INN = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1+|i-j|/N_g} \quad (20)$$

$$IDN = \sum_i \sum_j \frac{p(i, j)}{1+|i-j|^2/(N_g)^2} \quad (21)$$

Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (21) dikomputasikan pada semua sudut 0°, 45°, 90°, dan 135°, sehingga diperoleh hasil sebanyak 84 fitur GLCM.

3) Ekstraksi Fitur Ruang Warna YCbCr

Sebagaimana telah dijelaskan pada bab II, ruang warna YCbCr dipilih untuk mendeteksi warna kulit tubuh manusia dikarenakan ruang warna ini mampu mengeliminasi iluminasi yang ditimbulkan oleh efek cahaya kamera maupun tv [13]. Citra objek kandidat puting tersebut dikonversi dari ruang warna RGB ke ruang warna YCbCr dengan rumus ditunjukkan pada Persamaan (22) [5]:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.332 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (22)$$

YCbCr adalah ruang warna yang sering digunakan dalam sistem video dan fotografi digital. Y merepresentasikan komponen luminansi, sedangkan Cb dan Cr merepresentasikan komponen krominansi dari warna merah dan biru. Pada ruang warna ini, sebuah pixel diklasifikasikan sebagai kulit apabila memenuhi kondisi berikut [5]:

$$Cr \leq 1.5862 * Cb + 20 \quad (23)$$

$$Cr \geq 0.3448 * Cb + 76.2069 \quad (24)$$

$$Cr \geq -4.5652 * Cb + 234.5652 \quad (25)$$

$$Cr \leq -1.15 * Cb + 301.75 \quad (26)$$

$$Cr \leq -2.2857 * Cb + 432.85 \quad (27)$$



Sehingga ruang warna YCbCr merupakan pilihan yang tepat digunakan dalam ekstraksi warna kulit untuk membedakan objek puting dengan objek-objek lainnya mirip puting berdasarkan warnanya. Proses ini digunakan pada citra kandidat puting payudara yang telah ter-*crop* dan melewati tahapan seleksi pada fitur GLCM.

4) *Klasifikasi Multi Layer Perceptron (MLP)*

Klasifikasi MLP merupakan klasifikasi yang sering digunakan dalam berbagai penelitian untuk menentukan sebuah *decision* karena MLP mempunyai algoritme penyesuaian nilai error sehingga nilai error sistem dapat dibuat serendah mungkin. Proses pembelajaran yang digunakan adalah *Back Error Propagation* (BEP). Hal ini dikarenakan, MLP mampu menyesuaikan bobot selama pelatihan berlangsung, sehingga menghasilkan nilai error yang cukup rendah. Pada tahapan klasifikasi ini, digunakan 158 data citra kandidat puting payudara sebagai data pelatihan sekaligus data pengujian. Tahapan pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Cross Fold Validation* pada software Weka. Metode *Cross Fold Validation* adalah metode yang memungkinkan seluruh dataset menjadi data pelatihan sekaligus data pengujian. Dengan menggunakan bilangan Fold 10 (*default*) yang artinya dilakukan pengacakan sebanyak 10 kali memungkinkan untuk memvalidasi data penelitian yang jumlahnya sedikit. Namun sebelumnya, dilakukan penelitian jaringan MLP untuk menentukan banyak jumlah neuron dan lapisan layer tersembunyi untuk mendapatkan nilai akurasi paling tinggi. Sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya, denny dkk [14], diperoleh nilai akurasi tertinggi dengan menggunakan arsitektur jaringan neuron 10 dan 1 lapisan tersembunyi.

5) *Proses Analisis dan Identifikasi Objek Puting*

Proses analisis dilakukan dengan cara menyajikan nilai akurasi, nilai spesifisitas, dan nilai sensitivitas. Nilai akurasi berdasarkan pengujian data terdiri dari *True Positive* (TP) adalah terklasifikasi secara benar untuk citra puting payudara. *False Positive* (FP) adalah terklasifikasi salah, misalnya citra tidak mengandung konten puting payudara terklasifikasi sebagai citra porno. *True Negative* (TN) adalah terklasifikasi secara benar untuk citra tidak porno. *False Negative* (FN) adalah terklasifikasi salah, misalnya citra porno (mengandung konten puting payudara terklasifikasi sebagai citra nonporno. Adapun formula yang dijadikan sebagai parameter hasil penelitian ditunjukkan pada Persamaan (28), Persamaan (29), dan Persamaan (30).

$$Akurasi = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \quad (28)$$

$$Sensitivitas = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (29)$$

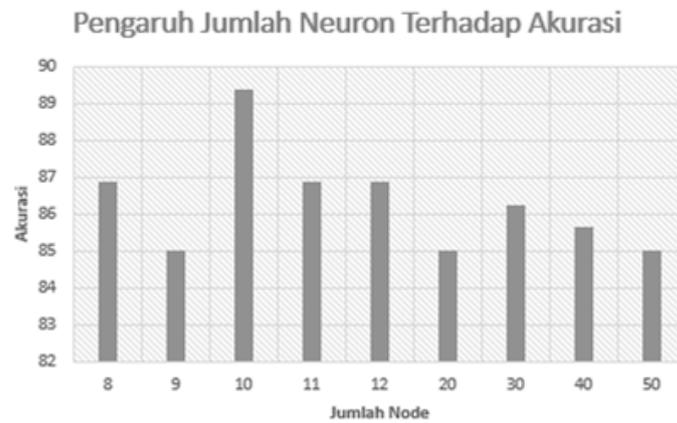
$$Spesifisitas = \frac{TN}{FP+TN} \times 100\% \quad (30)$$

4. HASIL DAN ANALISIS

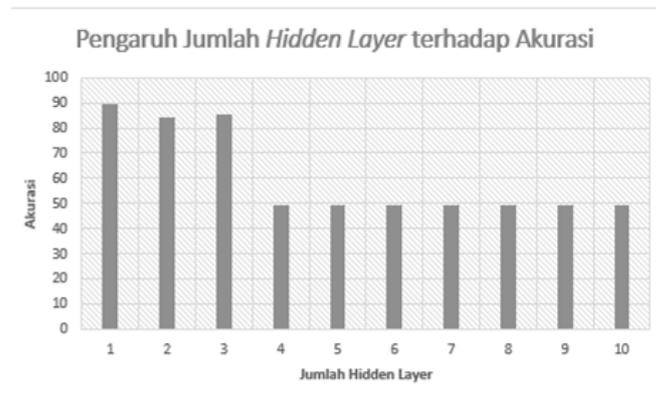
A. *Arsitektur Jaringan Multi Layer Perceptron (MLP)*

Sebelum dilakukannya proses klasifikasi, terlebih dahulu dilakukan penentuan arsitektur jaringan *Multi Layer Perceptron* (MLP). Proses pembelajaran yang diterapkan pada metode MLP ini adalah pembelajaran *Back Error Propagation* (BEP) yang artinya MLP mampu menyesuaikan bobot selama pelatihan berlangsung. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan denny dkk [14], berikut hasil penelitian tentang pengaruh jumlah neuron dan layer tersembunyi terhadap nilai akurasi ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 3 Gambar 4.





