

Volume 6, No. 2 Desember 2017

p-ISSN : 2301-4652

e-ISSN : 2503-068X

Jurnal Ilmiah

SESTRUM

Sistem - kEndali - T enaga - 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 =3) 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 =3) Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
10. Imamul Muttakin, M.Sc., (SCOPUS ID: 36703129000 h-Index =3) 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

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 – **t**elekom**U**nikasi - **k**o**M**puter” yang merupakan 5 Bidang Keahlian yang ada di Jurusan Teknik UNTIRTA. SETRUM diterbitkan setiap 6 bulan sekali, pada **bulan Juni** dan **bulan Desember** setiap tahunnya dan terbit pertama kali pada bulan Juni 2012. SETRUM disajikan dalam Bahasa Indonesia dilengkapi dengan abstrak dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris.

DAFTAR ISI

Purwarupa Sistem Kontrol Elevator Berbasis Programmable Logic Control Fathahillah, Hardianto	142-149
Rancang Bangun Modul Pengendali Berbasis Direct Mode XBee pada Wireless Sensor Network Agus Wagyana	150-157
Perancangan Antena Mikrostrip Multiband Bentuk Segi Empat 2 Patch Menggunakan Gabungan Metode Array Dan Slot Junas Haidi, Alex Surapati, Tri Riski Pahlovi	158-166
Review : Metode Sistem Kendali Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Dedi Nugroho	167-181
Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Pengendali Kecepatan Roda pada Mobile Robot dengan Variasi Nilai Set Point Ratna Aisuwarya, Raihan Annafi	182-193
Pengendalian Dosis Inframerah pada Alat Terapi Menggunakan Pulse Width Modulation (PWM) Dedi Nurcipto, Gutama Indra Gandha	194-204
Otomasi pada Simulator Green House dengan SCADA Berbasis Web Erwani Merry S, T. Rudi Sarjono, Nicolaus Cornelliuss	205-214
Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular (2,45 GHz) Array dengan Teknik Pencatu Proximity Sebagai Penguat Sinyal Wi-Fi Arfan Akbar, Syah Alam, Indra Surjati	215-224
Rugi Daya Dan Energi Akibat Korona Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 Kv Muhamad Haddin, Agil Bahtiar	225-237
Segmentasi Citra USG (Ultrasonography) Kanker Payudara Menggunakan Fuzzy C-Means Clustering Ri Munarto, Romi Wiryadinata, Didin Yogyansyah	238-247
Rancang Bangun Antena Helix 8 Lilitan untuk Sistem Autotracking sebagai Penjejak Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Yenniwarti Rafsyam, Jonifan , Panji Ibrahim N	248-256
Rancang Bangun Bandpass Filter untuk aplikasi Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 1,8 GHz Teguh Firmansyah, Herudin, Damar K Wardhana	257-269
Desain dan Realisasi Sistem Komunikasi Cahaya Tampak untuk Streaming Teks berbasis PWM Trio Adiono, Syifaul Fuada, Angga Pradana	270-279

Purwarupa Sistem Kontrol Elevator Berbasis Programable Logic Control

Fathahillah¹, Hardianto²

¹Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Sulawesi Selatan
²Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Kalimantan Timur

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

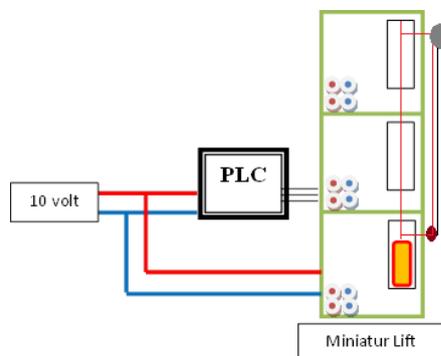
Disetujui : 24 Desember 2017

***Korespodensi Penulis :**

fathahillah@unm.ac.id

hard_yan@yahoo.com

Graphical abstract



Abstract

Various methods / types of controls developed in accordance with industry needs one of them in the field of building automation system. One of the controls in the field of building automation system is the elevator control system (elevator). Early elevator control systems that transport humans or goods as vertical transportation vehicles are still conventional using human power, then evolved using steam engines, until now the elevators use AC motors equipped with control systems. The purpose of this research is to design the prototype of elevator control system using programmable logic control (PLC). The type of PLC controller used in the study using Omron PLC. The results show the design of prototype of elevator control system using PLC successfully and can control elevator in accordance with its function, besides its programming form can be more simple.

Keywords: Control, Elevators, PLC

Abstrak

Berbagai macam metode/jenis pengontrolan dikembangkan sesuai dengan kebutuhan industri salah satunya pada bidang building automation system. Salah satu pengontrolan pada bidang building automation system yaitu system pengontrolan elevator (lift). Awal sistem kontrol elevator yang mengangkut manusia atau barang sebagai alat transportasi vertikal masih bersifat konvensional menggunakan tenaga manusia, kemudian berkembang menggunakan mesin uap, hingga sekarang elevator (lift) menggunakan motor AC yang dilengkapi dengan sistem kontrol. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang purwarupa system control elevator menggunakan *programmable logic control* (PLC). Jenis pengontrolan PLC yang digunakan dalam penelitian menggunakan PLC Omron. Hasil penelitian menunjukkan perancangan purwarupa sistem kontrol menggunakan PLC berhasil dan dapat mengontrol elevator sesuai dengan fungsinya, selain itu bentuk pemrogramannya dapat lebih sederhana.

Kata kunci: Pengontrolan, elevator , PLC

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

1. PENDAHULUAN

Perkembangan sistem pengontrolan dalam menopang segala aspek pekerjaan manusia saat ini sangatlah maju. Berbagai macam metode/jenis pengontrolan dikembangkan sesuai dengan kebutuhan industri salah satunya pada bidang *building automation system*. Salah satu pengontrolan pada bidang *building automation system* yaitu system pengontrolan elevator (lift). Awal sistem kontrol elevator yang mengangkut manusia atau barang sebagai alat transportasi vertikal masih bersifat konvensional menggunakan tenaga manusia, kemudian berkembang menggunakan mesin uap, hingga sekarang elevator (lift) menggunakan motor AC yang dilengkapi dengan sistem kontrol[1].

Berbagai macam sistem pengontrolan elevator yang berkembang saat ini diantaranya pengontrolan menggunakan logika *fuzzy*[2], pengontrolan menggunakan sistem kontrol rangkaian pengendali kontaktor, pengontrolan menggunakan *system embedded* misalnya Nuvoton NUC140VE3CN, dan pengontrolan menggunakan *logic control*.

Sistem pengontrolan menggunakan *programmable logic control* (PLC) dalam bidang otomasi industri sudah sangat berkembang dan banyak digunakan. Penggunaan jenis sistem kontrol ini sering diaplikasikan untuk mengontrol motor-motor AC/DC pada sebuah industri. PLC merupakan sistem yang dapat memanipulasi, mengeksekusi, dan atau memonitor keadaan proses pada laju yang amat cepat, dengan dasar data yang bisa diprogram dalam sistem berbasis mikroprosesor integral[3]. PLC menerima masukan dan menghasilkan keluaran sinyal-sinyal listrik untuk mengendalikan suatu sistem. Dengan demikian besaran-besaran fisika dan kimia yang dikendalikan, sebelum diolah oleh PLC, akan diubah menjadi sinyal listrik baik analog maupun digital, yang merupakan data dasarnya[4]. Karakter proses yang dikendalikan oleh PLC sendiri merupakan proses yang sifatnya bertahap, yakni proses itu berjalan urut untuk mencapai kondisi akhir yang diharapkan. Dengan kata lain proses itu terdiri beberapa subproses, dimana subproses tertentu akan berjalan sesudah subproses sebelumnya terjadi. Istilah umum yang digunakan untuk proses yang berwatak demikian ialah proses sekuensial (*sequential process*)[5]. Sebagai perbandingan, sistem kontrol yang populer selain PLC, misalnya *Distributed Control System* (DCS), mampu menangani proses-proses yang bersifat sekuensial dan juga kontinyu (*continuous process*) serta mencakup loop kendali yang relatif banyak[6].

Dari dasar pemikiran tersebut, maka penulis penelitian ini dengan judul “Purwarupa Sistem Kontrol Elevator Berbasis Programable Logic Control”. Diharapkan dari ini mampu merancang penyederhanaan sistem pengontrolan elevator serta mensimulasikannya pada prototype yang dirancang.

2. METODE PENELITIAN

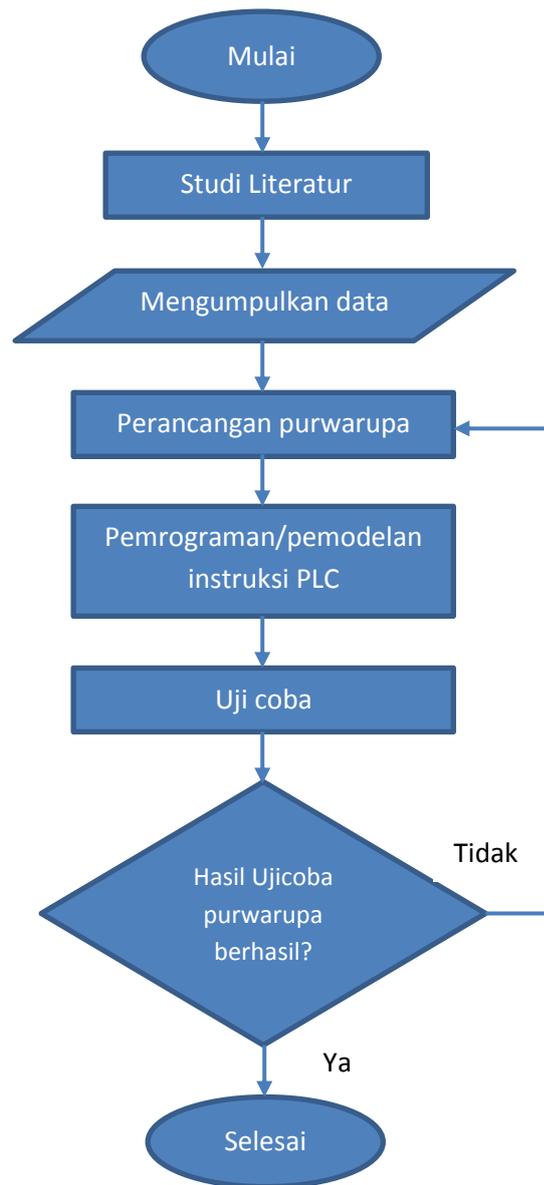
2.1 Metode Penelitian

Penelitian menggunakan model pengembangan prototype produk, tahapan pengembangan prototype yaitu[7]:

- a) Pendefinisian produk, tahapan ini merupakan penerjemahan konsep teknikal yang berhubungan dengan kebutuhan pengembangan dan perilaku konsumen kedalam bentuk perancangan termasuk aspek hukum produk dan aspek hukum yang melibatkan keamanan dan perlindungan terhadap konsumen.
- b) Working model, dibuat tidak harus mempresentasikan fungsi produk secara keseluruhan dan dibuat pada skala yang seperlunya saja untuk membuktikan konsep dari pembuatan produk dan menemukan hal-hal yang tidak sesuai dengan konsep yang telah dibuat. Working model juga dibangun untuk menguji parameter fungsional dan membantu perancangan prototipe pengembangan.
- c) Prototipe rekayasa (*engineering prototype*), dibuat seperti halnya *working model* namun mengalami perubahan tingkat kompleksitas maupun superioritas dari *working model*, dibangun mencapai tingkat kualitas teknis tertentu agar dapat diteruskan menjadi prototipe produksi atau untuk dilanjutkan pada tahapan produksi.
- d) Prototipe produksi (*production prototype*), bentuk yang dirancang dengan seluruh fungsi operasional untuk menentukan kebutuhan dan metode produksi dibangun pada skala sesungguhnya dan dapat menghasilkan data kinerja dan daya tahan produk dan *part*-nya.
- e) Model, merupakan alat peraga yang mirip produk yang akan dikembangkan (*look-like-models*). Secara jelas menggambarkan bentuk dan penampilan produk baik dengan skala yang diperbesar, 1:1, atau diperkecil untuk memastikan produk yang akan dikembangkan sesuai dengan lingkungan produk maupun lingkungan *user*.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Secara sederhana proses penelitian purwarupa pengontrolan elevator berbasis plc dapat digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 1.

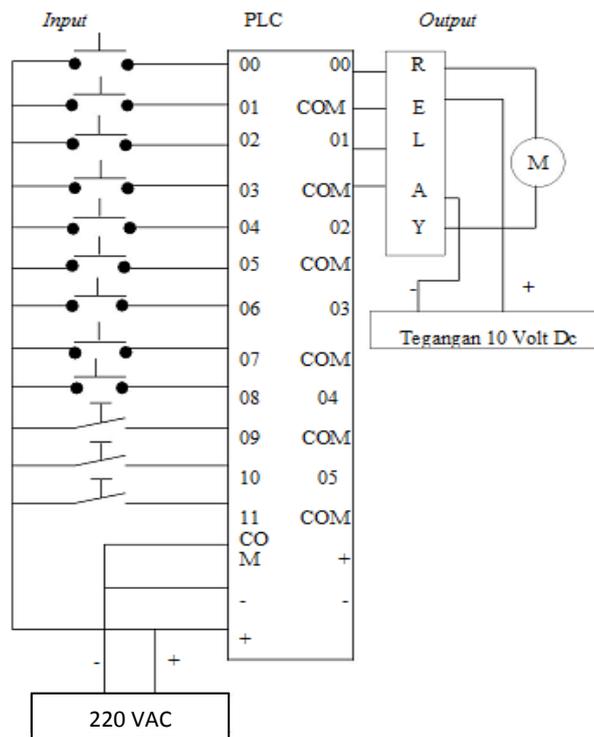


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

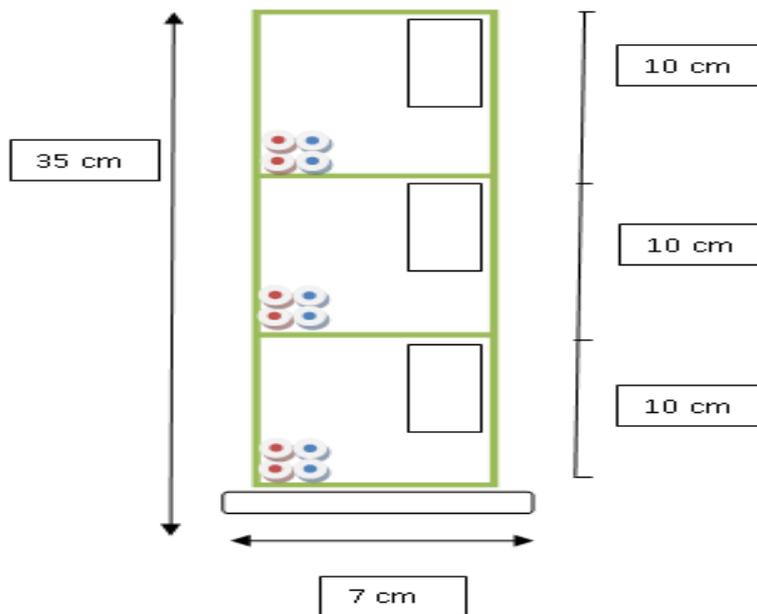
2.3 Perancangan sistem

Desain perancangan peralatan untuk sistem pengontrolan elevator yang dibuat pada penelitian digunakan untuk membuat purwarupa sistem pengontrolan elevator yang lebih sederhana menggunakan PLC jenis Omron. Penelitian ini akan memodelkan dari setiap perintah/instruksi pada PLC Omron dan mendesain peralatan pengontrolan elevator. Dari hasil pemodelan perintah/instruksi pada PLC omron dan hasil desain peralatan akan diperoleh purwarupa sistem pengontrolan elevator menggunakan PLC.

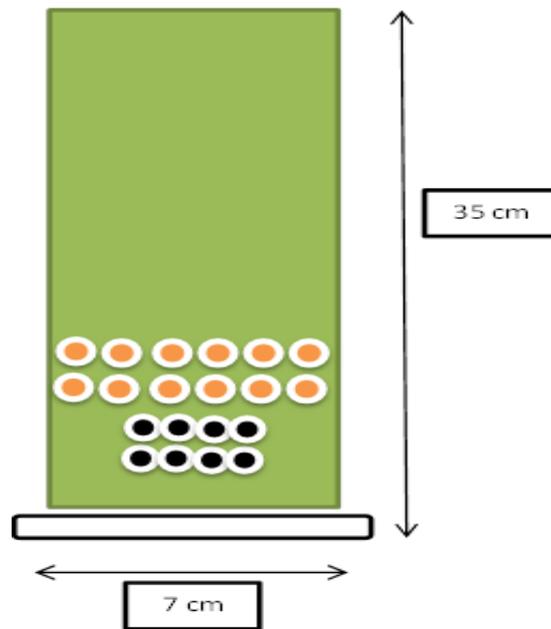
Gambar rangkain input dan output PLC dari purwarupa pengontrolan elevator, terlihat seperti pada gambar berikut:



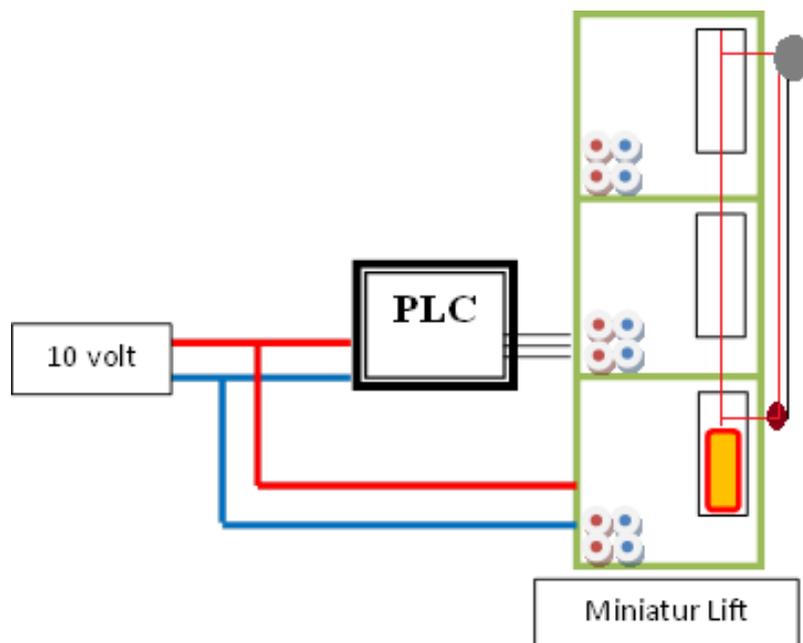
Gambar 2. Diagram rangkaian input dan output PLC



Gambar 3. Tampak depan miniatur elevator



Gambar 4. Tampak belakang miniatur elevator



Gambar 5. Desain purwarupa produk

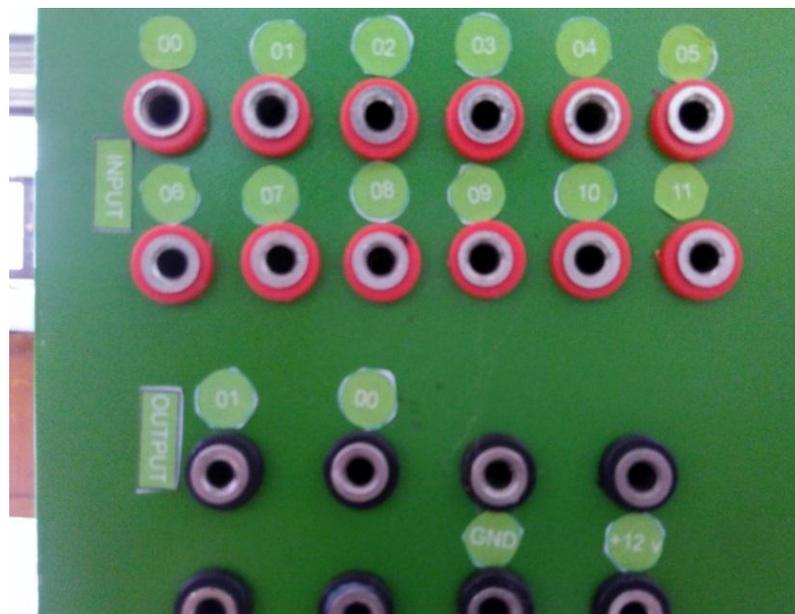
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil perancangan purwarupa

Produk pengembangan yang dihasilkan pada penelitian ini berupa sebuah miniatur elevator/lift (*lift prototype*) guna menguji sistem pengontrolan elevator dengan menggunakan sistem kendali PLC. Adapun hasil perancangan dapat dilihat sebagai berikut:



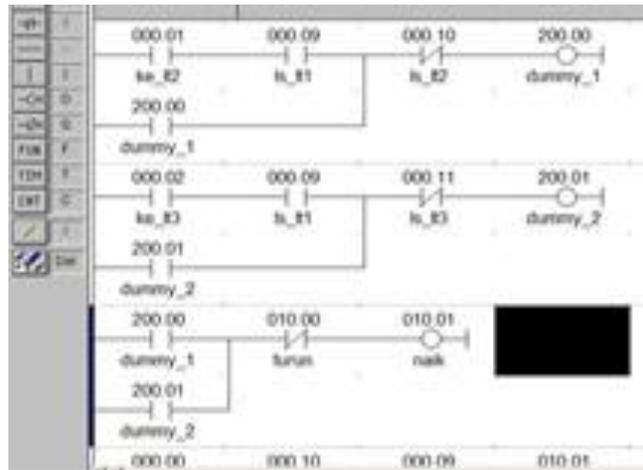
Gambar 6. Tampak depan purwarupa



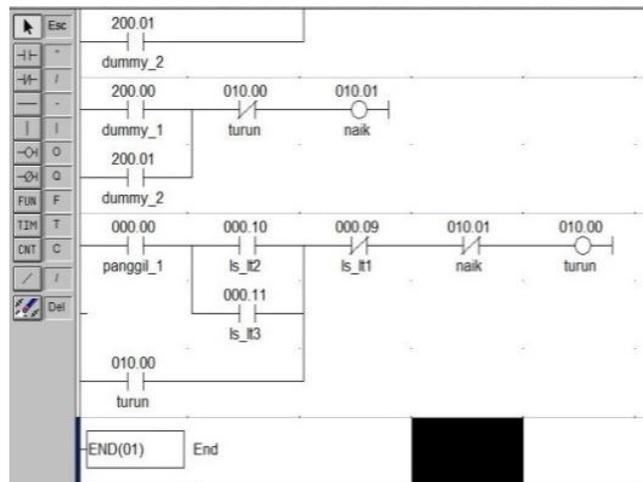
Gambar 7. Tampak belakang purwarupa

Pada purwarupa ini, motor yang digunakan sebagai transportasi pada elevator ini menggunakan motor DC sebagai penggerakannya, tegangan yang dibutuhkan untuk mengoperasikan motor dan mekanik elevator ini berkisar antara 10 sampai dengan 12 volt, karena apabila telah tegangan tidak mencapai 10 volt lift tersebut tidak mampu beroperasi dan sebaliknya apabila tegangan melebihi 12 volt kemungkinan terburuk yang dihasilkan adalah kerusakan pada miniatur elevator ini.

Pemrograman untuk pengontrolan elevator dilakukan menggunakan software syswin. Syswin ini merupakan software bawaan dari PLC jenis Omron yang digunakan dalam penelitian ini. Pemrograman yang dilakukan pada PLC ini mengontrol pergerakan arah putaran motor ke atas atau ke bawah. Instruksi yang digunakan pada PLC untuk mengontrol elevator ini menggunakan ladder diagram, seperti gambar sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 8. Pemrograman pada PLC

3.2 Ujicoba

Setelah melakukan percobaan pada purwarupa miniatur elevator/lift, hasil ujicoba yang diperoleh yaitu simulasi penggunaan elevator dengan menggunakan pengontrolan berbasis PLC jenis Omron berjalan dengan baik. Jenis pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini berupa keberhasilan pengontrolan elevator bergerak ke atas maupun ke bawah menggunakan PLC Omron. Purwarupa elevator yang dibuat dalam penelitian ini masih pada sampai lantai 3. Proses kerja yang dihasilkan juga sama dengan apabila menggunakan jenis pengontrolan yang lain. Hasil ujicoba dapat di lihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Percobaan simulasi purwarupa elevator

Pergerakan elevator	Keterangan
1 ke 2	Berhasil
1 ke 3	Berhasil
2 ke 3	Berhasil
2 ke 1	Berhasil
3 ke 2	Berhasil
3 ke 1	Berhasil

Purwarupa elevator dengan menggunakan pengontrolan berbasis PLC Omron ini berhasil dengan menggunakan program sederhana yang dilakukan pada PLC. Sehingga dengan hasil desain purwarupa elevator dan ujicoba pemrograman dapat disimpulkan bahwa dalam melakukan pengontrolan elevator dapat disederhanakan dengan menggunakan PLC.

4. KESIMPULAN

Hasil desain purwarupa elevator dengan pengontrolan berbasis PLC menghasilkan kesimpulan yaitu pengontrolan elevator dengan menggunakan PLC dapat berhasil dan berjalan dengan baik, disamping itu dengan pengontrolan PLC ini juga kita dapat menyederhanakan pemrograman pengontrolannya.

REFERENSI

- [1] E. M. Sartika and J. Augustinus, "Realisasi Plant Elevator Miniatur," *Electr. Eng. J.*, vol. 5, no. 1, 2014.
- [2] A. P. Wijaya, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Perancangan Self Balancing Pitch Control Dengan Metode Kontrol Fuzzy Pada Unmanned Aerial Vehicle Fixed Wing," *TRANSMISI*, vol. 17, no. 4, pp. 162–171, 2015.
- [3] P. Jatmiko, *PLC ,HMI and Industrial part: PLC ,HMI and Industrial part*. priyo jatmiko, 2015.
- [4] P. Rohner, *Automation with Programmable Logic Controllers*. UNSW Press, 1996.
- [5] R. VanderBok, I. T. Institute, and N. C. for M. S. (U.S.), *PLC: Programmable Logic Controllers*. Industrial Technology Institute, 1992.
- [6] I. D. C. Technologies, *Practical Distributed Control Systems (DCS) for Engineers and Technicians*. IDC Technologies.
- [7] Firmansyah. Teguh, Alfan, Rocky. "Rancang Bangun Low Power Elektric Surgery (Pisau bedah Listrik) pada Frekuensi 10 KHz", *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol 5, No. 1. 2016.
- [8] M. Arif, *Bahan Ajar Rancangan Teknik Industri*. . 2016.

Rancang Bangun Modul Pengendali Berbasis Direct Mode XBee pada Wireless Sensor Network

Agus Wagyana¹

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta (PNJ),
Kampus UI Depok 16425.

Informasi Artikel

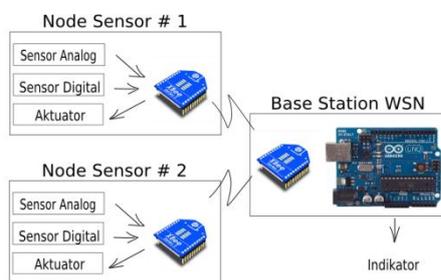
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
awagyana@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

This study aims to develop a wireless controller module to study the implementation of XBee board on Wireless Sensor Network (WSN) applications. The module consist of two units of sensor nodes (as Routers) to collect the analog and digital sensors at two different locations, and one unit of WSN base station as a controller (Coordinator). Each node uses XBee chip with direct mode that does not use require a microcontroller to control the data acquisition of analog and digital sensors. The sensor data polling process is done by XBee chip and directly transmitted wirelessly to the base station. Analog sensors in each node is represented by potentiometers while the digital sensor is represented by a push button switch. The base station itself consists of Xbee chip, Arduino Uno microcontroller board, and some LED indicators. In addition to monitor all sensor data in each node, the base station is also served to control or actuate the output components in the remote node if the data exceeds a certain limit. In general, the results showed that the prototype has been successfully monitor and control node sensors wirelessly as expected. The two most important XBee packets are the Remote AT Command Request frame (0x17) and ZigBee IO Data Sample Rx Indicator (0x92). The main advantage of using XBee Direct mode in this module is the efficient use of hardware at the node (without require microcontrollers) which lead for saving battery power consumption and extent the system lifetime.

Keywords: Automatic Control System, Direct XBee, Sensor Node, Wireless Sensor Network

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengembangkan suatu modul pengendali nirkabel untuk mempelajari implementasi board XBee pada aplikasi Wireless Sensor Network (WSN). Modul terdiri atas dua unit node sensor (sebagai Router) untuk mengumpulkan data sensor analog dan digital dari dua lokasi berbeda, dan satu unit base station WSN sebagai pusat pengendalinya (Coordinator). Semua node berbasis chip XBee dengan mode direct yaitu tidak menggunakan mikrokontroler untuk mengontrol pengambilan data sensor analog dan digital. Proses polling data sensor dilakukan sendiri oleh chip XBee dan langsung dikirimkan secara nirkabel ke base station. Sensor analog di setiap node diwakili oleh potensiometer sedangkan sensor digital diwakili oleh push button switch. Base station terdiri atas chip XBee, board mikrokontroler Arduino Uno, dan sejumlah komponen indikator LED. Selain memantau data sensor setiap node, base station juga bertugas untuk mengendalikan atau mengaktuatori komponen output di node jika data sensor analog melebihi suatu batas nilai. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa modul sudah berhasil melakukan pemantauan dan pengendalian otomatis jarak jauh secara nirkabel seperti yang diharapkan. Dua paket atau frame XBee yang paling penting untuk digunakan di sini adalah frame Remote AT Command Request (0x17) dan frame ZigBee IO Data Sample Rx Indicator (0x92). Kelebihan utama penggunaan mode Direct Xbee pada modul ini adalah efisiensi penggunaan hardware di sisi node (tanpa mikrokontroler) yang berimplikasi pada penghematan konsumsi daya baterai dan umur pakai sistem.

Kata kunci: Automatic Control System, Direct XBee, Sensor Node, Wireless Sensor Network

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

1. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan jaringan sensor yang bisa digunakan untuk berbagai aplikasi pemantauan dan pengontrolan secara nirkabel. Jaringan ini bisa menggunakan berbagai jenis sensor (seperti suhu, kelembaban, tekanan, kecepatan, arah pergerakan, cahaya, tingkat *noise*, dan lain-lain) untuk mengindera berbagai variabel data pada suatu objek atau lingkungan dan mengirimkannya ke pusat pemantau atau pengendalian tanpa menggunakan kabel penghubung sehingga lebih mudah dalam implementasi jaringannya.

Potensi aplikasi WSN sangat luas dalam berbagai hal, seperti militer, lingkungan kesehatan, rumah domestik, dan industri [1]. Contoh penerapannya diantaranya seperti, keamanan rumah, pemantauan lingkungan, pemantauan pasien, respon darurat, analisis cuaca dan iklim, dan *preventive maintenance* peralatan.

Walaupun sejumlah standar komunikasi nirkabel bisa digunakan untuk mendukung aplikasi WSN, seperti ZigBee, IEEE 802.14, Bluetooth dan Wi-Fi, tetapi yang paling banyak digunakan adalah ZigBee dan IEEE 802.15.4 [2] karena alasan konsumsi daya yang rendah, realisasi jaringan sederhana dan keandalan transmisi datanya. Penelitian ini menggunakan modul RF XBee seri 2 dari Digi International, Inc. yang menggunakan standar ZigBee. Spesifikasi utama dari *chip* 20 pin ini diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Chip XBee Seri 2

No	Spesikasi	Nilai
1	Jangkauan <i>indoor</i>	Mencapai 40 m
2	Jangkauan <i>outdoor</i>	Mencapai 120 m
3	Daya pancar	2 mW (3 dBm)
4	Data rate	250 Kbps
5	Sensitifitas Rx	-96 dbm
6	Tegangan catu	2.1 - 3.6 V
7	Frekuensi	ISM 2.4 GHz
8	Suhu kerja	-40 sampai 85 C
9	Jenis antena	PCB, <i>Integrated Whip</i> , U.FL, RPSMA
10	Topologi jaringan	<i>Point-to-point</i> , <i>Star</i> , <i>Mesh</i>
11	Jumlah kanal	16 (<i>Direct Sequence</i>)

Dalam penggunaannya untuk mengumpulkan data-data sensor, modul XBee bisa ditetapkan dalam dua mode, yaitu mode yang menggunakan mikrokontroler dan mode tanpa mikrokontroler (*direct*) [3]. Kelebihan dasar dari mode *direct* dibanding *indirect* adalah bisa mengurangi ukuran dan berat fisik *node* sensor dan menghemat konsumsi daya baterai.

Setiap modul XBee bisa menggunakan mode operasi *Application Programming Interface* (API) dimana komunikasi antar modul berlangsung dalam struktur urutan frame data yang teratur. API menetapkan perintah, respon terhadap perintah, dan pesan status menggunakan Frame Data UART [4]. Format frame data mode API diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Format Frame Data Mode API

Tipe frame data API XBee untuk mendukung mode *Direct* XBee adalah frame *I/O Data Sample Rx Indicator* (0x92) dan frame *Remote AT Command Request* (0x17). Frame 0x92 memungkinkan proses dekode himpunan sampel digital dan/atau analog yang diambil secara langsung oleh XBee pemancar (XBee *direct* I/O). Sedangkan frame 0x17 berguna untuk mengubah keadaan atau level logika modul XBee lain secara nirkabel, misalnya sebagai aktuator jarak jauh.

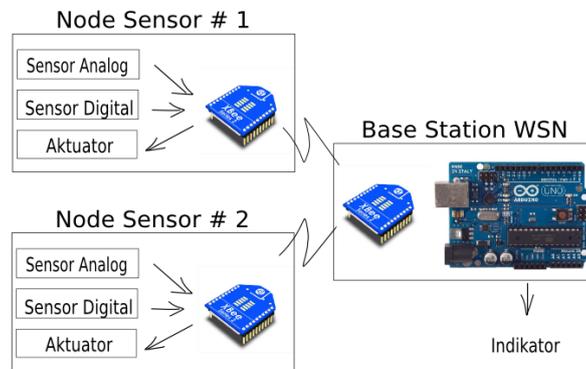
Makalah [5] mengembangkan WSN berbasis XBee dan Arduino untuk memantau suhu sejumlah ruangan. Semua sensor node menggunakan mikrokontroler untuk mengontrol pembacaan dan pengiriman data-data sensornya. Sedangkan [6] mengembangkan sistem pengontrolan nirkabel berbasis modul XBee untuk memantau sejumlah sensor di sebuah ruangan dengan menggunakan mode XBee transparan, sehingga tidak bisa digunakan untuk jumlah ruangan yang lebih banyak.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Sistem

Sistem tersusun dari dua unit node sensor (di dua tempat, 1 dan 2) dan satu unit *base station* di ruangan pemantau atau pengendali, seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Setiap node sensor terdiri atas satu sensor analog, satu sensor digital, satu aktuator, modul komunikasi *wireless* XBee S2, dan didukung oleh tegangan baterai 3 V.

Setiap modul XBee berfungsi mem-*polling* data-data sensor (analog dan digital) kemudian mengirimkannya ke *base station* secara nirkabel. *Base station* berfungsi untuk menerima data-data sensor dari kedua node melalui modul XBee dan menunjukkan nilainya pada indikator LED. Nilai analog diindikasikan berupa perubahan intensitas cahaya sedangkan nilai digital melalui hidup/matinya LED. Mikrokontroler bertugas membedakan sumber data sensor kemudian mengontrol indikator LED yang sesuai.

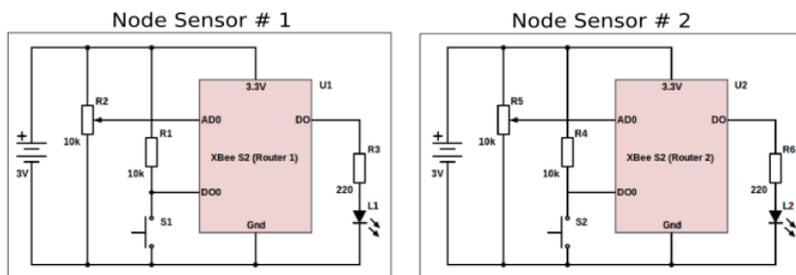


Gambar 2. Diagram Sistem

2.2. Implementasi *Hardware*

2.2.1. Rangkaian antarmuka node sensor

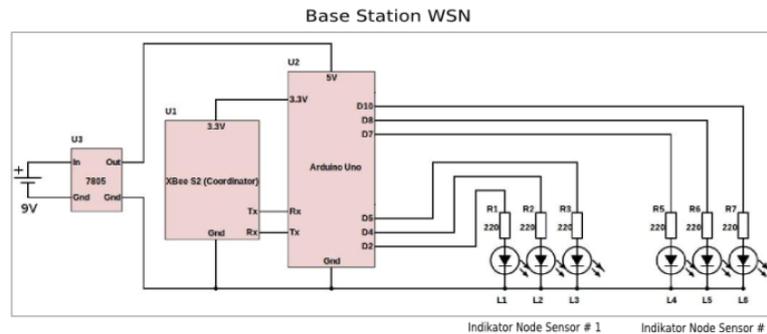
Rangkaian antarmuka node sensor diperlihatkan pada Gambar 3. Sensor analog diwakili oleh potensiometer yang bisa memberikan variasi nilai tegangan DC dari nol sampai batas maksimal tiap pin chip XBee yaitu sekitar 1.2 V [4]. Sensor digital diwakili oleh *push button* dengan resistor *pull up* eksternal yang bisa memberikan dua nilai level logika, bit 1 jika *switch* dilepas dan 0 jika *switch* ditekan. Aktuator diwakili oleh indikator LED untuk menunjukkan ada tidaknya bit data kontrol yang dikirimkan dari *base station*.



Gambar 3. Skematik Antarmuka Node Sensor

2.2.2. Rangkaian Antarmuka *Base Station* WSN

Rangkaian antarmuka *base station* diperlihatkan pada Gambar 4. *Board* mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno [7] yang berkomunikasi dengan chip XBee melalui pin Tx dan Rx dan memberikan tegangan catu 3.3V. Kondisi setiap node sensor ditunjukkan oleh tiga indikator LED, satu indikator sensor analog, satu indikator sensor digital, dan 1 indikator aktuator. Setiap indikator LED untuk sensor analog menggunakan pin PWM (*Pulse Width Modulation*) yang bisa mengeluarkan tegangan analog bernilai 0 sampai 255 (DAC 8 bit) untuk menunjukkan variasi intensitas cahaya yang mewakili perubahan nilai keluaran sensor analog.



Gambar 4. Skematik Antarmuka *Base Station*

2.3. Implementasi *Software*

Pada dasarnya, *base station* dan kedua node sensor hanya bisa saling berkomunikasi jika sudah dikonfigurasi dengan tepat sehingga berada pada jaringan yang sama dan pengalamatan yang sesuai.

2.3.1. Konfigurasi XBee di Node Sensor

Modul XBee di tiap node berfungsi sebagai Router yang mengumpulkan data-data sensor secara regular pada interval tertentu. Pengumpulan ini dilakukan oleh modul itu sendiri tanpa bantuan software karena tidak digunakannya mikrokontroler. Konfigurasi XBee menentukan tugas pengambilan data sensor tersebut. Pengaturan konfigurasi kedua chip XBee diperlihatkan pada Tabel 2 dan 3 dan dilakukan dengan aplikasi X-CTU [8].

Tabel 2. Konfigurasi XBee Node Sensor 1

No	Parameter	Nilai
1	Fungsi	Router
2	PAN ID (ID Personal Area Network)	1113
3	DH (Destination Address, High)	13A200
4	DL (Destination Address, Low)	40548068
5	JV (Rejoin)	Enable
6	IR (Sampling Rate)	100 ms
7	DIO0 /AD0	ADC
8	DIO1/AD1	Digital In
9	DIO2/AD2	Digital Out

Tabel 3. Konfigurasi XBee Node Sensor 2

No	Parameter	Nilai
1	Fungsi	Router
2	PAN ID (ID Personal Area Network)	1113
3	DH (Destination Address, High)	13A200
4	DL (Destination Address, Low)	40548068
5	JV (Rejoin)	Enable
6	IR (Sampling Rate)	100 ms

7	DIO0 /AD0	ADC
8	DIO1/AD1	Digital In
9	DIO2/AD2	Digital Out

2.3.2. Konfigurasi XBee di *Base Station* WSN

XBee pada *base station* berfungsi sebagai *Coordinator* yang akan menerima atau mengirimkan paket data. Pengontrolan dilakukan oleh program yang ditanamkan di mikrokontroler. Konfigurasi XBee *base station* diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Konfigurasi XBee *Base Station* WSN

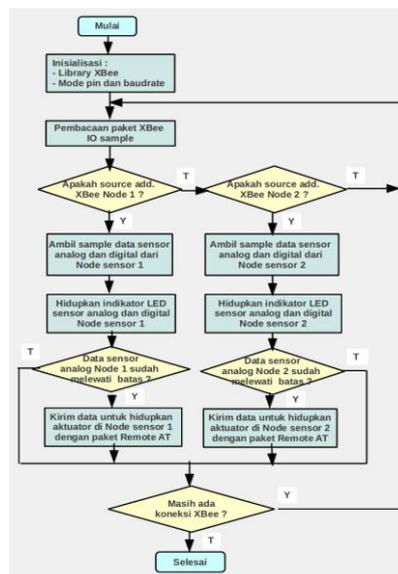
No	Parameter	Nilai
1	Fungsi	Coordinator
2	PAN ID (ID Personal Area Network)	1113

2.3.3. Program *Base Station* WSN

Program atau aplikasi mikrokontroler di *Base Station* berfungsi untuk :

- Mengumpulkan data dari semua node sensor yang diterima melalui modul *wireless* XBee.
- Mengolah data dengan membaca format paket data API yang diterima kemudian menunjukkan datanya ke indikator LED yang sesuai.
- Membuat dan mengirimkan paket data pengontrolan (aktuator) ke node sensor tujuan.

Flowchart program mikrokontroler diperlihatkan pada Gambar 5.

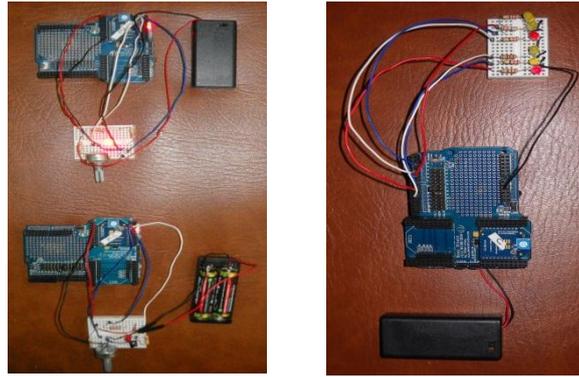


Gambar 5. *Flow Chart* Program di *Base Station*

2.4. Modul pada *Protoboard*

Gambar 6 memperlihatkan modul yang dirangkai pada tiga protoboard yang berbeda, yaitu modul *node sensor 1*, modul *node sensor 2*, dan modul *base station*. Chip XBee ditempatkan pada soket Bees Shield (Seedstudio) yang kompatibel untuk Arduino.





a. Modul *Node Sensor* 1, 2 b. Modul *Base Station*

Gambar 6. Modul Pengendali

Program pengendali sistem yang akan ditanamkan pada mikrokontroler *base station* dikembangkan dengan menggunakan program Arduino IDE untuk membuat (*edit*) *source code*, meng-*compile* (*verify*), dan meng-*upload* ke chip mikrokontrolernya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengukuran Data Sensor Analog dan Digital

Sampel pengukuran beberapa data sensor baik analog maupun digital diperlihatkan di bawah ini. Data diambil dengan program serial monitor pada Arduino IDE. Hasilnya memperlihatkan kisaran nilai analog sebesar 0 sampai 1023, sesuai dengan resolusi ADC yang digunakan yaitu 10 bit atau 2^{10} . Sedangkan nilai sensor digital berada pada 2 level, yaitu '1' untuk switch dilepas dan '0' saat switch ditekan.

i) Potensiometer 1,2 = minimal, switch = *open*

```
~#####c#@0#Cyb#D2#²
Node Sensor : 1 (PAN Address = 0x40301880)
+++++
+++++
Waktu : 325886
Data sensor analog (AI0) : 0
Data sensor digital (DI1) : 1

~#####c#@Tøöyb#D2#¿
Node Sensor : 2 (PAN Address = 0x4054F86F)
+++++
+++++
Waktu : 326082
Data sensor analog (AI0) : 0
Data sensor digital (DI1) : 1
```

ii). Potensiometer = maksimal, switch = *open*

```
~#####c#@0#Cyb#D2#±
Node Sensor : 1 (PAN Address = 0x40301880)
+++++
+++++
Waktu : 471296
Data sensor analog (AI0) : 1023
Data sensor digital (DI1) : 1

~#####c#@Tøöyb#D2#¾
Node Sensor : 2 (PAN Address = 0x4054F86F)
+++++
+++++
Waktu : 471495
Data sensor analog (AI0) : 1023
Data sensor digital (DI1) : 1
```

iii). Potensiometer 1,2 = minimal, switch = *close*

```
~#####c#@0#Cyb#D2#±
Node Sensor : 1 (PAN Address = 0x40301880)
+++++
```

iv). Potensiometer = maksimal, switch 1,2 = *close*

```
~#####c#@0#Cyb#D2#±
Node Sensor : 1 (PAN Address = 0x40301880)
+++++
```



```

+++++++
Waktu : 471296
Data sensor analog (AI0) : 0
Data sensor digital (DI1) : 0

~#####c#@Tøöyb#D2#¾
Node Sensor : 2 (PAN Address = 0x4054F86F)
+++++++
+++++++
Waktu : 471495
Data sensor analog (AI0) : 0
Data sensor digital (DI1) : 0
    
```

```

+++++++
Waktu : 471296
Data sensor analog (AI0) : 1023
Data sensor digital (DI1) : 0

~#####c#@Tøöyb#D2#¾
Node Sensor : 2 (PAN Address = 0x4054F86F)
+++++++
+++++++
Waktu : 471495
Data sensor analog (AI0) : 1023
Data sensor digital (DI1) : 0
    
```

v). Potensiometer > batas, switch 1/2 = open/close

```

~#####c#@0#€yb#D2#±
Node Sensor : 1 (PAN Address = 0x40301880)
+++++++
+++++++
Waktu : 914983
Data sensor analog (AI0) : 548
Data sensor digital (DI1) : 1

~#####c#@Tøöyb#D2#¾
Node Sensor : 2 (PAN Address = 0x4054F86F)
+++++++
+++++++
Waktu : 915182
Data sensor analog (AI0) : 525
Data sensor digital (DI1) : 0
    
```

3.2. Penerimaan Data Sensor Analog

Tabel 5 memperlihatkan penerimaan data analog yang diterima base station dari setiap node dalam format nilai keluaran hasil konversi tegangan DC (tegangan analog) menjadi bilangan desimalnya (nilai desimal kode biner ADC). Hasilnya memperlihatkan korelasi linier antara tegangan DC yang dipancarkan setiap node dengan bilangan digital yang diterima base station.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Data Sensor di *Base Station*

No	Tegangan sensor analog yang dikirim setiap node (volt)		Data analog yang diterima <i>base station</i> dari setiap node (desimal)	
	1	2	1	2
1	0.00	0.00	0	0
2	0.10	0.10	103	73
3	0.20	0.20	228	186
4	0.30	0.30	331	284
5	0.40	0.40	426	380
6	0.50	0.50	533	475
7	0.60	0.60	628	577



8	0.70	0.70	727	671
9	0.80	0.80	753	729
10	0.90	0.90	768	733
11	1.00	1.00	776	745

3.3. Hasil Pengujian Sistem

Indikator LED sensor analog di *base station* berhasil menunjukkan perubahan nilai sensor analog dengan menampilkan intensitas cahaya yang makin terang jika potensiometer diputar ke nilai yang lebih besar, atau sebaliknya. Indikator LED sensor digital bisa menampilkan perubahan nyala atau mati jika switch di node ditekan atau dilepas. Sedangkan indikator LED di node sensor (aktuator) bisa menyala secara otomatis ketika nilai sensor analog melebihi batas tertentu sesuai yang ditetapkan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum modul pengendali sudah berhasil (a) membaca nilai sensor analog dan digital yang dikirim dari setiap *node* dan menunjukkannya pada indikator LED yang sesuai di *base station*, dan (b) mengendalikan aktuator secara otomatis jika level sensor analog di *node* sensor melebihi suatu batas. Dua paket atau *frame* XBee yang paling penting untuk digunakan di sini adalah *frame Remote AT Command Request (0x17)* dan *frame ZigBee IO Data Sample Rx Indicator (0x92)*.

REFERENSI

- [1] Akyildiz, Ian F., Vuran, M. Can. *Wireless Sensor Networks*. 2010. John Wiley & Sons Ltd.
- [2] Digi International, Inc. *ZigBee Wireless Standard*. 2017. Tersedia dari : <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee>. [URL dikunjungi pada 5 Agustus 2017]
- [3] Faludi, R. *Building Wireless Sensor Networks*. 2011. O'Reilly Media, Inc. XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules. 2017. Tersedia dari : http://www.isnmp.com/pdf/userguide/90000976_M.pdf [URL dikunjungi pada 5 Agustus 2017]
- [4] Boonsawat, V., Ekchamanonta, J., Bumrunghet, K., Kittipiyakul, S. *XBee Wireless Sensor Networks for Temperature Monitoring*. 2010. Tersedia dari http://www2.siiit.tu.ac.th/somsak/pub/final_XBeeWSN_100328.pdf [URL dikunjungi pada 5 Agustus 2017]
- [5] A. Tigauan et al. *Wireless Remote Control System*. 2012. Tersedia dari : http://cjece.ubm.ro/vol/5-2012/23_Tigauan.pdf. [URL dikunjungi pada 1 September 2017]
- [6] Board Arduino Uno. 2017. Tersedia dari : <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [URL dikunjungi pada 5 Agustus 2017]
- [7] X-CTU Configuration & Test Utility Software (User Guide). 2017. Tersedia dari <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90001458-13.pdf> [URL dikunjungi pada 12 Agustus 2017]



Perancangan Antena Mikrostrip *Multiband* Bentuk Segi Empat 2 *Patch* Menggunakan Gabungan Metode *Array* Dan *Slot*

Junas Haidi¹, Alex Surapati¹, Tri Riski Pahlovi¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017

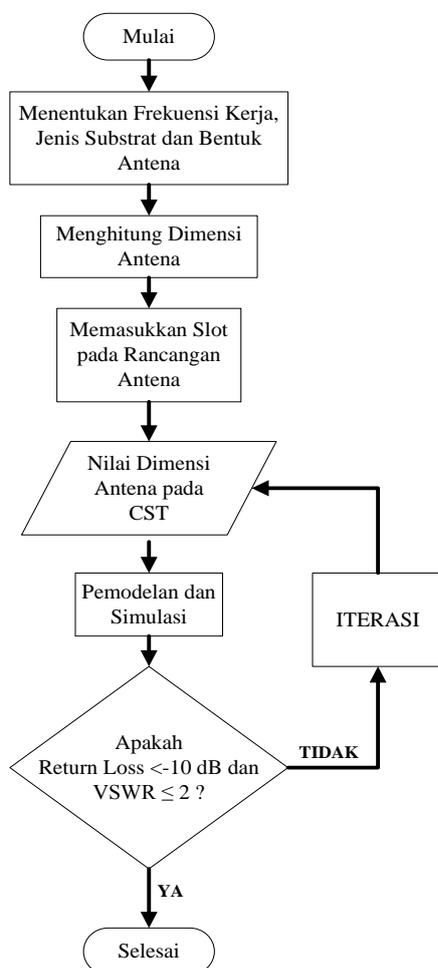
Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :

junas.elektro@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Antenna is the most important thing in wireless technology. The technology of communication in this era does not only work on only one frequency, but it has many work frequency. In this research, the method that is used to create the antenna works in *Multiband* by using an *array* and *slot* method. Based on the result of this research, quadrilateral microstrip antenna by using 2 patches has a resonant frequency of 1,3 GHz, 1,8 GHz, 2,4 GHz, and 2,8 GHz. From the measurement results that is done, all antennas that resonate at that frequency has met the antenna standard which is the value of return loss less than -10 dB and VSWR less than 2, so that the antenna that has been made can work well in accordance with the function of the antenna. The slot method used in the design of microstrip antenna operates to add up the resonant frequency of the antenna and improve the value of return loss. Meanwhile, the array method that is used can add up the resonant frequency in microstrip antenna. By combining both methods in the design of quadrilateral microstrip antenna, it will generate a multiband antenna resonance frequency.