Gambar 3. Pengaruh Jumlah Neuron Terhadap Akurasi

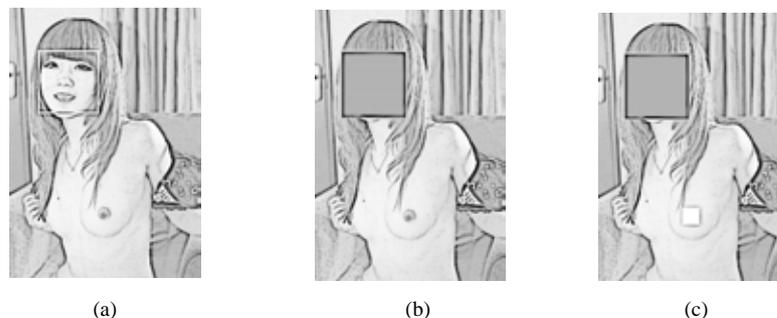


Gambar 4. Pengaruh Layer Tersembunyi Terhadap Akurasi

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 diperoleh bahwa nilai akurasi akan tinggi menggunakan arsitektur jaringan dengan jumlah neuron 10 dan 1 layer tersembunyi.

B. Citra Hasil

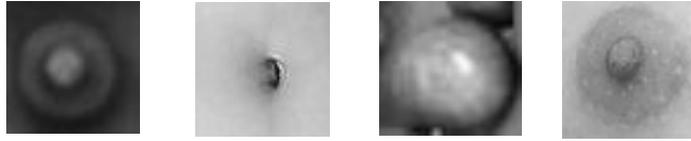
Berikut disajikan hasil operasi citra yang ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu (a) proses deteksi wajah, ditunjukkan adanya kotak persegi di area wajah (b) proses *replace* wajah untuk mengurangi kesalahan deteksi pada area wajah, ditunjukkan dengan ditutupnya area wajah yang telah terdeteksi dengan warna hitam dan (c) proses deteksi kandidat puting payudara, ditunjukkan dengan ditutupnya daerah terdeteksi puting oleh kotak persegi warna putih. Sedangkan Gambar 6 menunjukkan ROI kandidat puting payudara yang telah ter-*crop*. Beberapa objek yang mirip dengan puting payudara masih terdeteksi oleh sistem. Oleh karena itu, perlu proses ekstraksi fitur untuk menentukan objek tersebut merupakan puting dan bukan puting.



Gambar 5. Citra Hasil Pelatihan Sistem



Gambar 6 menunjukkan citra kandidat puting payudara yang telah ter-*crop* hasil deteksi puting payudara yang dilakukan oleh *Haar-Cascade Classifier*. Masih ada beberapa citra yang memiliki bentuk mirip puting payudara seperti pusar, biji-bijian, bola kecil, ornamen-ornamen berbentuk bola maupun polkadot-polkadot.



Gambar 6. Citra Kandidat Puting Payudara [14]

C. Hasil Deteksi Wajah dan Deteksi Nipple

Pada tahapan pertama dilakukan deteksi wajah dan *replace* wajah dengan tujuan mengurangi tingkat kesalahan (*false positive*) pada area wajah ketika deteksi puting payudara berlangsung. Pada penelitian sebelumnya [14], telah dilakukan penelitian dengan membandingkan deteksi puting dengan ditambahkan algoritme deteksi wajah dan tanpa deteksi wajah ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Deteksi Puting dan Deteksi Wajah [14]

Metode	Sensitivitas	Akurasi	Spesifisitas
Tanpa Deteksi Wajah	90,19 %	85 %	79,59 %
Dengan Deteksi Wajah	90,19 %	88 %	85,71 %

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai akurasi meningkat apabila dilakukan proses deteksi wajah dan *replace* wajah sebelum dilakukannya proses deteksi puting payudara. Hal ini disebabkan seringkali terjadi kesalahan deteksi di area wajah sehingga dengan adanya penambahan metode deteksi wajah dan *replace* wajah ini dimaksudkan untuk mengurangi kesalahan tersebut.

D. Hasil Klasifikasi Multi Layer Perceptron (MLP)

Hasil dari penelitian akan diperbandingkan dengan menggunakan ekstraksi fitur tekstur 84 atribut GLCM dari penelitian sebelumnya [14], dengan metode yang diusulkan oleh peneliti yakni metode seleksi bertahap 84 fitur GLCM. Hasil klasifikasi kandidat citra puting terpilih selanjutnya diekstraksi warna YCbCr. Tabel 3 menunjukkan nilai perbandingan seluruh fitur yang digunakan berdasarkan nilai akurasi, spesifisitas, dan sensitivitas.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Ekstraksi Fitur, 158 data

Fitur	Akurasi	Spesifisitas	Sensitivitas
GLCM	89,4 %	87,34 %	91,36 %
GLCM+YCbCr	90,3 %	84,60 %	92,4 %

Pada Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang hanya menggunakan 84 fitur GLCM dibandingkan dengan metode seleksi bertahap yakni fitur GLCM yang selanjutnya diekstraksi lagi menggunakan fitur ruang warna YCbCr untuk mendeteksi warna puting payudara dihasilkan nilai akurasi yang lebih tinggi dan sensitivitas lebih tinggi. Nilai akurasi menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi puting payudara lebih akurat sebaliknya dengan nilai sensitivitas tinggi artinya citra mirip objek puting dapat dibedakan dengan jelas karena perbedaan warna.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dikembangkan suatu sistem penapis konten negatif (pornografi) berbasis deteksi tanda vital tubuh (puting payudara) dengan ekstraksi 84 fitur GLCM dan ekstraksi fitur warna menggunakan warna YCbCr. Dengan penambahan tersebut sistem mampu mendeteksi konten puting payudara dengan nilai akurasi 90,3%, nilai spesifisitas 84,60%, dan nilai sensitivitas 92,4%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ekstraksi fitur warna YCbCr mampu menaikkan nilai akurasi 0,9% dan nilai sensitivitas 1,04%.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan agar ke depannya menjadi sempurna ataupun lebih baik lagi sehingga memiliki beberapa saran, diantaranya:

- a) Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai teknik pengenalan pola untuk objek (dalam kasus ini adalah objek puting payudara)
- b) Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai teknik klasifikasi yang tepat sehingga diperoleh nilai akurasi yang tinggi

REFERENSI

- [1] W. Hidayat, "Pengguna Internet Indonesia Nomor Enam Dunia," 2014. [Online]. Available: https://kominform.go.id/content/detail/4286/pengguna-internet-indonesia-nomor-enam-dunia/0/sorotan_media. [Accessed: 30-May-2017].
- [2] E. Setiawan, "Kamus Besar Bahasa Indonesia," 2012. [Online]. Available: <http://kbbi.web.id/pornografi>. [Accessed: 17-Dec-2015].
- [3] H. A. Nugroho, D. Hardiyanto, and T. B. Adji, "Negative Content Filtering for Video Application," in *International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 2015, pp. 50–55.
- [4] J. a. Marcial-Basilio, G. Aguilar-Torres, G. Sánchez-Pérez, L. K. Toscano-Medina, and H. M. Pérez-Meana, "Detection of Pornographic Digital Images," *Int. J. Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 298–305, 2011.
- [5] H. Bouirouga, S. ELFKIHI, A. Jilbab, D. Aboutajdine, and S. El Fkihi, "Skin detection in pornographic videos using threshold technique," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 35, no. 1, pp. 7–19, 2012.
- [6] I. Tirta and R. Wiryadinata, "Signal Conditioning Test For Low Cost Navigation Sensor," *J. Ilm. Setrum (Journal Electr. Eng.)*, vol. 1, no. 1, pp. 30–34, 2016.
- [7] H. Zuo, W. Hu, and O. Wu, "Patch-Based Skin Color Detection and Its Application to Pornography Image Filtering," *Proc. 19th Int. Conf. World wide web*, pp. 1227–1228, 2010.
- [8] T. B. Adji, H. A. Nugroho, F. Rahadian, and A. G. Persada, "Negative Content Filtering Based on Skin Texture , Homomorphic Filter and Localizations," in *Electrical Engineering and Computer Science*, 2014, no. November, pp. 182–187.
- [9] Y. Wang, J. Li, H. Wang, and Z. Hou, "Automatic Nipple Detection Using Shape and Statistical Skin Color Information," *16th Int. Multimed. Model. Conf.*, pp. 644–649, 2010.
- [10] X. Kejun, W. Jian, N. Pengyu, and H. Jie, "Automatic Nipple Detection Using Cascaded AdaBoost Classifier," *2012 Fifth Int. Symp. Comput. Intell. Des.*, vol. 1, no. 3, pp. 427–432, 2012.
- [11] M. F. Hidayattullah and Y. Hapsari, "Automatic Nipple Detection Pada Citra Pornografi Menggunakan Algoritma Viola And Jones Berbasis Adaboost Untuk Feature Selection," in *Semantik*, 2013, vol. 2013, no. November, pp. 238–245.
- [12] V. Thaweekote, P. Songram, and C. Jareanpon, "Automatic Nipple Detection based on Face Detection and Ideal Proportion Female using Random Forest," in *CYBERNETICSCOM*, 2013, no. C, pp. 11–15.
- [13] J. Ruan and J. Yin, "Multi-pose Face Detection Using Facial Features and AdaBoost Algorithm," *2009 Second Int. Work. Comput. Sci. Eng.*, pp. 31–34, 2009.



- [14] H. A. Nugroho, D. Hardiyanto, and T. B. Adji, "Nipple detection to identify negative content on digital images," *Proceeding - 2016 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2016 Recent Trends Intell. Comput. Technol. Sustain. Energy*, pp. 43–48, 2016.
- [15] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," *Accept. Conf. Comput. Vis. PATTERN Recognit. 2001*.
- [16] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Dinstein, "Textural Features for Image Classification," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, vol. 3, no. 6, pp. 610–621, 1973.
- [17] D. A. Clausi, "Texture Segmentation of SAR Sea Ice Imagery," *Methods*, vol. 37, no. 2, p. 176, 1996.
- [18] D. a. Clausi, "An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization," *Can. J. Remote Sens.*, vol. 28, no. 1, pp. 45–62, 2002.



Sistem Receiver Satelit NOAA pada Frekuensi 137,9 MHz

Nuhung Suleman¹, Rahmat

¹Program Studi Teknik Telekomunikasi. Jurusan Teknik Elektro. Politeknik Negeri Jakarta (PNJ).

Informasi Artikel

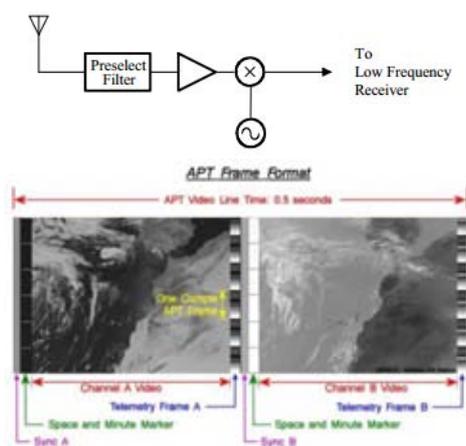
Naskah Diterima : 16 Maret 2017

Direvisi : 14 April 2017

Disetujui : 15 Juni 2017

*Korespondensi Penulis :
nuhung1959@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

The proposed weather radio consists of a series of radio receivers, software for translating weather data from satellites into user-friendly weather data (fishermen) stored in EPROM that can be integrated into weather radios. The proposed weather radios also have NOAA weather satellite data reception detection system through a timer application program that can activate the weather radio about 5 minutes before NOAA satellite time passes through Indonesia. Since software / applications are stored in EPROM then no computer is required to operate weather radios.

Keywords: Receiver, NOAA, Low Noise Amplifier

Abstrak

Radio cuaca yang diusulkan terdiri atas rangkaian radio penerima, perangkat lunak untuk translasi data cuaca dari satelit menjadi data cuaca yang mudah dibaca oleh pengguna (nelayan) disimpan dalam EPROM yang dapat diintegrasikan pada radio cuaca. Radio cuaca yang diusulkan juga memiliki sistem deteksi penerimaan data satelit cuaca NOAA melalui program aplikasi pewaktu (timer) yang dapat mengaktifkan radio cuaca sekitar 5 menit sebelum waktu satelit NOAA melintasi Indonesia. Karena perangkat lunak/aplikasi disimpan dalam EPROM maka tidak diperlukan komputer untuk mengoperasikan radio cuaca.

Kata kunci: Receiver, NOAA, Low Noise Amplifier.

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Nelayan dalam menjalankan kegiatannya sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca di laut yang sangat luas, sehingga pengetahuan tentang cuaca sebelum atau selama berlayar adalah modal besar yang harus dimiliki oleh nahkoda dan awak kapal nelayan. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) selalu mengeluarkan informasi tentang cuaca di Indonesia secara berkala yang dapat diakses melalui internet pada <http://www.bmkg.go.id>. yang berarti kapal nelayan tersebut harus memiliki koneksi selama berlayar. Permasalahan terbesar untuk akses internet pada kapal di laut adalah ketersediaan teknologi komunikasi yang terbatas, hanya teknologi VSAT saja yang menjangkaunya. Penggunaan VSAT sebagai teknologi akses internet di kapal memiliki keterbatasan yaitu bandwidthnya yang terbatas dan harga koneksinya yang mahal dibandingkan dengan teknologi seluler. Selain itu VSAT memerlukan baterai yang besar serta ukuran antenna yang besar cukup membebani kapal.

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang dilewati garis khatulistiwa. Selain itu, Indonesia berada diantara dua benua (Asia dan Australia) dan dua samudra (Hindia dan Pasifik) menjadikan perairan Indonesia memiliki karakteristik khusus karena adanya interaksi antara dua samudera. Kondisi tersebut menjadikan perairan Indonesia kaya akan sumber daya alam laut yang

beraneka ragam baik hayati maupun non hayati. Selain itu, posisi Indonesia didaerah tropis juga memberikan keuntungan dengan beranekaragamnya flora dan fauna di hutan tropis Indonesia.

Pemantauan konsisi lautan dan cuaca yang akurat akan memberikan informasi yang efektif guna pemanfaatan sumber daya tersebut. Nelayan dapat mencari ikan dengan optimal dengan mengetahui perkiraan cuaca yang akurat. Titik-titik api kebakaran hutan jika segera dideteksi akan mengurangi kerugian akibat kebakaran hutan. Pemantauan kondisi lautan yang luas, hutan, dan cuaca yang kompleks akan sangat tidak efektif ketika pemantauan dilakukan langsung di lapangan.