Keywords: Microstrip Antenna, Multiband, Array, Slot.

Abstrak

Antena merupakan bagian terpenting dalam teknologi tanpa kabel (*wireless*). Teknologi telekomunikasi saat ini tidak hanya bekerja pada satu frekuensi kerja saja tetapi mempunyai banyak frekuensi kerja. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk membuat antena bekerja di *multiband* dengan menggunakan metode *array* dan *slot*. Berdasarkan hasil penelitian antena mikrostrip bentuk segi empat dengan menggunakan 2 *patch* dihasilkan frekuensi resonansi 1,3 GHz, 1,8 GHz, 2,4 GHz, 2,8 GHz. Dari hasil pengukuran yang dilakukan semua antena yang beresonansi di frekuensi tersebut telah memenuhi standar antena yaitu *return loss* kurang dari -10 dB dan VSWR kurang dari 2, sehingga antena yang sudah dibuat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsi antena. Metode *slot* yang digunakan pada desain antena mikrostrip berfungsi untuk menambah frekuensi resonansi antena dan memperbaiki nilai *return loss*. Sedangkan metode *array* yang digunakan dapat menambah frekuensi resonansi pada antena mikrostrip. Dengan menggabungkan kedua metode tersebut pada desain antena mikrostrip bentuk segi empat akan memunculkan frekuensi resonansi antena yang *multiband*.

Kata kunci: Microstrip Antenna, Multiband, Array, Slot.

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

1. PENDAHULUAN

Antena adalah suatu alat yang sangat penting bagi alat telekomunikasi terutama untuk mendukung perkembangan teknologi yang sangat cepat. Teknologi telekomunikasi yang berkembang saat ini tidak hanya satu frekuensi resonansi tetapi mempunyai banyak frekuensi resonansi misalnya 1,8 GHz untuk 4G LTE, 2,4 GHz untuk WiFi dan Bluetooth, 3,3 WiMax dan masih banyak yang

lainnya lagi. Sehingga frekuensi *multiband* tersebut diaplikasikan dalam satu peralatan misalnya pada *hand phone*. Desain antena dengan menggunakan *array* dapat membuat antena bekerja lebih dari satu frekuensi resonansi [1][2][3][4][5]. Dengan membuat slot pada patch antena mikrostrip akan menyebabkan penambahan frekuensi resonansi baru atau antena akan bekerja di *multiband* [6][7][8][4][5]. Antena mikrostrip bentuk segi empat dengan diberi *slot* juga bisa membuat nilai *return loss* menjadi lebih baik [9].

Penelitian ini adalah mengembangkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu Desain dan Analisa Antena Mikrostrip *Multiband 3 Patch* bentuk Segi Empat Menggunakan *Array* [10]. Penelitian ini difokuskan menggabungkan dua metode untuk menghasilkan output *multiband* pada antena mikrostrip bentuk segi empat dengan cara diarray dan diberi *slot* pada patch dengan bantuan *software CST*. Dengan cara menggabungkan dua metode ini akan didapatkan ukuran antena mikrostrip yang lebih kecil dibandingkan dengan hanya menggunakan metode *array*. Sedangkan metode *slot* yang digunakan bertujuan untuk memperbaiki nilai *return loss* dan memunculkan frekuensi resonansi yang lain.

2. METODE PENELITIAN

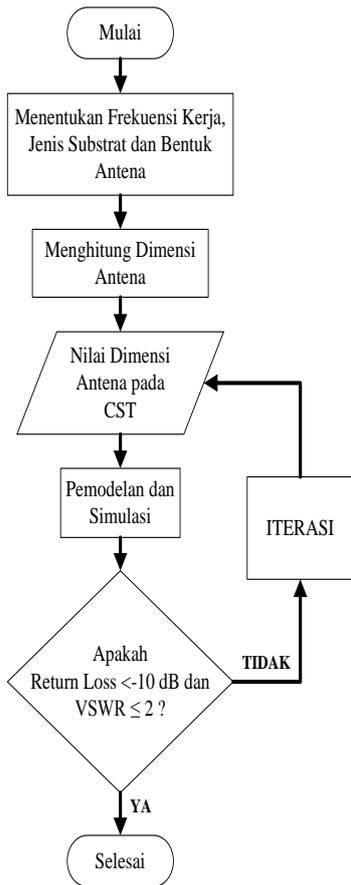
2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan dimensi antena mikrostrip secara teoritis dan dilanjutkan dengan proses simulasi dengan bantuan perangkat lunak *CST Studio Suite 2011* untuk melihat performance antena yang didesain. Antena mikrostrip yang didesain adalah antena multi band dengan menggunakan gabungan dari metode *array* dan metode *slot*. Setelah dilakukan simulasi dan mendapatkan performance antena sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan fabrikasi atau membuat antena sesuai dengan desain yang dilakukan. Setelah proses pembuatan antena selesai dilakukan pengukuran antena dengan menggunakan *Network Analyzer* untuk melihat nilai dari *Return loss*, *VSWR* dan Impedansi antena mikrostrip tersebut telah sesuai dengan hasil desain dan hasil fabrikasi antena yang sebenarnya.

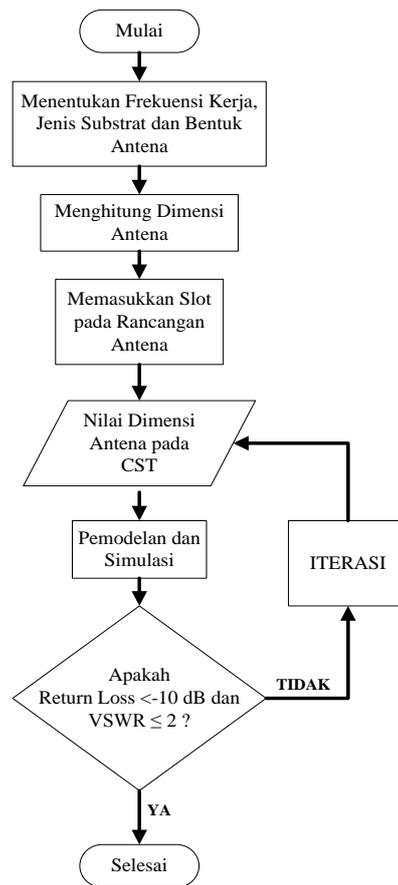
2.2 Diagram Alir Perancangan Antena Mikrostrip

Untuk memudahkan pemahaman dalam penelitian ini maka dibuat diagram alir desain antena mikrostrip *multiband* bentuk segi empat dengan 2 *patch* menggunakan metode *slot* dan *array*, dimana diagram alir penelitian ini ada 3 yaitu :

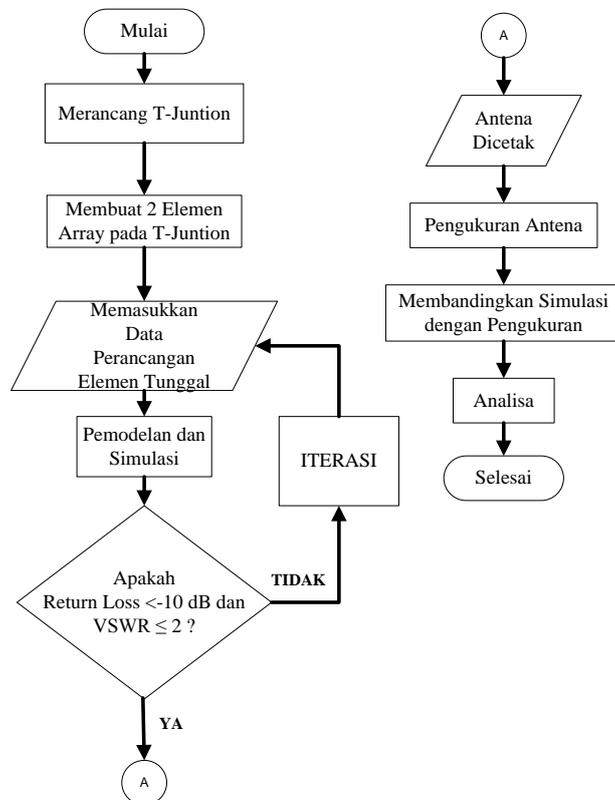
1. Diagram alir desain antena mikrostrip tunggal dengan berbentuk segi empat dapat dilihat pada Gambar 1.
2. Diagram alir desain antena mikrostrip dengan menggunakan metode *Slot* dapat dilihat pada Gambar 2.
3. Diagram alir desain antena mikrostrip dengan menggunakan metode *Array* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Diagram Alir Desain Antena Single Band



Gambar 2. Diagram Alir Desain Antena Double Band Metode Slot



Gambar 3. Diagram Alir Desain Antena Mikrostrip Dengan Metode Array

2.3 Perancangan Penelitian

2.3.1 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip Pada Frekuensi 1,8 GHz.

Pada penelitian ini antena mikrostrip yang akan dirancang adalah antena mikrostrip *multi band* berbentuk segi empat dengan frekuensi resonansi desain awal 1,8 GHz, 2,4 GHz dan 3,3 GHz. Material antena mikrostrip yang digunakan pada penelitian ini adalah substrach FR4 (*Epoxy*) dengan tebal substrat 1,6 mm dan ϵ_r 44. Perancangan dimensi lebar *patch* (W) dan panjang *patch* (L) pada frekuensi 1,8 GHz dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1,8 \times 10^9 \sqrt{\frac{4,4+1}{2}}} = 50,72 \text{ mm}$$

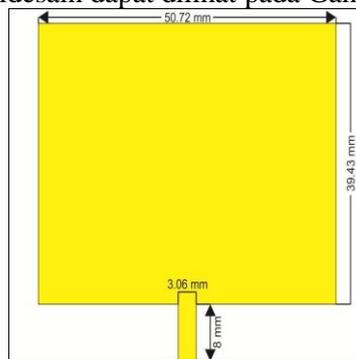
$$L = 40,92 - 2 \times 0,74 = 39,43 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh lebar *patch* sebesar 50,72 mm dan panjang *patch* sebesar 39,43 mm. Saluran pencatu yang digunakan pada perancangan awal untuk frekuensi 1,8 GHz mempunyai impedansi masukan sebesar 50 Ω . Lebar saluran pencatu (W) antena mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$B = \frac{60\pi^2}{50\sqrt{4,4}} = 5,64$$

$$W = \frac{2 \times 1,6}{3,14} \left\{ 5,64 - 1 - \ln(2 \times 5,64 - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} \left[\ln(5,64 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \right\} = 3,06 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka didapat lebar *patch*, panjang *patch* dan lebar saluran pencatu persegi panjang sebesar 50,72 mm, 39,43 mm dan 3,06 mm. Bentuk *patch* persegi panjang fekuensi 1,8 GHz yang akan didesain dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diameter *Patch* 1,8 GHz Persegi Panjang Dari Hasil Perhitungan

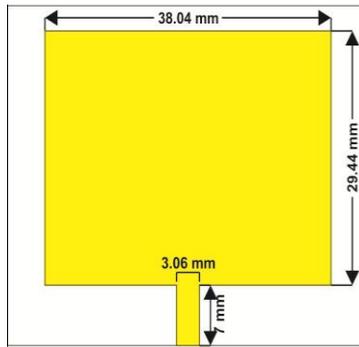
2.3.2 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip Pada Frekuensi 2,4 GHz.

Untuk perancangan dimensi lebar *patch* (W) dan panjang *patch* (L) pada frekuensi 2,4 GHz dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,4 \times 10^9 \sqrt{\frac{4,4+1}{2}}} = 38,04 \text{ mm}$$

$$L = 30,92 - 2 \times 0,74 = 29,44 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh lebar *patch* untuk antena frekuensi 2,4 GHz sebesar 38,04 mm dan panjang *patch* sebesar 29,44 mm. Saluran pencatu yang digunakan pada frekuensi 2,4 GHz mempunyai impedansi masukan sebesar 50 Ω , dan dari hasil perhitungan didapatkan saluran transmisi antena selebar 3,06 mm. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka didapat lebar *patch*, panjang *patch* dan lebar saluran pencatu persegi panjang sebesar 38,04 mm, 29,44 mm dan 3,06 mm. Bentuk *patch* persegi panjang yang akan didesain dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Patch 2,4 GHz Persegi panjang yang Akan Didesain

2.3.3 Perancangan Saluran Pencatu 70,71 Ω

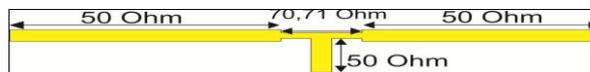
Pada perancangan elemen tunggal diketahui bahwa saluran pencatu yang digunakan adalah 50 Ω. Untuk merancang antenna 2 elemen dibutuhkan *T-Junction* 50 Ω yang berfungsi sebagai *power divider*. Pada penelitian ini *T-Junction* yang digunakan adalah yang memiliki impedansi 70,71 Ω. Untuk mendapatkan panjang dan lebar saluran pencatu impedansi 70,71 Ω dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$W = \frac{2 \times 1,6}{3,14} \left\{ 3,99 - 1 - \ln(2 \times 3,99 - 1) + \frac{4,4 - 1}{2 \times 4,4} \left[\ln(3,99 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,4} \right] \right\} = 1,60 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan lebar saluran pencatu untuk impedansi 70,71 Ω selebar 1,6 mm yang akan digunakan untuk percabangan jalur pencatu yang berbentuk huruf T.

2.3.4 Perancangan *T-Junction*

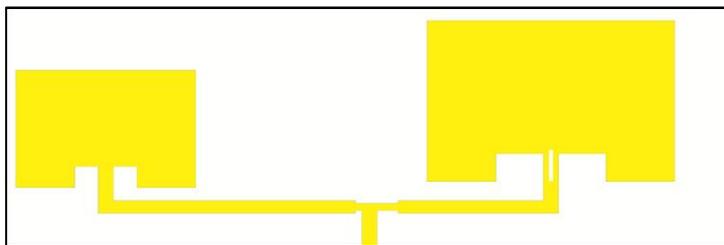
Pada hasil perancangan saluran, diketahui bahwa saluran pencatu yang digunakan adalah 50 Ω dan 70,71 Ω. Dari hasil perancangan dapat dibuat *T-junction* untuk melakukan *array*. Perancangan *T-Junction* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perancangan *T-Junction*

2.3.4 Perancangan Antena mikrostrip *multiband* dengan menggunakan metode *Array* dan *Slot*.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan teori dan dilakukan simulasi, iterasi pada *software CST* untuk mendapatkan kinerja antenna yang optimal. Dari proses perhitungan dan simulasi didapatkan ukuran dan bentuk antenna yang dirancang dengan menggunakan metode *Array* dan *slot*. Hasil perancangan antenna mikrostrip *multiband* dapat dilihat pada Gambar 7.



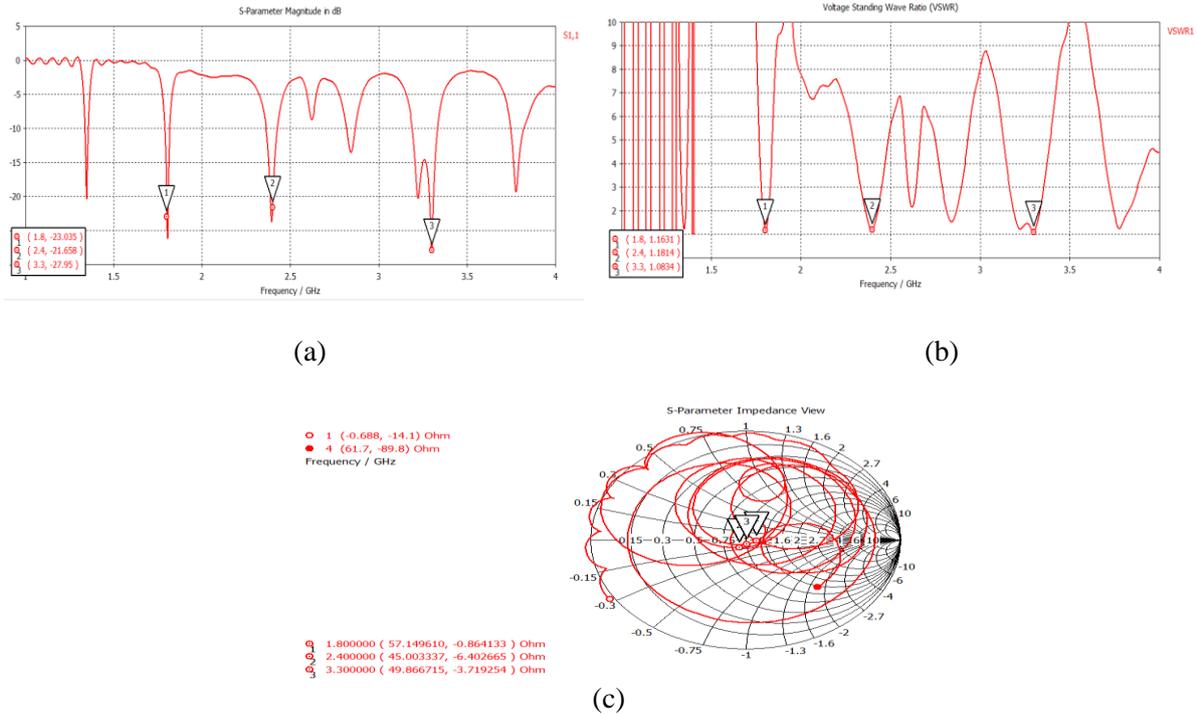
Gambar 7. Perancangan Antena Mikrostrip *Multiband* Dengan *Array* Dan *Slot*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi Dengan Menggunakan *Software CST*

Setelah dilakukan iterasi didapatkan hasil yang optimal dari perancangan antenna mikrostrip bentuk segi empat dengan menggunakan *software CST*. Dari hasil simulasi dengan menggunakan *software CST* dapat dilihat nilai *return loss*, *VSWR* dan Impedansi pada antenna tersebut. Grafik *return loss*, *VSWR* dan Impedansi yang didesain dapat dilihat pada Gambar 8a, 8b dan Gambar 8c.

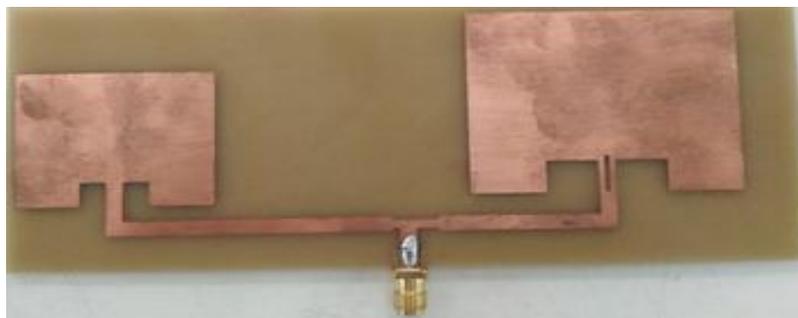




Gambar 8. Hasil Simulasi Antena Susun Array dan Slot (a) Return Loss (b) VSWR (c) Impedansi

3.2 Hasil Pabrikasi Antena Mikrostrip *Multiband*

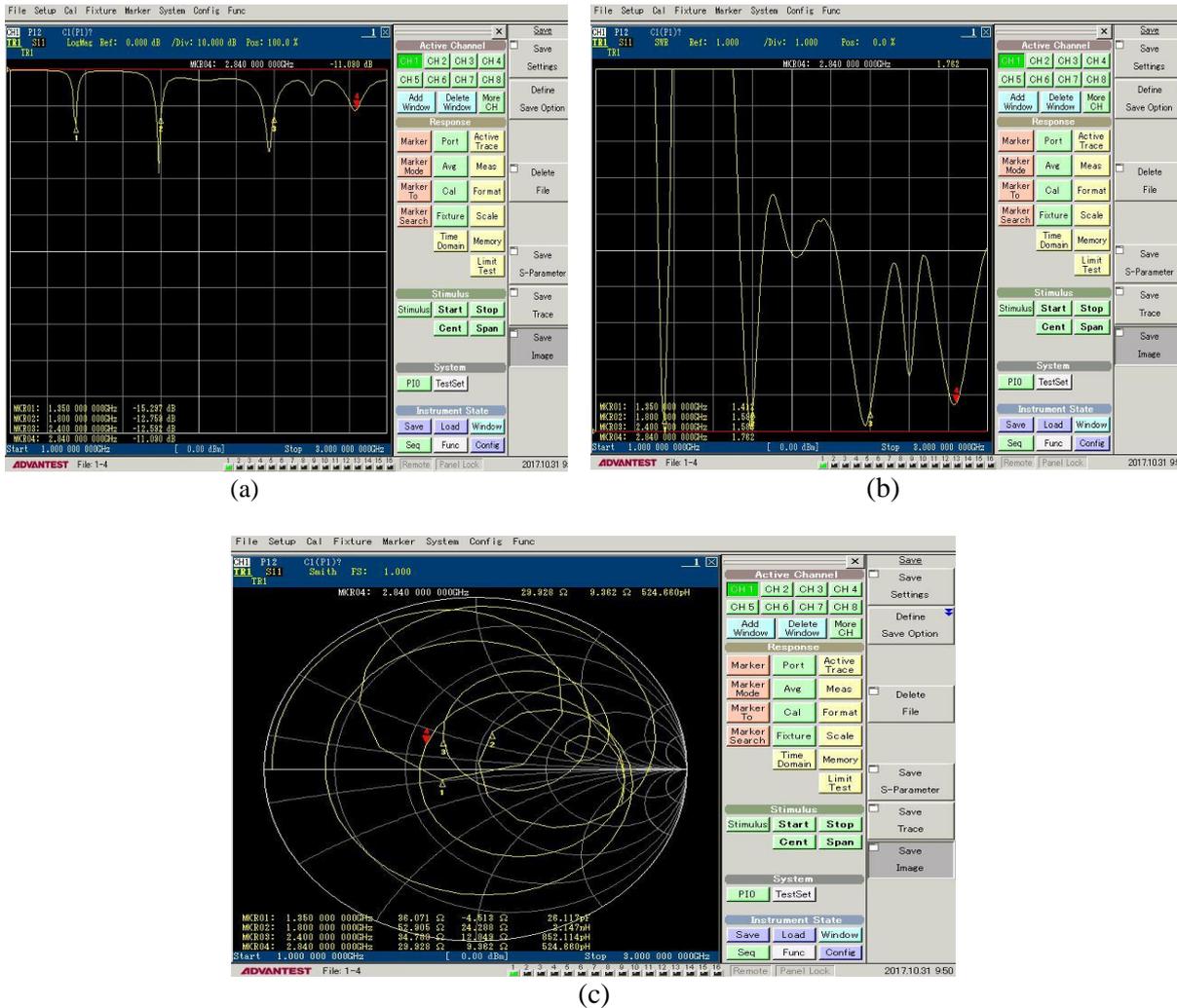
Setelah dilakukan perancangan antena mikrostrip multi band dengan menggunakan metode *array* dan metode *slot* dengan bantuan *software CST*, maka dilakukan pabrikasi antena yang sesuai dengan ukuran antena yang didesain. Adapun hasil pabrikasi antena mikrostrip *multiband* yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Antena Mikrostrip *Multiband*

3.3 Hasil Pengukuran Antena Dengan Menggunakan *Network Analyzer*

Setelah antena selesai dibuat, maka dilakukan pengukuran *return loss*, VSWR dan Impedansi dengan menggunakan *network analyzer*. Karena keterbatasan kemampuan alat ukur *network analyzer* yang digunakan dimana batas frekuensi antena yang dapat diukur dari 1 GHz sampai dengan 3 GHz. Karena keterbatasan alat ukur maka dilakukan pengukuran antena multi band pada frekuensi resonansi 1,3 GHz, 1,8 GHz, 2,4 GHz dan 2,8 GHz. Adapun hasil pengukuran *return loss*, VSWR dan Impedansi dapat dilihat pada Gambar 10a, 10b dan Gambar 10c.



Gambar 10. Hasil Simulasi Antena Susun Array dan Slot (a) Return Loss (b) VSWR (c) Impedansi

3.4 Pembahasan Hasil Penelitian.

Karena keterbatasan kemampuan alat ukur saat pengukuran antenna mikrostrip *multiband*, dimana *Network Analyzer* hanya mampu mengukur antenna dengan frekuensi resonansi 1 GHz sampai dengan 3 GHz. Berdasarkan hal tersebut maka pembahasan dalam penelitian ini menyesuaikan dengan hasil pengukuran dari antenna yaitu 1,3 GHz, 1,8 GHz, 2,4 GHz dan 2,8 GHz. Dari hasil perhitungan, simulasi dan pengukuran antenna mikrostrip *multiband* didapatkan hasil yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi Dan Hasil Pengukuran Antena *Multiband*

Frekuensi (GHz)	Hasil Simulasi			Hasil Pengukuran		
	Return Loss (dB)	VSWR	Impedansi (Ω)	Return Loss (dB)	VSWR	Impedansi (Ω)
1,35	-17,06	1,31	46,45-j11,77	-15,297	1,412	36,071-j4,513
1,8	-23,03	1,16	57,149-j0,864	-12,759	1,584	52,905+j24,288
2,4	-21,65	1,18	45-j6,402	-12,592	1,586	34,780+j12,849
2,84	-13,518	1,53	41,13-j17,549	-11,090	1,762	29,928+j9,362

Berdasarkan dari proses perancangan antenna yang dilakukan dengan melakukan beberapa metode yaitu metode *slot* dan *array* didapatkan hasil pengukuran antenna untuk frekuensi resonansi 1,35 GHz, 1,8 GHz, 2,4 GHz dan 2,8 GHz telah memenuhi standar kerja antenna dimana ke empat frekuensi resonansi tersebut telah memenuhi standar operasi antenna yaitu *return loss* telah kurang dari -10 dB dan VSWR kurang dari 2. Dari proses penelitian antenna mikrostrip *multiband* dengan



menggunakan metode *slot* dan *array* mempunyai fungsi yang berbeda beda. Pada penelitian ini dengan membuat *slot* diantara jalur transmisi antena mampu meningkatkan kinerja antena yang terbukti dari hasil simulasi dengan menggunakan *software CST* nilai *return los* antena menjadi lebih baik. Dengan menyusun *patch* antena secara *array* dapat menambah frekuensi resonansi antena sehingga kinerja antena menjadi *multiband*. Jarak antar *patch* antena juga menentukan kinerja yang didesain, dari hasil penelitian didapatkan hasil yang optimal jarak *patch* adalah 42,90 mm. Dengan membuat *slot* pada saluran transmisi pada salah satu *patch* antena bisa menambah frekuensi resonansi antena, sehingga frekuensi resonansi antena menjadi bertambah banyak dan menghasilkan 6 frekuensi resonansi. Dari hasil penelitian ini membuktikan bahwa dengan menggunakan *array* dapat menambah frekuensi resonansi dan menggunakan *slot* juga dapat meningkatkan frekuensi resonansi dan memperbaiki nilai *return loss*.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada desain antena mikrostrip *multiband* dengan menggunakan metode *array* dan *slot* menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Antena yang didesain sudah memenuhi standar kerja antena, yaitu nilai VSWR kurang dari 2 dan *return loss* lebih kecil dari -10 dB.
2. Dari hasil perancangan antena mikrostrip *multiband* didapatkan impedansi antena mendekati 50Ω , yang berarti antena yang didesain sangat *matching*.
3. Antena yang dirancang dengan menggunakan metode *array* dan *slot* mampu menghasilkan antena *multiband* 6 frekuensi resonansi yaitu 1,3 GHz, 1,8 GHz, 2,4 GHz, 2,8 GHz, 3,3 GHz dan 3,8 GHz.
4. Perancangan antena *multiband* dengan metode *array* dan *slot* dapat diperoleh hasil yang sangat baik dengan cara mengatur jarak antar elemen *patch*.
5. Dengan membuat *slot* pada *patch* antena dapat memperbaiki nilai *return loss* pada antena.

4.2 Saran

Pada penelitian ini masih banyak kekurangan dan kelemahan terutama dari hasil desain dan pengukuran, sehingga masih dibutuhkan penelitian - penelitian lanjutan untuk menyempurnakan dari kelemahan penelitian ini. Berdasarkan hasil dan pengalaman pada saat penelitian, maka ada beberapa saran dari penelitian ini :

1. Saat pencetakan antena dipastikan benar-benar presisi sesuai dengan ukuran hasil yang disimulasikan oleh *software CST*.
2. Untuk kesempurnaan penelitian gunakan alat ukur *network Analyzer* yang range ukurnya sesuai dengan hasil simulasi
3. Apabila ingin ukuran antena yang dibuat diameternya kecil maka gunakan metode *slot*.

REFERENSI

- [1] S. Prabhakar, Rao Mallikarjuna, "Design of Rectangular Patch Antenna Array with Multiple Slots by Using Mitered Bend Feed Network for Multi-Band Applications," *Int. Conf. Electromagn. Interf. Compat.*, vol. 6697, no. 5, pp. 5-7, 2016.
- [2] R. B. Konda, G. M. Pusbanjali, N. Mulgi, and P. V Hunagund, "Microstrip Array Antenna for Multiband Operation," *Proc. Int. Conf. Microw.*, vol. 8, pp. 511-513, 2008.
- [3] R. H. A. Qadar Ramli, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Array Segi Empat Triple - Band Pada Frekuensi 2,3, 3,3 GHz Dan 5,8 GHz," pp. 72-77.
- [4] K. Fertas, H. Kimouche, M. Challal, H. Aksas, R. Aksas, and E. Nationale, "Multiband Microstrip Antenna Array for Modern Communication Systems," *IEEE*, pp. 3-7, 2015.
- [5] D. Jabin, A. K. Singh, G. Srinivas, and V. S. Tripathi, "Double U-Slot Loaded Stacked Microstrip Patch Antenna with 2×2 Array for Multiband Operation," *IEEE*, pp. 4-6, 2014.
- [6] A. J. Kalika Mehra, "Design And Analysis of L-slots With Rectangular Slot Multiband Microstrip Rectangular Patch Slot Multiband Microstrip Rectangular Patch Antenna," *Int. Conjerence Comput. Commun. Electron.*, pp. 549-552, 2017.
- [7] J. Alam, M. Rashed, I. Faruque, and M. Islam, "Design of a Split P-shaped Multiband

- Microstrip Patch antenna for Modern Communication System,” *Int. Conf. Comput. Inf. Technol.*, pp. 68–71, 2016.
- [8] L. Sugadev, M, “A Compact multiple slot Microstrip Antenna for Modern Mobile Communications,” *Int. Conf. Control. Instrumentation, Commun. Comput. Technol.*, pp. 805–808, 2016.
- [9] Firmansyah.T, S. Purnomo, F. Fatonah, T. Nugroho,”Antena Mikrostrip Rectangular Patch 1575,42 MHz dengan Polarisasi Circular untuk Receiver GPS”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 4, no. 4, Nov. 2015.
- [10] K. Alagiyawanna, T. C. Baum, K. Ghorbani, and K. J. Nicholson, “Embroidered Microwave Antennas for Aerospace Applications,” *Proc. Asia-Pacific Microw. Conf.*, pp. 4–7, 2016.
- [11] Haidi Junas, “Desain dan Analisa Atena Mikrostrip Multiband 3 Patch bentuk Segiempat Menggunakan Array,” *Amplifier*, vol. 7, no. 2, pp. 1–7, 2017.

Review : Metode Sistem Kendali Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Dedi Nugroho¹¹ Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung

Informasi Artikel

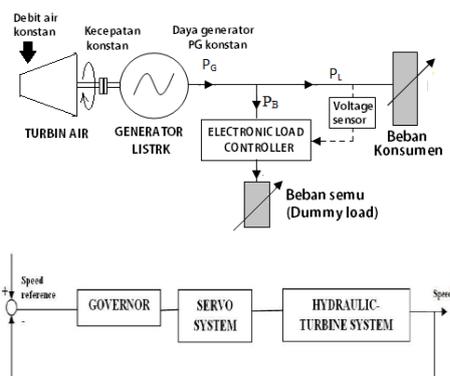
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
dedinugroho@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Micro hydro power plant (MHP) is a small-scale hydropower (<100 kW) that has many advantages, especially are simple construction, low cost, reliable, can be built without the need for reservoirs, environmentally friendly, and is a renewable energy, so MHP today is mostly built for the needs of power plants in rural area. MHP is generally a isolated power plant, so the main problem is the change of load which will directly cause changes in the generator frequency and voltage, therefore are needed generator and turbine speed control system so that the frequency and output voltage of the generator can be kept constant despite the change of load. The control system at the MHP can be governor controller to regulate the discharge of incoming water turbine and Electronic Load Controller (ELC) to keep the generator load constant by adjusting the power dissipation to the dummy load, when there is a change of load on the consumers. The design and study of MHP control system has been done by a number of researchers with the aim of obtaining a control system design that has a fast response to achieve stability, effective, and efficient. This paper presents the results of the design and studies that have been done by some researchers on the control system at MHP. There are several methods in the control system such as governor control system with PD control, PID, artificial neural network-based PID, ELC control system, combined governor control system and fuzzy logic based ELC

Keywords: MHP, micro hydro, control, governor, ELC, dummy load

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil (< 100 kW) yang memiliki banyak keunggulan, terutama konstruksi sederhana, murah, andal, dapat dibangun tanpa menggunakan waduk, ramah lingkungan, dan merupakan energi terbarukan, sehingga PLTMH dewasa ini banyak dibangun untuk keperluan pembangkit listrik di daerah pedesaan. PLTMH umumnya merupakan pembangkit tersendiri (terisolasi), sehingga permasalahan utama yang dihadapi adalah jika ada perubahan beban, maka secara langsung akan menimbulkan perubahan frekuensi dan tegangan generator, oleh karena itu diperlukan sistem pengendalian kecepatan turbin dan generator agar frekuensi dan tegangan keluaran generator dapat terjaga konstan meskipun terjadi perubahan beban. Sistem kendali pada PLTMH dapat berupa pengendalian governor untuk mengatur debit air yang masuk ke turbin dan Electronic Load Controller (ELC) untuk menjaga agar beban generator tetap konstan dengan mengatur disipasi daya ke beban semu (dummy) saat terjadi perubahan beban disisi konsumen. Desain dan kajian terhadap sistem kendali PLTMH ini telah banyak dilakukan oleh sejumlah peneliti dengan tujuan untuk mendapatkan desain sistem kendali yang cepat mencapai kestabilan, efektif dan efisien. Makalah ini menyajikan beberapa hasil desain dan kajian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti mengenai sistem kendali pada PLTMH. Ada beberapa metode dalam sistem kendali tersebut seperti sistem kendali governor dengan kendali PD, PID, PID berbasis jaringan syaraf tiruan, sistem kendali ELC, sistem kendali kombinasi antara governor dan ELC berbasis logika fuzzy.

Kata kunci: PLTMH, mikrohidro, kendali, governor, ELC, beban semu

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

1. PENDAHULUAN

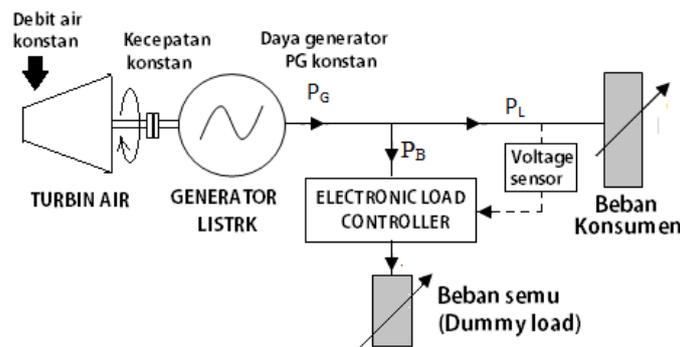
Dewasa ini masyarakat semakin sadar akan keterbatasan energi fosil dan kerusakan lingkungan akibat pembakaran energi fosil, oleh karena itu berbagai usaha dilakukan untuk menggali dan mengkaji berbagai sumber energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan guna dimanfaatkan untuk menunjang aktivitas hidup manusia. Salah satu sumber energi yang saat ini banyak mendapatkan perhatian adalah pemanfaatan potensi energi air untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) karena pembangkit ini memiliki banyak kelebihan diantaranya konstruksi yang sederhana dan murah, andal dan memiliki usia pemakaian yang relatif panjang, sehingga PLTMH banyak dipilih untuk diterapkan di daerah-daerah pedesaan yang memiliki potensi sumber daya air dan belum terjangkau oleh jaringan listrik.

PLTMH biasanya merupakan pembangkit listrik yang terpisah (tidak diintegrasikan dengan pembangkit lain), oleh karena itu permasalahan utama dari PLTMH adalah ketika terjadi perubahan beban, maka secara langsung akan berpengaruh terhadap perubahan frekuensi dan tegangan generator. Agar frekuensi dan tegangan generator tetap stabil saat terjadi perubahan beban, maka diperlukan sistem pengendalian kecepatan pada turbin dan generator

Ada dua jenis sistem pengendalian kecepatan yang digunakan pada PLTMH yaitu sistem pengendalian governor dan *electronic load controller* (ELC). Sistem pengendalian governor merupakan sistem pengendalian aliran air yang masuk kedalam turbin sedemikian rupa sehingga kecepatan putaran turbin terjaga konstan saat terjadi fluktuasi perubahan beban generator, sehingga tegangan dan frekuensi tetap terjaga stabil. Pada sistem pengendalian governor dilakukan dengan cara mengatur posisi *injector* agar jumlah aliran air yang masuk ke turbin dapat diatur sesuai dengan perubahan beban pada generator, sehingga kecepatan turbin dan generator tetap terjaga konstan.

Pengaturan *injector* pada turbin air menggunakan motor servo yang dikendalikan oleh kontroler. Pemakaian sistem pengendalian governor pada PLTMH memerlukan biaya yang relatif tinggi dan memiliki respon yang cenderung lambat terutama saat terjadi perubahan beban secara mendadak. Dewasa ini sistem pengendalian ELC banyak digunakan pada PLTMH karena memiliki beberapa kelebihan [5] yaitu : konstruksi ELC lebih sederhana, ringan, murah, keandalan tinggi, biaya pemeliharaan murah, mudah dioperasikan, tidak menimbulkan *hammer* saat terjadi perubahan beban, dan tidak memerlukan governor sehingga harga turbin menjadi murah. Prinsip pengendalian ELC berbeda dengan prinsip pengendalian governor, jika pengendalian governor ditujukan pada sistem turbin air dengan mengatur jumlah debit air yang masuk ke turbin, maka sistem pengendalian ELC ditujukan pada pengaturan beban pada generator.

Pada prinsipnya sistem kendali ELC adalah mengatur sistem pembebanan generator sedemikian rupa sehingga daya keluaran generator tetap konstan saat terjadi perubahan beban disisi konsumen. Agar daya keluaran generator tetap konstan maka diperlukan beban tambahan yang dikenal sebagai beban semu (*dummy / ballast*).



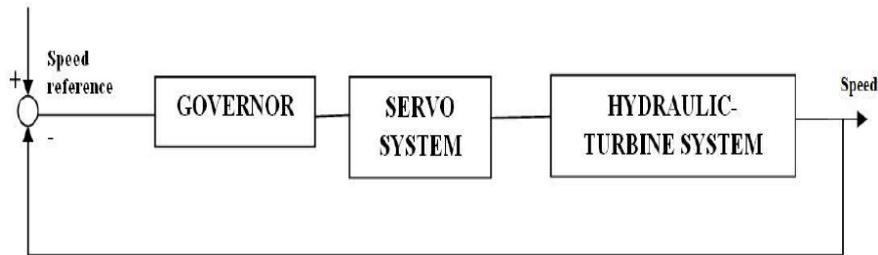
Gambar 1. Sistem pengendalian electronic load controller pada PLTMH

Pada saat terjadi pengurangan beban konsumen maka kelebihan daya generator akan dialihkan (disipasikan) ke beban semu, begitu pula sebaliknya ketika terjadi penambahan beban konsumen maka besarnya daya yang disipasikan ke beban semu akan dikurangi, dengan demikian daya keluaran generator tetap terjaga konstan. Beban semu biasanya berupa elemen – elemen *heater* yang diletakkan didekat panel kontrol dalam *power house* yang mana pembebanannya diatur oleh

ELC sedemikian rupa sehingga daya keluaran generator tetap terjaga konstan. Kekurangan dari sistem pengendalian ini adalah adanya daya yang terbuang pada beban semu (rugi-rugi daya), dan memerlukan jumlah debit air yang masuk ke turbin tetap konstan meskipun terjadi perubahan beban konsumen, sehingga pemakaian energi air menjadi tidak efisien. Dalam sistem kendali ELC terdapat beberapa metode untuk mengatur besarnya daya yang harus disipasikan ke beban semu yaitu antara lain metode *binary dummy load controller*, *phase angle control* dan *pulse width modulatio* (PWM).

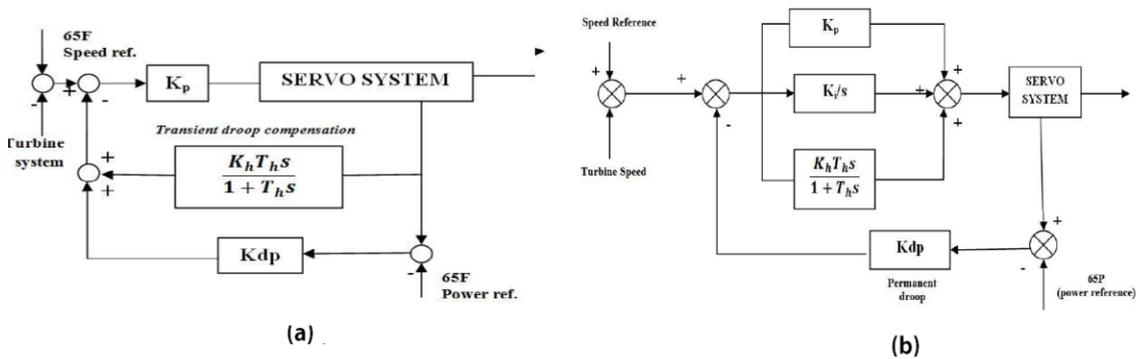
2. KAJIAN LITERATUR

Sistem kendali governor pada PLTMH bertujuan untuk mengatur jumlah aliran air yang masuk ke turbin agar putaran turbin dan generator tetap konstan saat terjadi perubahan beban. Secara konvensional terdapat beberapa cara pengendalian governor seperti Kendali *Proportional Integral* (PI), Kendali *Proportional Derivative* (PD) dan Kendali *Proportional Integral Derivative* (PID). Komponen-komponen sistem kendali governor diperlihatkan dalam gambar 2 dibawah ini.



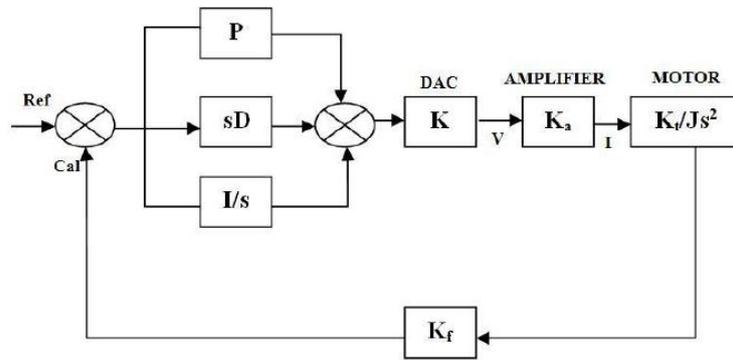
Gambar 2 blok diagram sistem kendali governor

Roshni Bhoi dan Dr. S.M. Ali [1], membandingkan unjuk kerja PD controller dan PID controller untuk pengaturan governor, karena PI controller sendiri dinilai memiliki efek negatif terhadap perubahan kecepatan. Penelitian dilakukan melalui pemodelan sistem kendali PD yang diperlihatkan pada gambar 3(a) dan PID pada gambar 3(b) dibawah ini.



Gambar 3 blok diagram model sistem kendali (a) PD dan (b) PID

Sistem kendali PD menggunakan dua tipe kendali untuk mendeteksi kesalahan yaitu kendali P yang memberikan reaksi cepat terhadap tingkat kesalahan dengan menghitung nilai kesalahan dan menghasilkan aksi kontrol yang sebanding dengan masukan sinyal kesalahan. Sementara Kendali D bereaksi terhadap masukan sinyal kesalahan dan menghasilkan sinyal kendali terhadap laju perubahan dan meningkatkan konstanta proporsionalitas untuk menjaga batas kestabilan. Untuk meningkatkan kecepatan respon dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kendali PID dimana penambahan kendali I berguna untuk memperkecil nilai kesalahan. Keluaran dari sistem kendali ini digunakan sebagai masukan bagi motor servo yang akan menggerakkan sistem hidrolik turbin. Sistem servo terdiri atas PID controller, DAC, amplifier, motor servo, dan sensor posisi. Model sistem servo diperlihatkan dalam gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 blok diagram model sistem servo

Untuk menguji unjuk kerja kedua sistem kendali tersebut diatas dilakukan simulasi dengan data-data digunakan seperti pada tabel 1 s/d 3.

Tabel 1 kapasitas sistem

Governor	MVA	MW
PID	265.0	250
PD	50.0	47.2

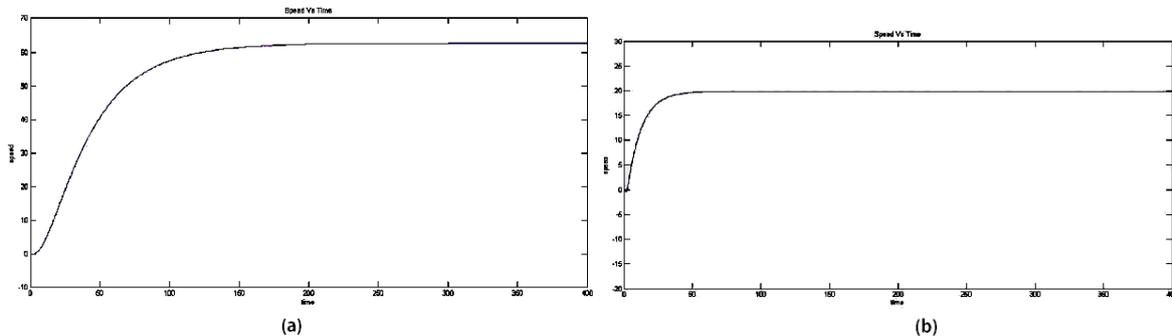
Tabel 2 konstanta kendali PID dan PD

Governor	K_p	K_i	K_h	T_h	K_{dp}
PID	6.0	10.0	0.01	0.01	0.05
PD	200.0	0.0	0.05	5.0	0.055

Tabel 3 konstanta sistem servo

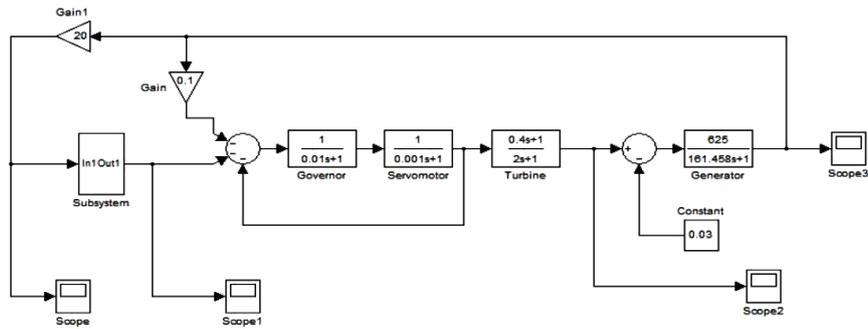
K_p	K_d	K_i	K	K_a	K_t	J	K_f
25	0.11	1.2	0.0488	0.5	0.1	0.0004	650

Berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem kendali PID memiliki respon yang lebih cepat dalam mencapai kestabilan dibandingkan kendali PD karena adanya penambahan kendali I.

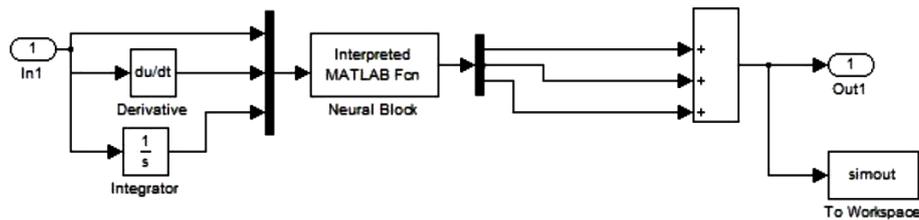


Gambar 5 kurva kecepatan terhadap waktu : (a) kendali PD (b) kendali PID

Thamilmaran A, Vijayapriya P, dan Bakkiya Lakshmi S [2], merancang sistem kendali PID governor pada PLTMH berbasis jaringan syaraf tiruan (*neural network*) karena sistem kendali ini dinilai dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan pada sistem, sehingga lebih efektif dan mampu merespon lebih cepat saat terjadi perubahan beban. Jaringan syaraf tiruan dibangun berdasarkan *Brandt-Lin Algorithm* yang memungkinkan kontroler dapat beradaptasi secara efektif terhadap perubahan sistem. Tujuan dari aplikasi jaringan syaraf tiruan ini adalah untuk mengoptimalkan kendali PID agar meniadakan kesalahan *steady state*. Model sistem kendali ini disimulasikan melalui matlab simulink seperti diperlihatkan dalam gambar 6 dibawah ini.

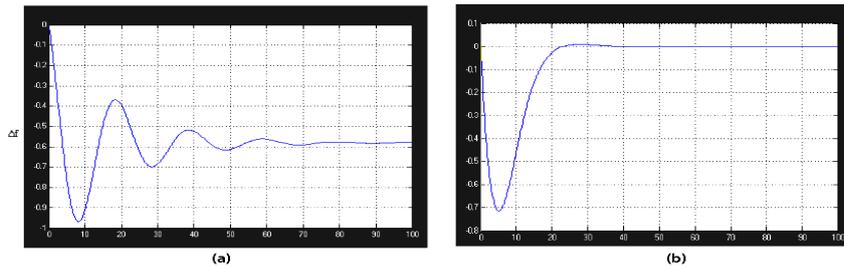


Gambar 6 model simulink pembangkit hidro



Gambar 7 model simulink sub system pembangkit hidro

Berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem kendali ini mampu menjaga kestabilannya secara cepat ketika terjadi perubahan frekuensi pada sistem.