Teknologi penginderaan jauh menjadi jawaban untuk permasalahan tersebut dengan menggunakan teknologi satelit. Teknologi satelit dapat memberikan informasi citra wilayah Indonesia. Dengan adanya satelit cuaca, proses pemantauan wilayah Indonesia baik lautan maupun daratan serta kondisi atmosfer menjadi lebih efektif dan efisien. Saat ini sudah banyak satelit cuaca yang memberikan informasi kondisi bumi dan atmosfer secara gratis. Satelit cuaca ada yang mengorbit secara geostationer dan ada yang memiliki orbit kutub. Satelit cuaca adalah sejenis satelit buatan yang digunakan untuk mengawasi cuaca dan iklim bumi dari waktu ke waktu. Satelit cuaca membawa informasi-informasi penting seperti formasi dan pergerakan awan, curah hujan, suhu, arus atau ombak laut, suhu permukaan laut, polutan udara dan air, kekeringan dan banjir, kondisi cuaca yang ekstrim, vegetasi, koloni serangga, kondisi ozon di atmosfer, letusan gunung berapi, dan factor-faktor lain yang mempengaruhi kehidupan [1].

Informasi-informasi diatas dikirimkan oleh satelit dengan metode “direct readout” ke stasiun bumi. Layanan “direct readout” ini dimulai kira-kira 49 tahun yang lalu oleh satelit cuaca pertama dan dikembangkan dan dioperasikan di Amerika Serikat melalui NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) [2]. Layanan yang paling populer adalah data APT (Automatic Picture Transmission) dan HRPT (High Resolution Picture Transmission) dari Polar Orbiting Environmental Satellites (POES) dan data LIRT (Low-Rate Information Transmission) dan GOES Variable (GVAR) yang ditansmisikan oleh Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES). APT memiliki resolusi 4km, lebih rendah dibandingkan dengan HRPT dengan resolusi 1km. Akan tetapi, APT memiliki keunggulan lebih mudah atau lebih sederhana dalam perancangan sistem untuk menerima datanya. APT dipancarkan pada band frekuensi VHF sedangkan HRPT dipancarkan pada L-Band.

Nelayan sebagai salah satu contoh profesi yang memanfaatkan sumber daya laut memerlukan informasi yang akurat berkaitan dengan kondisi lautan dan cuaca sehingga membantu dan membuat lebih efisien dalam pemanfaatan sumber daya tersebut. Saat ini di Indonesia belum ada jaringan khusus yang memberikan informasi tentang kondisi perairan dan cuaca untuk para nelayan. Sehingga diperlukan peralatan atau jaringan khusus yang dapat digunakan nelayan untuk mendapatkan informasi perairan dan cuaca.

Perangkat penerima satelit cuaca yang ada saat ini [3]-[5] belum bisa secara otomatis dalam keadaan standby ketika tidak digunakan dan kembali “on” secara otomatis ketika akan mengambil data sehingga menjadikan konsumsi boros dalam konsumsi daya ketika harus digunakan secara terus menerus. Oleh karena itu perlu dikembangkan alat penerima satelit cuaca (khususnya data APT dan HRPT) yang low power dan praktis dapat dibawa kemana-mana. Sumber informasi cuaca yang sangat populer adalah national oceanic and atmospheric administration (NOAA) yang beroperasi pada frekuensi 137 MHz dan 1700 MHz. Sumber cuaca dari satelit NOAA ini juga digunakan oleh BMKG untuk memberikan informasi cuaca yang dapat diakses melalui internet. Agar dapat mengakses data via satelit dibutuhkan perangkat penerima yang modern dan mahal harganya. Karena tidak semua fitur dibutuhkan untuk menerima data cuaca. Cara lain yang biasa digunakan untuk menerima data cuaca dari satelit adalah dengan menggunakan radio cuaca, tetapi untuk mengoperasikannya masih memerlukan komputer untuk menjalankan perangkat lunak yang mengubah sinyal satelit menjadi data cuaca yang dapat dibaca oleh pengguna. Oleh karena itu perlu dirancang pesawat radio cuaca yang dapat beroperasi tanpa memerlukan komputer. Pada proposal ini diusulkan rancang bangun radio cuaca yang dapat beroperasi tanpa memerlukan komputer, karena perangkat lunaknya disatukan bersama dengan pesawat radio. Radio cuaca yang dirancang dapat menerima informasi cuaca dari satelit NOAA secara otomatis, karena satelit cuaca NOAA tidak melintas wilayah setiap waktu, maka radio cuaca yang dirancang memiliki sensor timer yang mengetahui waktu lintasan dari NOAA.

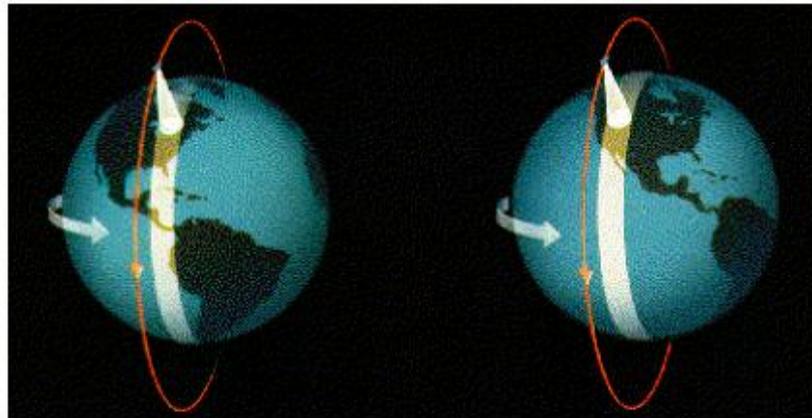


2. STUDI PUSTAKA

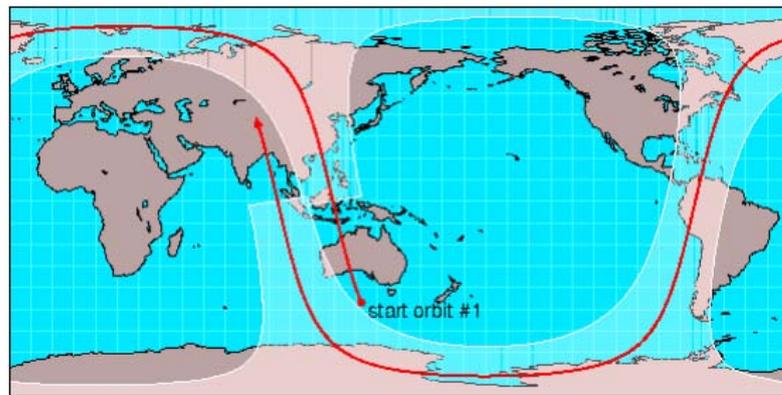
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) adalah lembaga ilmu pengetahuan yang merupakan bagian dari United States Department of Commerce yang memfokuskan pengamatan pada kondisi lautan dan atmosfer. NOAA memberi peringatan akan adanya cuaca buruk, gambaran laut dan langit, memberikan panduan pemanfaatan dan perlindungan sumber daya di laut dan pantai, dan melakukan riset untuk meningkatkan pemahaman dan pengelolaan lingkungan [1].

Seri satelit NOAA yang pertama kali adalah TIROS N yang diluncurkan pada tahun 1978 dan diikuti sejak 1979 oleh seri satelit NOAAxx (NOAA6 hingga NOAA18) dan yang paling terakhir adalah NOAA19. Setiap satelit memiliki usia kira-kira 4 tahun, dengan 2 satelit beroperasi secara simultan [2]. Ada dua jenis orbit satelit cuaca NOAA, orbit geostationer (GOES) dan orbit polar (POES). Satelit cuaca orbit polar memberikan pandangan daerah dengan berganti-ganti yang akan memberikan jangkauan total kurang lebih setiap 12 jam. Satelit ini memiliki periode orbit kurang lebih 102 menit dan sudut inklinasi 98° . Satelit ini juga merupakan satelit yang bersinkronisasi terhadap matahari (relative konstan terhadap matahari). Satelit secara terus menerus mengorbit ditempat yang sama sedangkan bumi berotasi dibawahnya, sehingga menghasilkan lintasan yang berbeda di bumi atau menjangkau bumi secara keseluruhan minimal 2 kali dalam 1 hari.

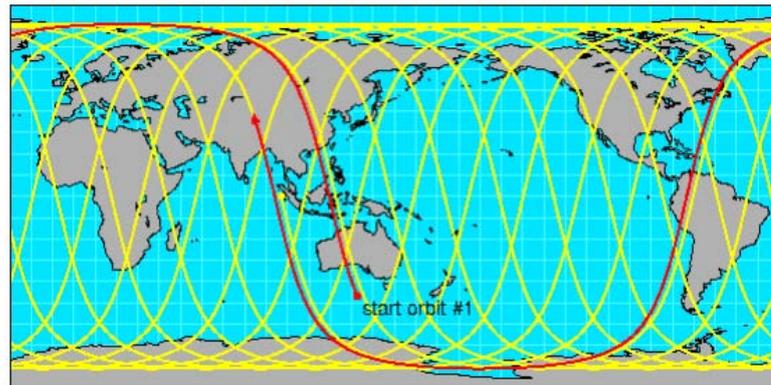
Gambar 1. memperlihatkan karakteristik orbit satelit dengan orbit polar. Dan Gambar 2. memperlihatkan jangkauan satelit di permukaan bumi untuk 1 kali orbit dan menggambarkan pergeseran lintasan karena rotasi bumi, warna putih menunjukkan jangkauan atau *footprint* satelit dengan lebar 3000km. Gambar 3. memperlihatkan track orbit satelit selama 24 jam atau 14 kali orbit. Satelit orbit polar memiliki jumlah orbit yang tidak bulat dalam satu hari, sehingga menimbulkan sedikit pergeseran setelah 14 orbit. Hal ini berarti bahwa meskipun waktu ketika melewati garis ekuator tetap terhadap matahari, akan tetapi waktu satelit mengcover daerah yang sama akan bervariasi dari hari ke hari.



Gambar 1. Orbit Polar



Gambar 2. Lintasan orbit di permukaan bumi



Gambar 3. Lintasan orbit satelit selama 24 jam (atau 14 kali orbit)

Karena sifat dasar mengorbit kutub satelit POES, mereka mampu mengumpulkan data setiap hari untuk berbagai informasi mengenai tanah, laut, dan atmosfer. Instrumen POES meliputi: Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), High Resolution Infrared Radiation Sounder/4 (HIRS/4) , Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU-A1 dan A2), Microwave Humidity Sounder (MHS), dan Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer (SBUV/2), Data Collection System (DCS), Search and Rescue Repeater (SARR), SAR Processor (SARP), dan Space Environment Monitor (SEM). Gambar 4. menggambarkan konfigurasi POES *Spacecraft* dan *Instrument*-nya.



Gambar 4. Perangkat POES dan Komponen Spacecraft

Sensor pencitraan utama pada satelit Advanced-TIROS NOAA adalah perangkat Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR/3). Energi spektral yang dikumpulkan oleh pemindaian

cermin akan diteruskan ke enam detektor terpisah menggunakan cahaya tampak, inframerah, dekat-inframerah, dan kanal suhu inframerah sebagaimana Tabel 1..

Tabel 1. Karakteristik Kanal Instrumen AVHRR/3

Kanal	Lebar Spektrum (µm)	Panjang Gelombang	Kegunaan Utama
1	0,58 - 0,68	Infrared	Gambaran awan/permukaan di siang hari, salju, dan pencairan es.
2	0,724-1,00	Near-infrared	Gambaran permukaan air, suhu permukaan laut, indeks vegetasi
3A	1,58-1,64	Near-infrared	Perbedaan salju/es
3B	3,55-3,93	Thermal	Monitoring kebakaran hutan, mapping awan malam hari, temperatur permukaan
4	10,30-11,30	Thermal	Suhu permukaan laut, mapping awan malam hari, kelembaban bumi
5	11,50-12,50	Thermal	Suhu permukaan laut, mapping awan malam hari

Data digital dari AVHRR diproses untuk menghasilkan aliran data terpisah yang ditransmisikan oleh satelit ke stasiun bumi . Pengiriman data tersebut adalah:

- a) High Resolution Picture Transmission (HRPT)-Real time 1,1 km merupakan gambar resolusi yang dikirimkan sebagai data.
- b) Coverage Area Global (GAC), gambar digital yang berisi semua informasi wilayah bumi dan proses pengirimannya dikendalikan oleh stasiun bumi.
- c) Local Area Coverage (LAC), transmisi resolusi tinggi yang berisi data HRPT yang dipilih dan proses pengirimannya dikendalikan oleh stasiun bumi. Automatic Picture Transmission (APT), transmisi analog real-time dengan resolusi 4km

3. KARAKTERISTIK SINYAL APT & HRPT

Karakteristik sinyal APT & HRPT diperlihatkan pada Tabel 2. di bawah ini:

Tabel 2. Karakteristik sinyal APT & HRPT

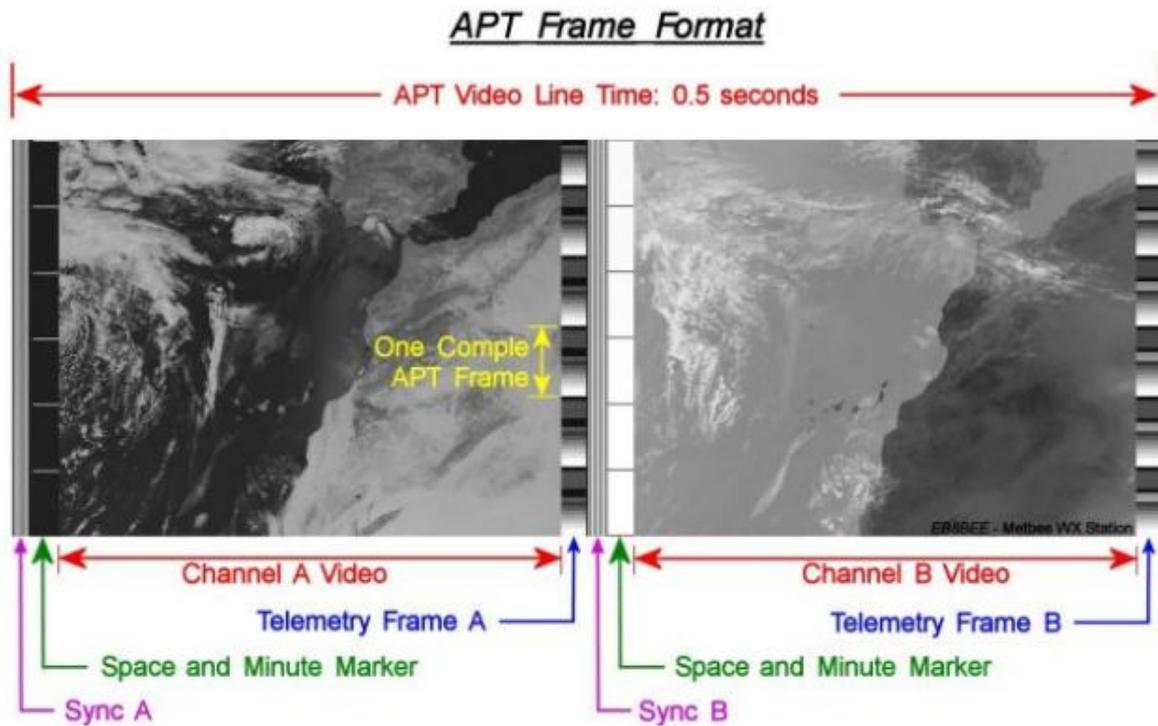
Parameter	U.S. POES
Frekuensi (MHz)	137,5 (NOAA 16); 137,62 (NOAA 15); 137,1 (NOAA 19); 137,9125 (NOAA 18)
Modulasi carrier	AM/FM Analog
Daya Pancar	5 Watt
Polarisasi Antena	Right Hand Circular
Deviasi carrier	+/- 17 kHz