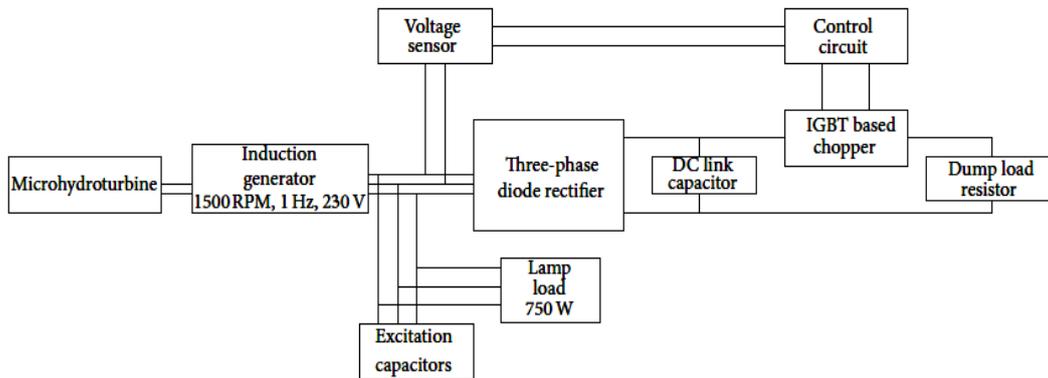
Gambar 8 karakteristik saat perubahan frekuensi : (a) tanpa kendali (b) dengan kendali

Clark Darwin M. Gozon, Reuel C. Pallugna dan Rojien V. Morcilla [3] menganalisis empat metode switching berbeda pada sistem kendali ELC PLTMH untuk mengetahui tingkat harmonik distorsi pada masing – masing metode tersebut. Keempat metode switching tersebut adalah *Binary dummy load controller (BDLC)*, *Phase angle control (PAC)*, dan *Pulse wide modulation (PWM)*. Pada sistem BLDC beban semu terdiri dari sejumlah resistans yang masing – masing dihubungkan secara paralel melalui rangkaian switching yang terpisah satu sama lainnya. Sistem kontrol pada rangkaian switching dilakukan melalui rangkaian penyulutan thyristor (*trigger circuit*) yang bekerja melalui sistem on-off berdasarkan adanya perubahan beban pada sisi konsumen. Sistem kendali ELC dengan PAC dilakukan dengan mengendalikan jumlah daya yang didisipasikan ke beban semu melalui pengaturan sudut penyalaan thyristor, sedangkan sistem kendali ELC dengan PWM dilakukan dengan mengendalikan jumlah daya yang disipasikan ke beban semu melalui pengaturan sudut penyalaan thyristor dengan sistem PWM. Berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem kendali ELC dengan metode BDLC memiliki Total Harmonic Distortion (THD) yang paling rendah yaitu 9%, sedangkan melalui metode PAC memiliki THD lebih tinggi yaitu 15% sedangkan melalui teknik PWM memiliki THD yang tertinggi yaitu 33%. Pada sistem BLDC memiliki THD yang rendah karena thyristor hanya digunakan untuk menghubungkan atau melepaskan satu atau beberapa beban semu saja, sesuai dengan besarnya perubahan beban disisi konsumen. Pada sistem PAC dan PWM, thyristor digunakan untuk mengatur besarnya daya yang disipasikan kekonsumen, sehingga menimbulkan harmonik yang tinggi.

Tabel 4. Hasil perbandingan THD pada sistem switching ELC

	BDLC	PAC	PWM
Settling time	~2.5sec	~2.5sec	~2.5sec
Max. THD	9%	15%	33%
Line voltage wave Form	Magnitudes are uniform	Unequal and distorted	Uniform and peaks are flatted
RMS voltage fluctuations	15V	25V	3.5V
Average Frequency	59.43Hz	60.29Hz	59.97 Hz

C. Kathirvel, K.Porkumaran, dan S. Jaganathan [4], merancang sistem kendali PLTMH untuk daerah pedesaan, oleh karena itu digunakan generator induksi dan sistem kendali ELC agar biaya investasi menjadi murah. Dalam sistem ini diperlukan kapasitor untuk eksitasi generator induksi dan motor diputar diatas kecepatan sinkronnya. Blok diagram sistem kendali ini diperlihatkan dalam gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9 blok diagram sistem kendali ELC pada PLTMH dengan generator induksi

Rangkaian kendali ELC terdiri atas penyearah dioda 3 fasa yang terhubung dengan beban semu (berupa resistor) melalui rangkaian IGBT. Aktivasi IGBT dilakukan dengan memberikan pulsa yang dibangkitkan oleh rangkaian kontrol berdasarkan masukan dari tegangan generator. Apabila terjadi perubahan beban disisi konsumen baik berupa penambahan atau pengurangan beban, maka akan berpengaruh terhadap perubahan tegangan keluaran generator, maka agar daya yang dibangkitkan oleh generator tetap stabil, kelebihan daya akibat pengurangan beban disisi konsumen akan dilimpahkan atau disipasikan kebeban semu, sebaliknya jika terjadi penambahan beban disisi konsumen maka beban semu akan dikurangi. Pengaturan pembebanan pada beban semu ini diatur dengan membangkitkan pulsa pada unit rangkaian kontrol untuk menyulut (*trigger*) IGBT sedemikian rupa sehingga besarnya pembebanan semu selaras dengan perubahan pembebanan disisi konsumen.

$$P_G = P_c + P_D \tag{1}$$

$$P_D = P_G - P_c \tag{2}$$

Dengan :

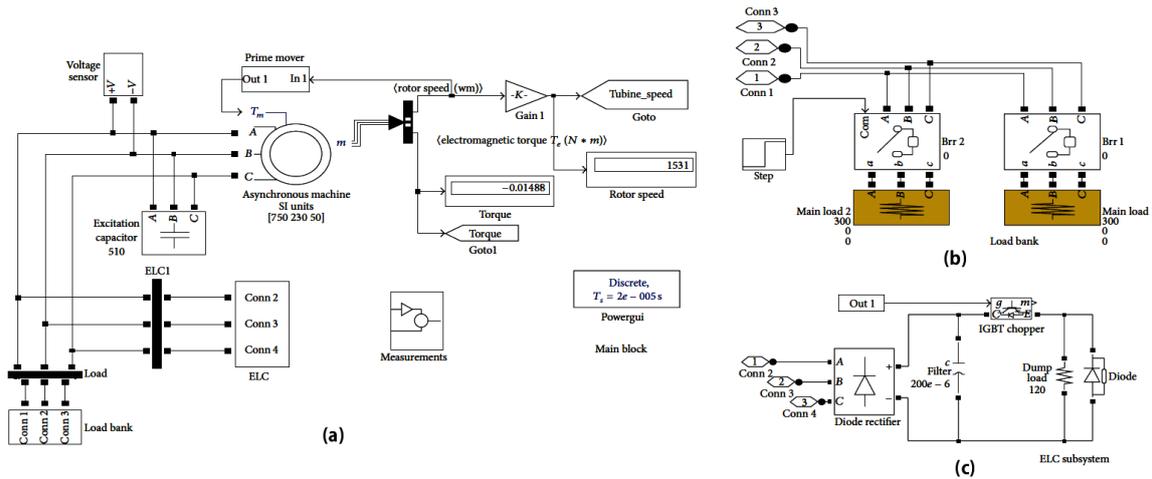
P_G = Daya yang diproduksi oleh generator

P_C = Daya disisi konsumen

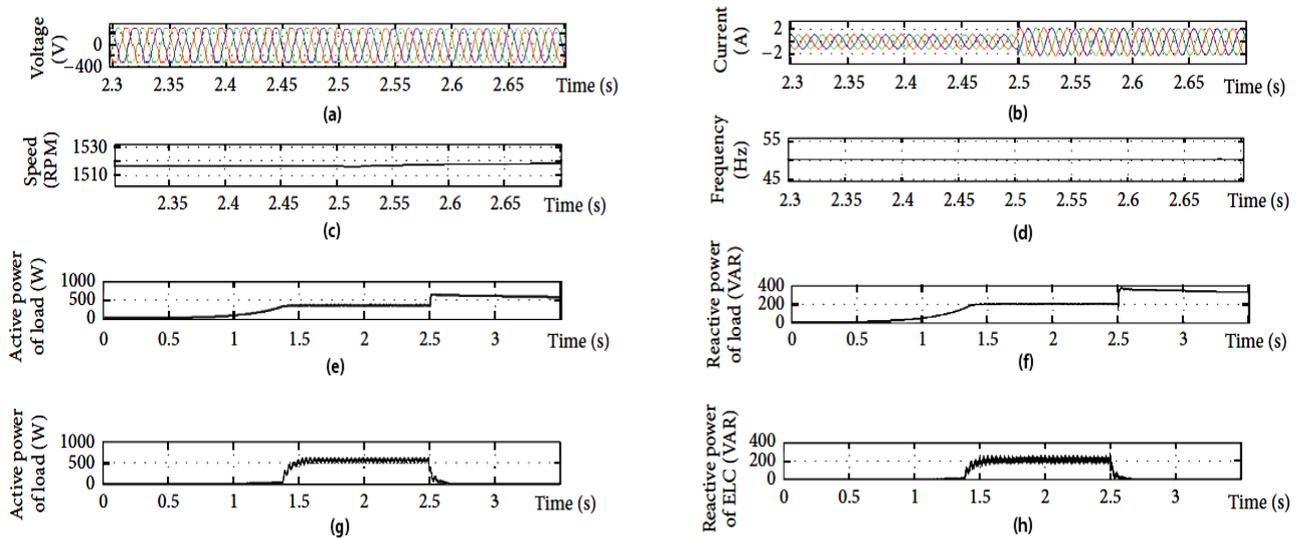
P_D = Daya yang disipasikan pada beban semu

Untuk mengetahui unjuk kerja sistem ELC digunakan model PLTMH dengan matlab simulink seperti ditunjukkan dalam gambar 10, sedangkan hasil simulasi diperlihatkan pada gambar 11 dibawah ini.

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa saat terjadinya perubahan beban maka generator induksi mampu mempertahankan kecepatan putarannya sehingga akan mengakibatkan tegangan dan frekuensi tetap terjaga konstan.



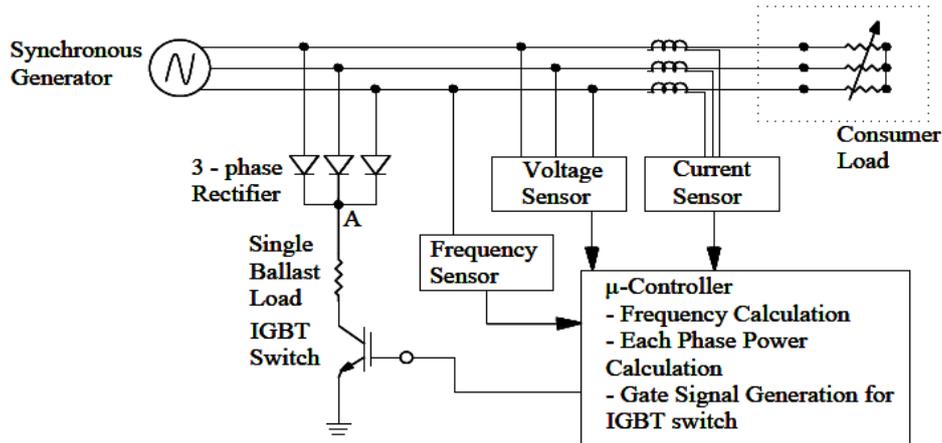
Gambar 10 model simulasi matlab : (a) blok utama sistem , (b) beban *semu*, (c) rangkaian ELC



Gambar 11 Hasil simulasi unjuk kerja berdasarkan perubahan beban konsumen
 a. Tegangan generator, b. Arus generator, c. Kecepatan generator, d. Frekuensi generator
 e. Daya aktif konsumen, f. Daya reaktif konsumen, g. Daya aktif beban semu, h. Daya reaktif beban semu

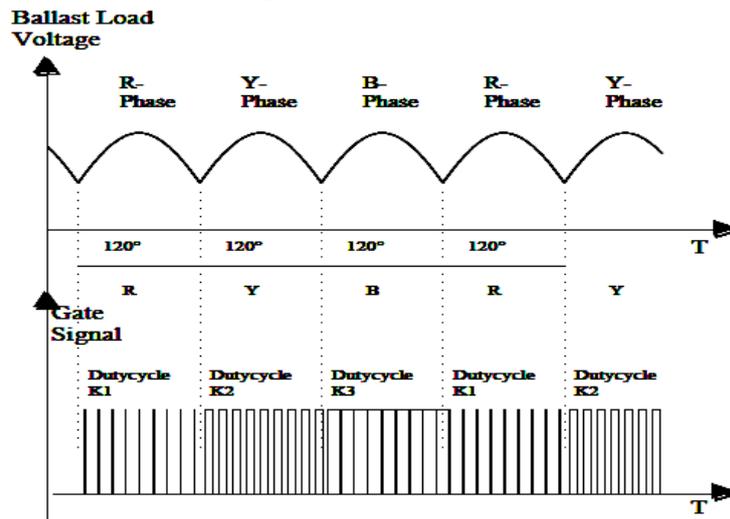
Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa kenaikan arus beban konsumen rendah maka daya beban juga rendah, akibatnya daya yang disipasikan ke beban semu menjadi tinggi, namun sebaliknya ketika beban konsumen mengalami peningkatan, maka daya yang disipasikan ke beban semu menjadi turun, meskipun demikian daya keluaran generator tetap konstan , sehingga baik frekuensi maupun tegangan keluar generator tetap terjaga konstan.

Rajendra Adhikari, Rojan Bhattarai dan Prof. Indraman Tamrakar [5] menyajikan desain sistem kendali ELC yang sederhana pada PLTMH dengan generator sinkron dan memakai sistem yang terdiri dari satu beban semu dan satu buah perangkat *switching* elektronika daya seperti diperlihatkan dalam gambar 12. Beban semu merupakan beban dc yang disuplai dari keluaran generator sinkron 3 fasa melalui penyearah setengah gelombang 3 fasa (*3 phase diode rectifier*). Pensaklaran beban semu dan besarnya daya yang didisipasikan ke beban *semu* akibat perubahan beban dikendalikan melalui pengaturan siklus kerja (*duty cycle*) IGBT yang dikendalikan berdasarkan prinsip keseimbangan arus pada terminal generator.



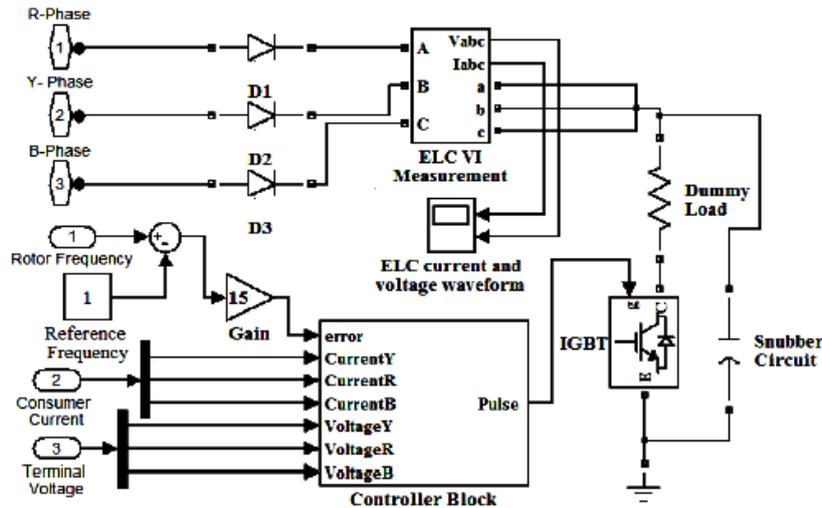
Gambar 12 Skema sistem kendali ELC dengan generator sinkron

Keluaran dari penyearah 3 fasa membentuk gelombang dc dengan perioda konduksi 120° pada masing-masing fasa, dengan demikian untuk mengatur daya yang didisipasikan ke beban *semu* maka diperlukan pengaturan siklus kerja IGBT selama perioda konduksi masing – masing fasa tersebut sedemikian rupa sehingga arus generator pada masing-masing fasa seimbang. Pada gambar dibawah ini memperlihatkan bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah 3 fasa dan siklus kerja gate IGBT yang berbeda-beda untuk setiap fasa.



Gambar 13 bentuk tegangan keluaran penyearah dan siklus kerja gate IGBT untuk mengatur daya pada beban semu (ballast)

Untuk mengetahui kinerja dari desain sistem kendali ini, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan simulik matlab dengan rangkaian diperlihatkan dalam gambar 14. Skenario simulasi dilakukan dalam beberapa perubahan kondisi beban konsumen seperti diperlihatkan dalam tabel 5.



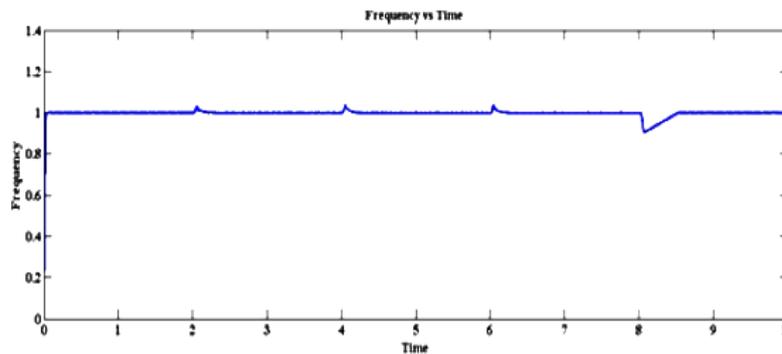
Gambar 14 model sistem kendali dengan simulink matlab

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem kendali ini dapat mengatur arus keluaran generator mendekati keseimbangan (tabel 5) dengan demikian dapat mengatasi masalah *overload* akibat pembebanan yang tidak seimbang.

Tabel 5 Hasil simulasi terhadap beberapa kondisi pembebanan

Current (RMS Value)	Condition I (0-2) & (8-10) seconds			Condition II (2-4) seconds			Condition III (4-6) seconds			Condition IV (6-8) seconds		
	R	Y	B	R	Y	B	R	Y	B	R	Y	B
Consumer Current	19.47	19.47	19.47	19.47	19.47	0	19.47	0	0	0	0	0
Dummy Current	1.10	1.10	1.10	6.176	6.53	24.11	8.9	29.14	23.92	29.95	29.95	29.95
Terminal Current	19.9	19.9	19.9	22.58	22.9	24.11	25.74	29.14	23.92	29.95	29.95	29.95

Respon sistem kendali terhadap frekuensi akibat adanya perubahan beban sesuai dengan skenario diatas menunjukkan sistem dapat merespon secara cepat perubahan frekuensi secara cepat sehingga frekuensi dapat menuju kestabilannya dalam waktu yang cepat seperti diperlihatkan dalam gambar 15 dibawah ini.

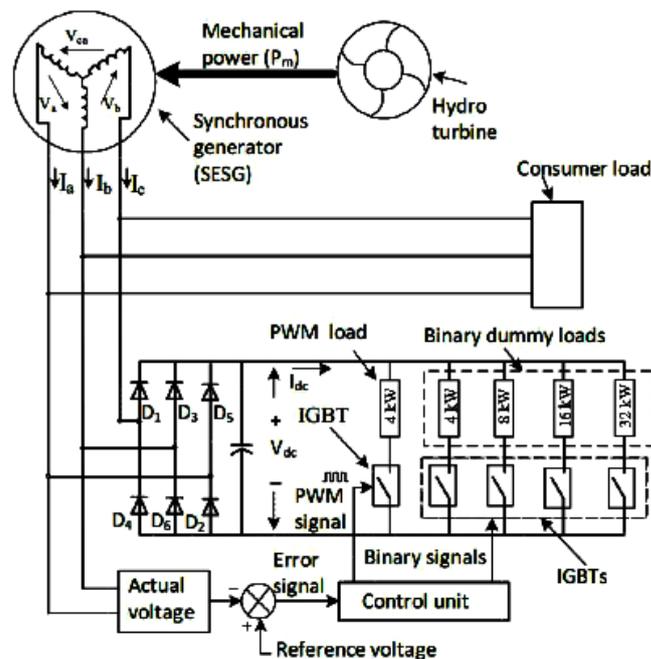


Gambar 15 respon sistem terhadap frekuensi akibat perubahan pembebanan disisi konsumen

Penggunaan ELC berbasis elektronika daya bertujuan untuk meningkatkan respon sistem ketika terjadi perubahan beban, namun disisi lain akan menimbulkan harmonik yang tinggi akibat proses *switching* peralatan elektronika daya, oleh karena itu perlu dirancang sistem kendali ELC yang cepat dan menghasilkan harmonik yang rendah.

Nan Win Aung dan Aung Ze Ya [6] menyajikan sistem kendali ELC pada PLTMH dengan menggunakan kombinasi gabungan dua buah metode sistem pengaturan beban semu yaitu sistem *Pulse Width Modulation (PWM) load* dan *binary dummy load*, dengan tujuan untuk mengurangi harmonik namun memiliki respon sistem yang cepat. Pada sistem kendali ini keluaran generator terdiri atas beban konsumen dan beban semu yang terbagi atas beban semu PWM dan beban semu biner. Dalam sistem kendali ini rangkaian penyearah gelombang penuh 3 fasa digunakan untuk mengubah tegangan arus bolak balik generator menjadi tegangan dc gelombang penuh yang dihubungkan dengan beban semu. Beban semu biner terdiri dari sejumlah resistans yang masing – masing berbeda nilai tahanannya, dan diaktifkan masing – masing oleh IGBT yang difungsikan sebagai saklar on – off, sementara beban semu PWM merupakan satu buah resistans yang diaktifasi IGBT oleh sinyal PWM melalui perhitungan siklus kerja (*duty cycle*) berdasarkan jangkauan (*range*) beban PWM dan resistansinya.

Apabila terjadi perubahan frekuensi akibat adanya perubahan beban, maka akan dibangkitkan sinyal *error*, yang mana sinyal ini merupakan masukan bagi unit kendali untuk mengatur pembagian daya yang akan didisipasikan baik untuk beban semu biner maupun beban semu PWM, oleh karena itu diperlukan skenario untuk pendistribusian daya yang tidak terpakai dari generator ke beban semu ini. Pada tabel 6 memperlihatkan contoh pembagian beban *semu* PWM 4 kW, yang dapat dibagi menjadi beberapa bagian dengan masing-masing bagian dihitung siklus kerjanya (*duty cycle*) yang digunakan untuk mengaktifasikan IGBT pada beban semu PWM. Pada tabel 5 memperlihatkan perhitungan siklus kerja IGBT untuk beban semu PWM 4 kW dengan range 400 W, sedangkan tabel 7 memperlihatkan contoh pembagian daya yang disipasikan pada beban semu biner dan PWM



Gambar 16 Desain sistem kendali ELC kombinasi PWM load dan binary semu load

Tabel 6 Perhitungan siklus kerja beban semu PWM 4 kW

P_L (W)	$V_o = \sqrt{P_L R_L}$ (V)	$I_o = V_o / R_L$ (A)	Duty Cycle $D = V_o / V_i$
400	188	2.13	0.31
800	265	3.00	0.45
1200	325	3.68	0.55
1600	375	4.25	0.63
2000	420	4.76	0.71
2400	460	5.22	0.77
2800	497	5.63	0.84
3200	531	6.02	0.89
3600	563	6.38	0.95
4000	594	6.73	1

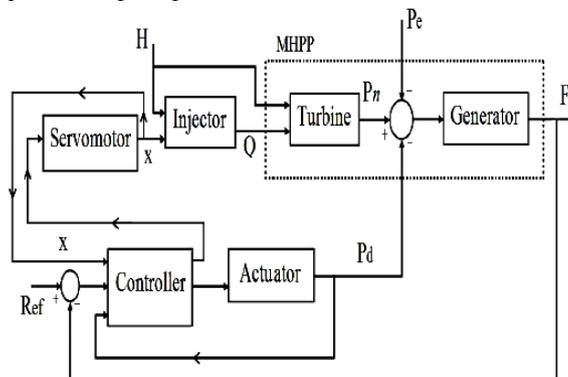
Tabel 7 Pembagian daya yang disipasikan pada beban semu

Beban Konsumen P_C (kW)	Beban Total Dummy $P_D = P_B + P_{PWM}$ (kW)	Beban Dummy Biner P_B (kW)	Status beban Dummy Biner (32, 16, 8, 4)	Beban Dummy PWM P_{PWM} (kW)	Siklus Kerja PWM D (%)
60	0	0	0000	0	0
55	5	4	0001	1	0.50
45	15	12	0011	3	0.87
35.5	24.5	24	0110	0.5	0.35
30	30	28	0111	2	0.71
25.5	34.5	32	1000	2.5	0.79
16.5	43.5	40	1010	3.5	0.94
14.5	45.5	44	1011	1.5	0.61
0	60	60	1111	0	0

Sistem pengendalian PLTMH dengan ELC memiliki respon yang lebih cepat dibandingkan dengan pengendalian melalui governor, namun sistem pengendalian ELC memerlukan aliran debit air yang konstan kedalam turbin. agar menjamin generator mampu menghasilkan daya listrik yang konstan. Kendala yang dihadapi dalam sistem pengendalian ELC adalah jika debit air berkurang terutama saat musim kering tiba, maka bagi PLTMH dengan sistem *runoff* akan berdampak langsung pada penurunan kecepatan putaran turbin dan generator, sementara bagi PLTMH dengan sistem *reservoir* akan mengakibatkan pemborosan dalam penggunaan air. Sistem pengaturan governor dapat menimbulkan *hammer* terlebih jika terjadi perubahan beban secara mendadak, namun disini lain sistem pengaturan ini dapat mengatur kebutuhan pemasukan debit air pada turbin sesuai dengan perubahan beban, sehingga generator tidak dioperasikan pada beban nominalnya secara terus menerus, dengan demikian tidak diperlukan beban semu untuk mengalihkan daya listrik yang tidak terpakai oleh konsumen, hal ini berarti dapat menghemat dalam penggunaan air. Mengingat jaringan PLTMH umumnya merupakan sistem grid terisolasi, sehingga pemakaian sistem kendali governor pada PLTMH dapat menimbulkan masalah dalam merespon secara cepat saat terjadi perubahan beban besar secara mendadak.

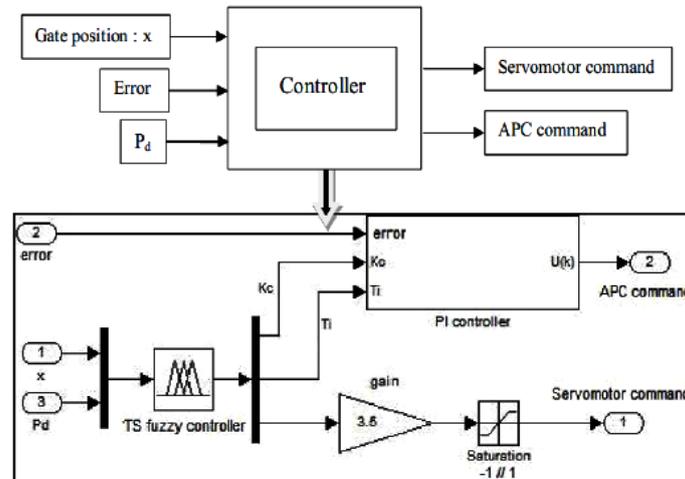
Berdasarkan hal tersebut diatas maka Issam Salhi dan Said Doubabi [7] mempresentasikan kombinasi pengaturan antara ELC dan governor berbasis logika fuzzy (*fuzzy controller*). Pemakaian kendali ELC pada pada sistem ini dimaksud agar sistem dapat merespon secara cepat saat terjadi perubahan beban, sementara itu kendali governor ditujukan agar generator tidak harus dioperasikan pada beban nominalnya secara terus menerus, dengan demikian kebutuhan penggunaan air dapat menjadi lebih hemat.

Penggunaan logika fuzzy dipilih mengingat pada umumnya beban – beban PLTMH bersifat non linier dan berfluktuasi, sehingga diperlukan sistem kendali yang mampu merespon perubahan tersebut dengan cepat. Konsep dasar sistem kendali ini adalah memperbaiki sistem kendali konvensional *PI controller* dengan cara mengkoreksi atau memperbaiki sinyal *gain* P dan I pada *PI controller* setiap terjadi perubahan frekuensi sehingga sistem kendali dapat meresponnya dengan cepat. Sinyal koreksi *gain* ini dihasilkan dari *TS fuzzy controller* berdasarkan masukan posisi *gate* dan daya yang terdisipasi pada beban semu, oleh karena itu logika fuzzy memiliki dua keanggotaan yaitu x (posisi *gate*) dan P_d (daya terdisipasi pada beban semu).



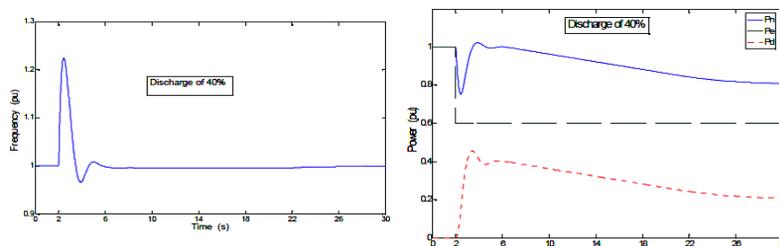
Gambar 17 Strategi sistem pengendalian ELC dan governor berbasis logika fuzzy pada PLTMH

PI Controller mendapat masukan sinyal error dari frekuensi generator dan sinyal *gain* yang dikoreksi oleh fuzzy controller. Keluaran *PI controller* berupa sinyal digunakan untuk mengendalikan motor servo *injector* yang berkaitan dengan penggunaan air dan *analog power control* (APC) untuk mengendalikan disipasi daya pada beban-beban semu.



Gambar 18 Skema TS Fuzzy controller yang mengkoreksi gain pada *PI Controller*

Unjuk kerja sistem kendali ini diuji dengan terjadinya pelepasan mendadak 40% beban konsumen, berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa frekuensi dapat segera stabil dalam waktu yang sangat singkat, dimana kelebihan daya generator didisipasikan ke beban semu dan aliran debit air segera diatur oleh motor servo sehingga daya yang dibangkitkan oleh generator dibawah nilai nominalnya.

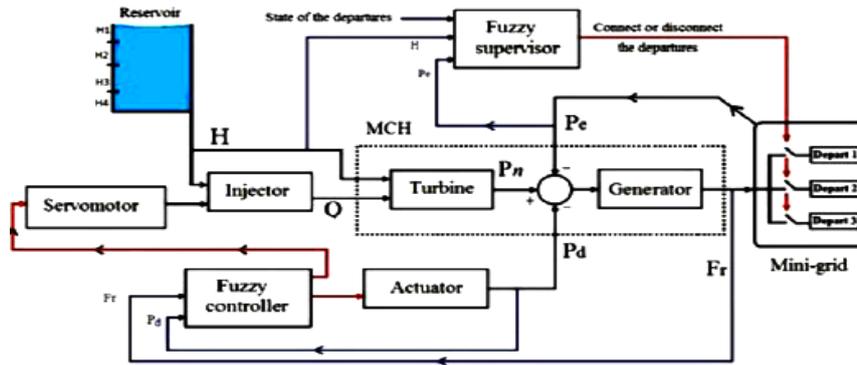


Gambar 19 hasil simulasi unjuk kerja sistem saat terjadi pelepasan beban 40%

Berdasarkan hasil risetnya dapat disimpulkan bahwa ketika terjadi perubahan beban konsumen maka sebagian kelebihan beban generator akan dialihkan ke beban semu sementara itu aliran debit air diatur sedemikian rupa sehingga daya yang dibangkitkan oleh generator dapat dikurangi agar tidak beroperasi pada keadaan nominalnya, dengan demikian akan menghemat pemakaian air.

Suhas V. Kamble dan D.P. Kadam [8] mengembangkan desain sistem pengendalian kombinasi antara governor dan ELC berbasis logika fuzzy dengan menggunakan sistem *fuzzy controller* dan *fuzzy supervisor*.

Fuzzy controller pada intinya bertugas untuk memperbaiki gain P dan I pada *PI Controller* agar respon sistem menjadi lebih cepat. *Fuzzy controller* mendapat masukan dari sinyal *error* frekuensi generator (*fr*) dan daya yang terdisipasi pada beban semu (*Pd*) sedangkan keularannya digunakan untuk mengendalikan besarnya daya yang didisipasikan ke beban semu dan mengatur banyaknya debit air yang masuk keturbine melalui pengendalian motor servo injector.



Gambar 20 skema desain sistem kendali PLTMH dengan fuzzy controller dan supervisor

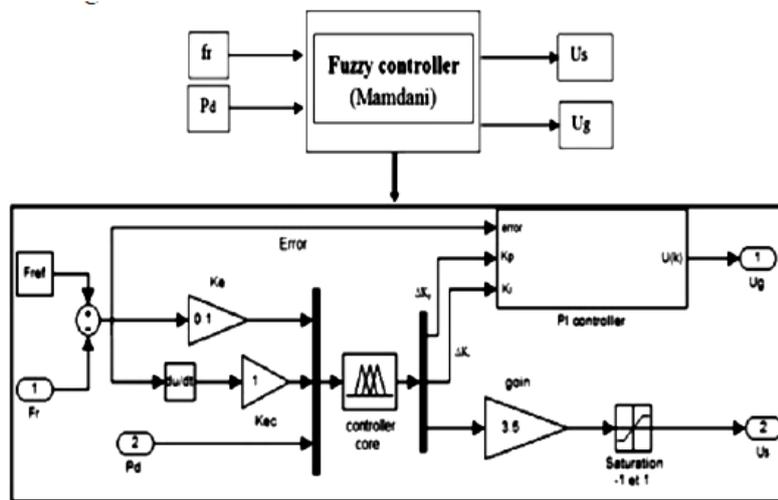
Pada intinya *fuzzy controller* ini berperan mengatur secara langsung konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i) pada *PI controller*. Misalkan K_p^* dan K_i^* adalah nilai referensi konstanta proporsional dan integral dari PI Kontroler, dan Δ_p dan Δ_i adalah sinyal keluaran dari fuzzy controller, maka konstanta P dan I dikoreksi pada PI controller menjadi :

$$K_p = K_p^* + \Delta_p \tag{3}$$

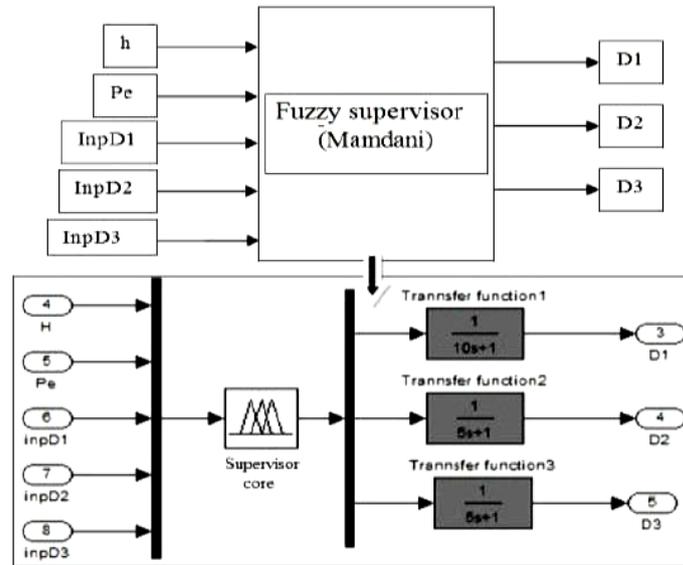
$$K_i = K_i^* + \Delta_i \tag{4}$$

Untuk menjamin agar generator dapat beroperasi dalam semua kondisi terutama berkaitan dengan penurunan debit air pada saat musim kemarau tiba, maka sistem kendali ini dilengkapi oleh *fuzzy supervisor*, yang bertugas untuk mengatur pemakaian beban disisi konsumen dan ketersediaan debit air sedemikian rupa sehingga generator masih mampu beroperasi meskipun debit air mengalami penurunan dari kondisi normalnya. Desain sistem *fuzzy supervisor* ini adalah membagi konsumen listrik menjadi beberapa kelompok berdasarkan tingkat urgensinya. Setiap kelompok dipisahkan salurannya satu dengan yang lain dalam jaringan *minigrid*.

Jika terjadi kondisi dimana debit air berkurang, maka untuk menjaga agar PLTMH masih dapat beroperasi, *fuzzy supervisor* akan memutuskan sambungan pada kelompok konsumen yang dianggap kurang penting dan dihubungkan kembali jika debit air sudah kembali normal. Disamping itu Fuzzy supervisor juga akan mengamati pembebanan generator, jika terjadi pembebanan yang terlalu besar dan melampaui kapasitas generator maka beberapa beban disisi konsumen yang kurang penting akan diputuskan.



Gambar 21 desain rangkaian : Fuzzy controller



Gambar 22 desain rangkaian Fuzzy supervisor

Jadi sistem kendali berbasis fuzzy ini akan memberikan jaminan agar PLTMH dapat beroperasi secara kontinyu untuk berbagai kondisi baik dari sisi pembebanan generator maupun jumlah debit air disisi reservoir.

3. KESIMPULAN

Sistem kendali PLTMH bertujuan untuk menjaga agar frekuensi dan tegangan generator terjaga konstan saat terjadi perubahan beban. Pada intinya terdapat dua cara sistem pengendalian PLTMH yaitu pengendalian governor untuk mengatur jumlah debit air yang masuk ke turbin dan *Electroni Load Controller (ELC)* yaitu sistem pengendalian pada generator agar daya keluaran generator tetap konstan meskipun terjadi fluktuasi perubahan beban disisi konsumen, oleh karena itu pada sistem kendali ini memerlukan beban semu (*dummy load*). Pengaturan dengan sistem governor relatif mahal karena memerlukan perangkat mekanis dan memiliki respon lambat namun disisi lain dapat menghemat kosumsi penggunaan air. Sistem pengendalian ELC lebih murah dan andal karena sistem ini bekerja secara elektronik. Keunggulan utama dari sistem ELC adalah respon yang lebih cepat sehingga cocok digunakan pada PLTMH, mengingat jenis pembangkit ini pada umumnya terisolasi sehingga diperlukan respon yang cepat. Terdapat beberapa metode dalam sistem kendali ELC seperti *binary dump load controller*, *angle phase control* dan *pulse width modulation (PWM)*. Untuk meningkatkan respon sistem dapat diterapkan sistem kendali berbasis logika fuzzy ataupun jaringan syaraf tiruan, karena sistem ini mampu beradaptasi secara cepat. Sistem kendali ELC dengan rangkaian elektronika daya (*power electronics*) ini memiliki beberapa kekurangan yaitu : menimbulkan distorsi pada gelombang tegangan generator berupa harmonik yang mana tingkat THDnya bergantung pada metode yang digunakan untuk switching IGBT, dan adanya energi listrik yang terbuang karena daya yang tidak terpakai oleh konsumen dialihkan ke beban semu, sehingga terjadi pemborosan penggunaan energi air. Pada kasus harmonik penggunaan metode *binary dump load controller* memiliki harmonik yang terendah namun memiliki respon yang rendah, sedangkan penggunaan metode PWM dapat mempercepat respon namun menimbulkan harmonik yang tinggi, oleh karena itu untuk mendapatkan respon yang baik dengan tingkat harmonik yang rendah sistem kombinasi antara *binary dump load controller* dan PWM dapat dipertimbangkan. Pada kasus PLTMH dengan *reservoir* penggunaan sistem kendali ELC akan mengakibatkan pemborosan pemakaian air, oleh karena itu untuk menghemat cadangan air dalam *reservoir* dapat diterapkan sistem kendali kombinasi antara sistem kendali governor dan ELC, dan untuk mempercepat respon sistem dapat diterapkan sistem kendali berbasis logika fuzzy ataupun kendali cerdas lainnya.

REFERENSI

- [1] Roshni Bhoi dan Dr. S.M. Ali, “ Simulation for Speed Control of the Small Hydro Power Plant Using PID Controller “, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering , Vol.3, Issue 4, April 2014. ISSN :2278-8875 (on line), ISSN :2320-3765 (print).
- [2] Thamilmaran A, Vijayapriya P, Bakkiya Lakshmi S., “ Modeling of Micro Hydro Plant and Its Control Based On Neural Network “, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol.02, Issue 5 Aug 2015, e-ISSN : 2395-0056, p-ISSN : 2395-0072.
- [3] Clark Darwin M. Gozon, Reuel C. Pallugna and Rojien V. Morcilla, “ Analisis and Comparison if Switching Techniques of Electronic Load Controller for Micro hydro Power Plant “, Mindano Journal of Science annd Technology, Vol 14 (2016) 120-130
- [4] C. Kathirvel, K.Porkumaran, dan S. Jaganathan, “Design and Implementation of Improved Electronic Load Controller for Self Excited Induction Generator for Rural Electrification “, The Scientific World Journal Volume 2015, Article ID 340619, Hindawi Publishing Corporation.
- [5] Rajendra Adhikari, Rojan Bhattarai dan Prof. Indraman Tamrakar, “ Improved Electronic Load Controller for Three Phase Isolated Micro Hydro Generator “, Fifth International Confrence on Power and Energy System, Kathmandu, Nepal 28 – 30 October 2013.
- [6] Nan Win Aung dan Aung Ze Ya , “ Design of Electronic Load Controller By Using Combination Method for Micro-Hydro Power Plant And Its Control and Monitoring Program Simulation “, Internasional Journal of Electrical Electronics and Data Communication, Vol. 3, Issue 6 June 2015, ISSN 2320-2084.
- [7] Firmansyah. Teguh; Harsojo, Dwi; Fatonah, Feti; Aziz, Abdul. “Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119, 7 MHz dan 123, 2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto”. Jurnal Ilmiah Setru. Vol.4, No. 1, 2015.
- [8] Issam Salhi , Said Doubabi, “ Fuzzy Controller for frequency regulation and water Energy Save on Micro Hydro Power Plabt”, International Renewable Energy Congres-s, November 5-7. 2009.
- [9] Suhas V. Kamble dan D.P. Kadam, “ Design of Fuzzy Controller and Supervisor for Load Frequency Control of Micro Hydro Power Plant”, International Journal of Scientific and Research Publicatiob “ , Vol.4 , Issue 1 January 2014, ISSN 2250-3153.

Implementasi *Fuzzy Logic Controller* untuk Pengendali Kecepatan Roda pada *Mobile Robot* dengan Variasi Nilai Set Point

Ratna Aisuwarya¹, Raihan Annafi¹

¹Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas.

Informasi Artikel

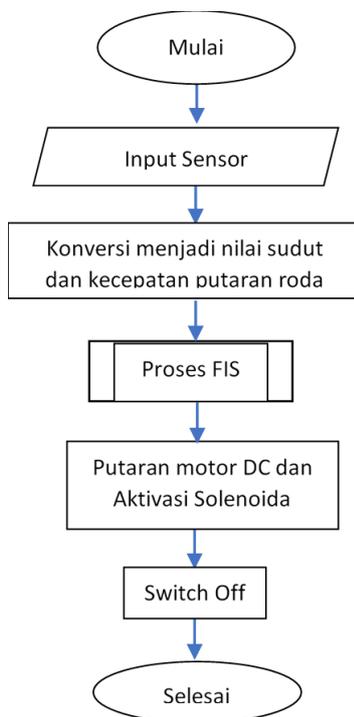
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
aisuwarya@fti.unand.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Mobile robots are usually simulated in various path track, such as climbing, descending, or bumpy trajectories. Motor speed control is required to adjust the robot to follow the track. The aim of this research is to discuss how to control the speed of the motor in order to adjust the speed of the robot wheel in passing through different track hurdles. This research is done by designing fuzzy logic controller in mobile robot in order to control the speed of the robot wheel with some variation of set point value. Testing is performed on a flat and oblique path with a slope of incline and a derivative with a slope angle of -2° to 2° for flat category, slope of derivative with angle > 2 and slope of incline with angle $< -2^\circ$. The robot velocity control works by using MPU6050 which reads the value of the angle of conversion of accelerometer value with gyroscope on the x axis to the angle and IR sensor to read wheel speed (RPM), then controlled motor speed with fuzzy method whose output is PWM value based on condition slope. There are 3 conditions that are "horizontal", "climbing", and "downhill". The horizontal condition is at the angle ≥ -2 and ≤ 2 , the descending condition is at an angle < -2 and the climbing conditions are at an angle of > 2 . The result of the research test shows that the slope limit capable of executing the robot in order to reach the set point value at climbing condition is 15° and -15° in decreasing condition with the declared PWM range. The test results are also influenced by track conditions. The error value obtained is greater if the path track is not flat.

Keywords: Mobile Robot, MPU6050, Fuzzy Logic Controller

Abstrak

Mobile robot biasanya disimulasikan dalam berbagai variasi lintasan, seperti lintasan datar, mendaki, atau menurun. Diperlukan kontrol kecepatan motor untuk menyesuaikan robot mengikuti lintasan. Penelitian ini diperlukan dalam membahas tentang bagaimana mengendalikan kecepatan motor agar dapat menyesuaikan kecepatan roda robot di tanjakan maupun turunan. Penelitian ini dilakukan dengan merancang *fuzzy logic controller* pada *mobile robot* agar dapat mengendalikan kecepatan roda robot dengan beberapa variasi nilai *set point*. Pengujian *mobile robot* ini dilakukan pada lintasan dengan sudut kemiringan -2° sampai 2° untuk kategori datar, kemiringan turunan dengan sudut > 2 dan kemiringan tanjakan dengan sudut $< -2^\circ$. Kontrol kecepatan robot bekerja dengan menggunakan MPU6050 yang membaca nilai sudut hasil konversi nilai *accelerometer* dengan *gyroscope* pada sumbu x menjadi nilai sudut dan sensor IR untuk membaca kecepatan putaran roda (RPM), selanjutnya dilakukan pengendalian kecepatan motor dengan metode *fuzzy* yang outputnya berupa nilai PWM berdasarkan kondisi kemiringan. Ada 3 kondisi yaitu "mendatar", "mendaki", dan "menurun". Kondisi mendatar berada pada sudut $\geq -2^\circ$ dan $\leq 2^\circ$, kondisi menurun berada pada sudut < -2 dan kondisi mendaki berada pada sudut $> 2^\circ$. Hasil pengujian penelitian menunjukkan batas kemiringan yang mampu dijalankan robot agar dapat mencapai nilai set point pada kondisi mendaki adalah 15° dan -15° pada kondisi menurun dengan *range* PWM yang telah dideklarasikan. Hasil pengujian ini juga dipengaruhi oleh kondisi lintasan. Nilai *error* yang diperoleh semakin besar jika lintasan tidak rata.

Kata kunci: Mobile Robot, MPU6050, Fuzzy Logic Controller

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

1. PENDAHULUAN

Teknologi robotik saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Teknologi robot digunakan untuk menggantikan berbagai pekerjaan manusia, seperti pekerjaan yang membutuhkan ketelitian tinggi dan memiliki resiko tinggi terhadap keselamatan manusia, ataupun pekerjaan yang dilakukan berulang – ulang.

Mobile robot merupakan salah satu jenis robot yang banyak digunakan menggantikan pekerjaan manusia tersebut. *Mobile robot* dapat diterapkan dalam beberapa aplikasi seperti pemadam kebakaran, pengelompokkan barang, pengikut objek, dan robot mobil. *Mobile robot* biasanya disimulasikan dalam berbagai variasi lintasan, seperti lintasan mendaki, lintasan menurun, atau lintasan bergelombang. Dalam melewati lintasan tersebut, tentunya diperlukan kontrol kecepatan motor untuk menyesuaikan robot mengikuti lintasan.

Dari penelitian mengenai kontrol kecepatan motor pada *mobile robot* ini sebelumnya telah dilakukan pada penelitian [1], telah menerapkan kontrol kecepatan motor DC pada *mobile robot*. Pada penelitian ini, kontrol PID digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC yang diterapkan pada *mobile robot left tracking*. Pada penelitian [2], kontrol *fuzzy* diterapkan untuk kontrol kecepatan motor dengan tambahan parameter jarak halangan di depan *mobile robot*. Namun pada kedua penelitian tersebut, masih menggunakan lintasan datar dalam pengujiannya. Padahal, pada implementasinya *mobile robot* juga diharapkan dapat melewati berbagai kondisi lintasan seperti tanjakan dan turunan yang membutuhkan kecepatan motor yang berbeda.

Pada penelitian [3], telah berhasil menerapkan robot tank dalam mengatasi beberapa lintasan seperti menanjak, menurun, tidak rata dan bergelombang. Namun karena tidak adanya sistem kontrol kecepatan terhadap perubahan kemiringan lintasan pada robot tersebut, robot sering mengalami masalah saat melewati lintasan tersebut. Sehingga, penelitian ini diperlukan dalam membahas tentang bagaimana mengendalikan kecepatan motor agar dapat menyesuaikan kecepatan roda robot dalam melewati rintangan tanjakan maupun turunan. Sistem kontrol *fuzzy* sugeno digunakan pada penelitian ini karena berdasarkan penelitian [4] metode sugeno menghasilkan nilai *error* yang lebih rendah. Dengan menerapkan sistem kontrol *fuzzy* pada motor DC [5][6][7] pada penelitian ini dapat menghasilkan mekanisme pengereman untuk memperlambat laju *mobile robot*.

2. METODE PENELITIAN

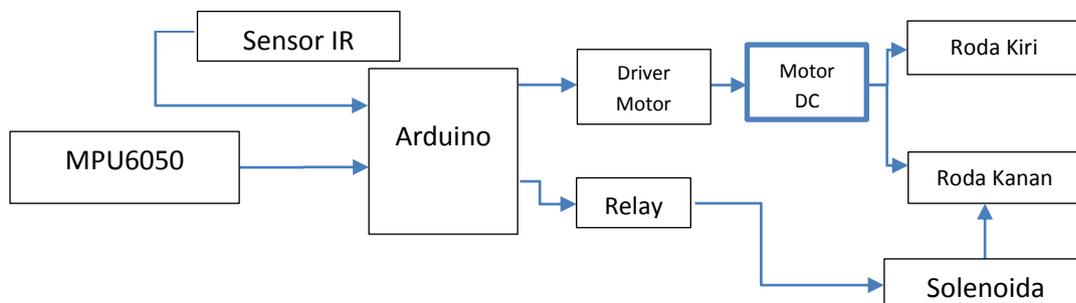
2.1 Analisa Kebutuhan Sistem

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai gambaran umum dari perancangan sistem yang akan dibangun. Berikut kebutuhan fungsional yang harus dimiliki sistem ini :

- Sistem dapat mendeteksi kemiringan robot.
- Sistem dapat mengendalikan kecepatan motor berdasarkan kondisi kemiringan robot.
- Sistem dapat mengaktifkan mekanisme rem untuk memperlambat laju mobil
- Sistem dapat membaca kelajuan robot.