Sistem APT analog dirancang untuk menghasilkan gambar video real-time yang dapat diterima dan direproduksi oleh stasiun penerima bumi dengan biaya yang rendah. Data APT berupa



data digital yang dimodulasi amplitude dengan frekuensi sub carrier 2400 Hz yang kemudian dimodulasi lagi dengan modulasi FM dengan frekuensi sebagaimana pada Tabel.2.

Dua dari enam kemungkinan kanal AVHRR di-multiplex sehingga data APT saluran A diperoleh dari spectral satu dari line scan AVHRR pertama dan kanal B dari saluran spektral lain yang terkandung dalam AVHRR line scan kedua. Dua kanal spectrum ditentukan oleh “command” dari stasiun pengendali di bumi. Proses ini menghasilkan APT memiliki 1/3 data AVHRR dengan 360 scan line per menit. Oleh karena itu resolusi APT menjadi 120 scan line per menit. Format frame data APT dapat dilihat pada Gambar 5. dan contoh gambar APT dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Contoh Gambar APT

Sebagaimana Gambar 5. dan 6, baris video APT masing-masing panjangnya 0,5 detik dan mengandung dua segmen yang sama. Setiap segmen 0,25 kedua berisi :

1. Sebuah pulsa sinkronisasi yang spesifik
2. “Space data” dengan sisipan waktu 1 menit
3. Citra pemindaian Bumi dari saluran AVHRR
4. Segmen frame telemetri

Setiap 500 ms baris data gambar berisi 250 ms data IR yang digunakan sepanjang hari, dan 250 ms data cahaya tampak yang digunakan pada siang hari. Setiap frame gambar diterima, pola sinkronisasi memperlihatkan garis vertical hitam pada bagian kiri gambar, sementara data telemetri dinyatakan dalam skala “gray” yang membawa informasi kalibrasi dan informasi yang lain [2]. Tabel 3 Menunjukkan karakteristik sinyal HRPT yang memiliki resolusi 1,1km.

Tabel 3. Karakteristik sinyal HRPT

Kecepatan Baris	360 baris/menit
------------------------	------------------------

Kanal Data	Ditransmisikan 5, tersedia 6
Resolusi Data	1,1 km
Modulasi Carrier	Split fasa digital, modulasi fasa
Frekuensi Pemancar (MHz)	1698 atau 1707 sebagai frekuensi utama, dan 1702,5 yang kedua
Daya Pemancar	6,35 Watt (38,03 dBm)
Polarisasi	<i>Right Hand Circular</i>

Keuntungan dari kegiatan penelitian rancan bangun radio cuaca untuk nelayan adalah dihasilkan radio cuaca yang sangat membantu nelayan menghadapi cuaca yang terjadi selama mengoperasikan kapalnya. Dengan diketahuinya cuaca oleh nelayan maka dapat menghindarkan nelayan dari bahaya perubahan cuaca yang ekstrim seperti gelombang yang tinggi, hujan, petir yang dapat mengganggu ritme kerja nelayan di laut atau dapat membahayakan nyawa nelayan.

Prototype radio cuaca yang dirancang memiliki keunggulan tidak memerlukan komputer, tampilan pada monitor atau dicetak ke printer/fax, kehandalan dan tahan guncangan yang berat, sumber listrik dapat berasal dari genetator atau baterai solar sel, dan harganya terjangkau bagi nelayan.

Perangkat penerima (receiver) radio cuaca yang dirancang terdiri atas Low noise amplifier (LNA) untuk frekuensi 137 MHz dan 1700 MHz, down-converter mixer (1700 sampai dengan 137 MHz), rangkaian receiver dapat berbasis HT atau RIG. Motherboard untuk meletakkan EPROM dan rangkaian digital, serta keluaran dapat yang dapat ke monitor dan atau ke printer/fax.

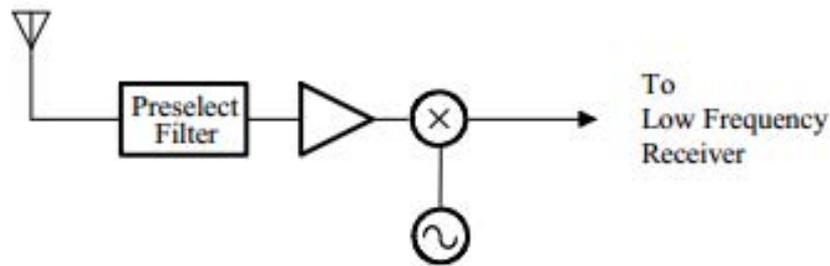
Lingkup penelitian secara garis besar terdiri atas:

- 1) Rancang bangun dan fabrikasi rangkaian receiver radio cuaca
- 2) Rancangan perangkat lunak untuk mentranslasi sinyal radio menjadi tampilan data cuaca ke monitor dan atau dicetak printer/fax yang dapat dibaca oleh pengguna
- 3) Integrasi perangkat lunak dan rangkaian receiver menjadi prototype radio cuaca
- 4) Pengujian dan pengukuran kinerja prototype radio cuaca
- 5) Publikasi dan pelaporan

Penerima radio berfungsi untuk menerima sinyal yang dipancarkan oleh pemancar dan bertujuan secara handal memperoleh kembali sinyal yang dikehendaki dari frekuensi pita lebar yang diterima. Syarat-syarat yang harus dimiliki penerima (receiver) antara lain :

- 1) Memiliki gain tinggi (≈ 100 hingga 120 dB) untuk memberikan level sinyal base band yang cukup.
- 2) Selectivitas yang bagus untuk meredam kanal yang bersebelahan, frekuensi bayangan, dan interferensi.
- 3) Downconversion dari RF ke IF
- 4) Mampu mendeteksi sinyal informasi analog atau digital.
- 5) Isolasi dari transmitter untuk menghindari saturasi.

Konsep heterodyne adalah mengubah frekuensi sinyal yang diterima ke frekuensi yang lebih rendah, teknik ini dikembangkan oleh Armstrong dan kawan-kawan pada tahun 1918. Desain awal Armstrong diperlihatkan pada Gambar 8 digunakan untuk adaptasi ke frekuensi yang lebih rendah dengan munculnya band frekuensi baru yang dipakai di Eropa.