2.2 Rancangan Umum Sistem

Pada bagian ini dijelaskan arsitektur sistem secara keseluruhan. *Mobile robot* yang digunakan telah tertanam komponen-komponen yang tersusun dalam perancangan yang dibangun. Gambar 1 berikut menunjukkan arsitektur yang dimiliki oleh sistem ini :



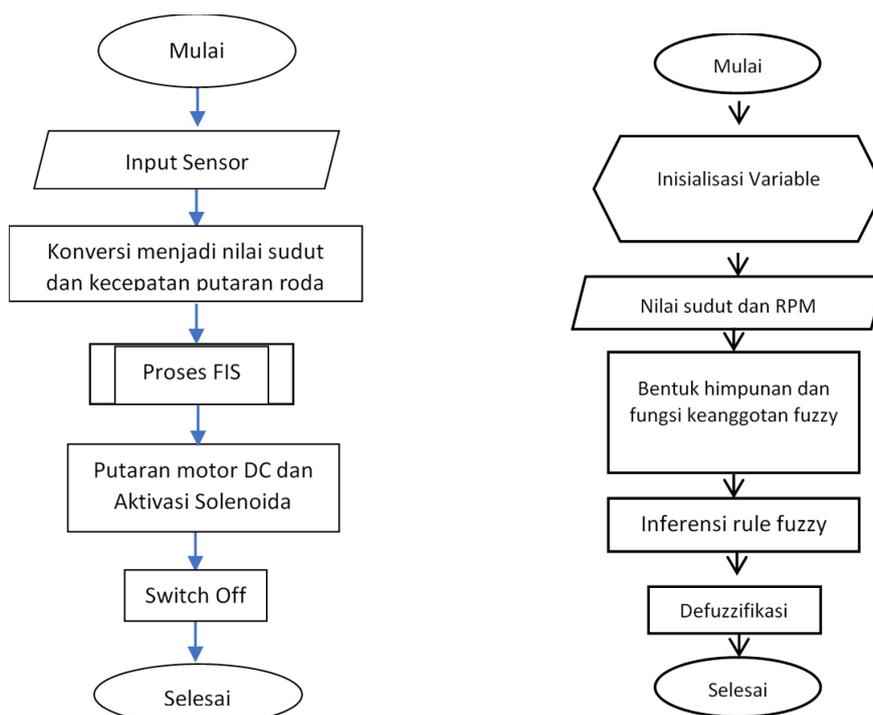
Gambar 1. Rancangan Umum Sistem

Berdasarkan gambar 1, sistem akan dirancang yaitu sistem akan aktif saat sensor MPU6050 mengukur sudut kemiringan robot dan sensor IR mengukur kecepatan putaran roda [8]. Lalu *Arduino* akan memproses data dari sensor tersebut dan dikirimkan outputnya berupa PWM ke driver motor untuk mengendalikan kecepatan motor, serta *Arduino* juga akan mengontrol proses aktivasi *relay* untuk mengaktifkan solenoida sebagai mekanisme rem robot untuk memperlambat laju robot.

Sistem pengontrolan akan aktif saat sensor membaca sudut kemiringan robot. Selanjutnya dilakukan proses fuzzifikasi berdasarkan sudut yang dibaca sensor. Kemudian output berupa pwm diberikan ke driver motor untuk mengontrol motor dimana nantinya robot akan mempertahankan kecepatannya pada set point yang ditetapkan.

Kontrol kecepatan robot bekerja dengan menggunakan MPU6050 yang membaca nilai sudut hasil konversi nilai *accelerometer* dengan *gyroscope* pada sumbu x menjadi nilai sudut dan sensor IR untuk membaca kecepatan putaran roda (RPM) selanjutnya dilakukan pengontrolan kecepatan motor dengan metode *fuzzy* yang outputnya berupa nilai PWM berdasarkan kondisi kemiringan. Ada 3 kondisi yaitu “datar”, “mendaki”, dan “menurun”. Kondisi datar berada pada sudut ≥ -2 dan ≤ 2 , kondisi menurun berada pada sudut < -2 dan kondisi mendaki berada pada sudut > 2 .

Sistem akan menggunakan metode *fuzzy logic control* agar dapat melakukan pengontrolan kecepatan motor berdasarkan kondisi kemiringan robot serta menstabilkan kecepatannya pada set poin masing-masing kondisi. Pada gambar 2 dapat dilihat alur dari program fuzzy logic controller yang dinamakan prosedur Fuzzy Inference System (FIS). Modul FIS digunakan sebagai pusat pengambilan keputusan untuk menentukan pwm yang akan digunakan untuk mengontrol kecepatan motor berdasarkan nilai sudut yang dibaca sensor MPU6050 dan RPM yang dibaca sensor IR. Proses ini dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Perancangan bentuk himpunan dan fungsi keanggotaan *fuzzy* dilakukan pada tahap fuzzifikasi. Selanjutnya dilakukan perancangan aturan *fuzzy* (*rule base fuzzy*) pada tahap inferensi *rule fuzzy*. Setelah itu dilakukan defuzzifikasi untuk menentukan output. Output dari prosedur FIS [9][10] inilah yang akan mempengaruhi PWM untuk mengontrol kecepatan motor DC.

a) Fuzzifikasi

Pada proses fuzzifikasi, nilai tegas (*crisp*) akan dirubah menjadi bentuk variabel linguistik yang berbentuk kurva sebelum diproses pada proses selanjutnya [11]. Jika *crisp* input memiliki derajat keanggotaan 1, maka *crisp* input tersebut sudah jelas termasuk dalam anggota variabel linguistik dari fungsi yang mengenaanya, hal yang sebaliknya akan terjadi jika nilai *crisp* input yang didapat adalah 0

b) Error

Error merupakan hasil yang didapatkan dari selisih antara nilai set poin yang telah ditetapkan sebelumnya dengan kecepatan putaran roda yang terbaca saat ini. Untuk mendapatkan variabel *error* digunakan persamaan:

$$Error = Sp - rpm$$

Keterangan :

$$Sp = \text{Set point}$$

$$rpm = \text{kecepatan putaran roda}(rpm)$$

Nilai *error* dibagi menjadi 5 fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan serta derajat keanggotaan untuk *error* adalah sebagai berikut:

i. *Negative Big* (NB)

Negatif besar yang bernilai < -50

$$\mu_{NB}(de) \begin{cases} 1, & e \leq -100 \\ \frac{(-50 - e)}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq e \leq -50 \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

ii. *Negative Small* (NS)

Negatif kecil yang bernilai > -100 sampai > 0

$$\mu_{NS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - (-100))}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq e \leq -50 \\ \frac{(0 - e)}{(0 - (-50))}, & -50 \leq e \leq 0 \end{cases}$$

iii. *Zero* (Z)

Nol bernilai > -50 sampai < 50

$$\mu_Z(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - (-50))}{(0 - (-50))}, & -50 \leq e \leq 0 \\ \frac{(50 - e)}{(50 - 0)}, & 0 \leq e \leq 50 \end{cases}$$

iv. *Positive Small* (PS)

Positif kecil yang bernilai > 0 sampai 100

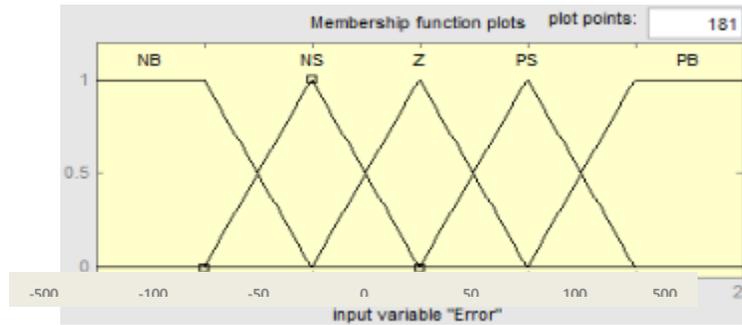
$$\mu_{PS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - 0)}{(50 - 0)}, & 0 \leq e \leq 50 \\ \frac{(100 - e)}{(100 - 50)}, & 50 \leq e \leq 100 \end{cases}$$

v. *Positive Big* (PB)

Positif besar yang bernilai >50

$$\mu_{PB}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(e - 50)}{(100 - 50)}, & 50 \leq e \leq 100 \\ 1, & e \geq 100 \end{cases}$$





Gambar 3. Fungsi Keanggotaan *Error*

c) *Delta error*

$\Delta error$ merupakan selisih antara nilai *error* yang terbaca saat ini dengan nilai *error* yang terbaca sebelumnya. Untuk mendapatkan nilai variabel $\Delta error$ harus diketahui nilai *error* sebelumnya, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan persamaan berikut:

$$\Delta error = e_n - e_{n-1}$$

Keterangan:

e_n = *error* sekarang

e_{n-1} = *error* sebelumnya

Fungsi keanggotaan $\Delta error$ ditentukan dengan melihat perubahan *error* dari yang terkecil hingga *error* terbesar. Selanjutnya nilai $\Delta error$ tersebut dibagi menjadi 5 fungsi keanggotaan seperti fungsi keanggotaan *error*. Fungsi keanggotaan serta derajat keanggotaan untuk $\Delta error$ adalah sebagai berikut :

i. *Negative Big (NB)*

Negatif besar yang bernilai < -50

$$\mu_{NB}(de) \begin{cases} 1, & de \leq -100 \\ \frac{(-50 - de)}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq de \leq -50 \\ 0, & \text{others} \end{cases}$$

ii. *Negative Small (NS)*

Negatif kecil yang bernilai > -100 sampai > 0

$$\mu_{NS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - (-100))}{(-50 - (-100))}, & -100 \leq de \leq -50 \\ \frac{(0 - de)}{(0 - (-50))}, & -50 \leq de \leq 0 \end{cases}$$

iii. *Zero (Z)*

Nol bernilai > -50 sampai < 50

$$\mu_Z(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - (-50))}{(0 - (-50))}, & -50 \leq de \leq 0 \\ \frac{(50 - de)}{(50 - 0)}, & 0 \leq de \leq 50 \end{cases}$$

iv. *Positive Small (PS)*

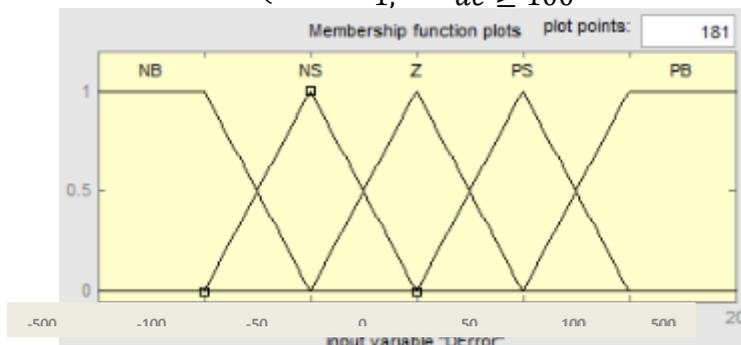
Positif kecil yang bernilai > 0 sampai 100

$$\mu_{PS}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - 0)}{(50 - 0)}, & 0 \leq de \leq 50 \\ \frac{(100 - de)}{(100 - 50)}, & 50 \leq de \leq 100 \end{cases}$$

v. *Positive Big (PB)*

Positif besar yang bernilai >50

$$\mu_{PB}(de) \begin{cases} 0, & \text{others} \\ \frac{(de - 50)}{(100 - 50)}, & 50 \leq de \leq 100 \\ 1, & de \geq 100 \end{cases}$$



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan ΔError

Rule Fuzzy untuk kontrol kecepatan robot diatur agar sesuai dengan kemiringan lintasannya sehingga robot dapat berjalan stabil mengikuti lintasan. Untuk proses pembentukan aturan (rule) ini menggunakan operator “and” untuk mengkombinasikan nilai variabel error untuk nilai derajat kemiringan dengan variable delta error-nya untuk mendapatkan nilai PWM yang diinginkan. Maka didapatkanlah aturan (rule) sebagai tabel 1 berikut:

Tabel 1. Tabel Aturan Fuzzy Sistem Kontrol Kecepatan

DE \ E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	Slow	Slow	Slow	Slow	Sedang
NS	Slow	Slow	Slow	Sedang	Fast
Z	Slow	Slow	Sedang	Fast	Fast
PS	Slow	Sedang	Fast	Fast	Fast
PB	Sedang	Fast	Fast	Fast	Fast

d) Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai crisp tertentu sebagai output [12]. Salah satu metode defuzzifikasi adalah metode COG (Center of Gravity). Nilai keluaran tegas metode COG (Center of Gravity) adalah jumlah dari hasil kali keluaran fuzzy untuk setiap himpunan fuzzy keluaran dengan posisi singleton pada sumbu x setiap himpunan fuzzy keluaran dibagi dengan jumlah keluaran fuzzy untuk setiap himpunan fuzzy keluaran atau dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$COG = \frac{\sum_i(Fuzzy\ Output_i) \times (Posisi\ Singleton\ di\ X\ axis_i)}{\sum_i(Fuzzy\ Output_i)}$$

e) Kelajuan

Setelah mendapatkan kecepatan putaran roda, nilai RPM tersebut dikonversikan ke kelajuan dengan satuan Km/h. Persamaan untuk menghitung kelajuan adalah sebagai berikut :

$$Speed = Perimeter\ of\ wheel * speed\ of\ wheel$$

Keterangan:

Speed = kelajuan (Km/h)

Perimeter = keliling dari roda (km)

Speed of Wheel = Kecepatan Putaran Roda (RPH(Rotation Per Hour))



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi

Tahap implementasi terbagi menjadi dua yaitu implementasi perangkat keras (*hardware*) dan implementasi perangkat lunak (*software*). Pada perangkat keras terdapat Sensor MPU6050 yang digunakan sebagai masukan dari sistem untuk mengetahui sudut kemiringan robot dan sensor IR yang digunakan untuk membaca kecepatan motor robot. Dan driver motor L298n yang menerima PWM dari mikrokontroler untuk mengontrol kecepatan motor robot. Serta *relay* dan *solenoida* yang berfungsi sebagai mekanisme rem agar dapat memperlambat kecepatan robot. Pemasangan perangkat sistem pada *mobile robot* dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Implementasi Sistem pada *Mobile Robot*

Implementasi *software* pada sistem ini menggunakan *Arduino IDE*. Dilakukan implementasi *Fuzzy Inference System (FIS)* pada sistem kontrol. FIS digunakan untuk memproses *input* berupa hasil pembacaan dari sensor untuk mengukur sudut kemiringan robot dan mengeluarkan *output* berupa PWM untuk mengontrol kecepatan robot. Tahap pertama dari FIS yang digunakan pada sistem yaitu *Fuzzifikasi* dengan menggunakan metode Sugeno.

Untuk fungsi keanggotaan sudut terdapat tiga kondisi, yaitu “Menurun”, “Datar”, “Mendaki” yang nantinya akan menentukan kondisi PWM. *Output* dari FIS yaitu PWM untuk mengontrol kecepatan motor robot berdasarkan sudut kemiringan robot. Untuk mekanisme rem akan aktif saat *output* PWM berada pada kondisi “Lambat”. *Output fuzzy* berupa nilai PWM yang nilainya antara 0-255.

3.2 Pengujian

Logika *Fuzzy* digunakan untuk menentukan PWM sebagai kontrol kecepatan robot. Variabel yang digunakan untuk logika *fuzzy* adalah sudut kemiringan robot untuk menentukan kondisi PWM sebagai *output*. Logika *fuzzy* yang diterapkan pada sistem menggunakan metode Sugeno.

Pengujian dilakukan dengan cara menghitung nilai PWM yang dihasilkan oleh perhitungan logika *fuzzy* secara manual dengan hasil nilai PWM yang didapatkan oleh program. Perhitungan ini berguna untuk mengontrol kecepatan motor untuk mencapai set poin kecepatan berdasarkan kondisi sudut. Pengujian logika *fuzzy* dilakukan dengan cara menjalankan robot pada 3 kondisi :

a. Pengujian Robot pada Kondisi Mendatar

Pengujian dilakukan pada saat sensor MPU6050 membaca sudut pada *range* mendatar, yaitu pada sudut 0 sampai 4 derajat. RPM yang terbaca 461 dan set point yang diinginkan yaitu 483.

Berdasarkan konsep logika fuzzy, terlebih dahulu dihitung nilai *error* dan $\Delta error$ dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} error &= set\ point - rpm \\ &= 483 - 461 \end{aligned}$$

$$= 32 \text{ (error termasuk dalam fungsi keanggotaan positif kecil (ps))}$$

$$\Delta error = error - error(n-1)$$

$$= 32 - (50)$$

$$= -18 \text{ (\Delta error termasuk dalam fungsi keanggotaan negatif kecil (ns))}$$

Dari nilai *error* dan $\Delta error$ diatas, didapatkan nilai himpunan keanggotaan untuk masing-masing himpunan keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error :} \quad ps &= 32/50 = 0.84 \\ \text{Zero} &= 50 - 32 / 50 = 0.36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta error: \quad dzero &= -18 + 50 / 50 = 0.64 \\ dns &= 0 - (-18) / 50 = 0.36 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai masing-masing fungsi keanggotaan, selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dengan rule yang telah ditentukan sebelumnya.

1. If *ps* and *dzero* then *fast* (rule 18)

$$\begin{aligned} \alpha_{18} &= \min(0,84, 0,64) = 0,64 \\ z_{18} &= 0,64 \times 160 = 102.4 \end{aligned}$$
2. If *ps* and *dns* then *middle* (rule 17)

$$\begin{aligned} \alpha_{17} &= \min(0,84, 0,36) = 0,36 \\ z_{17} &= 0,36 \times 130 = 46.8 \end{aligned}$$
3. If *zero* and *dzero* then *middle* (rule 13)

$$\begin{aligned} \alpha_{13} &= \min(0.36, 0,64) = 0,36 \\ z_{13} &= 0,36 \times 130 = 46.8 \end{aligned}$$
4. If *zero* and *dns* then *slow* (rule 12)

$$\begin{aligned} \alpha_{12} &= \min(0,36, 0,36) = 0,36 \\ z_{12} &= 0,36 \times 100 = 36 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} COG &= \frac{\sum_i(\text{Fuzzy Output}_i) \times (\text{Posisi Singleton di X axis}_i)}{\sum_i(\text{Fuzzy Output}_i)} \\ &= 102.4+46.8+46.8+36 / 0,64+0,36+0,36+0,36 = 232 / 1.72 = 134.8 \end{aligned}$$

Nilai PWM yang didapatkan dari perhitungan diatas yaitu 134.8. Karena PWM bertipe data integer maka hasil yang didapatkan adalah 134.

b. Pengujian Robot pada Kondisi Menurun

Pengujian dilakukan pada saat sensor MPU6050 membaca sudut pada *range* menurun, yaitu pada sudut > 4 derajat RPM yang terbaca 500 dan set point yang diinginkan yaitu 476. Berdasarkan konsep logika fuzzy, terlebih dahulu dihitung nilai *error* dan $\Delta error$ dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{error} &= \text{set point} - \text{rpm} \\ &= 300 - 276 \\ &= -24 \text{ (error termasuk dalam fungsi keanggotaan negatif kecil (ns))} \\ \Delta \text{error} &= \text{error} - \text{error}(n-1) \\ &= -24 - (-24) \\ &= 0 \text{ (\Delta error termasuk dalam fungsi keanggotaan zero)} \end{aligned}$$

Dari nilai *error* dan $\Delta error$ diatas, didapatkan nilai himpunan keanggotaan untuk masing-masing himpunan keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error :} \quad ns &= -24 + 100 / 50 = 1.52 \\ \text{Zero} &= -24 + 50 / 50 = 0.52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{error:} \quad dps &= 0 - 0 / 50 - 0 = 0 \\ dzero &= 50 - 0 / 50 - 0 = 1 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai masing-masing fungsi keanggotaan, selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dengan rule yang telah ditentukan sebelumnya.

- a) If *ns* and *dps* then *middle* (rule 9)

$$\begin{aligned} \alpha_9 &= \min(1.52, 0) = 0 \\ z_9 &= 0 \times 25 = 0 \end{aligned}$$

- b) If ns and zero then slow (rule 8)
 $\alpha_{17} = \min(1,52, 0) = 0$
 $z_{17} = 0 \times 50 = 0$
- c) If zero and dps then fast (rule 14)
 $\alpha_{13} = \min(0,52, 0) = 0$
 $z_{13} = 0 \times 0 = 0$
- d) If zero and dzero then middle (rule 13)
 $\alpha_{12} = \min(0,52, 1) = 0,52$
 $z_{12} = 0,52 \times 25 = 13$

$$COG = \frac{\sum_i(Fuzzy\ Output_i) \times (Posisi\ Singleton\ di\ X\ axis_i)}{\sum_i(Fuzzy\ Output_i)}$$

$$= 0+0+0+5.2 / 0+0+0+13 = 0.4$$

Nilai PWM yang didapatkan dari perhitungan diatas yaitu 0.4. Karena PWM bertipe data integer maka hasil yang didapatkan adalah 0.

c. Pengujian Robot pada Kondisi Mendaki

Pengujian dilakukan pada saat sensor MPU6050 membaca sudut pada *range* mendaki, yaitu pada sudut < 0 derajat RPM yang terbaca 353 dan set point yang diinginkan yaitu 405. Berdasarkan konsep logika fuzzy, terlebih dahulu dihitung nilai error dan Δerror dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{error} &= \text{set point} - \text{rpm} \\ &= 405 - 353 \\ &= 52 \text{ (error termasuk dalam fungsi keanggotaan positif big (pb))} \\ \Delta\text{error} &= \text{error} - \text{error}(n-1) \\ &= 52 - (48) \\ &= 6 \text{ (}\Delta\text{error termasuk dalam fungsi keanggotaan positif kecil (dps))} \end{aligned}$$

Dari nilai error dan Δerror diatas, didapatkan nilai himpunan keanggotaan untuk masing-masing himpunan keanggotaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Error :} \quad \text{pb} &= 52-50 / 50 = 0.04 \\ \quad \quad \quad \text{ps} &= 100 - 52 / 50 = 0.96 \\ \Delta\text{error: dps} &= 6/50 = 0.12 \\ \quad \quad \quad \text{dzero} &= 50-6 / 50 = 0.88 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai masing-masing fungsi keanggotaan, selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dengan rule yang telah ditentukan sebelumnya.

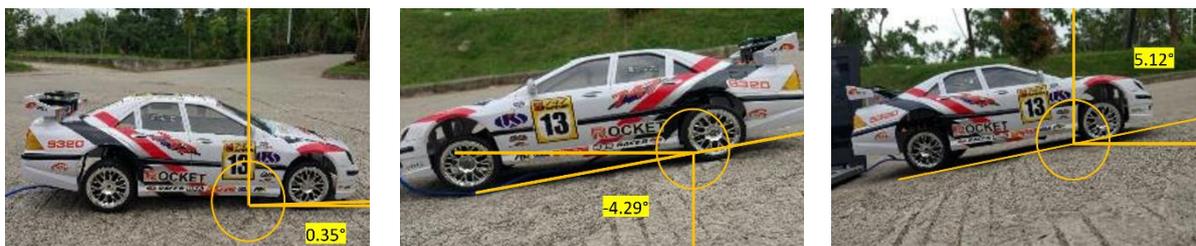
- a) If pb and dps then fast(rule 24)
 $\alpha_{25} = \min(0,04, 0,12) = 0,04$
 $z_{25} = 0,04 \times 255 = 10.2$
- b) If pb and dzero then fast (rule 23)
 $\alpha_{23} = \min(0,04, 0,88) = 0,04$
 $z_{23} = 0,04 \times 255 = 10.2$
- c) If ps and dps then fast (rule 19)
 $\alpha_{19} = \min(0,96, 0,12) = 0,12$
 $z_{19} = 0,12 \times 255 = 30.6$
- d) If ps and dzero then fast (rule 18)
 $\alpha_{18} = \min(0,04, 0,88) = 0,04$
 $z_{18} = 0,04 \times 255 = 10.2$

$$COG = \frac{\sum_i(Fuzzy\ Output_i) \times (Posisi\ Singleton\ di\ X\ axis_i)}{\sum_i(Fuzzy\ Output_i)}$$



$$= 10.2+10.2+30.6+10.2 / 0,04+0,04+0,12+0,04 = 61.2 / 0.24= 255$$

Nilai PWM yang didapatkan dari perhitungan diatas yaitu 255 dengan tipe data integer.



Gambar 6. Variasi Lintasan Pengujian Sistem

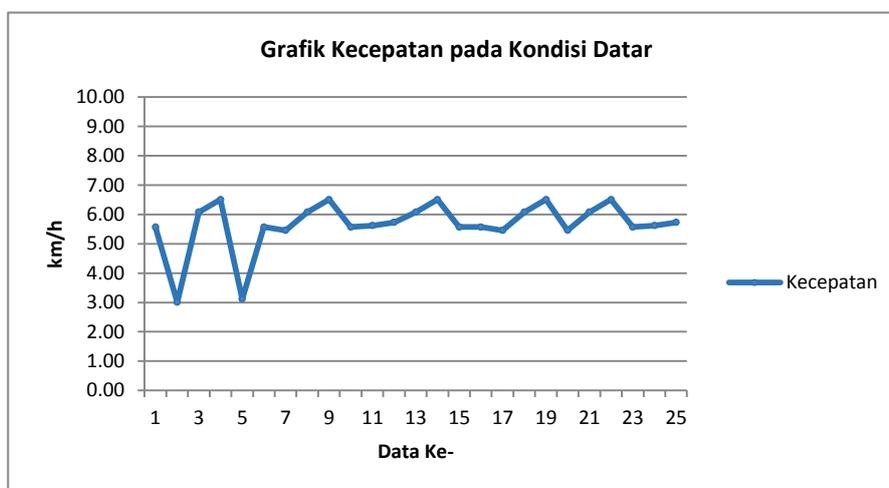
Setelah didapatkan sudut, kecepatan putaran roda, dan PWM, nilai kecepatan putaran roda (RPM) dikonversikan ke kelajuan dengan satuan km/h untuk melihat apakah sistem sudah berjalan dengan semestinya. Pengujian dilakukan di jalanan yang terbuat dari beton, dengan set poin RPM kondisi datar 483, kondisi mendaki 405, dan kondisi menurun 300.

Setelah pengujian, nilai-nilai sudut yang terbaca pada setiap kondisi dimana saat pengujiannya memiliki nilai RPM yang berubah-ubah karena perubahan sudut serta pengaruh lintasan robot diujikan. Untuk nilai PWM, dapat dilihat pada Lampiran 1 bahwa nilai PWM akan semakin besar jika nilai RPM semakin kecil, dan sebaliknya nilai PWM akan semakin kecil jika nilai RPM semakin besar. Karena nilai set point RPM berada diantara RPM yang didapat, otomatis PWM akan dikondisikan agar mencapai kestabilan nilai RPM robot yang ditentukan oleh *fuzzy logic control*.

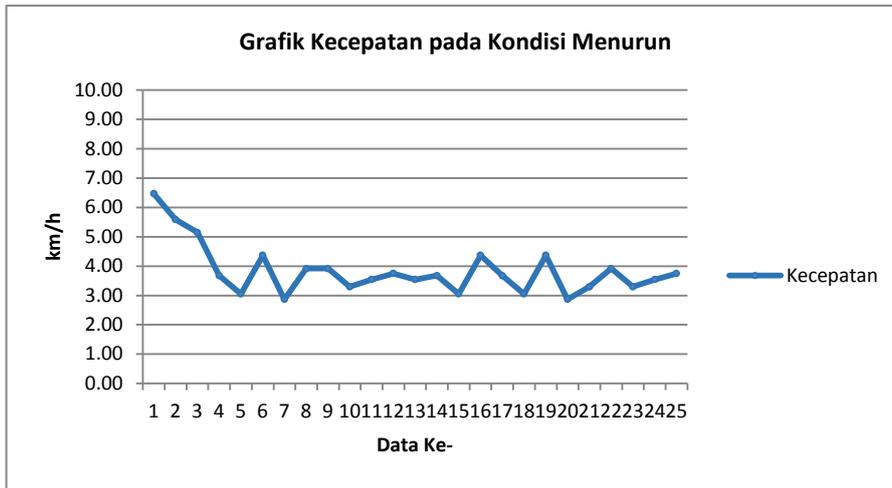
Nilai RPM berubah tidak normal diakibatkan permukaan lintasan yang diujikan tidak rata, mengakibatkan roda mendapatkan gaya gesekan yang berbeda-beda setiap waktunya dan nilai rpm jadi berubah seperti data pada Lampiran 1. Namun nilai kecepatan sebenarnya sudah dapat dikatakan stabil karena kelajuan pada kondisi mendaki berada pada range 4 km/h dan 5 km/h, kelajuan pada kondisi datar berada pada range 5 km/h sampai 6 km/h, dan kelajuan pada kondisi menurun berada pada range 3 km/h sampai 4 km/h.

Dari tabel data pengujian didapatkan kelajuan rata-rata yang didapatkan pada saat kondisi mendaki adalah 4.46 km/h. Kelajuan rata-rata pada saat kondisi datar 5.66 km/h. Dan untuk kelajuan rata-rata pada saat kondisi menurun adalah 3.8 km/h. Namun pada kondisi menurun ada sedikit perbedaan dari kondisi yang lain, dimana saat RPM besar dari setpoint, maka nilai PWM akan semakin besar. Karena pada kondisi ini, putaran motor akan berputar kearah yang berlawanan sehingga dapat memperlambat laju dari robot, serta rem solenoida akan aktif pada kondisi menurun.

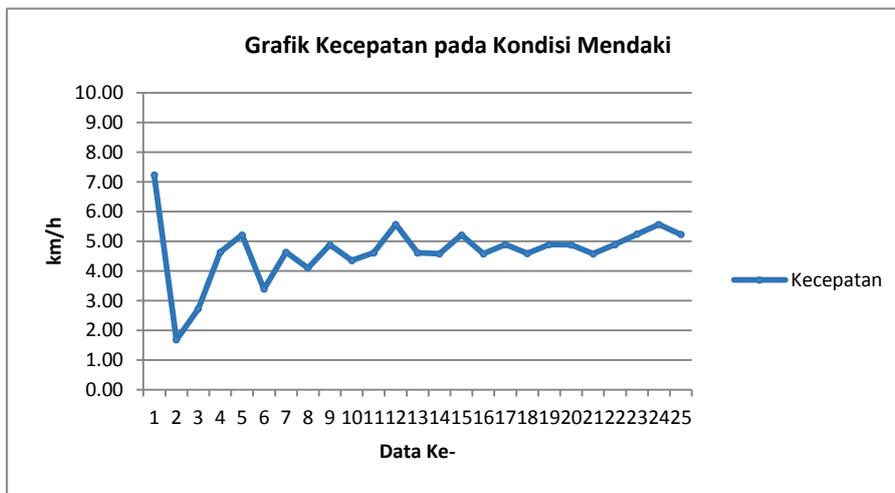
Dapat dilihat hasil pengujian sistem pada setiap kondisi pada grafik berikut.



Gambar 7. Hasil Pengujian pada Lintasan Mendatar



Gambar 8. Hasil Pengujian pada Lintasan Menurun



Gambar 9. Hasil Pengujian pada Lintasan Mendaki

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa dari sistem kontrol kecepatan robot berdasarkan sudut kemiringannya, didapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Perancangan sistem yang mampu mengendalikan kecepatan motor robot berdasarkan sudut kemiringannya diimplementasikan menggunakan metode *fuzzy logic control* untuk mengendalikan kecepatan motor robot berdasarkan variasi sudut kemiringannya.
2. Pengujian MPU6050 sebagai sensor untuk membaca sudut berhasil dilakukan dengan keberhasilan 100%, namun pada saat pengujian ada sedikit delay dalam pembacaan karena banyaknya data yang menjadi output Arduino Uno.
3. Nilai error rata-rata yang didapatkan dari perhitungan nilai RPM oleh sensor IR adalah 0.036% berdasarkan perhitungan alat konvensional tachometer.
4. Batas kemiringan yang mampu dijalankan robot agar dapat mencapai nilai set point pada kondisi mendaki adalah 15° dan -15° pada kondisi menurun dengan range PWM yang telah dideklarasikan.
5. Lintasan sangat berpengaruh pada pengujian robot karena jika lintasannya tidak rata, maka error akan semakin besar.

4.2 Saran

Untuk melakukan pengembangan pada penelitian ini ada beberapa saran agar penelitian selanjutnya bisa mengurangi kesalahan dan mendapatkan data yang lebih akurat, yaitu :

1. Menambahkan fungsi robot agar dapat bergerak berbelok di lintasan.
2. Pengurangan berat robot karena mempengaruhi kinerja sistem robot dan menguras sumber daya dari baterai yang dipakai.

REFERENSI

- [1] Defit, Putra Renofa, “Pengontrolan Kecepatan Motor DC pada *Mobile Robot Left Tracking* Menggunakan Metoda PID”, Sistem Komputer, Universitas Andalas. Padang, 2014.
- [2] Erwin Susanto dkk, “Rancang Bangun Kendali Kecepatan Berdasarkan Jarak Pada *Mobile Robot* Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*”, Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2015.
- [3] Badidi, Julianto Rebbi, “Rancang Bangun Robot Tank Otomatis Pendeteksi Halangan dengan Kendali Fuzzy Logic”, Sistem Komputer, Universitas Andalas. Padang, 2013.
- [4] I. Nawawi dan B. Fatkhurrozi, “Studi Komparasi Kendali Motor DC dengan Logika Fuzzy Metode Mamdani dan Sugeno”, Jurnal Wahana Ilmuwan, Vol.2, No. 2, 2016.
- [5] David Setiawan, “Rancang Bangun Robot Mobil Kontrol Sederhana menggunakan Arduino Berbasis Android System,” Jurnal Sains, Teknologi dan Industri., vol. 14, no. 1, pp. 101–107, 2016.
- [6] A. Hidayat, Nasrullah, Ramiati, “Pengaturan Kecepatan Motor DC untuk Alat Pembersih Gabah Kering dengan Metode Fuzzy”, Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar, Vol.6, pp. 9-15, 2015.
- [7] A.T. Budiarto, “Prototype Sistem Pengereman Kendaraan dengan Fuzzy Logic dan Sensor Kecepatan Berbasis Mikrokontroler ATmega8535”, Jurnal Elektronik Pendidikan Teknik Elektronika, Vol. 5, No. 1, pp.1-5, 2016.
- [8] P. Riky Tri Yunardi, Winarno, “Analisa Kinerja Sensor Inframerah dan Ultrasonik untuk Sistem Pengukuran Jarak pada Mobile Robot Inspection,” *Jurnal. Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer(Setrum)*, vol. 6, no. 1, pp. 33–41, 2017.
- [9] Kusumadewi, S, “Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan” , Graha Ilmu, Yogyakarta, 2004.
- [10] Kuswadi, S, “Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasi Praktisnya”, Andi, Yogyakarta, 2007.
- [11] Supriyono, H., dan Roosyidi, R., “Implementasi Pengendalian Kecepatan Motor DC dengan Pengendali Fuzzy-PID menggunakan Realtime Windows Target Matlab 6.5”, Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, Vol. 9, No. 2, 2008.
- [12] Sutikno, dan Waspada, I., “Perbandingan Metode Defuzzifikasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Model Mamdani pada Motor DC”, Jurnal Masyarakat Informatika, Volume 2, Nomor 3, ISSN 2086 – 4930, 2011.

Pengendalian Dosis Inframerah pada Alat Terapi Menggunakan Pulse Width Modulation (PWM)

Dedi Nurcipto¹, Gutama Indra Gandha¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang..

Informasi Artikel

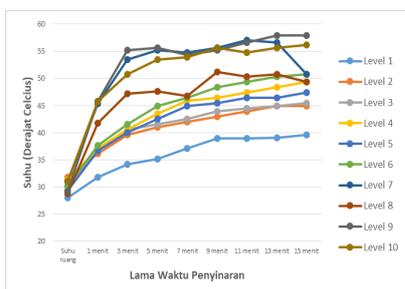
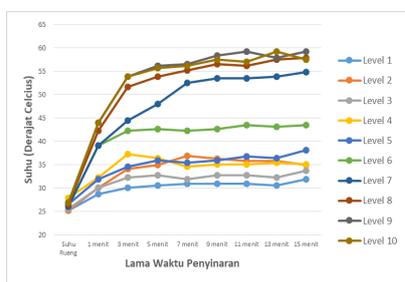
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
dedi.nurcipto@dsn.dinus.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Routines can affect the stability of the body that leads to decreased fitness, this affects daily activities. Pain is generally characterized by pain that will take the patient to the doctor for diagnostic information and healing. Infrared therapy is one of the alternatives in reducing the pain and this therapy can be done alone after the information from the doctor. Usually in determining the dose to note the distance of the object and the length of infrared irradiation on the object. This study aims to determine the effect of heat generated by infrared by setting the infrared intensity by using PWM (Pulse width modulation) as a dose controller. In addition to distance and time, the infrared intensity will also affect the resulting temperature. The greater the intensity level of radiation then the heat generated faster and conversely the smaller the intensity of the heat generated will be longer. The average of increasing temperature rate with a distance of 10 cm, a minute time interval and initial temperature by ± 26.27 degree Celsius is 3.36 degree Celsius. The changing of radiation distance also been performed in this research. The interval distance was changed to 15 cm with initial temperature by ± 26.27 degree Celsius. The longer of distance interval leads to decreased of average temperature rate by 3.28 degree Celsius. The duty cycle of PWM percentage, radiation distance and time interval are the factors that affect the changing of temperature rate..

Keywords: PLTH, NPC, COE

Abstrak

Rutinitas dapat mempengaruhi kestabilan tubuh seseorang yang bisa menimbulkan penyakit sehingga dapat mempengaruhi aktifitas seseorang. Sakit pada umumnya ditandai dengan rasa nyeri yang akan membawakan penderita pergi ke dokter untuk mendapatkan informasi diagnosa dan penyembuhannya. Terapi inframerah merupakan salah satu alternatif dalam mengurangi rasa nyeri dan terapi ini dapat dilakukan sendiri setelah mendapatkan keterangan dari dokter. Biasanya dalam menentukan dosis perlu diperhatikan jarak objek dan lama penyinaran inframerah pada objek. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek panas yang dihasilkan inframerah dengan pengaturan intensitas inframerah dengan menggunakan PWM (Pulse width modulation) sebagai pengendali dosis. Selain jarak dan waktu, intensitas inframerah juga akan mempengaruhi suhu yang dihasilkan. Semakin besar level intensitas penyinaran maka panas yang dihasilkan semakin cepat dan sebaliknya semakin kecil intensitas maka panas yang dihasilkan akan semakin lama. Peningkatan panas rata-rata yang dihasilkan tiap menit dengan jarak adalah 10 cm adalah 3,36 °C pada suhu awal sebelum penyinaran sebesar $\pm 26,27$ °C. Dan pada jarak 15 cm peningkatan suhu rata-rata sebesar 3,28 °C dengan suhu awal sebelum penyinaran sebesar $\pm 26,27$ °C. Sehingga dapat disimpulkan selain jarak dan waktu, duty cycle PWM akan mempengaruhi temperatur yang dihasilkan.

Kata kunci: Inframerah; Terapi; Remot Kontrol; PWM

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

1. PENDAHULUAN

Rutinitas dapat mempengaruhi kesetabilan tubuh yang mengakibatkan kelelahan. Istilah kelelahan biasanya menunjukkan kondisi yang berbeda-beda dari setiap individu, tetapi semuanya bermuara pada kehilangan efisiensi dan penurunan kapasitas kerja serta ketahanan tubuh[1]. Kelelahan dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu kelelahan otot yang mengakibatkan rasa nyeri pada otot atau tremor dan kelelahan yang ditandai dengan menurunnya kemampuan untuk bekerja yang disebabkan oleh karena monoton, intensitas dan lamanya kerja fisik, keadaan lingkungan, sebab-sebab mental, status kesehatan dan keadaan gizi [2]. Kelelahan dapat menjadi awal penyebab dari suatu penyakit yang dapat mengganggu aktifitas. Gejala umum yang sering timbul dari suatu penyakit adalah nyeri. Dari beragam jenis nyeri, nyeri akut adalah alasan paling utama bagi pasien untuk mencari perawatan medis[3].

Salah satu cara untuk mengatasi nyeri adalah terapi. Terapi fisik merupakan bagian dari rehabilitasi medis yang banyak membantu untuk mengatasi rasa nyeri akut maupun kronis[4]. Salah satu modalitas fisioterapi yang biasa dipakai untuk menurunkan nyeri adalah sinar infra merah[3]. Radiasi inframerah (IR) memiliki rentang panjang gelombang antara 750 nm-100 μ m, rentang frekuensi antara 400 THz-3 THz, dan rentang energi foton antara 12,4 meV-1,7 eV[5]. Menurut standar ISO 20473 untuk inframerah terbagi menjadi Near IR (NIR) dengan panjang gelombang 0.78 – 3 μ m, Mid IR (MIR) dengan panjang gelombang 3.0 – 50 dan Far IR (FIR) panjang gelombang 50 – 1000.

Pada umumnya FIR banyak diimplementasikan pada alat kesehatan. Inframerah yang dipancarkan memberikan efek panas pada tubuh terutama pada permukaan kulit yang terpapar secara langsung. Efek terapi di antaranya menghilangkan rasa sakit, meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi dan menghilangkan spasmen otot, dan meningkatkan efek viskoelastik jaringan kolagen[4]. Terapi inframerah dapat dilakukan lebih dari satu kali tergantung dari tujuan terapi serta respon penderita dan analisa dokter atau terapis yang memeriksa.

Dosis terapi inframerah yang diberikan pada penderita akan berbeda-beda tergantung diagnosa terapis. Efek samping yang dapat terjadi adalah luka bakar derajat ringan, bertambahnya peradangan, nyeri yang bertambah, alergi kulit, terutama pada penderita yang mempunyai riwayat alergi terhadap suhu panas, perdarahan yang bertambah pada luka terbuka dan pingsan[6].

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya[6] yaitu Rancang Bangun Terapi Infra Merah Berbasis Atmega8 yang belum menggunakan remot dan pengaturan intensitas. Pada penelitian ini peneliti telah mengimplementasikan pengaturan intensitas inframerah serta kemampuan pengendalian jarak jauh yang digunakan untuk mengendalikan dosis inframerah berdasarkan efek panas yang dihasilkan, melalui pengaturan intensitas inframerah berbasis PWM dilakukan pada penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

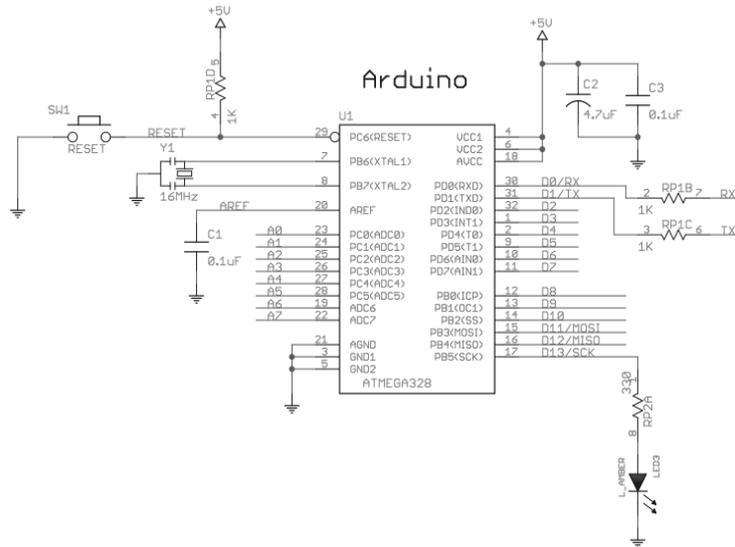
2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode Ekperimen dengan perancangan hardware sebagai prototype alat dan kemudian melakukan pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur temperature paparan inframerah yang dihasilkan tiap level dengan waktu tertentu. Level disini adalah perbandingan antara waktu on dan waktu off lampu yang dinyatakan dengan prosentase atau biasa disebut dengan PWM yang terdiri dari sepuluh level atau PWM, seperti terlihat pada gambar 12.

Durasi penyinaran terdiri dari penyinaran selama 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 menit pada tiap level. Jarak antara termometer dan lampu inframerah adalah 10 cm dan 15 cm dengan menggunakan instrumen thermometer digital. Suhu yang dihasilkan oleh paparan inframerah diukur dan dipaparkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

2.2 Perancangan *Hardware*

Untuk mendukung proses pengendalian dosis inframerah, digunakan mikrokontroller sebagai pemroses utama. Arduino nano v3.1 adalah salah satu varian mikrokontroller yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Minimum system Arduino

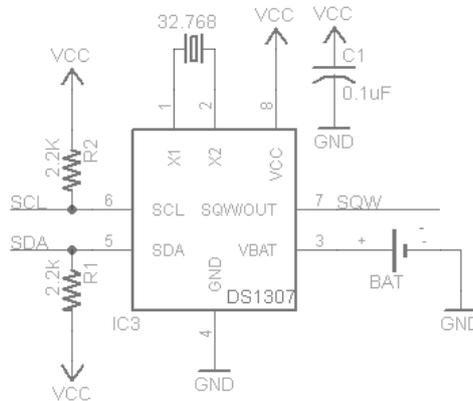
Dari 21 pin I/O yang ada pada Arduino, hanya 11 pin yang digunakan dalam sistem ini yaitu digunakan untuk real time clock, dimmer (output PWM), input kendali jarak jauh berbasis inframerah, dan driver seven segmen dan tombol input.

Lampu inframerah merupakan komponen utama yang digunakan dalam penelitian dimana lampu tersebut digunakan sebagai aktuator. Dalam penelitian ini digunakan lampu inframerah merek Osram Deluxepar 38 dengan tegangan AC sebesar 220/240 Volt AC dan daya 150 watt seperti pada Gambar 2. Untuk mendukung proses timer digunakan IC DS1307 Serial Real-Time Clock. IC DS1307 merupakan sebuah IC yang diperuntukan untuk operasi timer. Real-time clock (RTC) menyimpan data-data detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari dalam seminggu, dan tahun valid hingga 2100, dan 56-byte, batterybacked, RAM nonvolatile (NV) RAM untuk penyimpanan. [7].



Gambar 2. Lampu Infrared Osram

Untuk mengimplementasikan RTC berbasis IC DS1307 harus digunakan kristal eksternal sebesar 32,768kHz seperti pada Gambar 3.



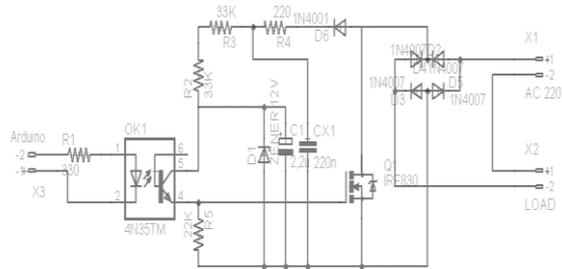
Gambar 3. Rangkaian Real Time Clock (RTC)

Lampu inframerah berperan sebagai aktuator yang dikendalikan oleh sistem mikrokontroler. Rangkaian dimmer digunakan untuk mendukung pengendalian aktuator. Rangkaian dimmer



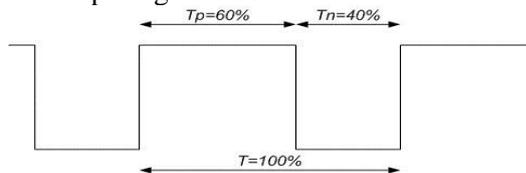
terkendali pulsa PWM digunakan untuk mengatur intensitas lampu inframerah. Rangkaian dimmer berbasis transistor MOSFET IRF830 telah digunakan pada sistem ini. Sebelum tegangan 220 Volt mengalir ke beban, tegangan tersebut dilewatkan terlebih dahulu ke diode bridge sebelum dikontrol oleh MOSFET.

Sebagai pengaman antara mikrokontroller dan aktuaktor digunakan fototransistor MOC sebagai isolator tegangan bolak balik seperti pada Gambar 4. Untuk mengendalikan rangkaian dimmer digunakan port nomor 9 pada arduino nano. Selain untuk operasi input output port tersebut juga dapat digunakan untuk membangkitkan pulsa PWM [8]. PWM adalah pulsa yang dihasilkan oleh mikrokontroler yang lebar pulsanya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan user[9].



Gambar 4. Rangkaian dimmer

Pada penelitian yang dilakukan oleh Slamet Winardi dkk, sinyal PWM tersebut dimanfaatkan untuk mengatur kecerahan lampu dimmer LED[10]. PWM dalam penelitian ini juga digunakan untuk mengatur dimmer pada lampu inframerah. PWM sendiri bekerja dengan membuat gelombang persegi yang mempunyai perbandingan tertentu antara pulsa high dengan pulsa low yang diskalakan dari 0% sampai dengan 100% [9]. Perbandingan tersebut dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2). Dimana Ttotal merupakan satu priode gelombang yang terdiri dari Ton dan Toff. Contoh PWM dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Deskripsi sinyal PWM

$$Total = T_{on} - T_{off} \quad T_{total} \quad \dots \quad (1)$$

Dengan D adalah duty cycle dapat didefinisikan

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} - T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{off}} \quad \dots \quad (2)$$

Sehingga besar tegangan keluaran (Vout) PWM tergantung dari perbandingan waktu nyala (Ton) dan waktu total (Ttotal) dikalikan dengan tegangan masukan (Vin) dapat didefinisikan:

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad \dots \quad (3)$$

Dalam penelitian ini juga mengimplementasi remote control berbasis inframerah juga ditambahkan agar dapat mendukung kendali jarak jauh. Penambahan kendali jarak jauh berbasis inframerah digunakan untuk mendukung kenyamanan pengguna sehingga pengguna tidak perlu berinteraksi secara langsung dengan alat yang bersangkutan [11]. Penggunaan remote control hanya digunakan untuk pengaturan hidup, mati, penambahan timer, prngutangan timer, dimmer semakin terang, dimmer meredup. Tampilan pengaturan timer dan level dimmer akan ditampilkan pada seven segment.



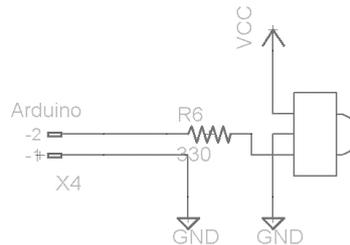


Gambar 6. Remote control berbasis inframerah

Untuk menerima sinyal informasi dari remote control digunakan sensor inframerah dengan tipe TL1838 seperti pada Gambar 7.



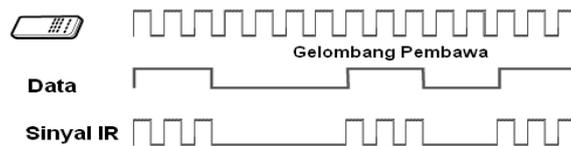
Gambar 7. IR Sensor[13]



Gambar 8. Rangkaian IR sensor

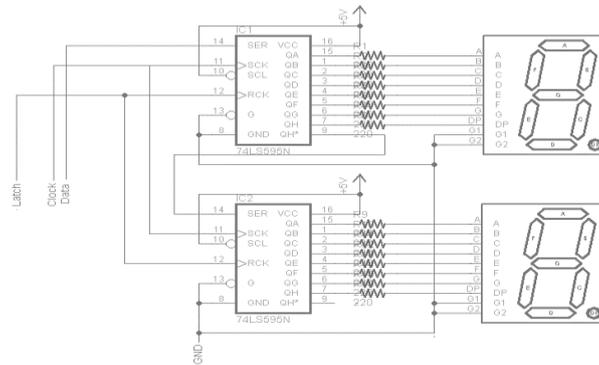
Sensor inframerah TL1838 mempunyai 3 pin yaitu VCC, GND dan Vout. Pin Vout dihubungkan dengan port mikrokontroler untuk pemrosesan sinyal lebih lanjut. Adapun bentuk dari rangkaian penerima inframerah seperti pada Gambar 8.