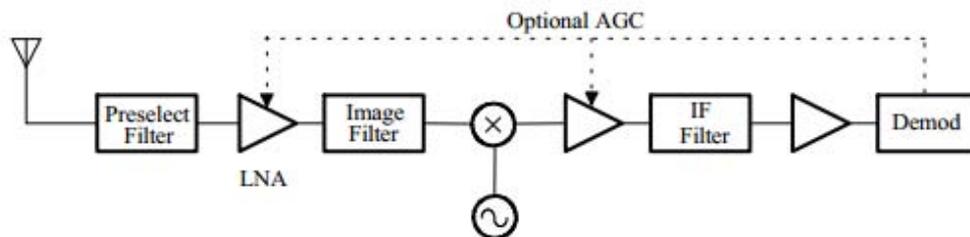


Gambar 6. Desain radio penerima superheterodyne Armstrong

Keuntungan-keuntungan dari desain ini antara lain :

- 1) Penerima dengan frekuensi rendah dapat di-adjust sekali dan setelah itu tuning dapat dilakukan dengan mengubah osilator heterodyne
- 2) Penguatan sinyal di frekuensi yang lebih rendah relative lebih mudah dilakukan.
- 3) Penguatan dipisah antara 2 frekuensi sehingga resiko feedback regenerative yang tidak diinginkan dapat dikurangi
- 4) Filter orde tinggi dengan BW sempit mudah diimplementasikan pada penerima frekuensi rendah dibandingkan frekuensi carrier yang diterima

Akan tetapi, penerima dengan tuned-RF yang terpisah ini digantikan dengan bagian yang disebut dengan blok IF pada desain superheterodyne modern. Hasilnya sebagaimana arsitektur yang dikenal saat ini dengan seleksi kanal atau filtering yang tanpa memerlukan tuning. Komponen dasar pada penerima superheterodyne konversi tunggal diperlihatkan pada gambar 9..

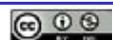


Gambar 7. Penerima radio superheterodyne modern

Antenna untuk penerima APT bisa menggunakan antenna omnidirectional atau directional antenna (contohnya turnstile dan quadrifilar), sedangkan untuk HRPT biasanya menggunakan antenna parabola. Preselect filter berfungsi sebagai peredam sinyal yang berada diluar frekuensi kerjanya dan memberikan redaman juga ke frekuensi bayangan yang ditimbulkan selama proses heterodyne. Filter ini harus memiliki insertion loss yang rendah untuk meminimalisasi degradasi noise penerima, yang bisa berupa LPF, BPF, ataupun HPF.

Setelah preselection filter, low noise amplifier (LNA) menguatkan sinyal (memberikan gain) untuk menghindari adanya rugi-rugi di rangkaian pasif hingga bagian masukan penguat IF. Gain ini diperlukan untuk memberikan performansi noise figure yang bagus, akan tetapi juga dihindari jangan sampai terjadi pengurangan dynamic range karena gain LNA. Noise figure kurang dari 1 dB dan gain 15-20 dB sudah cukup memenuhi syarat LNA untuk mendeteksi sinyal APT, sedangkan HRPT hendaknya memiliki noise figure kurang dari 0.8 dB dan gain minimal 30 dB [2].

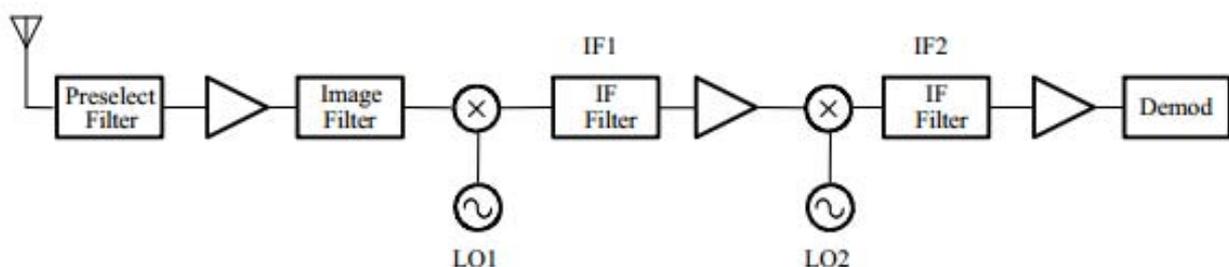
Didepan LNA terdapat image filter. Tujuan utama filter ini adalah untuk meningkatkan performansi noise figure dengan meredam frekuensi bayangan yang dibangkitkan oleh LNA serta meredam kembali frekuensi yang seharusnya sudah diredam di preselect filter. Fungsi selanjutnya adalah meningkatkan redaman terhadap frekuensi bayangan dan meningkatkan performansi BDR



(Blocking Dynamic Range) dan SFDR (Spurious-Free Dynamic Range) relative terhadap interferensi “out of band”. Bagian selanjutnya adalah mixer dan LO (local oscillator) yang mengubah frekuensi carrier menjadi frekuensi IF tertentu dengan menambahkan beberapa gain. Setelah itu sinyal IF bisa dikuatkan lagi dengan IF amplifier atau tidak tergantung level yang dihsaikan di bagian output mixer. IF filter berfungsi untuk meredam frekuensi bayangan mixer dan hanya memilih frekuensi IF tertentu yang dikehendaki. Jika level sinyal yang masuk ke demodulator cukup kecil maka diperlukan tambahan amplifier IF sehingga level sinyal bisa memenuhi syarat agar sinyal dapat diproses di demodulator untuk mendapatkan kembali sinyal informasi yang dikirim. Biasanya penerima APT mengubah frekuensi antara 137MHz sampai dengan 138MHz menjadi 10.7MHz sebagai IF1 dan kemudian menjadi 455kHz sebagai IF2. Sinyal HRPT pada frekuensi 1698 MHz hingga 1707 MHz seringkali dirubah menjadi sinyal di frekuensi VHF yang biasanya berada antara 128MHz sampai dengan 145MHz sebagai IF1.

Desain penerima superheterodyne meliputi banyak pertimbangan meliputi pemilihan frekuensi IF dan LO agar memenuhi syarat “image rejection” dan respon spurious, dan untuk meminimalisasi kompleksitas komponen BPF yang digunakan.. Jika service band cukup sempit dibandingkan dengan frekuensi tengah maka konversi tunggal sebagaimana gambar 9. dapat digunakan dan tanpa memerlukan jumlah pole filter yang banyak. Akan tetapi jika service band lebar, tracking preselect filter atau multiple konversi harus digunakan.

Konfigurasi multiple konversi dapat dilihat pada Gambar 10. yang mengubah frekuensi sinyal carrier menjadi dua frekuensi IF dengan frekuensi IF yang pertama lebih tinggi dibandingkan dengan yang ke dua. Pendekatan ini digunakan untuk meminimalisasi jumlah pole yang digunakan di preselect filter. Akan tetapi harga yang harus dibayar pada desain ini adalah adanya penambahan rangkaian yang berakibat konsumsi power yang lebih tinggi.