Transmisi data yang menggunakan media udara sebagai media perantara pada umumnya menggunakan frekuensi pembawa sekitar 30KHz – 40 KHz [12]. Informasi dikirim bersama frekuensi pembawa berupa modulasi yang akan dikodekan oleh penerima dengan bentuk biner. Bentuk informasi yang diterima oleh sensor IR seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Bentuk gelombang IR [12]

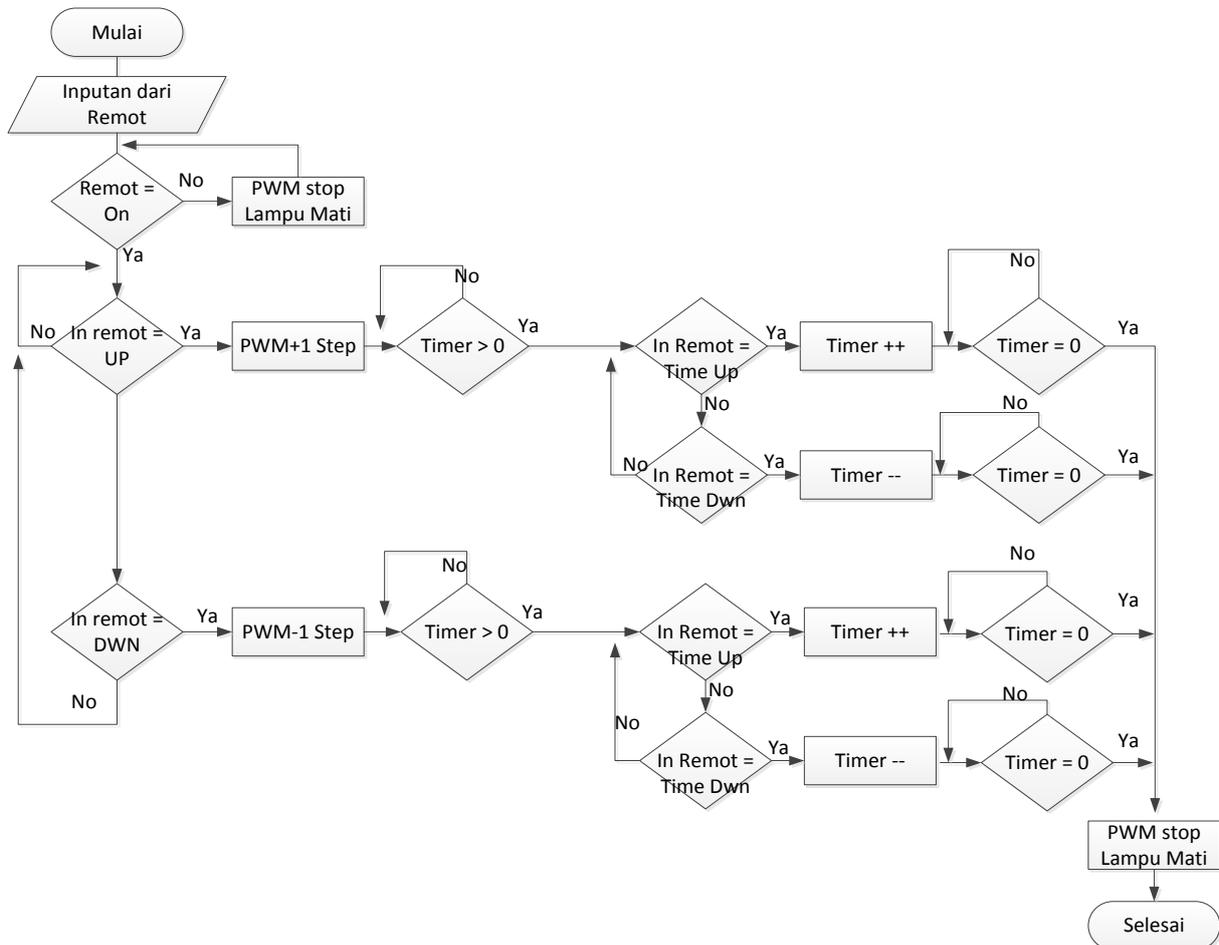
Timer merupakan hal yang sangat penting dalam penentuan dosis infra merah pada pasien. Untuk mengetahui informasi timer digunakan tampilan seven segment. Informasi waktu ditampilkan dalam bentuk dua digit. Data timer yang ditampilkan oleh seven segment dikirim melalui komunikasi serial dengan menggunakan IC shift register 74LS595. Skema rangkain driver seven segment dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Skema driver seven segment

2.3 Diagram Alir Algoritma

Untuk mendukung perancangan hardware pada pengendalian dosis inframerah dilakukan pemrograman alat dengan algoritma seperti pada diagram alir algoritma pada gambar 11.

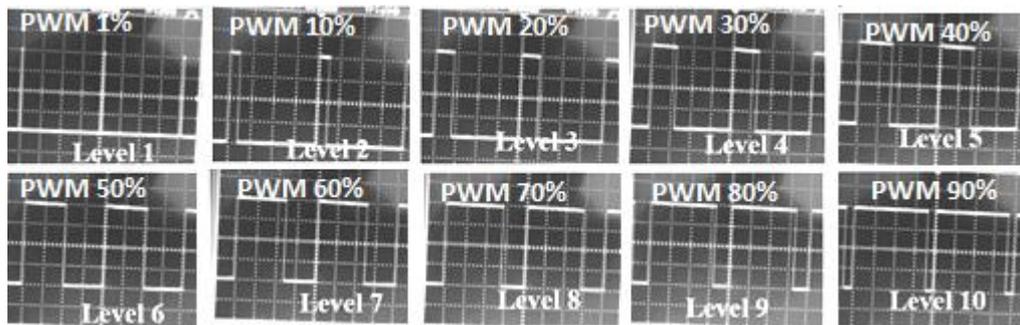


Gambar 11. Diagram alir algoritma sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototype alat terlihat pada gambar 13 dengan mode timer dan intensitas inframerah yang dapat di atur dengan remot atau dengan tombol manual. Visual pengaturan dapat terlihat pada *seven segment* display. Pada penelitian ini, PWM digunakan untuk mengatur intensitas cahaya inframerah yang dihasilkan oleh lampu. PWM merupakan perbandingan antara waktu on dan waktu off lampu

yang dinyatakan dengan prosentase dimana hasil keluaran PWM terlihat pada gambar 12. Terdiri dari sepuluh mode PWM yang kami sebut sebagai level intensitas inframerah. Dari sepuluh level tersebut, didapatkan panas yang berbeda pada masing-masing level.



Gambar 12. Hasil keluaran PWM dari mikrokontroler

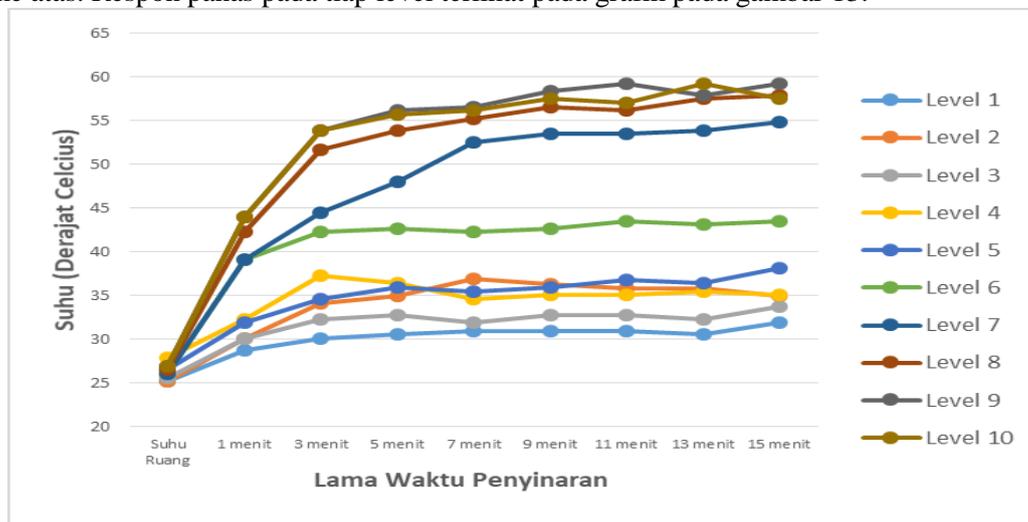
Pada Tabel 1 merupakan pengukuran suhu dengan jarak antara inframerah dan termometer 10 cm pada ruang dengan suhu kamar rata-rata $\pm 26,27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabel 1 Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) yang dihasilkan dari penyinaran dengan waktu tertentu

Level	Lama Penyinaran								
	Suhu Ruang	1 menit	3 menit	5 menit	7 menit	9 menit	11 menit	13 menit	15 menit
1	25.16 $^{\circ}\text{C}$	28.75 $^{\circ}\text{C}$	30.1 $^{\circ}\text{C}$	30.55 $^{\circ}\text{C}$	31 $^{\circ}\text{C}$	31 $^{\circ}\text{C}$	31 $^{\circ}\text{C}$	30.55 $^{\circ}\text{C}$	31.89 $^{\circ}\text{C}$
2	25.16 $^{\circ}\text{C}$	30.04 $^{\circ}\text{C}$	34.08 $^{\circ}\text{C}$	34.98 $^{\circ}\text{C}$	36.88 $^{\circ}\text{C}$	36.33 $^{\circ}\text{C}$	35.88 $^{\circ}\text{C}$	35.88 $^{\circ}\text{C}$	34.98 $^{\circ}\text{C}$
3	25.61 $^{\circ}\text{C}$	30.1 $^{\circ}\text{C}$	32.34 $^{\circ}\text{C}$	32.79 $^{\circ}\text{C}$	31.89 $^{\circ}\text{C}$	32.79 $^{\circ}\text{C}$	32.79 $^{\circ}\text{C}$	32.34 $^{\circ}\text{C}$	33.69 $^{\circ}\text{C}$
4	27.85 $^{\circ}\text{C}$	32.34 $^{\circ}\text{C}$	37.29 $^{\circ}\text{C}$	36.39 $^{\circ}\text{C}$	34.59 $^{\circ}\text{C}$	35.04 $^{\circ}\text{C}$	35.04 $^{\circ}\text{C}$	35.49 $^{\circ}\text{C}$	35.04 $^{\circ}\text{C}$
5	26.5 $^{\circ}\text{C}$	31.89 $^{\circ}\text{C}$	34.59 $^{\circ}\text{C}$	35.94 $^{\circ}\text{C}$	35.49 $^{\circ}\text{C}$	35.94 $^{\circ}\text{C}$	36.84 $^{\circ}\text{C}$	36.39 $^{\circ}\text{C}$	38.18 $^{\circ}\text{C}$
6	26.05 $^{\circ}\text{C}$	39.08 $^{\circ}\text{C}$	42.23 $^{\circ}\text{C}$	42.68 $^{\circ}\text{C}$	42.23 $^{\circ}\text{C}$	42.68 $^{\circ}\text{C}$	43.57 $^{\circ}\text{C}$	43.13 $^{\circ}\text{C}$	43.57 $^{\circ}\text{C}$
7	26.05 $^{\circ}\text{C}$	39.08 $^{\circ}\text{C}$	44.47 $^{\circ}\text{C}$	48.07 $^{\circ}\text{C}$	52.56 $^{\circ}\text{C}$	53.46 $^{\circ}\text{C}$	53.46 $^{\circ}\text{C}$	53.91 $^{\circ}\text{C}$	54.8 $^{\circ}\text{C}$
8	26.5 $^{\circ}\text{C}$	42.23 $^{\circ}\text{C}$	51.66 $^{\circ}\text{C}$	53.91 $^{\circ}\text{C}$	55.25 $^{\circ}\text{C}$	56.6 $^{\circ}\text{C}$	56.15 $^{\circ}\text{C}$	57.5 $^{\circ}\text{C}$	57.95 $^{\circ}\text{C}$
9	26.95 $^{\circ}\text{C}$	44.02 $^{\circ}\text{C}$	53.91 $^{\circ}\text{C}$	56.15 $^{\circ}\text{C}$	56.6 $^{\circ}\text{C}$	58.4 $^{\circ}\text{C}$	59.3 $^{\circ}\text{C}$	57.95 $^{\circ}\text{C}$	59.3 $^{\circ}\text{C}$
10	26.95 $^{\circ}\text{C}$	44.02 $^{\circ}\text{C}$	53.91 $^{\circ}\text{C}$	55.7 $^{\circ}\text{C}$	56.15 $^{\circ}\text{C}$	57.5 $^{\circ}\text{C}$	57.05 $^{\circ}\text{C}$	59.3 $^{\circ}\text{C}$	57.5 $^{\circ}\text{C}$
Rata-rata	26.27 $^{\circ}\text{C}$	36.15 $^{\circ}\text{C}$	41.45 $^{\circ}\text{C}$	42.71 $^{\circ}\text{C}$	43.26 $^{\circ}\text{C}$	43.97 $^{\circ}\text{C}$	44.1 $^{\circ}\text{C}$	44.24 $^{\circ}\text{C}$	44.69 $^{\circ}\text{C}$

Pada Tabel 1 suhu ruang merupakan suhu sebelum dilakukan penyinaran terhadap termometer. Semakin tinggi level dalam penyinaran akan mempengaruhi panas yang dihasilkan oleh lampu. Selain level penyinaran, kesetabilan panas atau maksimal panas yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh lama penyinaran. Panas pada level 1 akan mencapai maksimal pada saat penyinaran lebih dari 7 menit yaitu maksimal pada $\pm 31,08\text{ }^{\circ}\text{C}$. Seperti halnya durasi pada level 1 sama dengan level 2 untuk mencapai stabil pada suhu $\pm 35,99\text{ }^{\circ}\text{C}$. Level 3 akan mengalami durasi panas yang lebih cepat dengan waktu 3 menit dengan suhu $\pm 32,66\text{ }^{\circ}\text{C}$. Level 4 mulai mencapai suhu maksimal $\pm 35,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ saat penyinaran

lebih dari 9 menit. Pada level 5 suhu stabil $\pm 36,46$ °C dengan penyinaran lebih dari 5 menit. Level 6 suhu ± 39 °C bisa didapatkan hanya 1 menit penyinaran dan akan setabil pada suhu $\pm 42,87$ °C pada pengukuran lebih dari 3 menit. Level 6 penyinaran 1 menit dapat menghasilkan suhu $\pm 39,08$ oC dan setabil $\pm 53,63$ °C dengan lama penyinaran lebih dari 7 menit. Level 7 akan medapat temperature maksimal pada penyinran selama 7 menit dan setabil pada duhu $\pm 53,63$ °C. Level 8 didapatkan suhu setabil pada penyinaran lebih dari 9 menit dengan suhu $\pm 57,05$ °C. Pada level 9 dan 10 didapat temperature yang hampir sama yaitu suhu $\pm 57,57$ °C dengan lama penyinaran kurang lebih 5 dan 7 menit ke atas. Respon panas pada tiap level terlihat pada grafik pada gambar 13.



Gambar 13. Grafik temperature penyinaran dengan jarak 10 cm

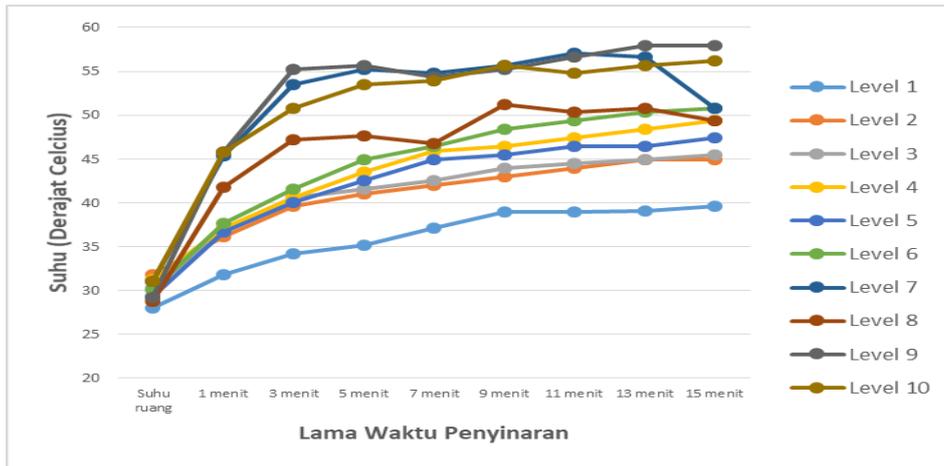
Dilihat dari gambar 13, rata-rata lama penyinaran 1 menit sampai 15 didapatkan panas rata-rata tiap level seperti terlihat pada gambar 16. Pada setiap level penyinaran dihasilkan perubahan suhu yang sangat cepat dari suhu awal. Makin besar level maka makin besar perubahan suhu. Kenaikan suhu pada pengukuran selama 1 menit yaitu pada level 1-10 adalah 4,94; 3,59; 4,4; 5,39; 13,03; 15,73 dan 17,07 derajat.

Pada tabel 2 merupakan pengukuran suhu dengan jarak antara inframerah dan termometer 15 cm pada ruang dengan suhu kamar rata-rata $\pm 30,05$ °C. Dari hasil penyinaran menunjukkan bahwa hasil penyinaran yang linier pada level 6 yang tidak terpengaruh oleh jarak. Untuk hasil penyinaran yang lebih jelas dapat dilihat pada gamabar 15.

Tabel 2. Temperatur (°C) yang dihasilkan dari penyinaran dengan waktu tertentu

Level	Lama Penyinaran								
	Suhu Ruang	1 menit	3 menit	5 menit	7 menit	9 menit	11 menit	13 menit	15 menit
1	28 °C	38.9 °C	38.9 °C	39.06 °C	39.55 °C	38.9 °C	38.9 °C	39.06 °C	39.55 °C
2	31.74 °C	42.97 °C	43.95 °C	44.92 °C	44.92 °C	42.97 °C	43.95 °C	44.92 °C	44.92 °C
3	30.25 °C	43.95 °C	44.43 °C	44.92 °C	45.41 °C	43.95 °C	44.43 °C	44.92 °C	45.41 °C
4	31.25 °C	46.39 °C	47.36 °C	48.34 °C	49.32 °C	46.39 °C	47.36 °C	48.34 °C	49.32 °C
5	29.3 °C	45.45 °C	46.39 °C	46.39 °C	47.36 °C	45.45 °C	46.39 °C	46.39 °C	47.36 °C
6	30.06 °C	48.34 °C	49.32 °C	50.29 °C	50.78 °C	48.34 °C	49.32 °C	50.29 °C	50.78 °C
7	31 °C	55.7 °C	57.05 °C	56.6 °C	50.76 °C	55.7 °C	57.05 °C	56.6 °C	50.76 °C

8	28.75 °C	51.21 °C	50.31 °C	50.76 °C	49.41 °C	51.21 °C	50.31 °C	50.76 °C	49.41 °C
9	29.2 °C	55.25 °C	56.6 °C	57.95 °C	57.95 °C	55.25 °C	56.6 °C	57.95 °C	57.95 °C
10	31 °C	55.7 °C	54.8 °C	55.7 °C	56.15 °C	55.7 °C	54.8 °C	55.7 °C	56.15 °C
Rata-rata	30.05 °C	39.46 °C	44.3 °C	46.05 °C	46.85 °C	48.38 °C	48.91 °C	49.49 °C	49.16 °C



Gambar 15 Grafik temperature penyinaran

Dari hasil pengukuran temperature yang dihasilkan pada jarak yang ditentukan, didapatkan rata-rata kenaikan temperature saat penyinaran pada masing masing level dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

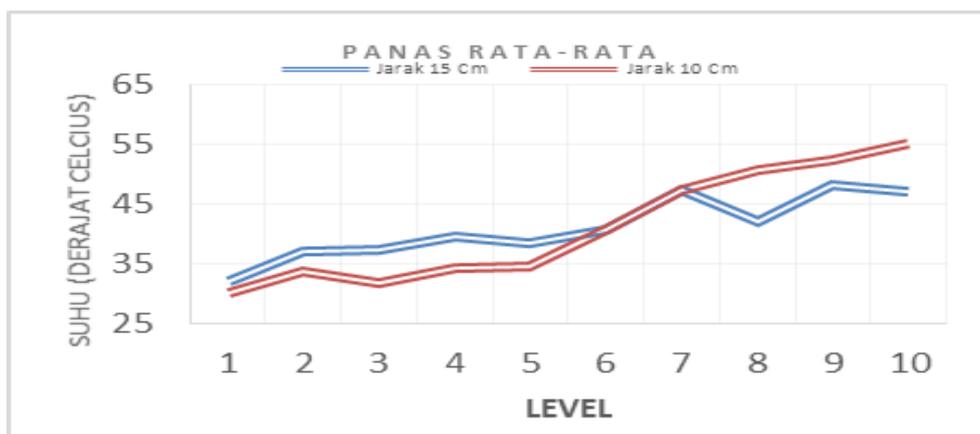
Tabel 3. Rata – rata perubahan temperatur tiap menit pada jarak 10 cm

Leve l	Kenaikan suhu / menit								Rata- rata
	1 menit	3 menit	5 menit	7 menit	9 menit	11 menit	13 menit	15 menit	
1	4.94 °C	2.99 °C	1.98 °C	1.68 °C	1.25 °C	1.07 °C	0.83 °C	0.66 °C	1.92 °C
2	3.59 °C	1.65 °C	1.08 °C	0.83 °C	0.65 °C	0.53 °C	0.41 °C	0.45 °C	1.15 °C
3	4.49 °C	2.24 °C	1.44 °C	0.90 °C	0.80 °C	0.65 °C	0.52 °C	0.54 °C	1.45 °C
4	4.49 °C	3.15 °C	1.71 °C	0.96 °C	0.80 °C	0.65 °C	0.59 °C	0.48 °C	1.60 °C
5	5.39 °C	2.70 °C	1.89 °C	1.28 °C	1.05 °C	0.94 °C	0.76 °C	0.78 °C	1.85 °C
6	13.03 °C	5.39 °C	3.33 °C	2.31 °C	1.85 °C	1.59 °C	1.31 °C	1.17 °C	3.75 °C
7	13.03 °C	6.14 °C	4.40 °C	3.79 °C	3.05 °C	2.49 °C	2.14 °C	1.92 °C	4.62 °C
8	15.73 °C	8.39 °C	5.48 °C	4.11 °C	3.34 °C	2.70 °C	2.38 °C	2.10 °C	5.53 °C
9	17.07 °C	8.99 °C	5.84 °C	4.24 °C	3.49 °C	2.94 °C	2.38 °C	2.16 °C	5.89 °C
10	17.07 °C	8.99 °C	5.75 °C	4.17 °C	3.39 °C	2.74 °C	2.49 °C	2.04 °C	5.83 °C
Rata- rata / Menit									3.36 °C

Tabel 4. Rata – rata perubahan temperatur tiap menit pada jarak 15 cm

Leve l	Kenaikan suhu / menit								Rata- rata
	1 menit	3 menit	5 menit	7 menit	9 menit	11 menit	13 menit	15 menit	
1	3.74 °C	2.06 °C	1.43 °C	1.30 °C	1.21 °C	0.99 °C	0.85 °C	0.77 °C	1.54 °C
2	4.39 °C	2.62 °C	1.86 °C	1.46 °C	1.25 °C	1.11 °C	1.01 °C	0.88 °C	1.82 °C
3	6.37 °C	3.43 °C	2.25 °C	1.75 °C	1.52 °C	1.29 °C	1.13 °C	1.01 °C	2.34 °C
4	5.86 °C	3.09 °C	2.44 °C	2.09 °C	1.68 °C	1.46 °C	1.31 °C	1.20 °C	2.39 °C
5	7.32 °C	3.58 °C	2.64 °C	2.23 °C	1.79 °C	1.55 °C	1.31 °C	1.20 °C	2.70 °C
6	7.54 °C	3.81 °C	2.97 °C	2.33 °C	2.03 °C	1.75 °C	1.56 °C	1.38 °C	2.92 °C
7	14.37 °C	7.49 °C	4.85 °C	3.40 °C	2.74 °C	2.37 °C	1.97 °C	1.32 °C	4.81 °C
8	13.03 °C	6.14 °C	3.77 °C	2.57 °C	2.50 °C	1.96 °C	1.69 °C	1.38 °C	4.13 °C
9	16.62 °C	8.68 °C	5.30 °C	3.59 °C	2.89 °C	2.49 °C	2.21 °C	1.92 °C	5.46 °C
10	14.82 °C	6.59 °C	4.49 °C	3.27 °C	2.74 °C	2.16 °C	1.90 °C	1.68 °C	4.71 °C
Rata- rata / Menit									3.28 °C

Peningkatan panas rata-rata yang dihasilkan tiap 2 menit dengan jarak adalah 10 cm adalah 3,36 °C seperti terlihat pada tabel 3 dengan rata-rata suhu awal sebelum penyinaran sebesar ±26,27 °C. Dan pada jarak 15 cm peningkatan suhu rata-rata sebesar 3,28 °C terlihat pada tabel 4. dengan suhu awal sebelum penyinaran sebesar ± 26,27 °C. Sehingga dapat dilihat pada gambar 16, perbandingan kenaikan rata-rata panas yang di hasilkan oleh inframerah dengan jarak 10 cm dan 15 cm.



Gambar 16 Rata-rata temperature penyinaran antara 10 dan 15 cm

Dari gambar 16 dapat dilihat bahwa perubahan suhu setiap 2 menit pada masing masing level mengalami kenaikan. Semakin tinggi level penyinaran akan semakin besar perubahan suhu yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Selain jarak, inentensitas inframerah juga akan mempengaruhi suhu yang dihasilkan. Semakin besar level intensitas penyinaran maka panas yang dihasilkan semakin cepat dan sebaliknya. Peningkatan panas rata-rata yang dihasilkan tiap menit dengan jarak adalah 10 cm adalah 3,36 °C pada suhu awal sebelum penyinaran sebesar $\pm 26,27$ °C. Dan pada jarak 15 cm peningkatan suhu rata-rata sebesar 3,28 oC dengan suhu awal sebelum penyinaran sebesar $\pm 26,27$ °C. Sehingga dapat disimpulkan selain jarak dan waktu, ducty cycle PWM akan mempengaruhi temperatur yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] Ahmaniyah Dwi Astuti “Analisa Pengaruh Aktivitas Kerja Dan Beban Angkat Terhadap Kelelahan Muskuloskeletal” Gema Teknik, Majalah Ilmiah Teknik, Vol 10, No 2, Universitas Sebelas Maret Surakarta, 2007.
- [2] Granjean, E., Fitting “The Task to The Man”, 4 th ed, Taylor & Francis Inc. London. 1993.
- [3] Yudha Wahyu, “Efektifitas Jarak Infra Merah Terhadap Ambang Nyeri”, Portal Publikasi Ilmiah Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2013.
- [4] Juan Suseno H, “Efek Inframerah Terhadap Ambang Nyeri pada Subjek sehat”, Tesis Fakultas Ilmu kedokteran Universitas Dipenogoro Manado, 2003.
- [5] Fatma Vatansever, Michael R. Hamblin, “Far infrared radiation (FIR): its biological effects and medical applications” *Photonics Lasers Med*, 4: 255–266. 1 November 2012
- [6] Dyan nova lesiska Nur Wahydha, “Rancang Bangun Terapi Infra Merah Berbasis Atmega8”, Tugas Akhir Program Studi D3 Teknik Elektromedik Politeknik Muhammadiyah Yogyakarta, 2016.
- [7] Ruri Hartika Zain, “Sistem Keamanan Ruangan Menggunakan Sensor Passive Infra Red (Pir) Dilengkapi Kontrol Penerangan Pada Ruangan Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Dan Real Time Clock Ds1307” *Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan* ISSN : 2086 – 4981 VOL. 6 NO. 1 Maret 2013.
- [8] Datasheet Arduino Nano.
- [9] Erwin Susanto, Porman P, Ronaldo G “Rancang Bangun Kendali Kecepatan Berdasarkan Jarak Pada Mobile Robot Menggunakan Metode Fuzzy Logic” *e-Proceeding of Engineering* : Vol.2, No.2, Page 1973 ISSN : 2355-9365, Agustus 2015.
- [10] Firmansyah. Teguh; Harsojo, Dwi; Fatonah, Feti; Aziz, Abdul. “Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119, 7 MHz dan 123, 2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto”. *Jurnal Ilmiah Setrum*. Vol.4, No. 1, 2015.
- [11] Firmansyah. Teguh, Alfan, Rocky. “Rancang Bangun Low Power Elektric Surgery (Pisau Bedah Listrik) pada Frekuensi 10 KHz”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol 5, No. 1. 2016.
- [12] Slamet Winardi, Made Kamisutara, “Pengendali Tanpa Kabel Lampu Dimmer Led Menggunakan Microcontroller Dengan Metode Pwm (Pulse Width Modulation)” *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, ke-7 Universitas Wahid Hasym Semarang*, 2016.
- [13] Setyawan Wibisono, “Rancang Bangun Sistem Pengendali Jarak Jauh Radio Digital Berbasis PC”, *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK* Volume XII, No.1, Page: 67-74 ISSN : 0854-9524, Januari 2007
- [14] F.D. Rumagit, dkk, Perancangan Sistem Switching 16 Lampu Secara Nirkabel Menggunakan Remote Control, *ejournal.unsrat. E-Journal Universitas Sam Ratulangi*, 2012
- [15] DataSheet IR sensor AX-1838HS

Otomasi pada Simulator Green House dengan SCADA Berbasis Web

Erwani Merry S¹, T. Rudi Sarjono¹, Nicolaus Cornelliuss¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Krinten Maranatha, Bandung, Jawa Barat.

Informasi Artikel

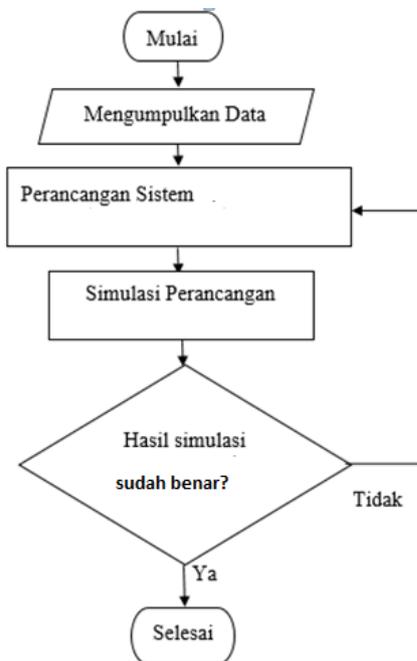
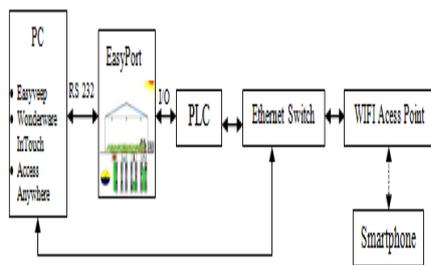
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
erwanimerry@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Green house is a building that can modify the climate in accordance with that required by the plant. The green house system works best if it is equipped with an automation system that operates without the need for human assistance. This system consists of light sensor, soil moisture sensor, air humidity sensor, and temperature sensor. Soil moisture sensors, air humidity sensors, and temperature sensors have minimum value limits and maximum limit values. In this study, a web-based SCADA application is designed on a greenhouse simulator. PLC is used to monitor every sensor condition and control the green house simulator plant to keep it in the desired condition. PLC is connected to SCADA to monitor its controlling process and can be accessed through web browser using smartphone. From the results of observation data, output and input in SCADA happened delay time approximately for 3.195 second because happened process update time from SCADA to PLC. In addition, the first time to access SCADA via web browser will take 47.86 – 52.7 seconds because there is a process of uploading SCADA images to the folder cache for display in the web browser.

Keywords: Green house, Simulator, Otomation, SCADA, Web Browser

Abstrak

Green house merupakan bangunan yang dapat memodifikasi iklim sesuai dengan yang dibutuhkan oleh tanaman. Sistem green house dapat bekerja dengan baik jika dilengkapi dengan sistem otomasi yang beroperasi tanpa memerlukan bantuan manusia. Sistem ini terdiri dari sensor cahaya, sensor kelembaban tanah, sensor kelembaban udara, dan sensor temperatur. Sensor kelembaban tanah, sensor kelembaban udara, dan sensor temperatur memiliki nilai batas minimum dan nilai batas maksimum. Pada penelitian ini, dirancang aplikasi SCADA berbasis web pada simulator green house. PLC digunakan untuk memonitoring setiap kondisi sensor dan mengendalikan plant simulator green house agar tetap dalam kondisi yang diinginkan. PLC dihubungkan ke SCADA untuk memonitoring proses pengontrolannya dan dapat diakses melalui web browser dengan menggunakan smartphone. Dari hasil pengamatan data, hasil keluaran dan masukan di SCADA terjadi waktu delay kira – kira selama 3.195 detik karena terjadi proses update time dari SCADA ke PLC. Selain itu juga, pada saat pertama kali mengakses SCADA melalui web browser akan membutuhkan waktu selama 47.86 – 52.7 detik karena ada proses upload gambar SCADA ke cache folder untuk ditampilkan di web browser.

Kata kunci: Green house, Simulator, Otomatisasi, SCADA, Web Browse

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

1. PENDAHULUAN

Green house merupakan bangunan yang dapat memodifikasi iklim sesuai dengan yang dibutuhkan oleh tanaman. Variabel – variabel pokok yang perlu diatur dalam green house yaitu intensitas cahaya, kelembaban tanah, kelembaban udara, dan temperatur. Dengan perkembangan teknologi elektronika, dimungkinkan melakukan pengendalian variabel – variabel tersebut secara

otomatis dan kontinu. Pengendalian variabel – variabel tersebut diperlukan untuk pengaturan cahaya, kelembaban, temperatur, dan penyiraman air^[6]. *Green house* biasanya memiliki banyak sensor dan aktuator yang harus dikontrol dengan cermat dan akurat. Biayanya cukup mahal dan memakan waktu lama dalam pengamatan hasilnya sehingga pengamatan dan pengaturan secara langsung sulit dilakukan. Oleh sebab itu pada penelitian ini digunakan simulator green house agar lebih memudahkan dalam mempelajari sistem pengontrolan green house sebelum menerapkannya dalam kondisi yang sebenarnya.

Dengan adanya sistem kontrol otomatis, pengguna dapat melakukan rutinitas sehari – hari karena *green house* dapat diprogram oleh komputer sehingga *green house* akan melakukan fungsinya sesuai apa yang telah diprogram agar kondisi iklim green house sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan. Di samping itu SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) adalah sebuah pendekatan untuk interaksi manusia dan mesin. SCADA digunakan sebagai pengendali sekunder bagi PLC (*Programmable Logic Controller*) yang bertujuan memudahkan proses pengawasan otomatisasi pada mesin - mesin industri. SCADA juga dapat diaplikasikan pada *greenhouse*. Oleh karena *green house* memiliki banyak sensor dan aktuator yang harus dikontrol dengan cermat dan akurat, maka pengontrolan *green house* perlu menggunakan SCADA agar dapat menjaga kondisi ruangan *green house* secara kontinu. Dengan menambahkan web yang merupakan salah satu layanan yang didapat oleh pemakai komputer yang terhubung ke internet, SCADA berbasis web ini dapat menyediakan informasi, sarana komunikasi, dan kumpulan yang dinamis antara teknologi dan aplikasi. Maka pada penelitian ini dirancang otomatisasi *green house* yang dihubungkan dengan SCADA berbasis web sehingga dapat memonitoring SCADA simulator green house melalui smartphone.

2. METODE PENELITIAN

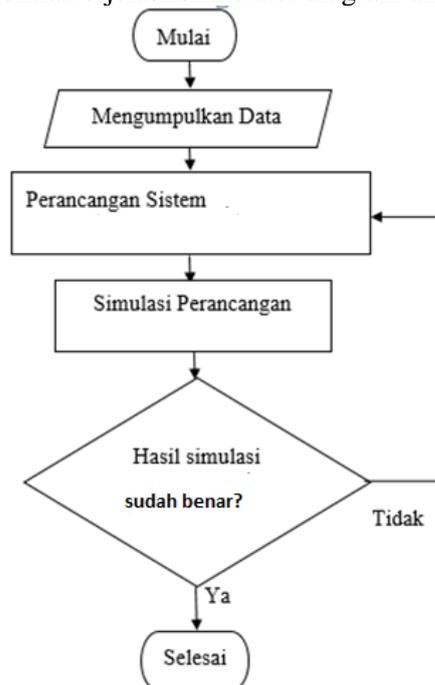
2.1 Metode Penelitian

Berikut ini adalah beberapa tahap yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini:

- a) Identifikasi masalah yaitu proses pengenalan dan perumusan masalah sebagai latar belakang hingga tercapainya tujuan dalam penelitian ini.
- b) Studi literatur, yaitu mengumpulkan data-data dari berbagai literatur, buku referensi, dan jurnal sesuai dengan topik penelitian yaitu tentang otomatisasi green house.
- c) Perancangan dan pengujian, yaitu dengan merancang otomatisasi pada simulator green house.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Secara sederhana proses penelitian dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.

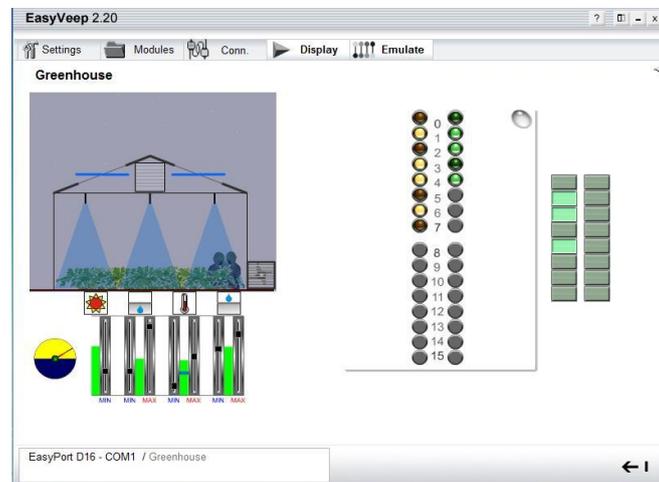


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan Penelitian

2.3.1 Simulator green house

Plant simulator green house menggunakan perangkat yang dikeluarkan FESTO Didactic System. Perangkat *plant simulator greenhouse* ini terdiri dari perangkat lunak Easyveep dan perangkat keras EasyPort. Easyveep merupakan sebuah *software* simulasi. Dengan *software* ini maka *hardware* yang berupa plant dapat digantikan dengan simulator yang interaktif. *Software* ini juga dapat berfungsi sebagai *Human Machine Interface* (HMI) plant sebenarnya jika dihubungkan dengan *EasyPort* ^[2].



Gambar 3 Tampilan *Interface Software Easyveep*

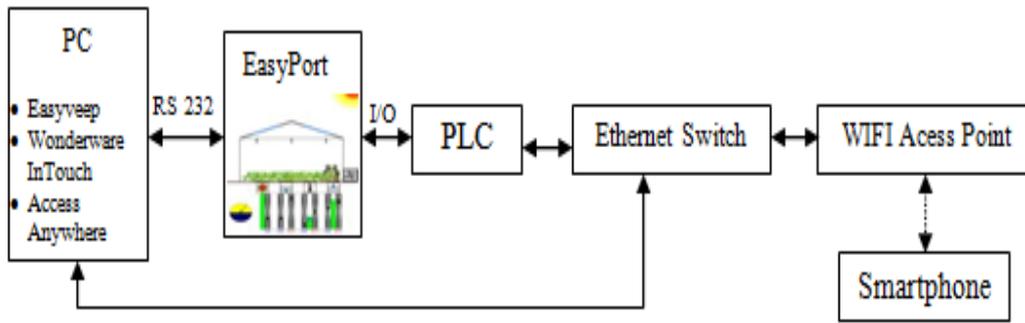
Gambar 3 merupakan tampilan *interface software* Easyveep dari *plant simulator greenhouse*. *Plant simulator greenhouse* pada *software* Easyveep hanya menggunakan *input* dan *output* berupa digital. Set point berupa kelembaban tanah, kelembaban udara, cahaya, dan temperature tidak dinyatakan dalam nilai analog tetapi hanya dinyatakan dalam batas minimum dan batas maksimum, sehingga aksi pengendalian hanya berupa *on* atau *off*.

2.3.2 SCADA Wonderware InTouch

Wonderware InTouch merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat dan mengembangkan tampilan dalam bentuk statis dan dinamis pada panel grafis yang dihubungkan pada PLC sebagai antarmuka antara pengguna dan alat tersebut. Wonderware InTouch digunakan pada sistem operasi Microsoft *Windows XP*, *Windows 7*, sampai *Windows 10*. Aplikasi Wonderware InTouch terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: *InTouch Application Manager* berfungsi untuk mengorganisasi aplikasi yang dibuat, *WindowMaker* digunakan untuk menciptakan animasi serta *touch – sensitive display windows*, dan *WindowViewer* digunakan untuk menampilkan grafik *windows* yang telah dibuat di *WindowMaker*. Wonderware InTouch dapat pula ditambahkan *software* Access Anywhere yang berguna untuk mengakses SCADA melalui web browser. *Software* Access Anywhere hanya dapat berfungsi di *Windows Server 2012* ^[7].

2.3.3 Otomasi Simulator green house

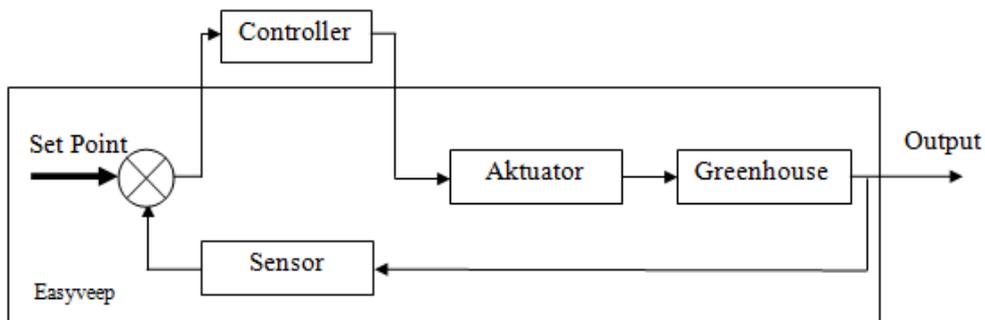
. Gambar 4 menunjukkan diagram blok otomasi pada simulator *green house* dengan SCADA berbasis web melalui smartphone.



Gambar 4. Diagram Blok Otomasi pada Simulator *Green house* Dengan SCADA Berbasis Web melalui smartphone

Perangkat lunak Easyveep, Wonderware InTouch, dan Access Anywhere dibutuhkan untuk merancang aplikasi SCADA berbasis web pada simulator greenhouse. Plant simulator yang digunakan adalah *greenhouse* yang terdapat dalam Easyveep. EasyPort yang dianalogikan sebagai *greenhouse* sebenarnya memberikan sinyal *input* kepada PLC. Simulator *greenhouse* memiliki 8 sensor dan 5 aktuator yang memerlukan suatu pengontrolan PLC untuk mengontrol sensor tersebut. Program PLC dirancang sesuai dengan pendeskripsian cara kerja yang berasal dari Easyveep. Setelah program PLC selesai dirancang maka PLC dihubungkan ke WIFI Access Point yang di dalamnya sudah terdapat Ethernet switch. Ethernet switch dihubungkan ke PC yang sama untuk membuat aplikasi SCADA dengan menggunakan *software* Wonderware InTouch, serta menggunakan *software* PLC Modicon MODBUS Ethernet agar SCADA dapat membaca *input* dan *output* dari PLC. Setelah aplikasi SCADA selesai dibuat, proses selanjutnya menggunakan *software* Access Anywhere agar SCADA dapat diakses melalui web browser dengan menggunakan smartphone agar dapat memudahkan monitoring dan mengontrolon atau *off* simulator dari jarak jauh tanpa harus berada di dekat lokasi *greenhouse* tersebut.

Perancangan sistem aplikasi SCADA pada simulator *greenhouse* seperti yang terlihat pada Gambar 5.

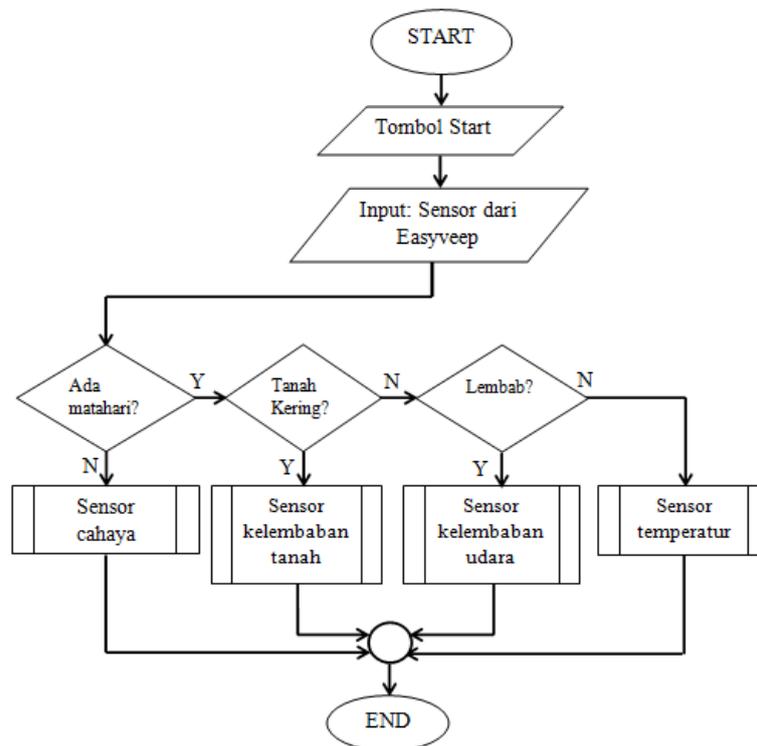


Gambar 5 Diagram Blok Sistem Aplikasi SCADA pada Simulator *Greenhouse*

Set point berupa intensitas cahaya, kelembaban tanah, kelembaban udara, dan temperatur. Set point akan dibandingkan dengan sensor (sebagai feedback) sehingga kontroler akan mengendalikan aktuator agar *output* sesuai yang diinginkan. Ada 5 aktuator yang digunakan dalam sistem pengontrolan greenhouse tersebut, yaitu motor yang menggerakkan buka tutup jendela, valve untuk membuka tutup kran penyemprotan air, heater, cooler, dan lampu.

Pada kondisi awal, simulator dalam kondisi *off* sehingga semua sensor dan aktuator dalam kondisi *off*. Ketika tombol start ditekan yang terdapat pada SCADA maka simulator dalam kondisi on sehingga semua sensor dan aktuator dapat berjalan. Selanjutnya melakukan pengecekan jika tidak ada cahaya matahari maka sensor cahaya akan bekerja. Apabila ada cahaya matahari maka akan melakukan pengecekan ke sensor kelembaban tanah, jika tanah kering maka sensor kelembaban tanah akan bekerja. Apabila tanah tidak kering maka akan melakukan pengecekan ke sensor kelembaban udara, jika kondisi lembab maka sensor kelembaban udara akan bekerja. Apabila kondisi udara tidak

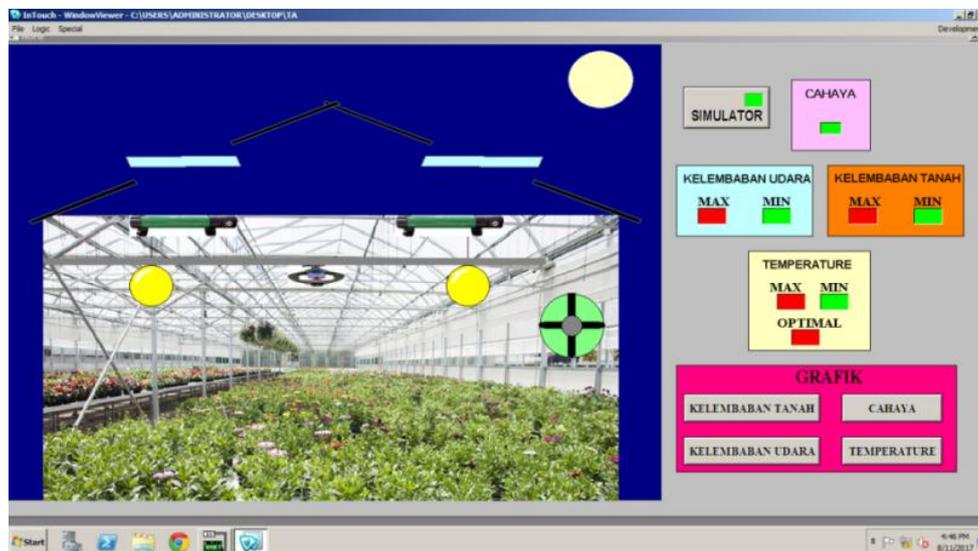
panas maka akan melakukan pengecekan ke sensor temperatur. Diagram Alir sistem pengontrolan simulator *greenhouse* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Sistem Otomasi pada Simulator *Green House*

2.3.4 Perancangan Aplikasi SCADA berbasis web

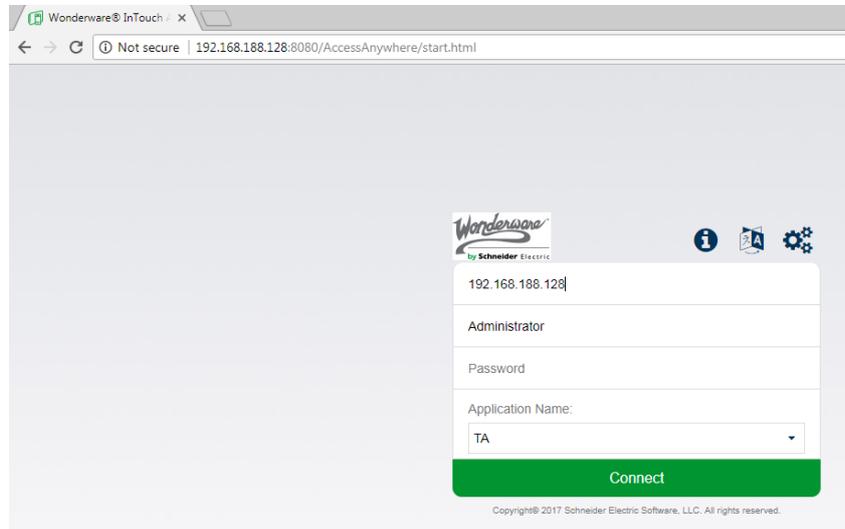
Perancangan aplikasi SCADA menggunakan *software* Wonderware InTouch. Dalam perancangan aplikasi SCADA dibuat menjadi 5 *window* yaitu : home, sensor cahaya, kelembaban tanah, temperatur, jendela kelembaban udara.



Gambar 7. Tampilan Windows Viewer dari Aplikasi SCADA yang telah dirancang

Perancangan SCADA berbasis web dari sistem otomasi *green house* menggunakan *software* Wonderware InTouch untuk merancang aplikasi SCADA simulator *green house* dan Wonderware Intouch Access Anywhere untuk mengakses SCADA melalui web browser. Tahapan – tahapan konfigurasi web pada aplikasi SCADA simulator *green house*, yaitu diawali dengan melakukan *backup file* aplikasi SCADA yang telah dirancang, hasilnya disimpan di dalam PC yang digunakan

sebagai web server. Virtual komputer digunakan sebagai web server dengan menggunakan *software* VMware Workstation. Jika sudah terdapat *software* Wonderware InTouch dan Wonderware InTouch Access Anywhere, selanjutnya melakukan konfigurasi *port number* pada Wonderware InTouch Access Anywhere (digunakan *default port number*). Selanjutnya membuka Windows Viewer Wonderware InTouch dari aplikasi SCADA yang telah dirancang seperti yang terlihat pada Gambar 7. Dikiri dengan mengakses aplikasi SCADA melalui web browser seperti yang terlihat pada Gambar 8.