Gambar 8. Radio penerima superheterodyne dengan konversi lebih dari 1

Selain hardware, software juga merupakan peranan penting dalam merubah sinyal RF APT maupun HRPT yang diterima menjadi gambar. Software tersebut biasanya digunakan untuk memprediksi posisi atau lintasan satelit dan digunakan untuk mendecode sinyal listrik menjadi gambar. Software – software yang digunakan untuk memprediksi posisi satelit antara lain : WXTRACK, FOOTPRINT, ITRACK, dan J-TRACK. Sedangkan software yang digunakan untuk decoding format gambar APT atau HRPT antara lain : WXSAT, WXTOIMG, dan SATSIGNAL.

4. HASIL DAN KAJIAN

Ada banyak teknologi radio cuaca yang ada dipasaran, tetapi ada beberapa kelemahan dari radio cuaca yang ada antara lain adalah memerlukan komputer lengkap (CPU dan monitor) untuk dapat mengoperasikan radio cuaca yang ada untuk menjalankan perangkat lunak yang dibutuhkan. Sehingga kurang praktis bila digunakan pada kapal nelayan. Selain itu peralatan harus menyala setiap saat sehingga sangat boros sumber listrik. Padahal seperti diketahui bahwa satelit NOAA hanya

melintas Indonesia sebanyak 3 – 4 kali dalam sehari, sehingga peralatan hanya beroperasi pada jam-jam dimana satelit melintas di atas wilayah Indonesia. Saat ini belum ada industry dalam negeri (IDN) yang memproduksi perangkat radio cuaca, padahal market untuk radio cuaca ini sangat besar sekali. Apalagi bila ditunjang oleh kebijakan pemerintah untuk mengharuskan kapal-kapal nelayan dengan tonase diatas 2 ton wajib menggunakan radio cuaca, yang bukan hanya untuk memonitor cuaca tetapi dapat digunakan pula untuk mengirimkan sinyal tanda bahaya.

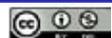
Rancang bangun radio cuaca yang diusulkan pada proposal merupakan solusi yang ditawarkan untuk mengatasi kendala yang ada sementara ini seperti

- 1) penggunaan komputer untuk dapat mengoperasikan radio cuaca yang ada serta penggunaan komputer untuk dapat mengakses data cuaca via internet
- 2) pemakaian radio yang terus menerus agar dapat menerima data satelit cuaca NOAA, padahal pancaran NOAA ke wilayah Indonesia hanya 3 – 4 kali melintas wilayah Indonesia

Radio cuaca yang diusulkan terdiri atas rangkaian radio penerima, perangkat lunak untuk translasi data cuaca dari satelit menjadi data cuaca yang mudah dibaca oleh pengguna (nelayan) disimpan dalam EPROM yang dapat diintegrasikan pada radio cuaca. Radio cuaca yang diusulkan juga memiliki sistem deteksi penerimaan data satelit cuaca NOAA melalui program aplikasi pewaktu (timer) yang dapat mengaktifkan radio cuaca sekitar 5 menit sebelum waktu satelit NOAA melintasi Indonesia. Karena perangkat lunak/aplikasi disimpan dalam EPROM maka tidak diperlukan komputer untuk mengoperasikan radio cuaca yang diusulkan.

REFERENSI

- [1] _____ "NOAA Wheater Radio," <http://www.FloridaPreparesNow.org>, akses 16 Juni 2013
- [2] N. Benabadji, A. Hassini, and A.H. Belbachir, "Hardware and Software Consideration to Use NOAA Images," *Review Energy Ren*, Vol. 7 (2004)1-11.
- [3] BMKG, No. 02/PCI/DEP-1/XII/BMKG-2011, "Pedoman Operasional Pengelolaan Citra Satelit Cuaca (UPT BMKG Daerah)", Desember 2011
- [4] K. Kinoshita, M. Nishinosno, T. Yano, N. Iino, and I. Uno, "Detection and Analysis of Kosa Using NOAA/AVHRR Satellite Data," 26th remote Sensing Soc, Japan 253-256, 1999
- [5] Collado, A.D, Chuveico, E, and Camaras A, "Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop rangeland boundary of Argentina. *J. Arid Environ*, 2002: 52:121-133
- [6] Robert H. Stewart, "Introduction to Physical Oceanography," Dept Oceanography Texas A & M, 2008



PEDOMAN BAGI PENULIS JURNAL SETRUM

Jurnal SETRUM adalah jurnal ilmiah untuk publikasi penelitian dan pengembangan di bidang :

1. Sistem Kendali
2. Sistem Tenaga Listrik
3. Elektronika dan Instrumentasi
4. Telekomunikasi
5. Komputer

Sistematika Penulisan

1. Naskah pada kertas ukuran A4 dengan batas atas, batas kanan, batas bawah, dan batas kiri masing-masing 2 cm. Naskah terdiri atas bagian judul, bagian abstrak, dan bagian isi makalah.
2. Bagian judul berisi judul yang ringkas tidak lebih dari 12 kata tanpa singkatan jika menggunakan bahasa Indonesia dan 10 kata tanpa singkatan jika menggunakan bahasa Inggris. Bagian judul disertai nama (para) penulis tanpa gelar, instansi/ perguruan tinggi, dan email penulis utama dan/atau penulis lainnya. Bagian Judul diketik dengan huruf Times New Roman ukuran 16, cetak tebal, dan rata tengah. Bagian Judul disajikan dalam satu kolom.
3. Bagian abstrak ditulis dengan font Times New Roman ukuran 10, cetak miring, dan rata kanan-kiri. Abstrak disajikan dalam dua bahasa, yaitu bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Abstrak disertakan dengan kata kunci. Bagian abstrak disajikan dalam satu kolom. Bagian abstrak harus memuat inti permasalahan yang dikemukakan, metode pemecahannya, dan hasil-hasil yang diperoleh serta kesimpulan dan tidak lebih dari 200 kata.
4. Bagian isi diketik dengan huruf Times New Roman ukuran 10, rata kanan-kiri, dan disajikan dalam dua kolom. Bagian isi terdiri atas bab Pendahuluan, Metode, Hasil & Pembahasan, Kesimpulan, dan Daftar Pustaka. Tiap bab diawali dengan penomoran romawi kapital dan tiap sub bab diawali dengan penomoran numerik. Kata-kata atau istilah asing ditulis dengan huruf miring
5. Gambar atau foto harus dapat dicetak dengan tajam dan jelas. Gambar atau foto warna hanya tersedia pada edisi elektronik. Gambar dan tabel dapat dimasukkan ke dalam bagian isi atau terpisah dalam lampiran tersendiri. Untuk kejelasan penempatan dalam jurnal, gambar dan tabel harus diberi nomor sesuai dengan nomor urut gambar pada tulisan tersebut, misalnya Gambar 1 atau Tabel 1. Gambar dan tabel harus disertakan judul. Penulisan nomor dan judul gambar diletakkan setelah gambar dan penulisan nomor dan judul tabel diletakkan sebelum tabel.
6. Persamaan diketik dan diberi nomor disebelah kanan, misalnya (1). Satuan yang digunakan adalah satuan internasional (EGS atau MKS) atau yang lazim ada cabang ilmunya. Angka desimal pada data numerik harus mengacu kepada sistem internasional yaitu dengan menggunakan titik.
7. Rujukan dan daftar pustaka ditulis dengan menggunakan metode Vancouver.
8. Naskah dikirim ke redaksi melalui email.

p-ISSN : 2301-4652



e-ISSN : 2503-068X



Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman km. 3 Kota Cilegon, Banten
Phone: 0254-395502 ext. 15 Fax: 0254-395440