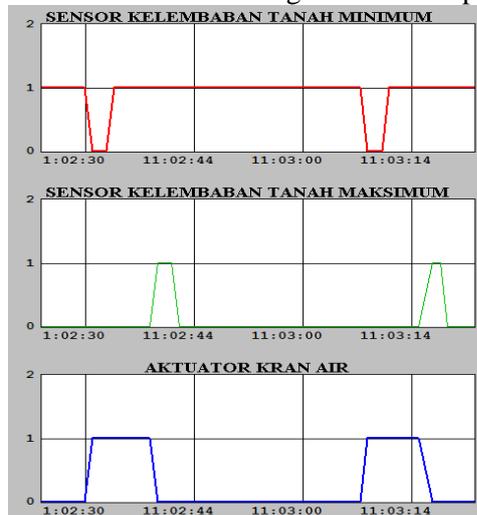


Gambar 8. Tampilan Login Melalui Web Browser

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian respon antara sensor dan aktuator yang terdapat pada otomasi simulator *green house* ditampilkan dalam bentuk grafik secara *real time* dan lama waktu login melalui web browser.

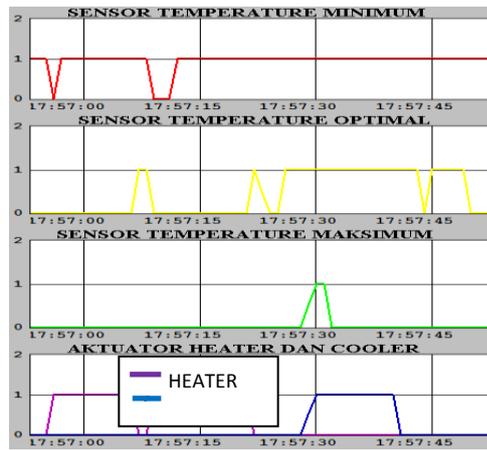
1. Grafik respon antara sensor kelembaban tanah dengan kran air dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Respon Antara Sensor Kelembaban Tanah dengan Kran Air

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada saat sensor kelembaban tanah minimum tidak aktif (bernilai 0) maka kran air akan menyala (bernilai 1) sehingga sensor kelembaban tanah minimum aktif kembali, sedangkan pada saat sensor kelembaban tanah maksimum aktif (bernilai 1) maka kran air akan mati (bernilai 0).

2. Grafik respon antara sensor temperatur dengan *heater* dan *cooler* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik Respon Antara Sensor Temperatur dengan Heater dan Cooler

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada saat sensor temperatur minimum tidak aktif (bernilai 0) maka heater akan aktif (bernilai 1) sehingga sensor temperatur aktif kembali. Pada saat sensor temperatur optimal aktif (bernilai 1) maka heater akan mati (bernilai 0), sedangkan pada saat sensor temperatur maksimum aktif (bernilai 1) maka cooler akan aktif (bernilai 1) hingga sensor temperatur optimal tidak aktif (bernilai 0) maka cooler akan mati (bernilai 0).

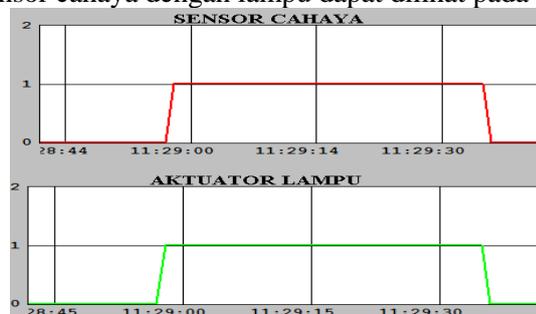
3. Grafik respon antara sensor kelembaban udara dengan jendela dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Respon Antara Sensor Kelembaban Udara dengan Jendela

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada saat sensor kelembaban udara minimum tidak aktif (bernilai 0) maka jendela akan menutup (bernilai 0) sehingga sensor kelembaban udara minimum aktif kembali, sedangkan pada saat sensor kelembaban udara maksimum aktif (bernilai 1) maka jendela akan terbuka (bernilai 1).

4. Grafik respon antara sensor cahaya dengan lampu dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik Respon Antara Sensor Cahaya dengan Lampu

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada saat sensor cahaya aktif (bernilai 1) maka lampu akan menyala (bernilai 1), sedangkan pada saat sensor cahaya tidak aktif (bernilai 0) maka lampu akan mati (bernilai 0).

- Percobaan lama waktu login SCADA melalui web browser di PC dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1 LAMA WAKTU LOGIN MELALUI WEB BROWSER DI PC

Percobaan ke-	Dengan Google Chrome	Dengan Internet Explorer
	Waktu (detik)	
1	52.7	3.19
2	47.86	3.23
3	4.08	3.14
4	3.23	3.15
5	3.12	3.20
6	3.20	3.08
7	3.09	3.47
8	3.27	3.22
9	3.15	3.08
10	3.31	3.19
Rata - rata =		3.195

Dari Tabel 1 dapat ditarik kesimpulan bahwa pada saat pertama kali atau kedua kali login melalui google chrome di PC membutuhkan waktu antara 47.86 – 52.7 detik karena ada proses *download* gambar SCADA ke dalam cache folder. Sedangkan pada saat mengakses SCADA melalui internet explorer membutuhkan waktu selama 3.195 detik. Hal ini terjadi karena terlebih dahulu diakses melalui google chrome dan mengalami proses *download* gambar SCADA ke dalam cache folder sehingga pada saat mengakses melalui internet eksplorier tidak membutuhkan proses *download* lagi karena gambar SCADA sudah terdapat di dalam cache folder.

- Percobaan lama waktu login SCADA melalui web browser di PC dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa pada saat pertama kali atau kedua kali login melalui google chrome di smartphone membutuhkan waktu antara 40.2 – 55.4 detik karena ada proses proses *download* gambar SCADA ke dalam cache folder. Sedangkan pada saat mengakses SCADA melalui internet samsung membutuhkan waktu selama 3.507 detik. Hal ini terjadi karena terlebih dahulu diakses melalui google chrome dan mengalami proses *download* gambar SCADA ke dalam cache folder dahulu sehingga pada saat mengakses melalui internet samsung tidak membutuhkan proses *download* lagi karena gambar SCADA sudah terdapat di dalam cache folder.

TABEL 2. LAMA WAKTU LOGIN MELALUI WEB BROWSER DI SMARTPHONE

Percobaan ke-	Dengan Google Chrome	Dengan Internet Samsung
	Waktu (detik)	
1	55.4	4.07
2	40.2	4.15
3	4.12	3.86
4	3.14	3.45
5	4.03	3.23
6	3.20	3.22

7	3.31	3.27
8	4.10	3.16
9	3.78	3.41
10	4.02	3.25
Rata – rata =		3.507

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Hasil perancangan dan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Otomasi pada simulator *green house* dengan SCADA berbasis web menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- a) Pada saat pertama kali atau kedua kali mengakses aplikasi SCADA melalui web browser pada PC membutuhkan waktu antara 47.86 – 52.7 detik karena ada proses *download* gambar SCADA ke dalam cache folder. Sedangkan jika sudah pernah mengakses aplikasi SCADA melalui web membutuhkan waktu selama 3.195 detik karena tidak terjadi proses *download* lagi karena gambar SCADA sudah terdapat di dalam cache folder.
- b) Pada saat pertama kali atau kedua kali mengakses aplikasi SCADA melalui web browser pada Smartphone membutuhkan waktu antara 40.2 – 55.4 detik karena ada proses *download* gambar SCADA ke dalam cache folder. Sedangkan jika sudah pernah mengakses aplikasi SCADA melalui web membutuhkan waktu selama 3.507 detik karena tidak terjadi proses *download* lagi karena gambar SCADA sudah terdapat di dalam cache folder.
- c) Konfigurasi web pada aplikasi SCADA simulator *green house* dilakukan dengan cara *backup file* aplikasi SCADA, menyimpan *backup file* aplikasi SCADA di dalam PC yang digunakan sebagai web server, melakukan konfigurasi *port number* Wonderware InTouch Access Anywhere, membuka Windows Viewer Wonderware InTouch dari aplikasi SCADA yang telah dirancang, mengakses aplikasi SCADA melalui web browser

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) Dapat direalisasikan *greenhouse* yang sebenarnya.
- b) Perlu diperhatikan resolusi smartphone yang akan digunakan agar sesuai dengan resolusi aplikasi SCADA yang akan dirancang di PC sehingga design gambar aplikasi SCADA dapat ditampilkan secara utuh dan tidak terpotong.

REFERENSI

- [1] Eko Nugroho, Chrisyanto. 2015. *Sistem SCADA Untuk Pengemasan Produk*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- [2] Rizal, Amri Salman. 2012. *Rancang Bangun Simulasi Brankas Berbasis PLC Festo*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- [3] Satria, Trianto. 2016. *Renovasi Konsul Sistem Otomasi Bangunan (BAS) Sub-Unit Sistem Pemanas HVAC*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Otomasi Industri. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- [4] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Modern Control Engineering*. Third Edition. Universitas of Minnesota. New Jersey : Prentice Hall, Upper Saddle River.
- [5] Modul Praktikum Dasar Sistem Kontrol. 2015. Laboratorium Kontrol Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha. Bandung
- [6] Johnson, Curtis D. 2003. *Process Control Instrumentation Technology*. Seventh Edition. New Delhi : Prentice-Hall of India.
- [7] Bryan, L.A & E.A Bryan. 1997. *Programmable Controller : Theory and Implementation*.

- Second Edition. United States of America : Industrial Text Company.
- [8] Saputro, Hendra W. 2007. *Pengertian Website dan Unsur – unurnya*.
- [9] <http://www.gemaperta.com/2014/10/fungsi-dan-type-green-house-yang-baik.html> [Diakses 24 Juni 2017]
- [10] <http://www.juare97.wordpress.com/2007/10/20/plc-programmable-logic-controller/>[Diakses 4 Juli 2017]
- [11] <https://neobie.wordpress.com/2008/07/07/sekilas-tentang-vmware/> [Diakses 18 Juni 2017]
- [12] Invensys Systems, Inc. 2014. *Wonderware InTouch HMI Getting Started Guide*. <https://www.logic-control.com/datasheets/1/InTouch/ITGettingStartedGuide.pdf> [Diakses 29 Maret 2017]
- [13] Mechatronics Education Center. *Programmable Controllers Programing Lab Manual*.<http://www.mechatronics-mec.org/downloads/Programmable%20Controllers%20-%20Lab%20Manual.pdf>[Diakses 16 Maret 2017]
- [14] Schneider Electric. 2014. *Modicon M221 Logic Controller Hardware Guide*. http://www.filkab.com/files/category_files/file_3077_bg.pdf [Diakses 22 Februari 2017]
- [15] Schneider Electric. 2015. *SoMachine Basic Operating Guide*. http://www.eurotherm.com/index.php?route=module/downloads/get&download_id=990 [Diakses 23 Februari 2017]
- [16] Schneider Electric. 2015. *Wonderware InTouch Access Anywhere Secure Gateway Administrator Manual*. https://www.logic-control.com/datasheets/1/InTouch%20Access%20Anywhere/ITAA_Gateway_AdminManual.pdf [Diakses 12 Juli 2017]
- [17] WMware, Inc. 2011. *Using WMware Workstation*. <https://www.vmware.com/pdf/ws80-using.pdf> [Diakses 12 Juli 2017]

Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular (2,45 GHz) Array dengan Teknik Pencatu Proximity Sebagai Penguat Sinyal Wi-Fi

Arfan Akbar¹, Syah Alam², Indra Surjati¹

¹Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta.

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017

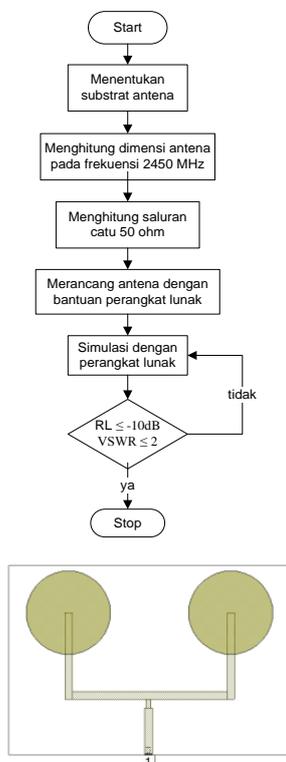
Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :

Afn.abr@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

In this research, the design of microstrip antenna with patch circular shape using FR-4 Epoxy substrate with $\epsilon_r=4.3$ $h=1.6$ mm and loss $\tan\delta=0,0265$. To increase the gain value, will be used the 2x1 array method. Furthermore, to widen the Bandwidth, will be used the power supply with proximity technique. The purpose of the use of array and proximity method is to increase the value of Gain and Bandwidth. From the simulation results the value of Return Loss is -19,85 dB, VSWR is 1.227 and Gain is 7.091 dB at 2450 MHz frequency. With that data, array method can increase Gain by 38% and with use of Proximity method can increase Bandwidth by 162%.

Keywords: Microstrip Antenna, Planar array, VSWR, Gain, Return Loss, proximity

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan perancangan antenna mikrostrip dengan bentuk patch circular menggunakan substrat jenis FR-4 Epoxy dengan nilai $\epsilon_r=4,3$ $h=1,6$ mm dan $\tan\delta = 0,0265$. Untuk meningkatkan nilai gain, maka dilakukan optimasi dengan menggunakan metode array 2x1. Selanjutnya, untuk memperlebar Bandwidth, digunakan pencatu dengan teknik proximity. Tujuan dari penggunaan metode array dan proximity ini untuk meningkatkan nilai Gain dan Bandwidth. Dari hasil simulasi diperoleh nilai Return Loss -19,85 dB, VSWR 1,227 dan Gain 7,091 dB pada frekuensi 2450 MHz. Dengan data tersebut, maka metode array dapat meningkatkan Gain sebesar 38% dan dengan penggunaan metode Proximity dapat meningkatkan Bandwidth sebesar 162%.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, Planar Array, Proximity, VSWR, Gain, Return Loss.

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

1. PENDAHULUAN

Telekomunikasi adalah salah satu bidang yang memiliki peranan penting pada abad ini. Dengan telekomunikasi orang saling bertukar informasi satu dengan yang lainnya. Salah satu bagian utama dalam sistem telekomunikasi radio adalah antenna. Berbagai antenna telah banyak dikembangkan untuk beragam aplikasi, salah satunya adalah antenna mikrostrip. Antenna mikrostrip adalah suatu antenna konduktor metal yang menempel di atas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik.

Salah satu perkembangan jaringan wireless yang populer saat ini adalah *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) karena kemudahan jaringan internet dimanapun oleh pengguna perangkat

mobile devices. Jaringan *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan menggunakan spektrum gelombang radio untuk pemancaran dan penerimaan sinyal. Sehingga diperlukan sebuah alat berupa antena untuk dapat menerima dan memancarkan gelombang radio tersebut. Dalam [1], beberapa alokasi frekuensi tersebut adalah : DCS berlaku pada pita frekuensi (1710-1885 MHz), PCS pada pita frekuensi (1907,5–1912,5 MHz), UMTS pada pita frekuensi (1920- 2170 MHz), WLAN 2,4 GHz pada pita frekuensi (2400- 2483,5 MHz), dan LTE pada frekuensi 2,3 GHz.

Antena mikrostrip adalah antena yang banyak dikembangkan dan digunakan pada perangkat telekomunikasi modern salah satunya untuk jaringan *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) karena memiliki kelebihan diantaranya bentuk yang sederhana dan mudah difabrikasi namun, memiliki kekurangan berupa *bandwidth* yang dihasilkan sempit dan keterbatasan dalam *gain* [2]. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [3] diperoleh nilai *gain* antena 4.16 dBi dengan menggunakan antena mikrostrip *rectangular array 2x2* pada aplikasi *Wi-Fi*. Sedangkan pada penelitian sebelumnya oleh [4] telah berhasil dirancang antena mikrostrip bentuk *circular array 4* elemen untuk aplikasi *Wi-Fi* dengan nilai *gain* sebesar 6.21 dBi dan pada penelitian yang oleh [5] diperoleh nilai *gain* antena 5.05 dBi pada frekuensi kerja 2,4 GHz dengan menggunakan antena mikrostrip *array patch* segitiga dengan stub pada saluran pencatu. Pada penelitian sebelumnya [9-10] metode *proximity* dapat meningkatkan lebar *bandwidth* antena untuk aplikasi *Wi-Fi*. Hal ini yang melatar belakangi penelitian ini untuk menggunakan metode array untuk meningkatkan *gain* dan *proximity* untuk memperlebar *bandwidth*.

2. METODE PENELITIAN

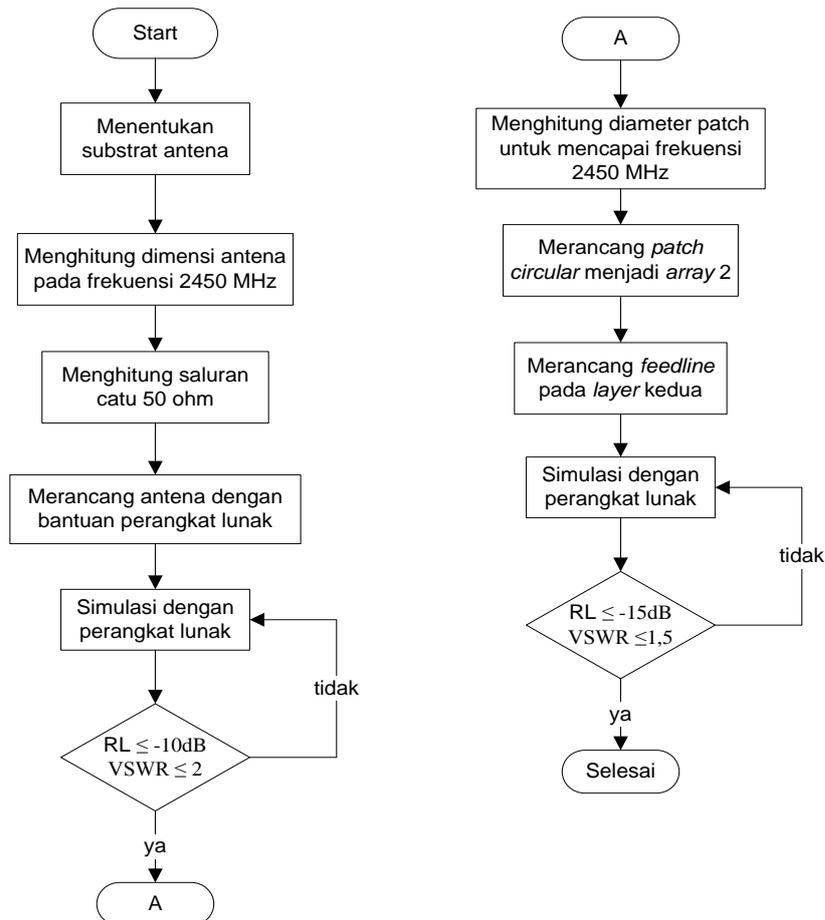
2.1 Metode Penelitian

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

- a) Identifikasi masalah yaitu dengan merumuskan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini.
- b) Studi literatur, yaitu mengumpulkan data-data dari buku referensi dan jurnal-jurnal sesuai dengan topik penelitian yang dilakukan yaitu tentang antena mikrostrip khususnya sebagai penguat *Wi-Fi*.
- c) Perancangan, yaitu dengan merancang dan menentukan jenis *patch*, model, substrat dan catu daya yang akan diimplementasikan serta disimulasi dengan bantuan perangkat lunak sebagai simulasi awal.
- d) Pengujian, yaitu mencari nilai *Return Loss*, VSWR dan *gain* setelah difabrikasi.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Secara sederhana proses penelitian pada Antena mikrostrip dapat dijelaskan pada Gambar 2 berikut.

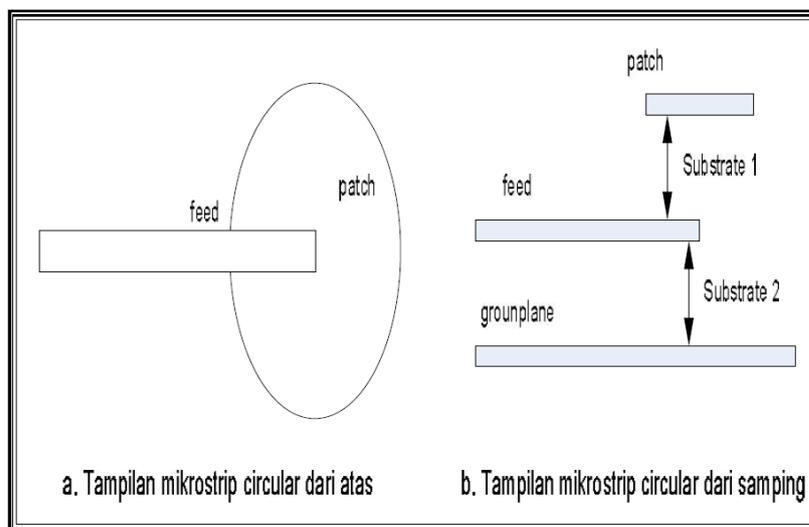


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan Penelitian

1. Antena Mikrostrip *Patch Circular*

Antena mikrostrip dengan *patch circular* memiliki performa yang sama dengan antenna mikrostrip *patch* segiempat. Pada aplikasi tertentu, seperti *array*, *patch circular* ini akan menghasilkan keuntungan dibandingkan dengan *patch* yang lainnya. Antena mikrostrip dengan *patch circular* ini akan lebih mudah dimodifikasi untuk menghasilkan jarak nilai impedansi, pola radiasi, dan frekuensi kerja[6]. Untuk menganalisis antena mikrostrip *patch circular* ini banyak metode yang diinginkan, termasuk diantaranya dengan menggunakan model rongga (*cavity model*). Konstruksi antena mikrostrip *patch circular* ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Antena mikrostrip *patch circular*

Di dalam merancang antena mikrostrip *patch circular* ada pertimbangan yang harus diperhatikan, yaitu pertimbangan memilih substrat untuk antena mikrostrip *patch circular* sama seperti antena mikrostrip *patch* persegi panjang, caranya adalah dimulai dengan memilih bahan dielektrik yang cocok dengan menyesuaikan tingkat ketebalan h dan rugi-rugi garis singgung. Semakin tebal substrat, disamping secara mekanik akan lebih kuat, akan meningkatkan daya radiasi, mengurangi rugi-rugi konduktor, dan memperbaiki impedansi *bandwidth* [1]. Bagaimanapun hal ini juga akan meningkatkan berat, rugi-rugi dielektrik, rugi-rugi gelombang permukaan, dan radiasi yang tidak berhubungan dari penyulang pemeriksa. Konstanta substrat dielektrik ϵ_r memiliki fungsi yang sama seperti ketebalan substrat. Nilai ϵ_r yang rendah akan meningkatkan daerah pinggir dari keliling *patch*, sehingga akan meradiasikannya. Oleh karena itu substrat dengan nilai $\epsilon_r \leq 2,5$ lebih baik kecuali jika diinginkan ukuran *patch* yang lebih kecil.

Meningkatnya ketebalan substrat akan memiliki dampak yang sama ketika menurunnya nilai ϵ_r dari karakteristik antena. Rugi-rugi garis singgung yang tinggi akan meningkatkan rugi-rugi dielektrik dan oleh karena itu hal ini akan menurunkan efisiensi antena. Bahan yang biasa digunakan sebagai substrat diantaranya adalah *honeycomb* ($\epsilon_r = 1.07$), *duroid* ($\epsilon_r = 2.32$), *quartz* ($\epsilon_r = 3.8$), dan *alumina* ($\epsilon_r = 10$) [1].

Tabel 1. Spesifikasi Substrat yang digunakan

Jenis Substrat	FR4 (<i>Epoxy</i>)
Konstanta Dielektrik Relatif	4,3
Konstanta Permeabilitas Relatif	1
Dielectric Loss Tangent	0,0265
Ketebalan Substrat	1,6 mm
Konduktifitas Bahan	$5,8 \times 10^7$ S/m

Jadi substrat yang digunakan haruslah memiliki konstanta dielektrik yang rendah. Hal ini bertujuan agar diperoleh efisiensi radiasi yang lebih tinggi. Selain itu substrat yang semakin tebal akan meningkatkan impedansi *bandwidth*. Hubungan *patch* dengan jari-jari ditentukan oleh kondisi resonansi seperti padapersamaan 1 [1]:

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2} \tag{1}$$

Untuk mencari nilai jari-jari *patch* (a) digunakan Persamaan 2:

$$a = \frac{1,481}{k \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2}$$

Nilai dari a yang diinginkan pada frekuensi kerja (f_r) dan konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3 berikut ini [3]:

$$a = \frac{8,794 \times 10^9}{f_r \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \tag{3}$$

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi kerja (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (ϵ_r) pada Persamaan 4:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \tag{4}$$

Setelah nilai (λ_0) diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (Δl) dapat dihitung dengan Persamaan 5:



$$\Delta l = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{5}$$

Impedansi karakteristik antenna mikrostrip ditentukan dengan Persamaan 6 sebagai berikut[3]:

$$Z_{in} = 60 \frac{\Delta l}{w} \tag{6}$$

dimana : w = Diameter elemen peradiasi (mm)

Untuk menghitung *gain* antenna ini digunakan dengan bantuan perangkat lunak tertentu. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan level penerimaan sinyal. Untuk menghitung *gain* dapat dilihat pada Persamaan 7 berikut ini:

$$G_a(dB) = P_a(dBm) - P_s(dBm) + G_s(dB) \tag{7}$$

dimana : G_a = Gain total antenna

P_a = Nilai level sinyal maksimum yang diterima antenna terukur (dBm)

P_s = Nilai level sinyal maksimum yang diterima antenna referensi (dBm)

G_s = *Gain* antenna referensi

Untuk menghitung *matching impedance* digunakan persamaan 8 berikut ini:

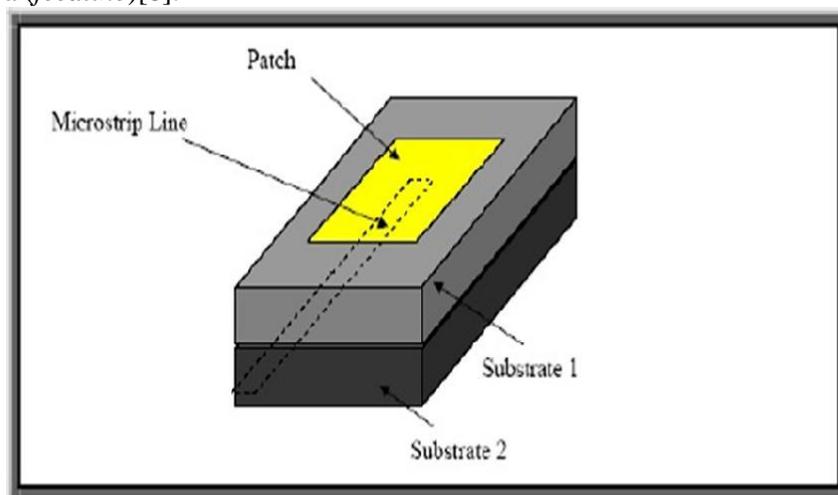
$$Z_I = \sqrt{Z_0 \cdot Z_L} \tag{8}$$

Sedangkan untuk menghitung lebar saluran pencatu digunakan persamaan 9 berikut:

$$B = 60 \frac{\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{9}$$

2. Teknik Pencatuan

Pada dasarnya saluran pencatu untuk antenna mikrostrip dapat dibagi menjadi 2, yaitu pencatuan secara langsung (*direct coupling*) dan pencatuan secara tidak langsung (*electromagnetic coupling*). Untuk rancang bangun antenna mikrostrip ini digunakan teknik pencatuan *proximity coupling*. Pada teknik pencatuan ini saluran transmisi (*feedline*) diletakan pada posisi yang lebih rendah dari *patch*, lebih tepatnya di bawah *patch*, seperti pada Gambar 4. Pada pendekatan ini menggunakan dua buah substrat, dimana *patch* pada substrat bagian atas dengan bidang pentanahannya dihilangkan seluruhnya dan substrat yang berada pada bagian bawah merupakan saluran transmisinya (*feedline*)[8].



Gambar 4. Teknik pencatuan metode *Proximity coupling*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

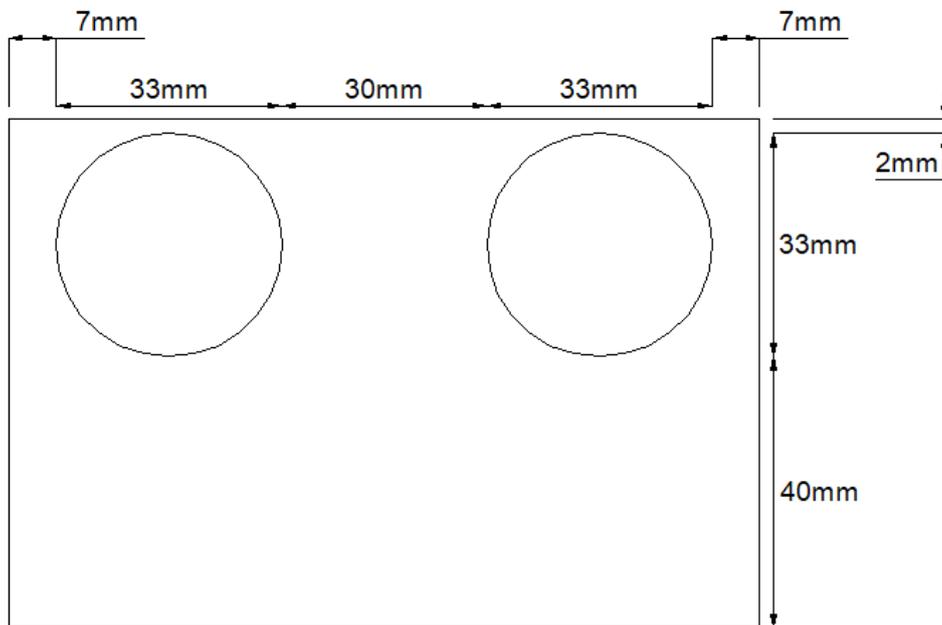
3.1 Hasil Perancangan

Dari hasil perhitungan, nilai VSWR dan *gain* yang dihasilkan belum sesuai dengan yang diharapkan. Diperlukan iterasi pada antenna tersebut agar didapat nilai VSWR dan *gain* yang optimal. Banyak hal yang mempengaruhi nilai VSWR dan *gain* tersebut antara lain besaran dimensi *patch*, lebar pencatu, dan panjang pencatu. Maka untuk tahap awal yang perlu diiterasi adalah dimensi *patch*. Hasil iterasi dimensi *patch* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Iterasi dimensi *patch*

Radius <i>patch</i> (mm)	VSWR			Gain (dB)
	2,4 GHz	2,45 GHz	2,5 GHz	2,45 GHz
17,1	1,48	2,42	2,20	2,74
17,0	1,46	2,37	3,62	2,68
16,9	1,24	1,85	2,92	2,77
16,8	1,30	1,6	2,50	2,77
16,7	1,41	1,44	2,20	2,79
16,6	1,59	1,34	1,90	2,78
16,5	1,77	1,32	1,71	2,79
16,4	2,06	1,37	1,46	2,76

Dari Tabel 1 didapat hasil iterasi radius *patch* dengan nilai VSWR 1,32 pada frekuensi 2,45 Ghz dan gain 2,79 dBi yang memenuhi saat radius *patch* 16,5 mm. Berdasarkan hasil iterasi diatas dan perhitungan dari persamaan 2 dan persamaan 3, maka didapat bentuk *patch* seperti pada Gambar 5 berikut.



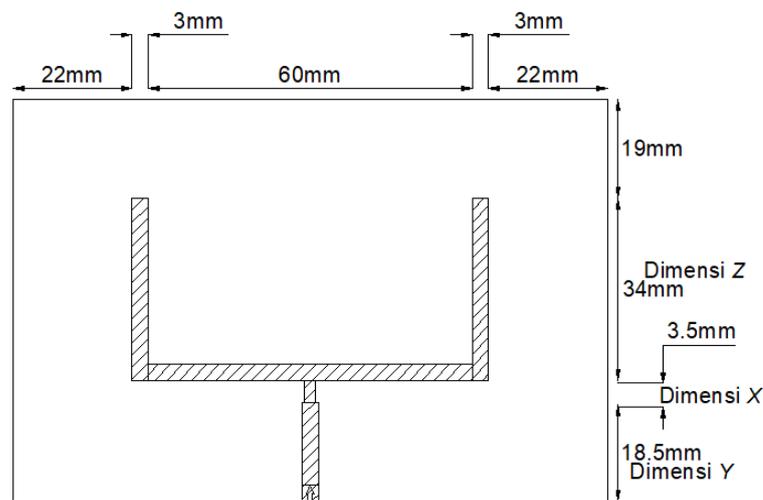
Gambar 5. Layer atas

Iterasi kedua dilakukan pada bagian X dan bagian Z yang ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil iterasi mengacu kepada nilai VSWR dan *gain* terbaik yang akan digunakan. Pada iterasi ini, dimensi Y tetap yaitu pada 18,5mm. Untuk dimensi Z, nilainya berbanding terbalik dengan dimensi X. Berikut hasil iterasi dari dimensi X dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Iterasi dimensi X dan Dimensi Z

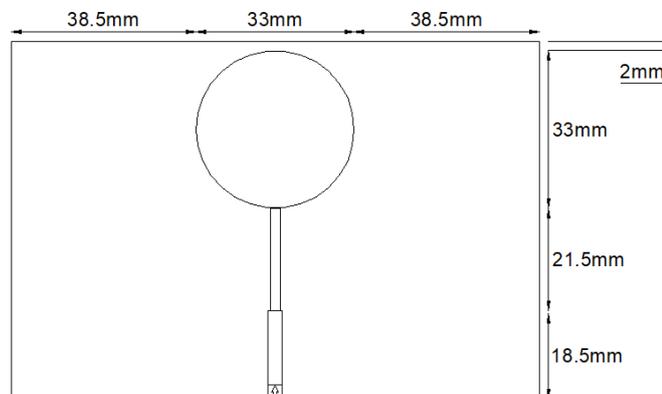
Dimensi X (mm)	Dimensi Z (mm)	VSWR	Gain (dB)
		2,45 GHz	2,45 GHz
1,5	36	3,118	7,6988
2,5	35	3,261	7,78
3,5	34	3,699	7,873
4,5	33	4,45	7,63
5,5	32	5,426	7,436
6,5	31	6,512	7,127

Dari tabel 2 didapat hasil iterasi dimensi X dan dimensi Z dengan nilai VSWR dan gain yang memenuhi pada 3,5mm. Berdasarkan hasil iterasi tersebut maka didapat bentuk pencatu seperti pada Gambar 6 berikut



Gambar 6. Layer bawah

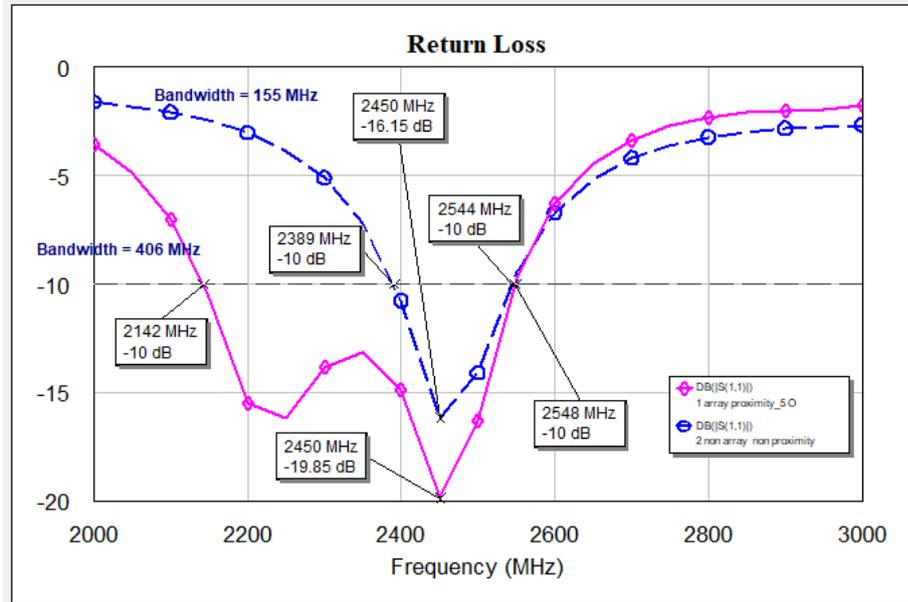
Patch circular dirancang dengan *array* untuk mendapatkan nilai *gain* yang lebih besar, sementara untuk memperlebar *bandwidth* antenna, dirancang dengan *proximity*. Untuk membuktikannya, maka dirancang juga dalam simulasi *patch circular* dengan satu buah tanpa *proximity*. Gambar 7 berikut adalah simulasi perancangan tanpa bentuk *array* dan *proximity*.



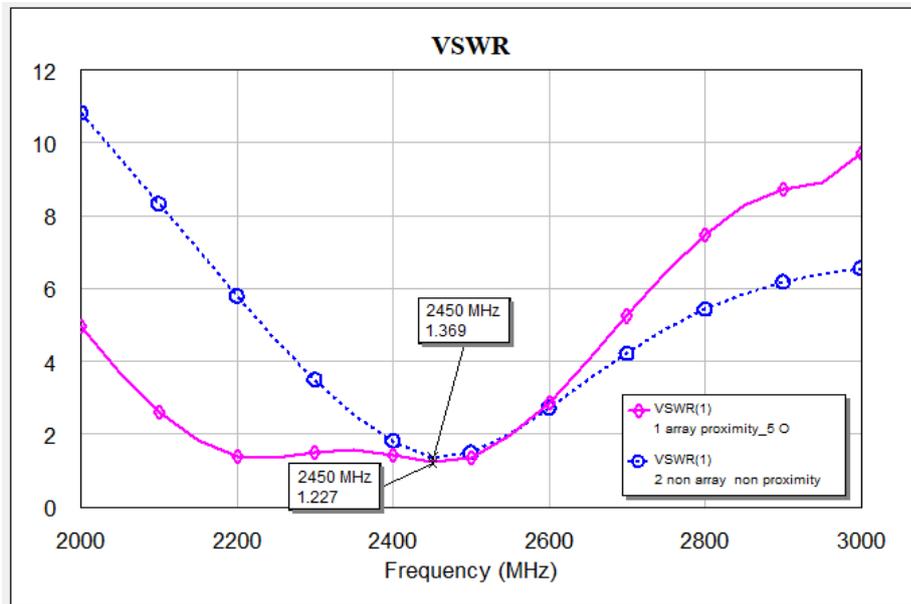
Gambar 7. Tanpa *array* dan *proximity*

3.2 Hasil Simulasi

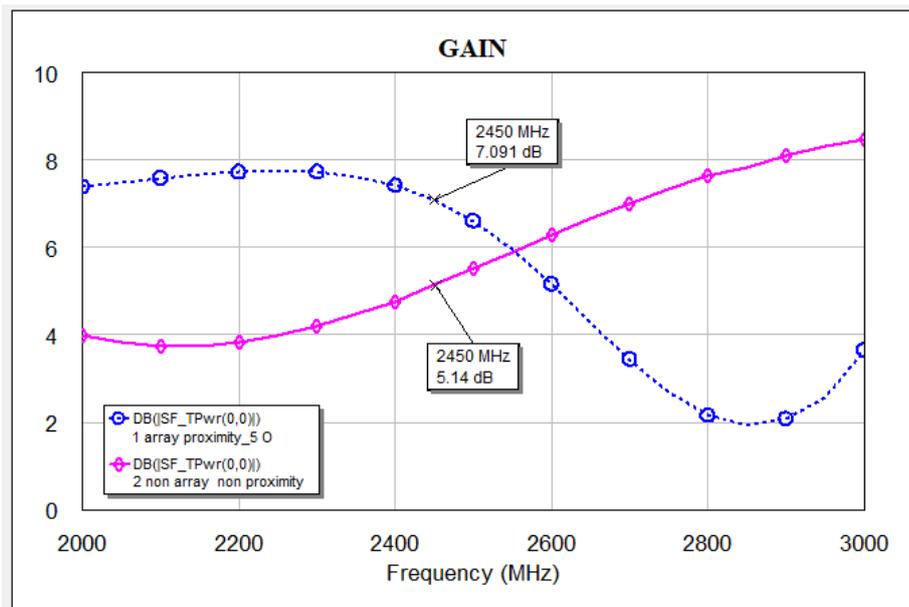
Berdasarkan hasil perancangan dari simulasi, maka terdapat 3 parameter yang diukur dalam simulasi *software* ini, yang diantaranya: *return loss*, *VSWR* dan *gain*. Berikut dilampirkan nilai dari *return loss*, *VSWR* dan *gain* secara berurut pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10 sebelum dan sesudah menggunakan sistem *array* dan *proximity*.



Gambar 8. Nilai *Return Loss* sebelum dan sesudah menggunakan sistem *array* dan *proximity*



Gambar 9. Nilai *VSWR* sebelum dan sesudah menggunakan sistem *array* dan *proximity*



Gambar 10. Nilai *Gain* sebelum dan sesudah menggunakan sistem *array* dan *proximity*

Berdasarkan hasil simulasi kedua antenna diatas, maka dapat disimpulkan dalam tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi Antena Mikrostrip

Simulasi	Nilai	
	Sebelum <i>array</i> dan <i>proximity</i>	Sesudah <i>array</i> dan <i>proximity</i>
<i>Return Loss</i>	-16,15 dB	-19,85 dB
VSWR	1,369	1,227
<i>Gain</i>	5,14 dB	7,091 dB

Seperti hasil yang ditunjukkan pada Gambar diatas, untuk penguatan sinyal *Wi-Fi* ini digunakan sistem *array*, karena dengan sistem *array* ini, dapat menguatkan *gain* antenna secara keseluruhan. Dan untuk tambahan, digunakan *proximity* untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar. Lebar *Bandwidth* dari yang semula hanya mendapatkan 155 MHz, setelah dibuat dengan sistem *proximity* menjadi 406 MHz.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dari antenna mikrostrip ini dapat disimpulkan untuk meningkatkan nilai *gain*, maka dilakukan optimasi dengan menggunakan metode *array* yang terbukti terdapat peningkatan *Gain* sebesar 38%. Disisi lain, untuk memperlebar *Bandwidth*, digunakan pencatu dengan teknik *proximity* yang terbukti terdapat peningkatan *Bandwidth* sebesar 162%.

REFERENSI

- [1] DITJEN POSTEL, “*Penataan Frekuensi Radio Layanan Akses Pita Lebar Berbasis Nirkabel*,” Jakarta, 2006.
- [2] Indra Surjati, “*Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*,” Jakarta, Universitas Trisakti, 2010.

- [3] Eka Wahyudi, Sigit Pramono, Mela Yuniati, “Perancangan Antena Mikrostrip Rektangular 2 Array pada Aplikasi Wi-Fi,” *Science Engineering Nasional Seminar 1*, Agustus 2015, Semarang, pp. 150-154.
- [4] Erfan Achmad Dahlan, Dwi Fadila K, Robie Tawakal, “Rancang Bangun Antena Microstrip Circular Array Four Element 2,4 GHz dengan Pola Radiasi Bidirectional, “ *Jurnal EECCIS*, Vol. II, No. 1, pp. 44 – 49, Juni 2008.
- [5] Eden Herdani, Ali Hanafiah Rambe, “Perancangan Antena Mikrostrip Array Patch Segitiga Dual- Band (2,4 GHz dan 3,3 GHz) dengan Stub pada Saluran Pencatu,” *Jurnal Singuda Ensikom*, Vol.11 No.30, pp. 82 – 87, Mei 2015.
- [6] Rambe, Ali Hanafiah, 2008, *Perancangan antena Mikrostrip Pacht Segi Empat Elemen Tunggal Dengan Pencatuan Aperture-Coupled Untuk Aplikasi CPE Pada Wimax*, Jakarta, Universitas Indonesia.
- [7] Alaydrus, Mudrik. *Antena dan Propagasi*, Jakarta, UMB, hal 1-3.
- [8] Hermansyah, M Rudy, 2010. *Rancang Bangun AntenaMicrostrip Patch Segiempat Untuk Aplikasi Wireless*. Medan, Universitas Sumatera Utara.
- [9] Surjati, I., Alam, S., & Hotman, S. (2017). Polarisasi Melingkar Antena Mikrostrip E Shape Dengan Pencatu Electromagnetic Coupling. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(1)
- [10] Nugraha, I. P. E. D., Surjati, I., & Alam, S. (2017). Miniaturized Minkowski-Island Fractal Microstrip Antenna Fed by Proximity Coupling for Wireless Fidelity Application. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 15(3), 1119-1126.

Rugi Daya Dan Energi Akibat Korona Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 Kv

Muhamad Haddin¹, Agil Bahtiar¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

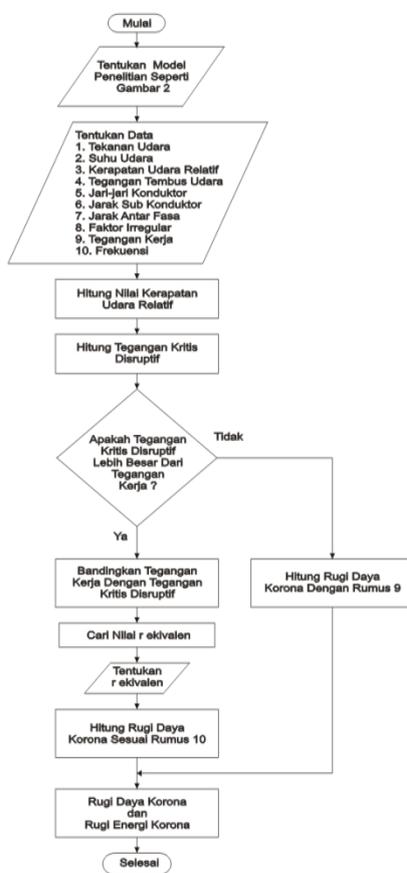
Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :

haddin@unissula.ac.id,

agil.bahtiar@gmail.com,

Graphical abstract



Abstract

The use of extra high voltage in electrical power transmission system causing corona. A visual corona phenomenon shown by the appearance of visible light radiation, hissing noise, ozone formation and power losses. The impact of corona affect the environment surrounding the overhead line transmission and power losses in the line. This research discusses power and energy losses due to corona by using quantitative method. Calculations performed by calculating relative air density values, disruptive critical voltages, power losses and corona energy. The research object was taken by extra high voltage overhead line transmission 500kV Tanjung Jati B Power Plant to Ungaran Substation. The result show that corona power losses are 0.41-0.44 kW/mil (0.25-0.27kw/km) per phase, with total 1.25-1.30kW/mil (0.78-0.81k/w/km). corona power losses 107.57-112.08 kW along of line. Average of corona energy losses obtained 2642.67 kWh. The percentage of corona power losses to electrical power supplied is between 0.005% to 0.011%.

Keywords: Power Losses, Corona, EHV 500KV.

Abstrak

Penggunaan tegangan ekstra tinggi dalam sistem transmisi tenaga listrik menyebabkan terjadinya korona. Fenomena korona secara visual diperlihatkan dengan munculnya cahaya keunguan, suara bising, terbentuknya ozon, dan menyebabkan kerugian daya. Dampak korona berpengaruh terhadap lingkungan sekitar saluran transmisi dan rugi daya pada saluran. Penelitian ini membahas tentang rugi daya dan energi akibat korona dengan menggunakan metode kuantitatif. Perhitungan dilakukan dengan menghitung nilai kerapatan udara relatif, tegangan kritis disruptif, rugi daya dan energi korona. Obyek penelitian diambil saluran tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Tanjung Jati B Jepara-Ungaran. Hasil menunjukkan bahwa rugi daya korona setiap fasa 0.41-0.44 kW/mil (0.25-0.27 kW/km)), dengan total 1.25-1.30 kW/mil (0.78-0.81 kW/km), sedangkan rugi daya korona sepanjang saluran 107.57 kW hingga 112.08 kW. Sehingga diperoleh rugi energi korona rata-rata 2642.67 kWh. Persentase rugi daya korona terhadap daya listrik yang disalurkan bernilai antara 0.005% hingga 0.011 %.

Kata kunci: Rugi Daya, Energi, Korona, SUTET 500 kV

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

1. PENDAHULUAN

Penggunaan tegangan ekstra tinggi dalam sistem transmisi tenaga listrik menyebabkan terjadinya korona. Korona merupakan gejala hilangnya sifat isolasi pada udara, bisa disebut juga udara mengalami kegagalan. Fenomena terjadinya korona secara visual diperlihatkan dengan munculnya cahaya keunguan, suara bising, terbentuknya ozon, dan menyebabkan terjadinya kerugian daya. Tentunya dampak tersebut berpengaruh terhadap lingkungan sekitar saluran dan kerugian daya tentunya berdampak pada saluran.

Penelitian tentang rugi korona pada saluran transmisi telah dilakukan pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV[1]. Penelitian ini memfokuskan tentang rugi daya dan energi akibat korona pada saluran transmisi dengan tegangan operasi 500 kV atau disebut Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Sebagai obyek penelitian diambil SUTET 500 kV PLTU Tanjung Jati B Jepara menuju Gardu Induk Ungaran.

Korona didefinisikan sebagai peluahan diri berkelanjutan pada medan ionisasi intensif yang terlokalisasi pada jarak diantara elektroda. Karenanya korona ditandai dengan peluahan yang dipancarkan dari batas luar konduktor ketika medan listrik pada permukaan konduktor melebihi batas medan disruptif (*disruptif field*) udara disekitar konduktor. Fenomena ini terjadi pada setiap konduktor, berapapun diameternya, apabila membawa (dibebani) tegangan ekstra tinggi. Fenomena ini menghasilkan kerugian daya, distorsi pada bentuk gelombang arus listrik dan interferensi pada sistem komunikasi (menyebabkan distorsi pada penerima gambar televisi), suara bising, letupan cahaya yang dapat dilihat pada saat gelap. Pada praktiknya efek dari korona mulai dihitung pada tegangan operasi diatas 100 kV antar fasa. [2-4].

Tegangan permulaan korona dikenal sebagai Tegangan yang berhubungan dengan gradien potensial. Hal ini bergantung pada (a) kondisi atmosfer, (b) kondisi permukaan konduktor dan (c) konfigurasi dari konduktor. Kekuatan dielektrik dari udara adalah berbanding lurus dengan kerapatan udara relative (δ) yaitu,

$$\delta = \frac{0.386 p}{(273+t)} \quad (1)$$

dengan

p = tekanan udara (mmHg)

t = temperatur udara ($^{\circ}$ C)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Evangelista Torricelli tekanan udara diatas permukaan laut adalah 76 cmHg dan akan berkurang 1 cmHg setiap kenaikan 100 meter[5]. Untuk visual korona di udara Peek telah memberikan rumus hubungan empiris untuk gradien potensial pada permukaan konduktor. Rumus empiris Peek yaitu.

$$g_v = m_v \delta r \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \right) \text{ kV/cm} \quad (2)$$

dengan

g_v = gradien potensial (kV)

m_v = faktor iregular

= 1.0 untuk konduktor mengkilat

= 0.98 – 0.93 untuk konduktor kotor akibat kondisi atmosfer

= 0.72 untuk korona local pada konduktor serabut (*stranded*)

r = jari-jari konduktor (cm)

δ = faktor kerapatan udara relatif

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai gradien potensial pada udara, $g = 30$ kV/cm. Maka diperoleh rumus (3).

$$V_v = 30 m_v \delta r \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \right) \ln \frac{D}{r} \quad (3)$$

dengan

V_v = tegangan visual korona (kV)

m_v = faktor iregular

= 1.0 untuk konduktor mengkilat

= 0.98 – 0.93 untuk konduktor kotor akibat kondisi atmosfer

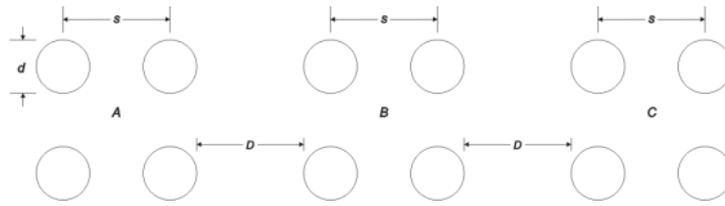
= 0.72 untuk korona local pada konduktor serabut (*stranded*)

r = jari-jari konduktor (cm)

δ = faktor kerapatan udara relative

D = jarak antar fasa (cm)

Konfigurasi dari konduktor yang digunakan pada tegangan kerja 500 kV Penelitian ini yaitu konduktor berkas dengan empat buah sub-konduktor konfigurasi persegi.



Gambar 1 Konduktor Berkas Empat Sub-Konduktor Persegi

Konfigurasi pada Gambar 1 menghasilkan sebuah rumus

$$g_m = \frac{V}{4r \frac{1}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}}} = g_v \tag{4}$$

$$V_v = g_v \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}} \tag{5}$$

Sehingga diperoleh rumus tegangan visual korona

$$V_v = g_v m_v \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\alpha_{eq}}}\right) \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}} \tag{6}$$

dengan

$$\alpha_{eq} \ln \left(\frac{D}{\alpha_{eq}}\right) = \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}} \tag{7}$$

dengan,

- g_v = gradient potensial (kV/cm)
- V_v = tegangan visual korona (kV)
- m_v = faktor iregular
- r = jari-jari konduktor (cm)
- D = jarak antar fasa (cm)
- s = jarak sub-konduktor (cm)
- α_{eq} = jari-jari ekivalen (cm)

Nilai $\left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}}\right)$ merupakan variabel dalam menentukan tegangan visual korona (V_v), untuk menentukan tegangan kritis disruptif (V_d) maka variabel tersebut tidak diikutsertakan[3].

Peek[4] memberikan persamaan rugi daya akibat korona pada kondisi udara yang baik adalah sebagai berikut,

$$P_c = \frac{390}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D} (V - V_d)^2} \times 10^{-5} \text{ kW/mil/fasa} \tag{8}$$

$$P_c = \frac{390}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D} (V - V_d)^2} \times 10^{-5} \text{ kW/km/fasa} \tag{9}$$

dengan

- V = tegangan operasi saluran per fasa (kV)
- V_d = tegangan kritis disruptif per fasa (kV)
- f = frekuensi yang digunakan (Hz)

Perkiraan kerugian dalam kondisi cuaca buruk diperoleh dengan mengambil V_d sebanyak 0.8 kali dari kondisi cuaca yang baik. Pembatasan pada Persamaan (8) dan (9) adalah:

- a) Rentang frekuensi antara 25-125 Hz
- b) Jari-jari konduktor lebih besar dari 0.25cm
- c) Rasio V/V_d harus lebih dari 1.8
- d) Persamaan ini berlaku untuk kondisi cuaca yang baik, dan kelembaban tidak boleh terlandu rendah.

Rumus Peek[4] hanya berlaku bila kerugian korona dominan dan tidak berlaku apabila kerugian terlalu rendah. Ketika rasio (V/V_d) kurang dari 1.8, rumus Peterson memegang peranan lebih baik [3-4].

$$P_c = \left[\frac{33.7 \times 10^{-6} f V^2}{\left[\log\left(\frac{D}{r}\right) \right]^2} \right] F \text{ kW/mil/konduktor} \tag{10}$$

dengan F merupakan faktor yang bervariasi terhadap rasio V/V_d yang ditunjukkan pada Tabel 1.

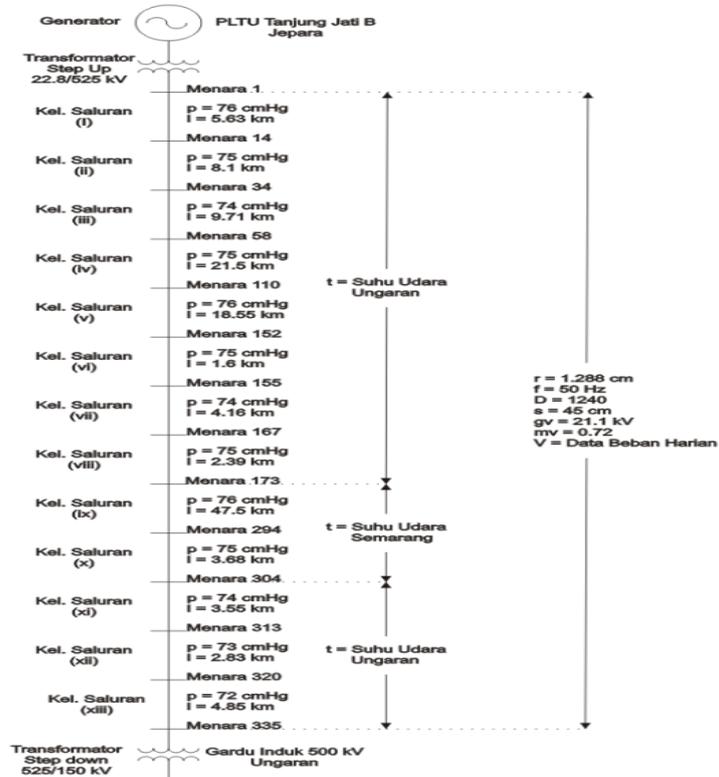
Tabel 1 Rasio V/V_d

V/V_d	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
F	0.012	0.018	0.05	0.08	0.3	1	3.5	6	8

Berdasarkan latar belakang dan landasan teori yang telah diperoleh maka tujuan dari Penelitian ini adalah menghitung besaran nilai korona dan menghitung kerugian daya akibat korona yang terjadi sepanjang SUTET 500 kV PLTU Tanjung Jati B Jepara menuju Gardu Induk Pusat Beban Ungaran.

2. METODE PENELITIAN

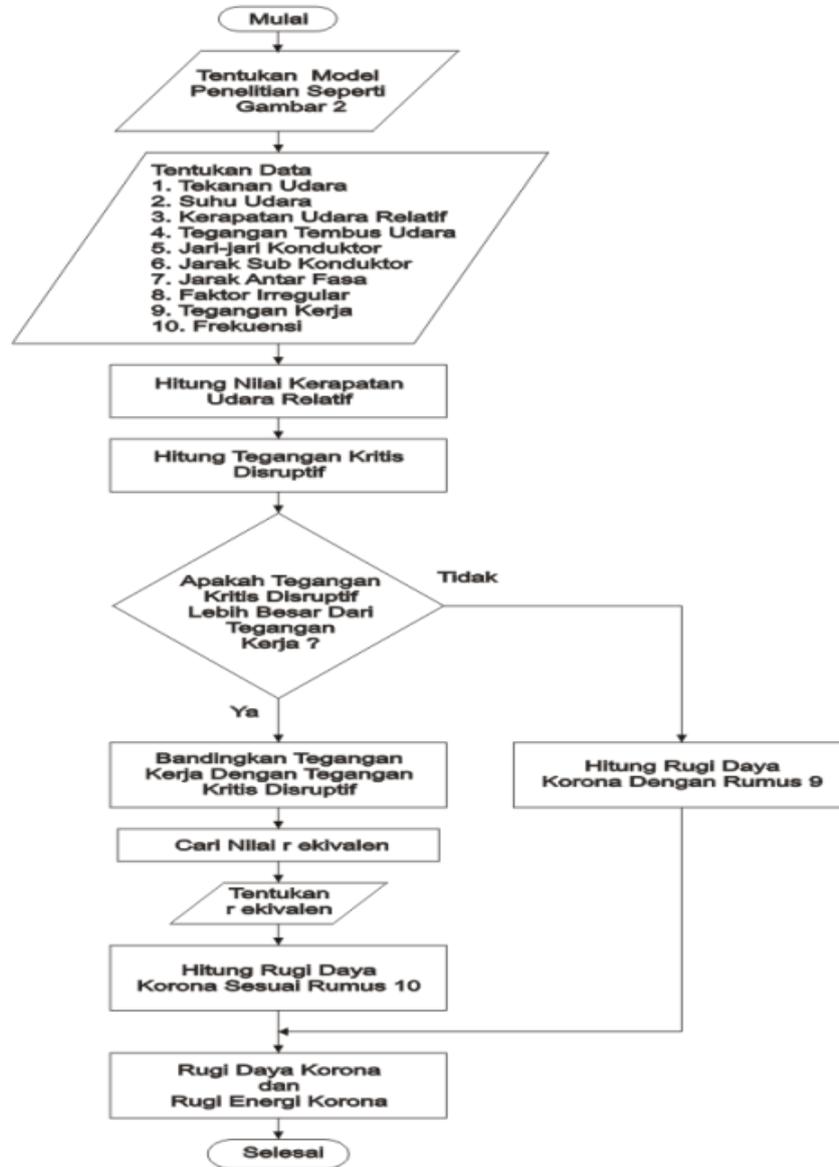
Model dari penelitian ditunjukkan oleh diagram garis transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500kV Tanjung Jati B Jepara menuju Gardu Induk Pusat Beban Ungaran seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Model Penelitian SUTET 500 kV Jepara – Ungaran



Gambar 2 memperlihatkan bahwa saluran transmisi 500kV dari Jepara sampai Ungaran terbagi kedalam beberapa bagian kelompok saluran. Kelompok saluran terbagi berdasarkan letak ketinggian menara transmisi dari atas permukaan laut guna menentukan variabel tekanan udara. Gambar 2 juga menjelaskan variabel-variabel yang menunjukkan spesifikasi dari masing-masing kelompok saluran. Alur penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Alur Penelitian SUTET 500 kV Jepara – Ungaran

Data dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2 sampai dengan 5.

Tabel 2 Data Saluran Transmisi

Jenis kabel saluran transmisi	ACSR tipe Gannet A= 392.84 mm ² , r= 12.88 mm
Jumlah sikuit	sirkuit <i>double</i> 3 fasa
Panjang saluan transmisi	134.8 km
Jumlah konduktor dalam satu bundle	4
Jarak antar konduktor dalam satu bundle	45 cm
Jarak antar koduktor	12.4 m
Tinggi Tower	60 m

Tabel 3 Data Tekanan Udara dan Jarak Konduktor

Kelompok Saluran	Nomer Tower	Tekanan	Jarak	Kabupaten
		(cmHg)	(km)	
i	1-14	76	5.63	Jepara
ii	15-34	75	8.1	Jepara
iii	35-58	74	9.71	Jepara
iv	59-110	75	21.5	Jepara
v	111-152	76	18.55	Kudus
vi	153-155	75	1.6	Pati
vii	156-167	74	4.16	pati
viii	168-173	75	2.39	Pati
ix	174-294	76	47.5	Purwodadi
x	295-304	75	3.68	Demak
xi	305-313	74	3.55	Ungaran
xii	314-320	73	2.83	Ungaran
xiii	321-335	72	4.85	Ungaran

Tabel 4 Data Daya, Tegangan dan Suhu Harian Bulan Januari

Tanggal	Total daya	Daya	V In A	V In B	V In C	Suhu Udara (°C)	
	MW	MWH	kV	kV	kV	Ungaran	Semarang
1-Jan-17	29755.66	1239.82	289.73	292.25	288.61	26.65	28.1
2-Jan-17	40827.21	1701.13	293.06	295.53	291.11	25.3	27.2
3-Jan-17	45839.85	1909.99	293.69	296.06	291.28	25.65	27.3
4-Jan-17	46117.90	1921.58	292.87	295.17	290.50	24.55	27.2
5-Jan-17	55769.14	2323.71	292.17	294.21	289.21	26.55	28.1
6-Jan-17	56470.98	2352.96	290.70	292.83	287.62	25.3	26.6
7-Jan-17	53719.87	2238.33	288.23	290.38	285.33	26.25	28.3
8-Jan-17	52659.65	2194.15	288.74	291.00	286.05	27.55	28.8
9-Jan-17	55760.99	2323.37	291.58	293.73	288.51	25.1	27.8
10-Jan-17	57091.76	2378.82	291.55	293.59	288.39	27.3	27.4
11-Jan-17	55437.30	2309.89	292.45	294.57	289.52	27.4	28.4
12-Jan-17	55326.75	2305.28	292.81	294.91	289.86	26.6	29.1
13-Jan-17	57541.40	2397.56	292.54	294.55	289.30	23.85	28
14-Jan-17	51291.11	2137.13	288.25	290.30	285.54	24.5	26.7
15-Jan-17	41918.71	1746.61	290.02	292.06	287.78	23.15	26.1
16-Jan-17	50856.67	2119.03	291.44	293.47	288.74	24.45	26.4
17-Jan-17	56896.51	2370.69	291.05	293.17	288.05	24.15	26.7
18-Jan-17	49791.06	2074.63	291.94	294.00	289.35	25.25	27.2
19-Jan-17	49531.74	2063.82	292.37	294.43	289.78	23.4	27.6
20-Jan-17	54146.91	2256.12	290.93	293.02	288.00	23.2	27.5
21-Jan-17	55049.73	2293.74	291.99	294.09	289.08	24.3	27.7
22-Jan-17	48951.98	2039.67	290.51	292.76	288.15	25.5	27.8
23-Jan-17	55590.58	2316.27	294.06	296.13	291.25	23.95	27.2
24-Jan-17	58594.78	2441.45	293.07	295.02	289.80	24.5	27.3
25-Jan-17	58783.35	2449.31	292.24	294.23	289.00	25.2	27.5
26-Jan-17	58315.09	2429.80	292.63	294.60	289.38	23.75	26
27-Jan-17	56081.39	2336.72	290.95	293.08	287.84	25.7	27.7
28-Jan-17	40414.44	1683.94	288.79	290.89	286.77	24.8	27
29-Jan-17	36240.96	1510.04	290.17	292.21	288.56	25.55	26.3
30-Jan-17	50433.99	2101.42	291.46	293.49	288.92	25.95	27
31-Jan-17	53571.66	2232.15	291.73	293.75	288.82	24.9	27.5



Tabel 5 Hasil Pengukuran Korona SUTET 500 kV Tanjung Jati – Ungaran

NO	PENGUKURAN		NOTWR	NOLINE	LOKASI	COUNTRATE/MNT			KONDISI	
	TGL	JAM				R	S	T	SUHU (°C)	CUACA
1	14-Aug-12	13.12	48	1	Isolator suspension Line 1	780	2340	640	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	20	110	750	34.6	
2	14-Aug-12	13.19	49	1	Isolator suspension Line 1	20	60	20	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	20	20	20	34.6	
5	14-Aug-12	11.32	50	1	Isolator Tentension ke Tj.Jati	60	430	350	38.8	Terang
					Isolator Tentension ke Ungaran	220	180	70		
				2	Isolator Tentension ke Tj.Jati	100	360	910	36.5	
					Isolator Tentension ke Ungaran	70	80	160		
4	14-Aug-12	11.36	51	1	Isolator suspension Line 1	130	820	1230	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	110	20	110	34.6	
5	14-Aug-12	12.14	52	1	Isolator suspension Line 1	20	10	160	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	100	40	50	34.6	
6	14-Aug-12	12.20	53	1	Isolator suspension Line 1	210	60	160	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	50	1380	30	34.6	
7	14-Aug-12	12,47	54	1	Isolator suspension Line 1	20	20	0	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	20	20	20	34.6	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kerapatan Udara Relatif

Nilai kerapatan udara relatif menjadi faktor yang mempengaruhi terjadinya korona, karena korona terjadi pada udara disekitar konduktor saluran. Kerapatan udara relatif dipengaruhi oleh suhu udara dan tekanan udara pada sekitar konduktor. Dalam mencari kerapatan udara digunakanlah aplikasi *elevation profile* dari google earth sehingga diperoleh data pengelompokan saluran sebagai berikut.

Tabel 6 Data Pengelompokan Saluran

Kelompok Saluran	Nomer Menara Saluran	Tekanan	Jarak	Suhu Acuan
		(cmHg)	(km)	
i	1-14, 111-152	76	24.18	Stasiun Ungaran
ii	15-34, 59-110, 153-155, 168-173	75	33.59	Stasiun Ungaran
iii	35-58, 156-167, 305-313	74	17.42	Stasiun Ungaran
iv	314-320	73	2.83	Stasiun Ungaran
v	321-335	72	4.85	Stasiun Ungaran
vi	174-294	76	47.5	Stasiun Semarang
vii	295-304	75	3.68	Stasiun Semarang

Dari data suhu harian dan tekanan udara diperoleh nilai kerapatan udara sebagai berikut ini.

Tabel 7 Kerapatan Udara Relatif Bulan Januari

Tanggal	Kelompok Saluran	Kerapatan Udara Relatif						
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)
1-Jan-17		0.979	0.966	0.953	0.940	0.927	0.974	0.961
2-Jan-17		0.983	0.970	0.958	0.945	0.932	0.977	0.964
3-Jan-17		0.982	0.969	0.956	0.944	0.931	0.977	0.964
4-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.977	0.964
5-Jan-17		0.979	0.966	0.954	0.941	0.928	0.974	0.961
6-Jan-17		0.983	0.970	0.958	0.945	0.932	0.979	0.966
7-Jan-17		0.980	0.967	0.955	0.942	0.929	0.974	0.961
8-Jan-17		0.976	0.963	0.950	0.938	0.925	0.972	0.959
9-Jan-17		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.975	0.962
10-Jan-17		0.977	0.964	0.951	0.938	0.925	0.977	0.964
11-Jan-17		0.977	0.964	0.951	0.938	0.925	0.973	0.961
12-Jan-17		0.979	0.966	0.953	0.941	0.928	0.971	0.958
13-Jan-17		0.988	0.975	0.962	0.949	0.936	0.975	0.962
14-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.979	0.966
15-Jan-17		0.991	0.978	0.965	0.951	0.938	0.981	0.968
16-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.980	0.967
17-Jan-17		0.987	0.974	0.961	0.948	0.935	0.979	0.966
18-Jan-17		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.977	0.964
19-Jan-17		0.990	0.977	0.964	0.951	0.938	0.976	0.963
20-Jan-17		0.990	0.977	0.964	0.951	0.938	0.976	0.963
21-Jan-17		0.987	0.974	0.961	0.948	0.935	0.976	0.963
22-Jan-17		0.983	0.970	0.957	0.944	0.931	0.975	0.962
23-Jan-17		0.988	0.975	0.962	0.949	0.936	0.977	0.964
24-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.977	0.964
25-Jan-17		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.976	0.963
26-Jan-17		0.989	0.976	0.963	0.950	0.937	0.981	0.968
27-Jan-17		0.982	0.969	0.956	0.943	0.930	0.976	0.963
28-Jan-17		0.985	0.972	0.959	0.946	0.933	0.978	0.965
29-Jan-17		0.983	0.970	0.957	0.944	0.931	0.980	0.967
30-Jan-17		0.981	0.968	0.955	0.943	0.930	0.978	0.965
31-Jan-17		0.985	0.972	0.959	0.946	0.933	0.976	0.963
Rata-rata		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.977	0.964

Tabel 7 menunjukkan bahwa kerapatan udara kelompok saluran (i) sampai dengan (v) yang menggunakan acuan suhu udara Ungaran mengalami penurunan nilai seiring menurunnya tekanan udara. Begitu juga pada kelompok saluran (vi) dan (vii). Sehingga, hasil perhitungan kerapatan udara rata-rata pada bulan Januari dapat digambarkan seperti Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Kerapatan Udara Bulan Januari 2017

Tabel 7 dan Gambar 4 memperlihatkan nilai kerapatan udara pada suatu tempat akan berkurang seiring bertambahnya ketinggian suatu tempat dari atas permukaan laut. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suatu tempat maka nilai tekanan udara pada tempat tersebut akan semakin menurun. Peningkatan suhu udara menyebabkan nilai kerapatan udara akan semakin menurun, hal ini ditunjukkan pada kedua grafik diatas, bahwa kerapatan udara dengan suhu acuan stasiun Ungaran pada ketinggian permukaan bumi yang sama memiliki suhu yang lebih tinggi dari kerapatan udara dengan suhu acuan stasiun Semarang.

3.2 Tegangan Kritis Disruptif

Tegangan kritis disruptif merupakan tegangan dimana korona mulai terjadi. Tegangan kritis disruptif dipengaruhi oleh konfigurasi dari jaringan transmisi dan kondisi udara disekitar jaringan transmisi tersebut. Dari data-data yang ada diperoleh tegangan kritis disruptif sebagai berikut

Tabel 8 Tegangan Kritis Disruptif Bulan Januari

Tanggal	Kelompok Saluran	Tegangan Kritis Disruptif (kV)						
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)
1-Jan-17		365.883	361.069	356.255	351.441	346.626	364.121	359.330
2-Jan-17		367.539	362.703	357.867	353.031	348.195	365.213	360.408
3-Jan-17		367.108	362.278	357.448	352.617	347.787	365.091	360.288
4-Jan-17		368.466	363.617	358.769	353.921	349.073	365.213	360.408
5-Jan-17		366.005	361.190	356.374	351.558	346.742	364.121	359.330
6-Jan-17		367.539	362.703	357.867	353.031	348.195	365.944	361.129
7-Jan-17		366.372	361.552	356.731	351.910	347.090	363.880	359.092
8-Jan-17		364.788	359.988	355.188	350.388	345.588	363.277	358.497
9-Jan-17		367.786	362.946	358.107	353.268	348.429	364.485	359.689
10-Jan-17		365.091	360.288	355.484	350.680	345.876	364.970	360.168
11-Jan-17		364.970	360.168	355.365	350.563	345.761	363.759	358.973
12-Jan-17		365.944	361.129	356.314	351.499	346.684	362.916	358.141
13-Jan-17		369.334	364.475	359.615	354.755	349.896	364.242	359.450
14-Jan-17		368.528	363.678	358.829	353.980	349.131	365.822	361.009
15-Jan-17		370.207	365.336	360.465	355.594	350.723	366.556	361.733
16-Jan-17		368.589	363.740	358.890	354.040	349.190	366.189	361.371
17-Jan-17		368.962	364.107	359.252	354.397	349.543	365.822	361.009
18-Jan-17		367.601	362.764	357.927	353.090	348.253	365.213	360.408
19-Jan-17		369.895	365.028	360.161	355.294	350.427	364.727	359.928
20-Jan-17		370.145	365.275	360.404	355.534	350.664	364.848	360.048
21-Jan-17		368.775	363.923	359.071	354.219	349.366	364.606	359.808
22-Jan-17		367.293	362.460	357.627	352.795	347.962	364.485	359.689
23-Jan-17		369.210	364.352	359.494	354.636	349.778	365.213	360.408
24-Jan-17		368.528	363.678	358.829	353.980	349.131	365.091	360.288
25-Jan-17		367.662	362.825	357.987	353.149	348.312	364.848	360.048
26-Jan-17		369.459	364.598	359.736	354.875	350.014	366.679	361.854
27-Jan-17		367.047	362.217	357.388	352.558	347.729	364.606	359.808
28-Jan-17		368.156	363.312	358.468	353.624	348.780	365.456	360.648
29-Jan-17		367.231	362.399	357.567	352.735	347.903	366.311	361.491
30-Jan-17		366.740	361.915	357.089	352.263	347.438	365.456	360.648
31-Jan-17		368.033	363.190	358.348	353.505	348.663	364.848	360.048
Rata-rata		367.706	362.868	358.030	353.191	348.353	364.968	360.166

Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan tegangan kritis disruptif pada bulan Januari. Grafik nilai perhitungan rata-rata setiap kelompok saluran ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Tegangan Disruptif Bulan Januari 2017

Tabel 8 dan Gambar 5 memperlihatkan bahwa nilai tegangan disruptif pada suatu tempat akan berkurang seiring bertambahnya ketinggian suatu tempat dari atas permukaan laut. Semakin tinggi suatu tempat maka nilai tegangan disruptif akan semakin rendah nilainya hal ini dikarenakan semakin tinggi suatu tempat maka nilai kerapatan udara pada tempat tersebut akan semakin menurun.

3.3 Perbandingan Tegangan Kritis Disruptif Dengan Tegangan Kerja.

Tabel 9 memperlihatkan perbandingan nilai tegangan kritis disruptif dengan tegangan kerja saluran transmisi 500 kV Jepara ke Ungaran. Nilai tegangan kritis disruptif konfigurasi saluran transmisi memiliki nilai lebih besar daripada tegangan kerja saluran. Kondisi demikian menunjukkan tegangan kerja saluran belum mencapai tegangan kritis disruptif, sehingga belum mencapai tegangan permulaan terjadinya korona. Tabel 5 memperlihatkan hasil pengukuran korona yang pernah

dilakukan oleh pihak APP (Area Pelaksana dan Pemelihara) Semarang bahwa terjadi korona yang bervariasi dari 20 *countrate*/menit sampai dengan 2340 *countrate*/menit. Perbandingan tegangan kritis disruptif dan tegangan kerja ditunjukkan Tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan Tegangan Saluran dengan Tegangan Disruptif Bulan Januari

Tanggal	Kelompok Saluran	Perbandingan Tegangan Saluran dengan Tegangan Disruptif Bulan Januari (kV)								
		(i)			(v)			(vii)		
		ln A	ln B	ln C	ln A	ln B	ln C	ln A	ln B	ln C
1-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
2-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.84	0.81	0.82	0.81
3-Jan-17		0.80	0.81	0.79	0.84	0.85	0.84	0.82	0.82	0.81
4-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.81
5-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.80
6-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.80	0.81	0.80
7-Jan-17		0.79	0.79	0.78	0.83	0.84	0.82	0.80	0.81	0.79
8-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
9-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
10-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.80
11-Jan-17		0.80	0.81	0.79	0.85	0.85	0.84	0.81	0.82	0.81
12-Jan-17		0.80	0.81	0.79	0.84	0.85	0.84	0.82	0.82	0.81
13-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
14-Jan-17		0.78	0.79	0.78	0.83	0.83	0.82	0.80	0.80	0.79
15-Jan-17		0.78	0.79	0.78	0.83	0.83	0.82	0.80	0.81	0.80
16-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
17-Jan-17		0.79	0.79	0.78	0.83	0.84	0.82	0.81	0.81	0.80
18-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
19-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.81	0.82	0.81
20-Jan-17		0.79	0.79	0.78	0.83	0.84	0.82	0.81	0.81	0.80
21-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
22-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
23-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.82	0.82	0.81
24-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.80
25-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
26-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
27-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
28-Jan-17		0.78	0.79	0.78	0.83	0.83	0.82	0.80	0.81	0.80
29-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.83	0.84	0.83	0.80	0.81	0.80
30-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
31-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80

Tabel 9 menunjukkan bahwa rasio (V/V_d) pada kelompok saluran (i), (v), dan (vii) yang diambil sebagai sampel memiliki nilai hasil perbandingan mulai dari 0.78 sampai 0.85. Ketika rasio (V/V_d) kurang dari 1.8 maka persamaan Peterson memegang peranan lebih baik. Maka dalam perhitungan rugi daya akibat korona dengan menggunakan rumus (10) memiliki nilai F sebesar 0.018.

3.4 Jari-jari Ekuivalen (α_{eq})

Dalam menghitung rugi korona menggunakan rumus Peterson yaitu rumus (10) terdapat unsur r atau jari-jari konduktor, namun untuk konfigurasi berkas harus dicari terlebih dahulu nilai jari-jari ekuivalen (α_{eq}). nilai jari-jari ekuivalen (α_{eq}) diperoleh dengan menggunakan persamaan (7) yaitu.

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{D}{\alpha_{eq}}\right) = \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln\frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}}$$

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) = \frac{4 \times 1.28}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2} \times 1.28}{45}\right)} \ln\frac{1240}{\sqrt[4]{\sqrt{2 \times 1.28 \times 45^3}}}$$

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) = 24.6$$

Untuk menyelesaikan perhitungan diatas maka digunakanlah persamaan fungsi matematis sebagai berikut.

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) = 24.6$$

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) - 24.6 = 0$$

Maka diperoleh fungsi matematis

$$f(\alpha_{eq}) = \alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) - 24.6$$

Dengan analisa numerik metode iterasi diperoleh jari-jari ekuivalen (α_{eq}) yaitu 4.353 cm.



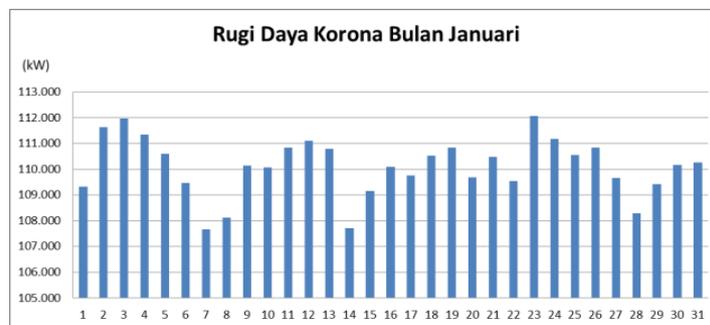
3.5 Rugi Daya dan Energi Akibat Korona

Setelah semua data diperoleh langkah selanjutnya adalah memasukkan data-data tersebut kedalam persamaan Peterson (rumus 10) untuk mendapatkan nilai rugi daya korona. Sedangkan untuk menghitung rugi energi korona adalah mengalikan rugi daya korona dengan waktu kerja saluran. Rugi daya dan energi akibat korona diperoleh yaitu.

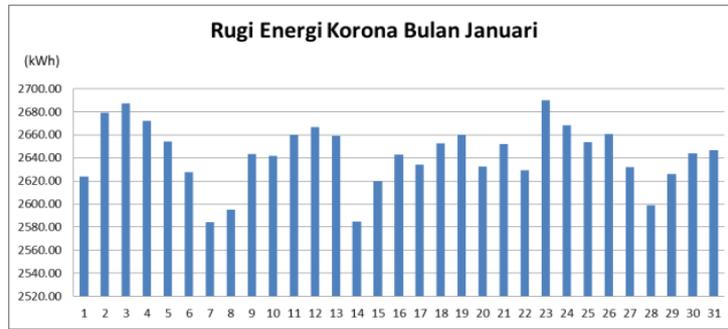
Tabel 10 Rugi Daya dan Energi Akibat Korona Bulan Januari

Tanggal	Rugi Daya Korona						Rugi Energi Korona
	Pc ln A	Pc ln B	Pc ln C	Pc total	/	Pc saluran	Wc
	(kW/mil)	(kW/mil)	(kW/mil)	(kW/mil)	(mil)	(kw)	(kWh)
1-Jan-17	0.422	0.430	0.419	1.271	85.99	109.336	2624.07
2-Jan-17	0.432	0.440	0.426	1.298	85.99	111.636	2679.27
3-Jan-17	0.434	0.441	0.427	1.302	85.99	111.975	2687.40
4-Jan-17	0.432	0.438	0.425	1.295	85.99	111.342	2672.22
5-Jan-17	0.430	0.436	0.421	1.286	85.99	110.595	2654.29
6-Jan-17	0.425	0.432	0.416	1.273	85.99	109.477	2627.46
7-Jan-17	0.418	0.424	0.410	1.252	85.99	107.673	2584.15
8-Jan-17	0.420	0.426	0.412	1.258	85.99	108.134	2595.21
9-Jan-17	0.428	0.434	0.419	1.281	85.99	110.150	2643.59
10-Jan-17	0.428	0.434	0.419	1.280	85.99	110.076	2641.84
11-Jan-17	0.430	0.437	0.422	1.289	85.99	110.837	2660.09
12-Jan-17	0.431	0.438	0.423	1.292	85.99	111.100	2666.41
13-Jan-17	0.431	0.437	0.421	1.289	85.99	110.800	2659.20
14-Jan-17	0.418	0.424	0.410	1.253	85.99	107.712	2585.08
15-Jan-17	0.423	0.429	0.417	1.269	85.99	109.151	2619.61
16-Jan-17	0.427	0.433	0.420	1.280	85.99	110.107	2642.58
17-Jan-17	0.426	0.433	0.418	1.276	85.99	109.760	2634.24
18-Jan-17	0.429	0.435	0.421	1.285	85.99	110.520	2652.48
19-Jan-17	0.430	0.436	0.423	1.289	85.99	110.849	2660.37
20-Jan-17	0.426	0.432	0.417	1.276	85.99	109.681	2632.34
21-Jan-17	0.429	0.435	0.421	1.285	85.99	110.491	2651.79
22-Jan-17	0.425	0.431	0.418	1.274	85.99	109.545	2629.08
23-Jan-17	0.435	0.441	0.427	1.303	85.99	112.080	2689.93
24-Jan-17	0.432	0.438	0.423	1.293	85.99	111.178	2668.28
25-Jan-17	0.430	0.436	0.420	1.286	85.99	110.567	2653.60
26-Jan-17	0.431	0.437	0.421	1.289	85.99	110.853	2660.47
27-Jan-17	0.426	0.432	0.417	1.275	85.99	109.661	2631.86
28-Jan-17	0.420	0.426	0.414	1.259	85.99	108.298	2599.14
29-Jan-17	0.424	0.430	0.419	1.273	85.99	109.425	2626.21
30-Jan-17	0.428	0.433	0.420	1.281	85.99	110.163	2643.91
31-Jan-17	0.428	0.434	0.420	1.282	85.99	110.271	2646.51
Rugi energi selama bulan Januari :							81922.70

Tabel 10 memperlihatkan hasil perhitungan rugi daya dan rugi energi yang diakibatkan korona pada bulan Januari. Grafik perhitungan rugi daya korona ditunjukkan oleh Gambar 6. Sedangkan rugi energi korona ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 6 Grafik Rugi Daya Korona Bulan Januari 2017



Gambar 7 Grafik Rugi Energi Korona Bulan Januari 2017

Tabel 10 , Gambar 6 dan 7 memperlihatkan bahwa pada bulan Januari 2017 nilai kerugian daya sepanjang transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Jepara–Ungaran pada setiap fasanya yaitu mulai dari 0.41 kW/mil (0.25 kW/km) hingga 0.44 kW/mil (0.27 kW/km) dengan rata-rata 0.42 kW/mil (0.26 kW/km). Rugi korona pada saluran tersebut mulai dari 1.25 kW/mil (0.78 kW/km) hingga 1.30 kW/mil (0.81 kW/km) dengan rata-rata 1.28 kW/mil (0.79kW/km). Sedangkan rugi keseluruhan sepanjang saluran pada bulan Januari bervariasi mulai dari 107.67 kW hingga 112.08 kW dengan rata-rata 110.11 kW. Dengan memperhatikan rumus (10) maka faktor yang menentukan besaran rugi daya korona adalah tegangan kerja saluran dan faktor *F* dimana faktor *F* pada penelitian ini memiliki nilai yang sama maka hanya tegangan kerja yang mempengaruhi besarnya rugi daya korona.

Rugi energi akibat korona merupakan pengalihan dari rugi daya korona terhadap waktu kerja dari saluran transmisi. Dari penelitian ini diperoleh rugi energi korona harian pada bulan Januari memiliki nilai mulai dari 2584.15 kWh hingga 2689.93 kWh dengan rata-rata 2642.67 kWh perharinya dan selama bulan Januari total kerugian energi akibat korona adalah sebesar 81922.7 kWh atau 81.922 MWh.

3.6 Persentase Rugi Daya Akibat Korona

Persentase rugi daya akibat korona merupakan perbandingan jumlah rugi daya akibat korona terhadap daya yang disalurkan. Persentase rugi korona ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Persentase Rugi Daya Korona Bulan Januari

Tanggal	Rugi Daya Korona (kW)	Daya Saluran (MW)	Persentase Rugi Korona
1-Jan-17	109.34	1239.82	0.009 %
2-Jan-17	111.64	1701.13	0.007 %
3-Jan-17	111.98	1909.99	0.006 %
4-Jan-17	111.34	1921.58	0.006 %
5-Jan-17	110.60	2323.71	0.005 %
6-Jan-17	109.48	2352.96	0.005 %
7-Jan-17	107.67	2238.33	0.005 %
8-Jan-17	108.13	2194.15	0.005 %
9-Jan-17	110.15	2323.37	0.005 %
10-Jan-17	110.08	2378.82	0.005 %
11-Jan-17	110.84	2309.89	0.005 %
12-Jan-17	111.10	2305.28	0.005 %
13-Jan-17	110.80	2397.56	0.005 %
14-Jan-17	107.71	2137.13	0.005 %
15-Jan-17	109.15	1746.61	0.006 %
16-Jan-17	110.11	2119.03	0.005 %
17-Jan-17	109.76	2370.69	0.005 %
18-Jan-17	110.52	2074.63	0.005 %
19-Jan-17	110.85	2063.82	0.005 %
20-Jan-17	109.68	2256.12	0.005 %
21-Jan-17	110.49	2293.74	0.005 %
22-Jan-17	109.55	2039.67	0.005 %
23-Jan-17	112.08	2316.27	0.005 %
24-Jan-17	111.18	2441.45	0.005 %
25-Jan-17	110.57	2449.31	0.005 %
26-Jan-17	110.85	2429.80	0.005 %
27-Jan-17	109.66	2336.72	0.005 %
28-Jan-17	108.30	1683.94	0.006 %
29-Jan-17	109.43	1510.04	0.007 %
30-Jan-17	110.16	2101.42	0.005 %
31-Jan-17	110.27	2232.15	0.005 %

Tabel 11 memperlihatkan bahwa persentase rugi daya akibat korona terhadap daya yang disalurkan sepanjang saluran sangat kecil sekali. Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh kerugian



terendahnya 0.005% dan 0.011% sebagai nilai tertingginya. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa dalam penyaluran daya listrik rugi akibat korona diabaikan. Walaupun nilai kerugian korona sangat kecil terhadap daya listrik yang disalurkan namun dampak dari korona terhadap *operator* saluran maupun lingkungan perlu mendapat perhatian.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan yang dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai rugi daya korona SUTET 500 kV PLTU Tanjung Jati B Jepara-Ungaran rata –rata diperoleh konstan pada 110 kW. Sedangkan rugi energi korona rata-rata diperoleh 2651.98 kWh setiap harinya.
2. Persentase rugi daya korona terhadap daya listrik yang disalurkan bernilai antara 0.005% hingga 0.011 %. Nilai yang diperoleh sangat kecil sekali sehingga rugi daya korona seringkali diabaikan.

4.2 Saran

Rugi daya maupun energi akibat fenomena korona dalam sistem saluran transmisi daya listrik pada praktiknya sangat jarang diperhatikan karena nilainya sangat kecil. Walaupun nilainya sangat kecil alangkah lebih baiknya selalu diperhatikan dan dipelajari dampak-dampak terkait dengan fenomena korona.

REFERENSI

- [1] Sari, N. K. (2014). Analisis Pengaruh Akibat Korona Terhadap Rugi-rugi Daya Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV (G.I Lubuk Alung - G.I. P.I.P - G.I Pauh Limo). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*.
- [2] Budiyanto, M. (1998). Fenomena Korona Pada Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET) Akibat Tegangan Gagal Isolasi Udara. *Skripsi*, 5-6.
- [3] JHA, D. R. (1977). *High Voltage Engineering*. Delhi: J.C. Kapur For Dhanpat Rai & Sons .
- [4] Deshpande, M. V. (1982). *Electrical Power System Design*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company limited.
- [5] Uppal, N. D. (1976). *Electrical Power*. Delhi: Khanna Publisher.
- [6] Siti Khanafiyah, U. N. (2004). *Fisika Lingkungan*. Semarang: Badan Penerbitan Universitas Diponegoro.
- [7] Wahyudin, M. (1987). *Metode Analisis Numerik*. Bandung: Tarsito.

Segmentasi Citra USG (*Ultrasonography*) Kanker Payudara Menggunakan Fuzzy C-Means Clustering

Ri Munarto, Romi Wiryadinata, Didin Yogyansyah

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

Informasi Artikel

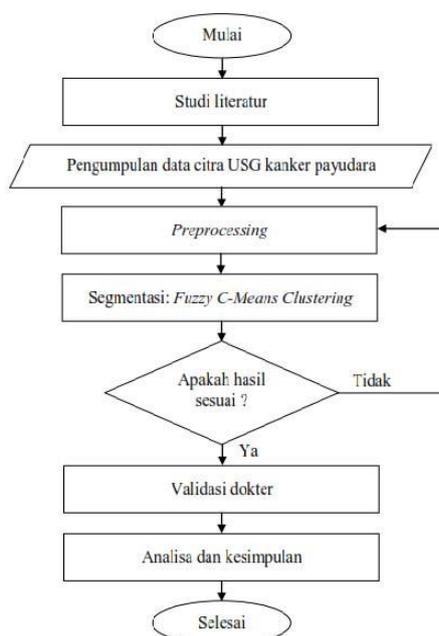
Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

*Korespondensi Penulis :
didinyogyansyah@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Health is a valuable treasure in survival and can be used as a parameter of quality assurance of human life. Some people even tend to ignore of health, so don't care about the disease that will them attack and finally to death. Noted the main disease that causes death in the world is cancer. Cancer has many types, but the greatest death in each year is caused by breast cancer. Indonesia found more than 80% of cases in advanced stage, it is estimated that the incidence get 12 people from 10000 women. These numbers will to grow when there is no such treatment as prevention or early diagnosis. Growing of breast cancer patients inversely proportional to the percentage of complaints patients to doctors diagnosis in USG (*Ultrasonography*) breast cancer 20%. The problem is ultrasound imaging which is distorted by speckle noise. The solution is to help easier for doctors to diagnose the presence and form of breast cancer using USG. Speckle noise on USG is able to good reduce using SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*). The filtering results are then well segmented using Fuzzy C-Means Clustering with an accuracy 91.43% of 35 samples USG image breast cancer.

Keywords: Breast cancer, USG (*Ultrasonography*), SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*), and Fuzzy C-Means Clustering.

Abstrak

Kesehatan merupakan harta berharga dalam keberlangsungan hidup dan dapat dijadikan sebagai parameter jaminan kualitas hidup manusia. Beberapa manusia bahkan cenderung mengabaikan yang namanya kesehatan, sehingga tidak memperdulikan penyakit yang akan menyerangnya dan pada akhirnya berujung kepada kematian. Tercatat penyakit utama yang menyebabkan kematian di dunia adalah kanker. Kanker memiliki banyak jenisnya, namun kematian terbesar dalam setiap tahun disebabkan oleh kanker payudara. Indonesia menemukan lebih dari 80% kasus berada pada stadium lanjut, diperkirakan angka kejadiannya mencapai 12 jiwa dari 10000 wanita. Angka tersebut akan terus bertambah ketika tidak ada penanganan seperti pencegahan atau diagnosis dini. Pertumbuhan angka yang memuncak terhadap penderita kanker payudara berbanding terbalik dengan persentase keluhan pasien terhadap diagnosis dokter pada USG (*ultrasonography*) kanker payudara yang mencapai 20%. Permasalahan tersebut dikarenakan pencitraan USG yang yang terdistorsi oleh speckle noise. Solusi yang diinginkan adalah membantu mempermudah dokter dalam mendiagnosis keberadaan dan bentuk kanker payudara menggunakan USG. Speckle noise pada USG tersebut mampu tereduksi dengan baik menggunakan filter SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*). Hasil filtering tersebut kemudian tersegmentasi dengan baik menggunakan Fuzzy C-Means Clustering dengan nilai akurasi 91,43% dari 35 sampel citra USG kanker payudara.

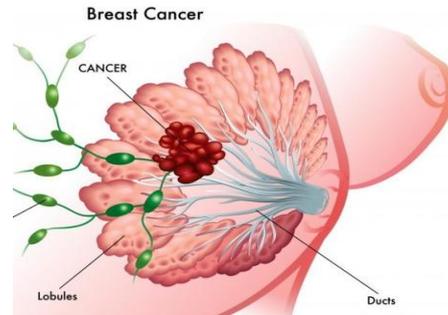
Kata kunci: Kanker Payudara, USG (*ultrasonography*), SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*) dan Fuzzy C-Means Clustering.

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

1. PENDAHULUAN

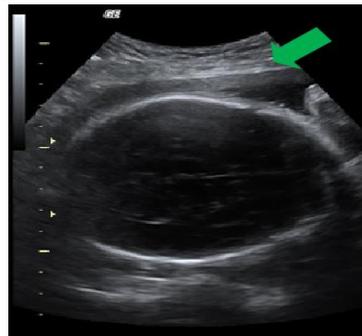
Kanker payudara merupakan pertumbuhan dan penyebaran sel abnormal pada payudara yang tidak terkendali [1]. Angka kematian yang disebabkan oleh kanker payudara diberbagai negara

berkembang termasuk Indonesia, lebih tinggi dibandingkan negara maju [2]. Tahun 2012 diketahui bahwa kanker payudara merupakan penyakit kanker dengan persentase kasus baru tertinggi, yaitu sebesar 43,3%, dan persentase kematian akibat kanker payudara sebesar 12,9% [3]. Indonesia menemukan lebih dari 80% kasus berada pada stadium lanjut. Berdasarkan *pathological based registration*, di Indonesia kanker payudara merupakan jenis kanker terbanyak pertama. Diperkirakan angka kejadiannya mencapai 12 jiwa dari 10000 wanita [4]. Angka tersebut akan terus bertambah ketika tidak ada penanganan seperti pencegahan atau diagnosis dini.



Gambar 1.1 Kanker Payudara

Era teknologi seperti saat ini USG (*Ultrasonography*) masih banyak digunakan oleh Rumah Sakit sebagai alat penunjang diagnosis kelainan pada payudara, salah satunya dapat mendeteksi dini keberadaan kanker payudara [2]. Penggunaan USG semakin diminati karena dianggap tidak memiliki efek samping, efek radiasi dan harganya relatif terjangkau oleh masyarakat luas khususnya kalangan menengah kebawah [5]. Dibalik keunggulannya, USG memiliki kekurangan yaitu memiliki akurasi hasil rekaman citra yang kurang maksimal.



Gambar 1.2 Pencitraan USG (*Ultrasonography*)

Citra yang dihasilkan dari USG masih memiliki *noise* yang tinggi, *noise* tersebut dinamakan *speckle noise* seperti yang ditunjukkan panah hijau pada Gambar 1.2. Keberadaan *noise* pada citra hasil USG hampir ada pada seluruh bagian citra. Adanya *noise* tersebut memperburuk hasil proses segmentasi, dikarenakan *noise* tersebut masuk dalam perhitungan proses segmentasi citra. *Noise* tersebut dipercaya mampu tereduksi dengan baik menggunakan filter SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*) [6]. Akurasi USG dalam mendiagnosis keberadaan kanker adalah 57,14%, untuk *fibroadenoma* adalah 81,81%, untuk masa kistik 90,90%, dan secara keseluruhan sensitivitas USG untuk masa payudara adalah 86% [7]. Angka-angka tersebut diperkuat lagi dengan munculnya sebaran berita atau artikel terbaru pada laman website kompas, klikdokter dan alodokter yang menjelaskan bahwa diagnosis dokter pada hasil USG sering kali terjadi kesalahan dengan persentase kesalahan hampir mendekati 20%, hal ini menjadi keluhan pasein-pasein. Kesalahan ini merupakan hal yang fatal dalam bidang medis karena menyangkut kesehatan bahkan nyawa seseorang. Informasi atau berita-berita tersebut semakin menambah pembuktian bahwa citra hasil rekaman USG kurang maksimal. Proses segmentasi yang terbaik dalam kasus pencitraan USG tersebut menggunakan metode segmentasi jenis *pixels-based*, dalam kasus ini menggunakan *fuzzy c-means clustering* yang termasuk ke dalam tipe *unsupervised* dan *non-hierarchical* [8].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

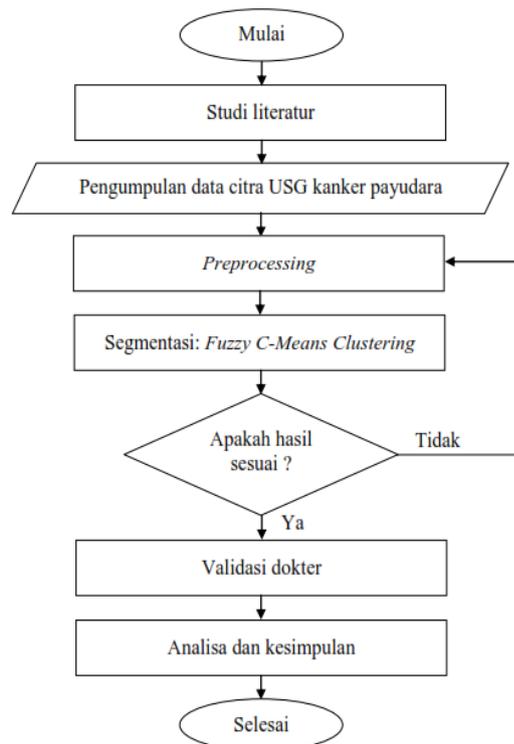
Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam

melakukan penelitian:

- a) Studi literatur, melakukan studi literatur dengan referensi berupa jurnal penelitian baik jurnal nasional maupun jurnal internasional, buku-buku, dan artikel-artikel terkait dengan pokok permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini.
- b) Pengumpulan data citra kanker payudara hasil USG (*Ultrasonography*) dari Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo.
- c) Dilanjutkan ke tahap *preprocessing* citra, terdiri dari *grayscale* dan *filtering*
- d) Segmentasi citra menggunakan metode *Fuzzy C-Means Clustering*.
- e) Pembuatan GUI (*Graphical User Interface*) sistem penelitian.
- f) Validasi dokter
- g) Analisis hasil pengujian yang telah dilakukan dan membuat kesimpulan dari pengujian tersebut.

2.2 Diagram Alir Penelitian

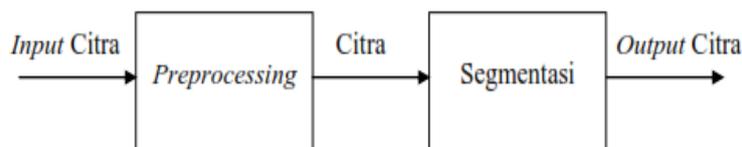
Secara sederhana proses penelitian segmentasi citra USG (*Ultrasonography*) kanker payudara menggunakan *Fuzzy C-Means Clustering* dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan Penelitian

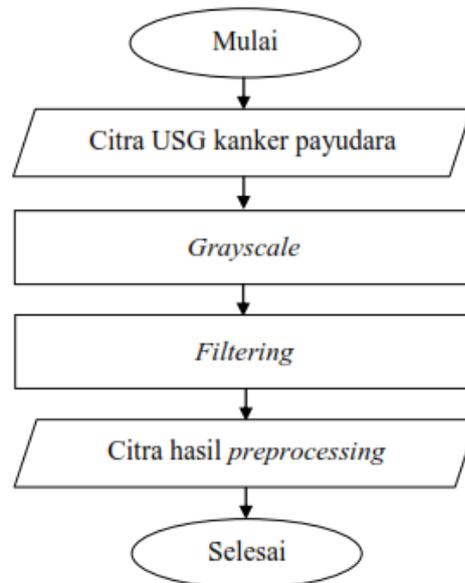
Perancangan penelitian ini akan dibahas pemodelan sistem yang akan dirancang dan ditampilkan menggunakan GUI (*Graphical User Interface*). Secara garis besar, proses dari sistem perancangan penelitian untuk segmentasi citra USG kanker payudara dibagi menjadi dua tahap yaitu *preprocessing* dan segmentasi. Semua tahapan tersebut disimulasikan menggunakan Matlab.



Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem Penelitian

2.3.1 *Preprocessing*

Proses awal pengolahan citra pada penelitian ini adalah melakukan *preprocessing* citra yang bertujuan untuk mereduksi *noise*, sehingga pada proses segmentasi citra memperoleh hasil yang maksimal. *Preprocessing* citra dalam penelitian ini terdapat 2 tahapan proses yaitu *grayscale* dan *filtering*.

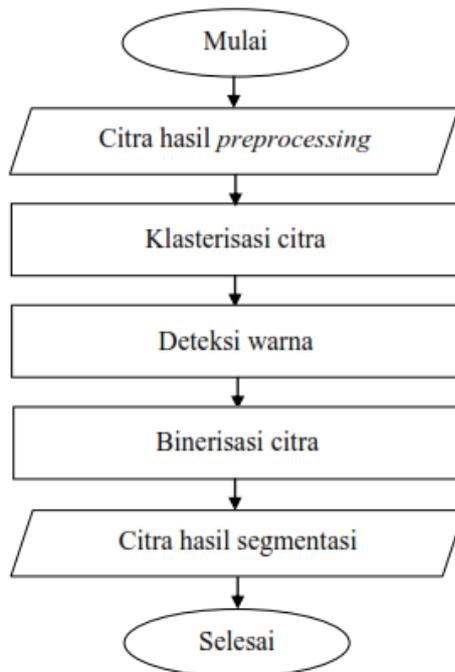


Gambar 2.3 Tahapan Preprocessing Citra

- a) *Grayscale*, tahap awal *preprocessing* citra yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengubah citra menjadi citra *grayscale*. Tahap ini bertujuan untuk menyeragamkan semua tipe *input* citra berdasarkan gradasi warna hitam dan putih, sehingga dapat mempermudah proses pengolahan citra selanjutnya yaitu proses segmentasi. Teknik *grayscale* pada tahap ini dengan mengekstrak *input* citra pada salah satu komponen ruang warna RGB dengan kelas uint8 yang memiliki intensitas antara 0 sampai dengan 255.
- b) *Filtering*, tahap yang terakhir pada proses *preprocessing* citra adalah *filtering*. Proses *filtering* citra mengambil peran penting dalam meningkatkan kinerja segmentasi citra USG kanker payudara. Tahap *filtering* dilakukan untuk menghilangkan *noise* pada citra USG yang sering disebut *speckle noise*. *Noise* tersebut akan mempersulit proses segmentasi, karena citra yang dihasilkan dari USG memiliki *noise* yang menyebar hampir di seluruh bagian citra. Jenis *filter* yang digunakan untuk menghilangkan *speckle noise* adalah SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*). *Anisotropic diffusion* adalah metode untuk merapikan gambar berbintik-bintik *noise* dengan tetap mempertahankan tepi. Penggunaan *filter* jenis ini dikatakan lebih baik dikarenakan penggunaannya tidak mengikutsertakan *pixel-pixel* disekitarnya. Beda halnya dengan jenis *single scale spatial adaptive filtering* (Mean, Median, Wiener, Lee, Frost, Kuan, Gamma MAP) yang prosesnya mengikutsertakan *pixel-pixel* disekitarnya, sehingga *filter* yang cocok untuk *speckle noise* yang termasuk jenis *multiplicative noise* ini adalah jenis *diffusion filter*, yaitu SRAD *filter*. *Filter* ini fokus mereduksi per setiap *pixel*, sehingga hasil reduksinya lebih jernih dibandingkan *filter* jenis *single scale spatial adaptive filtering* yang masih menyisakan bintik-bintik pada hasil akhir segmentasi dan yang tidak terindikasi terdapat *noise* dapat terkena efek *filtering* dari *filter* jenis *single scale spatial adaptive filtering* tersebut. Tahap *preprocessing* pada penelitian ini tidak melakukan *equalization histogram*, karena resolusi pada input citra tidak tetap sama yang menyebabkan hasil segmentasi yang tidak baik pada setiap citra yang memiliki resolusi rendah. Meskipun tidak dilakukan *equalization histogram*, hasil segmentasi tetap berada pada titik maksimal (baik).

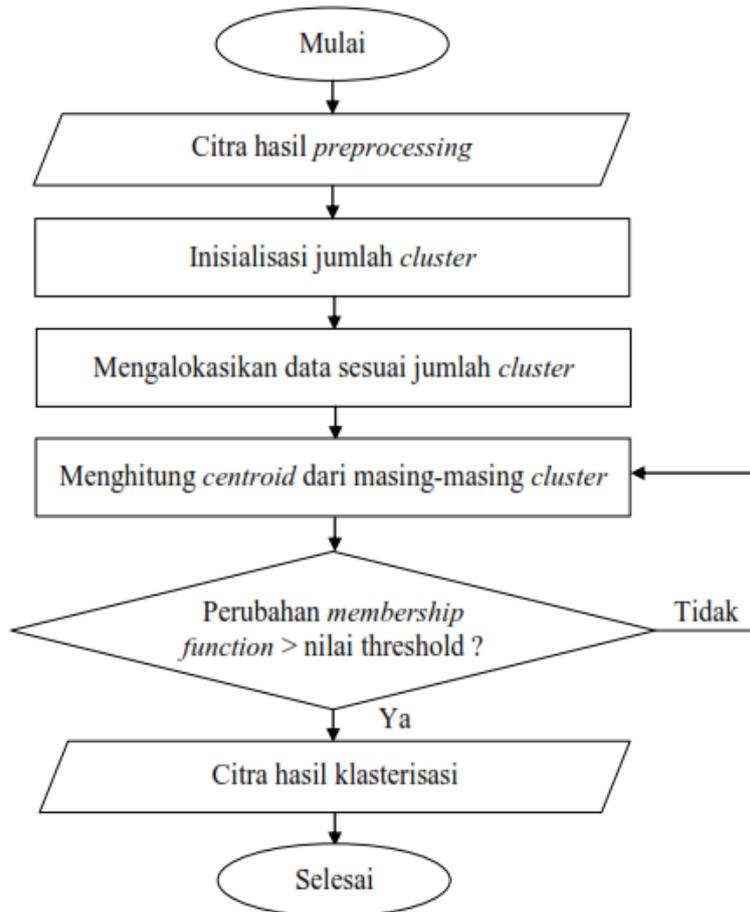
2.3.2 Segmentasi

Proses terakhir pengolahan citra pada penelitian ini adalah segmentasi citra yang bertujuan untuk memisahkan atau membedakan *foreground* dengan *background* pada citra yang diproses. Sistem pada penelitian ini dalam melakukan segmentasinya dibagi menjadi 3 tahapan.



Gambar 2.4 Tahapan Segmentasi Citra

- a) Klasterisasi citra, proses segmentasi citra pada penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy C-Means Clustering*. Metode ini merupakan teknik *clustering* berdasarkan *partitional clustering* atau sering disebut juga *non-hierarchical*, dimana mengelompokkan *pixels* citra ke dalam beberapa *cluster* secara otomatis tanpa ada referensi hirarki dari setiap *cluster* tersebut atau sering disebut data latih.

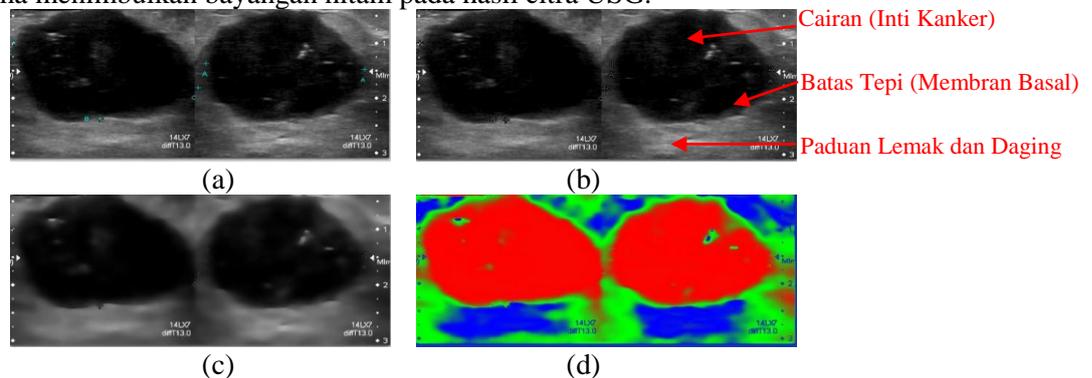


Gambar 2.2 Flowchart Metode *Fuzzy C-Means Clustering*

- b) Deteksi warna, tahap berikutnya yang dijadikan sebagai solusi dalam permasalahan tidak dapat tetapnya warna hasil segmentasi FCM adalah dengan melakukan deteksi warna. Deteksi warna bertujuan untuk menentukan objek citra yang akan ditampilkan pada *interface* sistem berdasarkan warna yang dipilih dan mengeliminasi warna yang tidak diinginkan oleh *user*.
- c) Binerisasi citra, tahap terakhir pada proses segmentasi adalah binerisasi citra yang bertujuan untuk memperjelas bentuk kanker yang akan didiagnosis oleh dokter dan diperlihatkan kepada pasien. Karakteristik citra biner yang dihasilkan pada sistem ini hanya memiliki 2 nilai *pixel*, yaitu 0 (hitam) dan 1 (hitam).

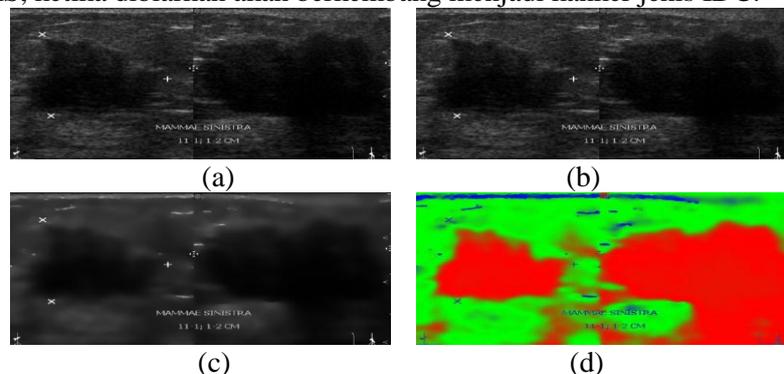
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Input citra pada penelitian ini terdiri dari 4 jenis kanker payudara yaitu DCIS (*Ductal Carcinoma in Situ*), IDC (*Invasive Ductal Carcinoma*), LCIS (*Lobular Carcinoma in Situ*), dan ILC (*Invasive Lobular Carcinoma*). Pencitraan pada hasil USG terdiri dari tiga warna, yaitu hitam, putih dan abu-abu. Jaringan keras seperti tulang tidak meneruskan gelombang suara yang dihasilkan transduser sehingga menimbulkan bayangan putih pada citra, sedangkan jaringan lunak seperti daging dan lemak menimbulkan warna keabu-abuan yang berbintik-bintik dan cairan yang sifatnya tidak memantulkan gaya menimbulkan bayangan hitam pada hasil citra USG.



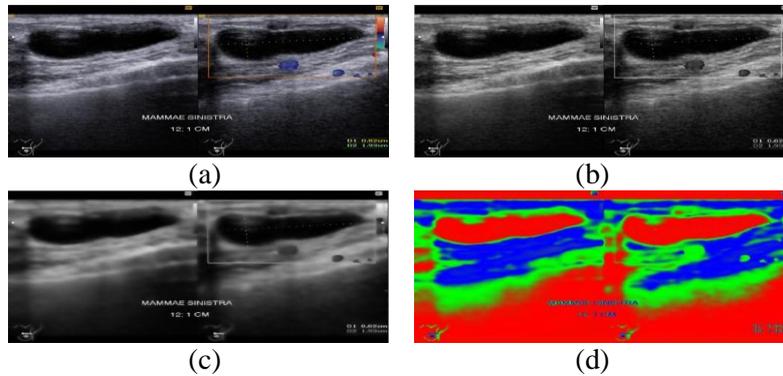
Gambar 3.1 Pencitraan USG DCIS (*Ductal Carcinoma in Situ*); (a) Citra Asli, (b) Hasil *Grayscale*, (c) Hasil *Filter*, dan (d) Hasil Segmentasi

Sistem pada penelitian ini tidak melakukan tahapan *resize* ataupun *cropping* dikarenakan untuk menjaga kualitas citra supaya tidak pecah, sehingga dokter atau pengguna sistem ini dapat memvalidasi keberadaan kanker payudara lebih akurat. Pencitraan kanker jenis DCIS dapat dibilang cukup mudah dikarenakan letak kanker berada pada bagian duktus payudara, sehingga lebih mudah dan cepat terkena dan menerima pantulan pancaran *ultrasound* dari transduser USG. Warna pekat hitam yang hampir membentuk lingkaran merupakan inti sel kanker payudara jenis DCIS yang diindikasikan warna merah pada hasil segmentasi tersebut. Pencitraan warna hitam pada kanker dikarenakan kanker tersebut berisi cairan, sebagian besar cairan tersebut adalah darah yang dihasilkan karena perlukaan atau infeksi pada pembuluh darah. Sedangkan warna putih keabu-abuan yang berada disekitar inti kanker adalah perpaduan daging dan lemak payudara yang sejatinya bertekstur lunak. Kanker jenis DCIS, ketika dibiarkan akan berkembang menjadi kanker jenis IDC.



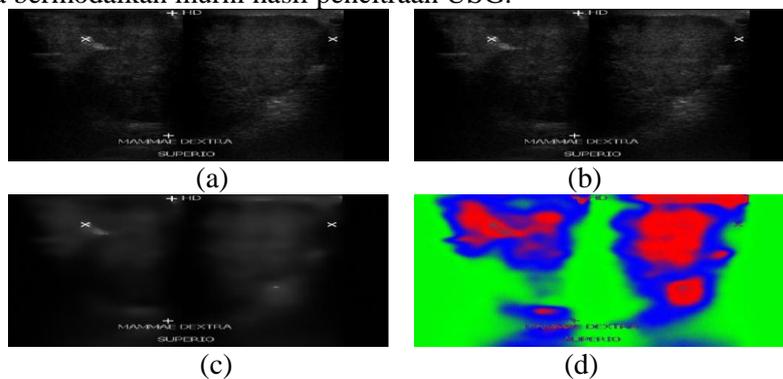
Gambar 3.2 Pencitraan USG IDC (*Invasive Ductal Carcinoma*); (a) Citra Asli, (b) Hasil *Grayscale*, (c) Hasil *Filter*, dan (d) Hasil Segmentasi

Kanker jenis IDC adalah turunan dari DCIS yang tingkatnya sudah *invasive*. Warna hitam dan atau warna merah yang diindikasikan sebagai kankernya sudah membentuk pola yang tidak beraturan lagi. Kondisi tersebut disebabkan benjolan inti kanker yang berisi cairan sudah pecah, sehingga menembus membran basal dan menjangkar ke bagian-bagian sekitar duktus payudara. Warna pencitraan pada daging dan lemak payudara mulai samar-samar hampir menyerupai warna kehitaman hasil pencitraan inti kankernya. Keberadaan letak kanker payudara tidak hanya berada pada duktus, keberadaan letak kanker payudara yang lainnya terdapat bagian lobulus payudara yang sering disebut kanker jenis LCIS dan ILC



Gambar 3.3 Pencitraan USG LCIS (*Lobular Carcinoma in Situ*); (a) Citra Asli, (b) Hasil *Grayscale*, (c) Hasil *Filter*, dan (d) Hasil *Segmentasi*

Pencitraan dari kanker jenis LCIS masih terlihat jelas, bedanya dengan DCIS adalah dari bentuk dan letaknya. Bentuk dari LCIS sedikit lebih elips dan letaknya ada di lobulus payudara yang merupakan kumpulan dari *alveolus* yang letaknya berdekatan dengan tulang dada. *Alveolus* merupakan sumber penghasil air susu, sehingga pada bagian bawah citra terindikasikan cairan yang diterjemahkan oleh pencitraan USG menjadi warna hitam yang mirip dengan pencitraan inti sel kanker. Warna hitam di bagian bawah itu juga disebabkan kelemahan pencitraan dari transduser USG, karena gelombang yang dihasilkan transduser tidak mampu memantulkannya kembali dengan sempurna. Kanker LCIS ketika sudah mulai memasuki level *invasive* sangat sulit didiagnosis oleh dokter, jika hanya bermodal hasil pencitraan USG.



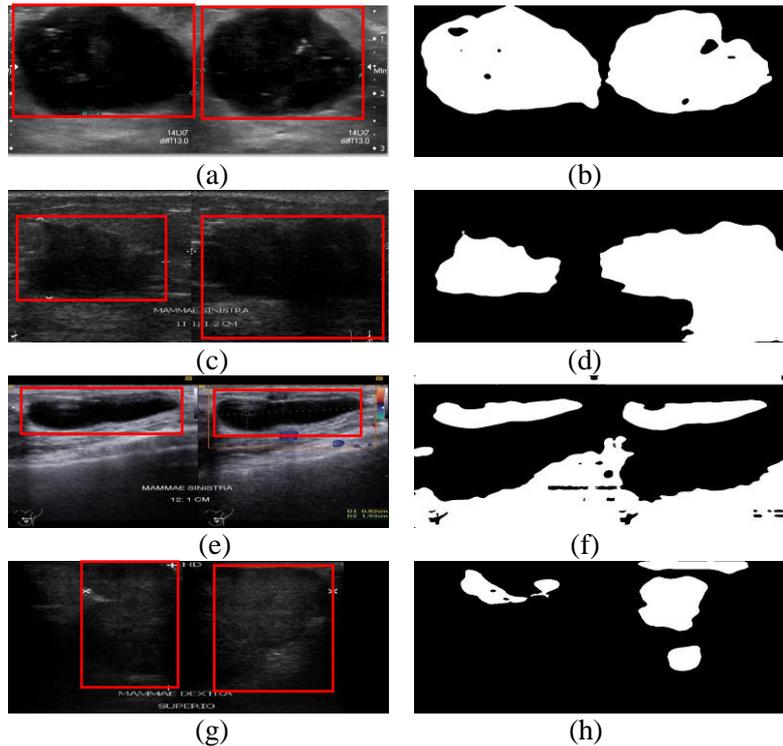
Gambar 3.4 Pencitraan USG ILC (*Invasive Lobular Carcinoma*); (a) Citra Asli, (b) Hasil *Grayscale*, (c) Hasil *Filter*, dan (d) Hasil *Segmentasi*

Kanker jenis ILC sama seperti IDC merupakan jenis kanker yang tingkatannya sudah *invasive*. Turunan kanker jenis LCIS tersebut, ketika sudah menyebar lebih sulit penafsirannya. Kesulitan dalam penafsiran tersebut dikarenakan kanker yang letaknya berada pada daerah proses produksi air susu. Ketika cairan pada kanker tersebut pecah, proses perkembangannya lebih cepat menjangkar kemana-mana, sehingga dokter kesulitan dalam mendiagnosis keberadaan kanker.

Citra hasil *preprocessing* menunjukkan hasil yang bagus dalam mereduksi *speckle noise*, terlihat dari tulisan dan angka yang terdapat pada citra USG yang tidak ikut tereduksi oleh *filter* tersebut. Sedangkan jika menggunakan *filter* jenis lain, angka dan tulisannya akan ikut tereduksi dan tidak fokus dalam mereduksi *speckle noise* seperti *filter* SRAD. *Filter* SRAD mampu mereduksi *noise* yang terdapat pada citra USG tanpa mengaburkan tepi objek, sehingga pada tahap *segmentasi* citra

dapat dideteksi dengan lebih akurat. Tahap *filtering* yang merupakan bagian akhir proses *preprocessing* berperan penting dalam keberhasilan proses segmentasi untuk membantu dokter dalam mendiagnosis keberadaan kanker. Pengukuran pengaruh atau akurasi proses *preprocessing* dapat dilihat dari hasil akhir proses segmentasi.

Secara visual pada citra hasil segmentasi terlihat jelas perbedaan dengan citra aslinya, dokter lebih mudah mengetahui bentuk dan letak keberadaan kanker payudara. Kondisi pada setiap gambar hasil segmentasi tersebut menunjukkan bahwa warna merah terindikasi bagian dari kanker payudara. Sedangkan warna hijau dan biru merupakan perpaduan daging dengan jaringan lemak payudara. Tetapi warna pada setiap hasil segmentasi akan berubah, sehingga tidak dapat ditetapkan bahwa setiap warna merah merupakan kanker payudara. Alternatif atau solusi untuk menyelesaikan kekurangan karena perubahan tersebut, dilakukan deteksi warna citra untuk lebih mempermudah dokter dalam menunjukkan bentuk dan keberadaan kanker kepada pasien. Deteksi warna citra dapat dikatakan sebagai penandaan kanker secara otomatis oleh sistem.



Gambar 3.5 Penandaan USG Kanker Payudara; (a) DCIS oleh Dokter, (b) DCIS oleh Sistem, (c) IDC oleh Dokter, (d) IDC oleh Sistem, (e) LCIS oleh Dokter, (f) LCIS oleh Sistem, (g) ILC oleh Dokter, dan (h) ILC oleh Sistem

Hasil akhir penandaan berdasarkan deteksi warna tersebut menunjukkan warna putih merupakan *foreground* (bagian kanker) dan warna hitam merupakan *background* (bukan bagian kanker) pada citra tersebut. Pengukuran keberhasilan segmentasi sistem ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil segmentasi manual dokter dengan hasil segmentasi sistem, sehingga didapat nilai akurasi dari sistem ini. Jadi, perhitungan akurasi dari sistem ini dilakukan secara manual. Pengukuran akurasi tersebut dilakukan karena penandaan kanker yang dilakukan oleh dokter yang dijadikan sebagai referensi tidak ditandai dengan sempurna. Penandaan yang dilakukan dokter hanya sebatas menunjukkan lokasi keberadaan kanker dengan batas atau *border* berbentuk persegi, tidak menandai bentuk kankernya. Kinerja sistem merupakan tolak ukur dari persentase keberhasilan penelitian ini. Persentase keberhasilan penelitian ini terfokus pada 2 hal, yaitu waktu dan validasi dokter. Rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam menjalankan sistem hasil penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.1 Dimensi Citra dan Durasi Waktu Sistem

No.	Jenis Kanker	Dimensi (Pixels)	Waktu (s)
1.	DCIS1301	487 x 1024	54,2871
2.	DCIS2902	367 x 372	16,7272
3.	LCIS0701	638 x 896	62,2964
4.	IDC1001	427 x 635	32,7954
5.	IDC1102	404 x 651	33,1450
6.	IDC1203	427 x 654	33,9297
7.	IDC1604	446 x 475	28,8229
8.	IDC1905	337 x 402	16,5258
9.	IDC2006	438 x 487	28,4336
10.	IDC2107	483 x 773	47,1923
11.	IDC2208	601 x 855	64,1839
12.	IDC2309	450 x 600	35,9089
13.	IDC2410	441 x 549	28,9179
14.	IDC2511	572 x 763	51,6887
15.	IDC2612	604 x 773	55,0635
16.	IDC2713	610 x 833	61,6002
17.	IDC2814	604 x 883	47,1238
18.	IDC3015	511 x 667	40,6517
19.	IDC3216	444 x 640	33,7588
20.	IDC3517	761 x 1024	91,6348
21.	ILC0101	899 x 1444	149,2784
22.	ILC0202	632 x 884	61,2591
23.	ILC0303	899 x 1444	123,9525
24.	ILC0404	899 x 1444	98,3585
25.	ILC0505	768 x 1024	110,2427
26.	ILC0606	638 x 896	69,9767
27.	ILC0807	443 x 635	28,0804
28.	ILC0908	423 x 498	24,3193
29.	ILC1409	371 x 640	28,1074
30.	ILC1510	372 x 651	27,9019
31.	ILC1711	576 x 681	54,3435
32.	ILC1812	580 x 680	51,8791
33.	ILC3113	723 x 734	63,9296
34.	ILC3314	676 x 1024	84,6956
35.	ILC3415	682 x 1024	82,1269
Rata-rata			54,9468

Masing-masing deteksi warna menghasilkan durasi waktu yang berbeda. Perbedaan waktu pada setiap citra akan selalu mengalami perubahan, karena adanya proses pengulangan pada bagian *script* program *filtering* dan segmentasi. Fluktuasi pada nilai waktu dipengaruhi oleh besar dan kecilnya resolusi pada citra yang diproses. Semakin besar resolusi citra, maka semakin lama waktu yang diperlukan dalam menjalankan sistem, begitupun sebaliknya. Validasi pada sistem hasil penelitian ini bukan dilakukan oleh sistem, melainkan oleh dokter. Citra yang tersegmentasi dengan baik berdasarkan penilaian dokter spesialis radiologi adalah sebanyak 32 citra dari 35 citra yang dijadikan sampel penelitian. Berdasarkan validasi tersebut, persentase akurasi dari sistem hasil penelitian ini diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= \frac{\text{Total Sampel Tersegmentasi Akurat (A)}}{\text{Total Seluruh Sampel}} \times 100\% \\
 &= \frac{32}{35} \times 100\% \\
 &= 91,43\%
 \end{aligned}$$



Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini, nilai akurasi yang diperoleh sistem hasil penelitian ini mengalami peningkatan. Selain itu, sistem hasil penelitian ini dapat digunakan diberbagai komputer meskipun komputer tersebut belum terpasang *software* Matlab.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Hasil simulasi dari segmentasi citra USG kanker payudara menggunakan *fuzzy c-means clustering* menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- a) Segmentasi citra (memisahkan *background* dengan *foreground*) USG kanker payudara dapat dilakukan menggunakan metode *pixel-based*, yaitu *Fuzzy C-Means Clustering* dengan metode SRAD (*Speckle Reducing Anisotropic Diffusion*) sebagai *filter* pada proses *preprocessing* citranya.
- b) Hasil segmentasi citra berdasarkan penilaian validasi dokter spesialis radiologi memperoleh nilai akurasi sebesar 91,43% berdasarkan 32 citra yang tersegmentasi akurat dengan rata-rata waktu proses 54,9468 detik dari 35 sampel citra yang digunakan.

4.2 Saran

Penelitian ini masih banyak sekali kekurangan dan ketidaksempurnaan. Atas perihal tersebut perlu dilakukan pengembangan supaya ke depannya menjadi sempurna ataupun lebih baik lagi, sehingga memiliki beberapa saran diantaranya:

- a) Memperbanyak data atau *sample* citra dengan resolusi citra yang sama pada setiap data sebagai salah satu parameter pembuktian keberhasilan penelitian selanjutnya dengan persentase nilai akurasi yang lebih besar.
- b) Dapat melakukan penelitian lanjutan sampai ke tahap ekstraksi ciri untuk mengetahui luas area bentuk kanker dan koordinat letak keberadaannya atau bahkan sampai ke tahap klasifikasi citra untuk mengetahui jenisnya oleh sistem dengan memperhatikan penggunaan metode yang sesuai pada ekstraksi ciri dan klasifikasinya.

REFERENSI

- [1] D. T. Sarabai and K. Arthi, "Efficient Breast Cancer Classification Using Improved Fuzzy Cognitive Maps with Csonn," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 11, no. 4, pp. 2478–2485, 2016.
- [2] Y. Hadiyanto, "Health First," *Rumah Sakit Pondok Indah Group*, vol. 19, pp. 1–61, 2012.
- [3] O. Primadi, "Stop Kanker," *Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI*, Jakarta, 2015.
- [4] O. Primadi, *Panduan Nasional Penanganan Kanker Payudara*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI, 2015.
- [5] D. R. Dance, S. Christofides, A. D. A. Maidment, I. D. McLean, and K. . Ng, Eds., *Diagnostic Radiology Physics*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014.
- [6] W. Jatmiko *et al.*, Eds., *Teknik Biomedis: Teori dan Aplikasi*. Depok: Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia, 2013.
- [7] I. S. Paramita, A. Makmur, and E. S. Tripriadi, "Kesesuaian Hasil Pemeriksaan Ultrasonografi dan Histopatologi pada Pasien Tumor Payudara di RSUD Arifin Achmad Periode 1 Oktober 2013 - 30 September 2014," *JOM FK*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2015.
- [8] P. Sharma and J. Suji, "A Review on Image Segmentation with its Clustering Techniques," *Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit.*, vol. 9, no. 5, pp. 209–218, 2016.
- [9] G. Dougherty, *Digital Image Processing for Medical Applications*. New York: Cambridge University Press, 2009.
- [10] H. Lutz and E. Buscarini, Eds., *Manual of Diagnostic Ultrasound*, 2nd ed., vol. 1. France: World Health Organization, 2011.
- [11] N. Singh, A. G. Mohaparta, B. N. Rath, and G. K. Kanungo, "GUI Based Automatic Breast Cancer Mass and Calcification Detection in Mammogram Images using K-Means & Fuzzy C-Means Methods," *Int. J. Mach. Learn. Comput.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–12, 2012.
- [12] P. Sharma and J. Suji, "A Review on Image Segmentation with its Clustering Techniques," *Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit.*, vol. 9, no. 5, pp. 209–218, 2016.

Rancang Bangun Antena Helix 8 Lilitan untuk Sistem Autotracking sebagai Penjejak Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017
Direvisi : 20 Desember 2017
Disetujui : 24 Desember 2017

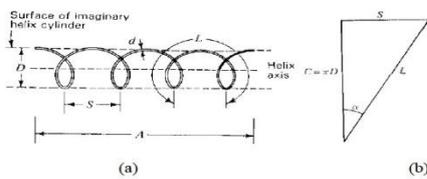
Yenniwarti Rafsyam¹, Jonifan², Panji Ibrahim N³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

²Universitas Gunadarma

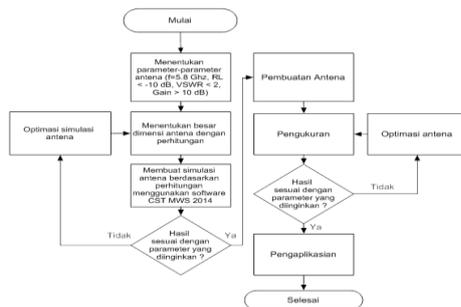
***Korespodensi Penulis :**
 yennirafsyam@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Technological developments have already penetrated low current at the time of flight of unmanned or commonly called the Unmanned Aerial Vehicle (UAV), which humans no longer need to make direct contact with the spacecraft flight to fly missions such as air monitoring in the form of realtime video. In doing missions flown required good communication and stable in order to avoid loss of signal during the communication process takes place. So we need a reliable telecommunications equipment to meet these needs, one of which is the antenna. In this final project designed three pieces of helix antenna coil 8 which works at a frequency of 5.8 GHz for applications based Autotracking antenna signal level. Systematics design includes mechanisms of designing antenna design simulation results using CST Microwave Studio Software, fabrication, measurement parameters such as return loss, VSWR, gain, Bandwidth and Radiation Pattern, peformansi Testing and application of antenna. 1 helix antenna measurement results obtained value -17.84 dB Return Loss, VSWR 1.294, 14.53 dB Gain, Bandwidth 300 MHz. 2 helix antenna obtained value -17.31 dB Return Loss, VSWR 1.315, 15.49 dB Gain, Bandwidth 300 MHz, Helix Antenna 3 obtained value -18.88 dB return loss, VSWR 1.256, 15.97 dB Gain, Bandwidth 240 MHz and shaped radiation pattern unidirectional. The test results Autotracking Antenna system based signal levels have a pretty good angle accuracy with a percentage error of the corner angle toward the target of 0.83%.



Keywords: Helix, Autotracking Antenna, Bandwidth, Gain, Return Loss.

Abstrak

Perkembangan teknologi saat ini sudah merambah arus rendah pada saat penerbangan tak berawak atau biasa disebut Unmanned Aerial Vehicle (UAV), dimana manusia tidak perlu lagi melakukan kontak langsung dengan pesawat antariksa untuk terbang misi seperti pemantauan udara dalam bentuk realtime. Dalam melakukan misi yang diterbangkan diperlukan komunikasi yang baik dan stabil agar terhindar dari hilangnya sinyal selama proses komunikasi berlangsung. Jadi kita butuh peralatan telekomunikasi yang andal untuk memenuhi kebutuhan ini, salah satunya adalah antenna. Pada tugas akhir ini dirancang tiga helai koil antenna heliks 8 yang bekerja pada frekuensi 5,8 GHz untuk aplikasi berbasis sinyal sinyal autotracking. Perancangan sistematis meliputi mekanisme perancangan hasil simulasi perancangan dengan menggunakan CST Microwave Studio Software, fabrikasi, parameter pengukuran seperti return loss, VSWR, gain, Bandwidth dan Radiation Pattern, peformansi Pengujian dan penerapan antenna. 1 hasil pengukuran antenna heliks diperoleh nilai -17,84 dB Return Loss, VSWR 1,294, 14,53 dB Gain, Bandwidth 300 MHz. 2 antenna helix diperoleh nilai -17,31 dB Return Loss, VSWR 1,315, 15,49 dB Gain, Bandwidth 300 MHz, Helix Antenna 3 memperoleh nilai -18,88 dB return loss, VSWR 1,256, 15,97 dB Gain, Bandwidth 240 MHz dan pola radiasi berbentuk searah. Hasil uji Autotracking Antenna berbasis sistem sinyal level memiliki akurasi sudut yang cukup bagus dengan persentase kesalahan sudut sudut terhadap target sebesar 0,83%.

Kata kunci: Helix, Autotracking Antenna, Bandwidth, Gain, Return Loss.



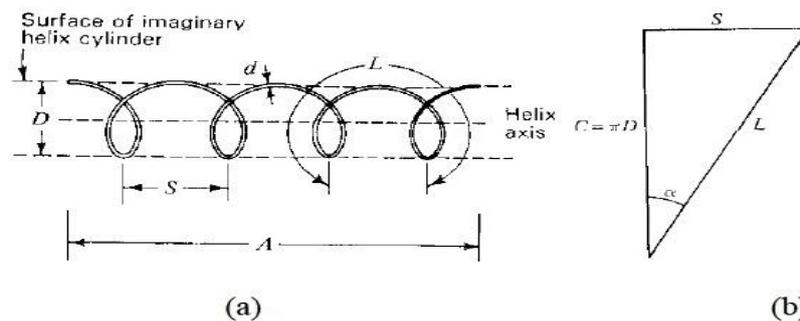
1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi penerbangan saat ini sudah merambah pada era penerbangan tanpa awak atau disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), dimana manusia tidak lagi perlu melakukan kontak langsung dengan wahana terbangnya untuk melakukan misi terbang ringan seperti pemantauan udara berupa video *realtime*. Seorang pilot UAV memberikan perintah terbang dan melakukan pemantauan pada satu *station* yang disebut *Ground Control Station* (GCS). Sistem UAV harus memiliki perangkat telekomunikasi (transceiver) yang lengkap [1]-[11].

UAV dan GCS melakukan komunikasi melalui media transmisi udara yaitu gelombang radio. Dalam melakukan misi terbang dibutuhkan komunikasi yang baik dan stabil agar tidak terjadi *loss signal* selama proses komunikasi berlangsung. Maka dibutuhkan perangkat telekomunikasi yang handal untuk memenuhi kebutuhan tersebut, salah satunya adalah Antena. Antena berperan penting dalam menjalin komunikasi *nirkabel* karena antena berfungsi sebagai media pengubah energi listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat diudara.

Dalam penelitian ini jenis antena yang dipilih adalah Antena Helix 8 lilitan yang tujuannya dapat diaplikasikan sebagai *Autotracking Antena* dan penerima sinyal video. Antena helix merupakan antena yang memiliki bentuk tiga dimensi. Bentuk dari antena helix mempunyai per atau pegas dengan diameter lilitan serta jarak antar lilitan berukuran tertentu.

Helix merupakan kombinasi bentuk garis lurus, persegi atau lingkaran, dan silinder. Antena Helix atau Helical adalah suatu antena yang terdiri dari '*conducting wire*' yang dililitkan pada media penyangga berbentuk helix. Antena helix, ditemukan oleh John Kraus (W8JK), dapat dianggap sebagai akhir kesederhanaan genius sejauh desain antena yang bersangkutan. Khusus untuk frekuensi di kisaran 2-5 GHz desain ini sangat mudah, dan praktis. Antena helix mempunyai bentuk tiga dimensi, dapat dilihat seperti pada Gambar 1

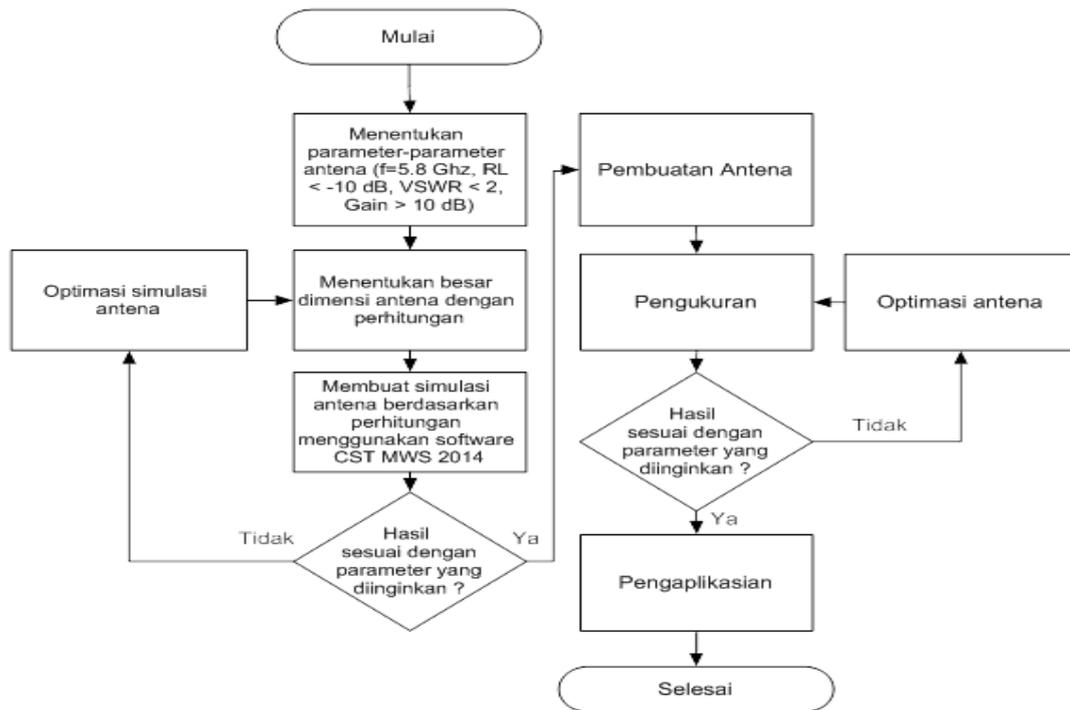


Gambar 1. Bentuk Dasar Antena Helix

- D = diameter antena helix
- C = circumference (keliling) dari helix = πD
- S = jarak antar lilitan
- α = sudut jepit (pitch angle)
- L = panjang dari 1 lilitan
- n = jumlah lilitan
- A = axial length = nS
- D = diameter konduktor helix

2. METODE PENELITIAN

Tahap yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini terdiri dari 3 tahapan. Tahapan pertama membuat perhitungan dimensi antena menggunakan formula yang sudah ditetapkan. Tahapan kedua perancangan menggunakan Software, dalam Tugas Akhir ini software yang digunakan adalah CST Microwave Studio dan tahapan ketiga pembuatan atau realisasi antena.



Gambar 2. Diagram alir perancangan antenna

Pembuatan antenna menggunakan Plat aluminium ketebalan 1.5 mm sebagai reflektor, Kawat tembaga email diameter 1 mm sebagai lilitan dengan tabung menggunakan pipa PVC, dan menggunakan konektor RP-SMA male. Sebagai penerima transmisi video. Antena yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter Antena

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	5,8 GHz
<i>Return Loss</i>	< -10 db
VSWR	< 2
Polaradiasi	<i>Unidirectional</i>
Gain	>10 db
<i>Software Simulasi</i>	CST Microwave Studio 2014

3. PERANCANGAN ANTENA HELIX 8 LILITAN

Antena ini terdiri dari 3 elemen utama, yaitu bagian *GroundPlane*, bagian lilitan *helix*, dan bagian konektor antenna. *GroundPlane* berfungsi sebagai elemen reflektor antenna yang akan memantulkan sinyal datang ke arah elemen lilitan. Lilitan berfungsi sebagai elemen peradiasi gelombang yang dapat memancarkan atau menerima gelombang dari satu arah. Konektor berfungsi sebagai penghubung antara antenna dengan perangkat penerimanya.

Sebelum menghitung dimensi antenna, terlebih dahulu menentukan panjang gelombangnya. Dengan menggunakan persamaan (1) maka diperoleh panjang gelombang antenna helix 8 lilitan sebesar :

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} = 0.517 \text{ m} = 5.17 \text{ cm} \quad (1)$$

Kemudian menghitung Diameter lilitan helix dengan menggunakan persamaan (2) berikut :

$$D = \frac{\lambda}{\pi}$$

$$D = \frac{5,17 \text{ cm}}{3,14}$$

$$D = 1,65 \text{ cm}$$

Selanjutnya menghitung keililing lilitan(C) yang merupakan nilai keliling dari satu buah lilitan. Dapat dihitung dengan persamaan (3) berikut :

$$C = \pi D$$

$$C = 3,14 \times 1,65 \text{ cm}$$

$$C = 5,18 \text{ cm}$$

Kemudian menghitung Spasi (S) yang merupakan jarak antar lilitan yang memisahkan satu lilitan dengan lilitan lainnya. Besar nilai spasi diperoleh dengan persamaan (4) berikut :

$$S = 0,25 \cdot C$$

$$S = 0,25 \times 5,18 \text{ cm}$$

$$S = 1,29 \text{ cm}$$

Selanjutnya menghitung Panjang Antena (A) yang merupakan panjang antena dari ujung lilitan pertama sampai terakhir. Dapat diperoleh dari persamaan (5) berikut :

$$A = n \cdot S$$

$$A = 8 \times 1,29 \text{ cm}$$

$$A = 10,32 \text{ cm}$$

Kemudian menghitung Panjang satu lilitan (L). Dapat diperoleh dengan persamaan (6) berikut :

$$L = \sqrt{C^2 + S^2}$$

$$L = \sqrt{5,18^2 + 1,29^2}$$

$$L = \sqrt{26,8324 + 1,6641}$$

$$L = 5,34 \text{ cm} \quad (6)$$

Setelah menghitung panjang satu lilitan, maka dapat diperoleh panjang total lilitan (Lt) dapat diperoleh dengan persamaan (7) berikut :

$$L_t = n \times L$$

$$L_t = 8 \times 5,34 \text{ cm}$$

$$L_t = 42,72 \text{ cm}$$

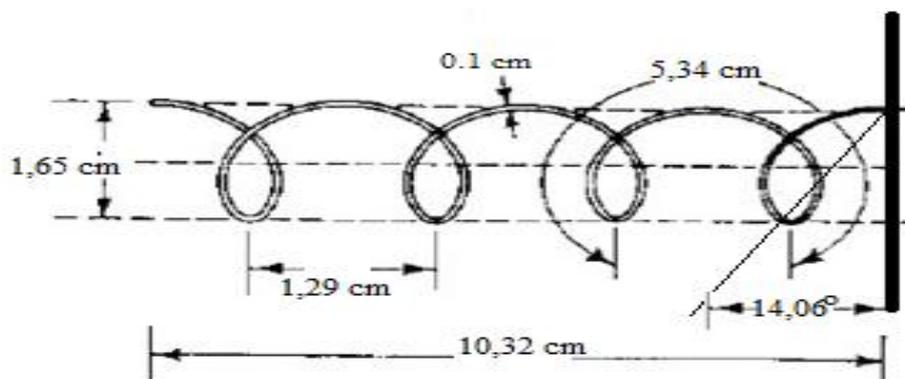
Kemudian terakhir menghitung sudut pitch yang merupakan lekukan kawat tembaga pada lilitan pertama. Dapat diperoleh dengan persamaan (8) berikut :

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S}{C} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1,29}{5,18} \right)$$

$$\alpha = 14,06^\circ \quad (8)$$

Dengan perhitungan di atas, maka didapat desain antena secara keseluruhan terlihat seperti pada Gambar 3.

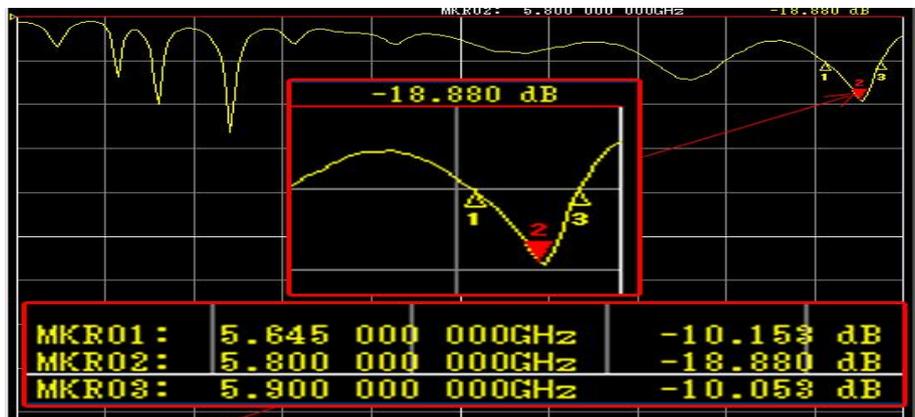


Gambar 3. Sketsa desain hasil perhitungan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran *Return Loss*

Hasil pengukuran untuk parameter *return loss* di ketiga antenna helix pada frekuensi 5,8 GHz adalah sebagai berikut :

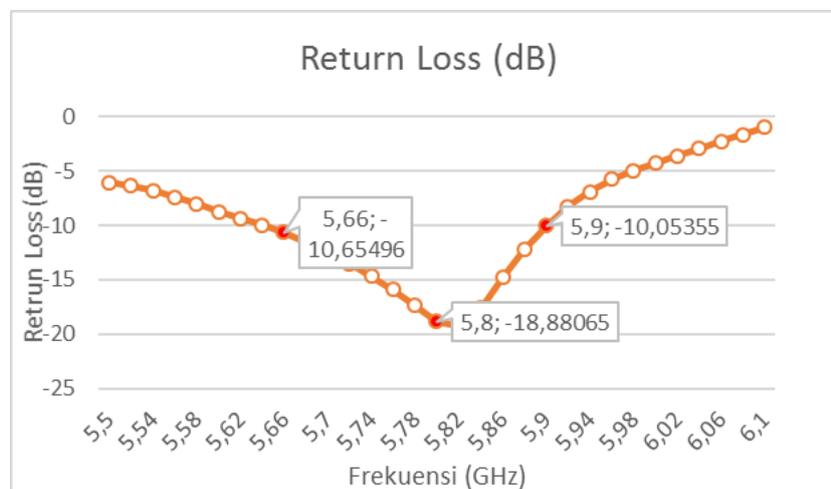


Gambar 4 Hasil Pengukuran *Return Loss* Antena Helix

Pada Gambar 4 menunjukkan grafik dari pengukuran parameter *return loss* dari antenna helix 3 dan didapat nilai *return loss* sebesar **-18,880 dB**.

4.2 Pengukuran Bandwidth

Pada Gambar 5 terlihat letak frekuensi *Lower* berada pada frekuensi 5660 MHz dan frekuensi *Upper* berada pada frekuensi 5900 MHz sehingga Lebar *Bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan berikut :



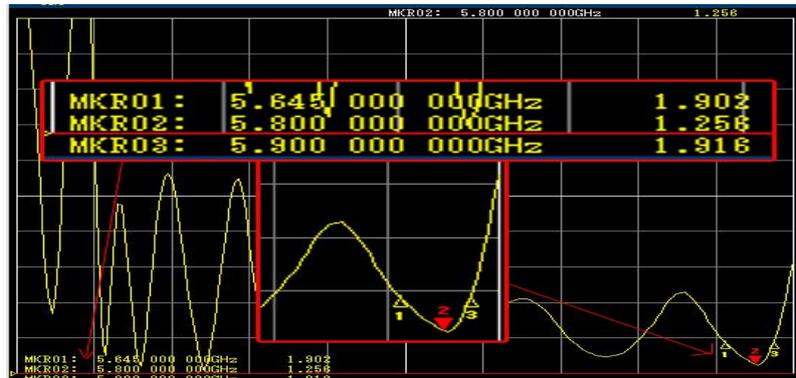
Gambar 5 Grafik Pengukuran *Bandwidth* Antena Helix 3

Pada Gambar 5 terlihat letak frekuensi *Lower* berada pada frekuensi 5660 MHz dan frekuensi *Upper* berada pada frekuensi 5900 MHz sehingga Lebar *Bandwidth* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 BW &= F_{Upper} - F_{Lower} \\
 &= 5900 \text{ Mhz} - 5660 \text{ Mhz} \\
 &= 240 \text{ Mhz}
 \end{aligned}$$

Didapat lebar *Bandwitdh* dari antenna helix 1 yaitu sebesar 300 Mhz yang artinya antenna helix 1 dapat berfungsi baik pada rentang frekuensi 5,66 GHz – 5,9 GHz.

4.3 Pengukuran VSWR

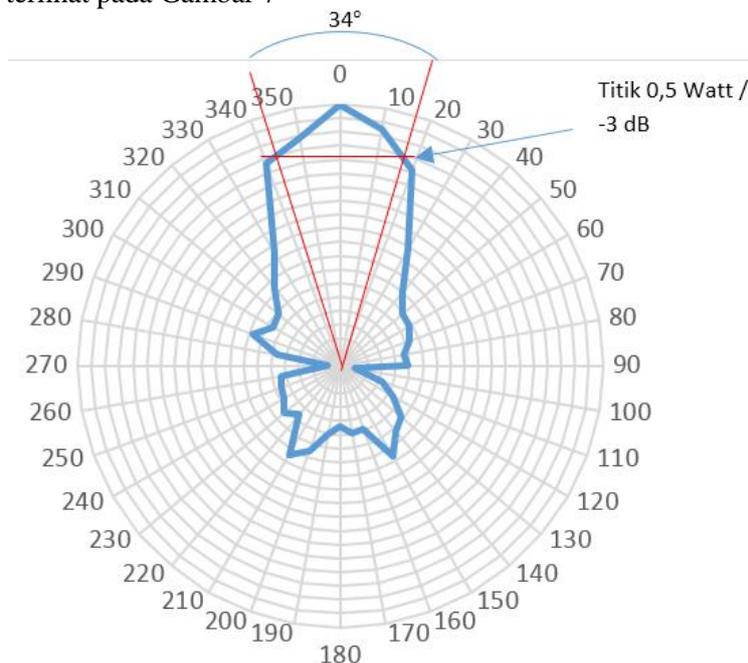


Gambar 6 Grafik hasil pengukuran VSWR Antena *Helix*

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik dari hasil pengukuran VSWR antenna *Helix* 3 pada frekuensi kerja antenna, yakni 5,8 GHz. Nilai VSWR yang didapat sebesar **1,256**.

4.4 Pengukuran Polaradiasi dan HPBW

Dari hasil pengujian pola radiasi ketiga antenna helix kemudian diolah ke dalam bentuk grafik untuk mempermudah melihat nilai HPBW dan untuk mendapatkan bentuk pancaran sinyal antenna *Helix* seperti yang terlihat pada Gambar 7



Gambar 7. Pola Radiasi & HPBW antenna helix 3

Dari Gambar 7 diketahui bahwa nilai HPBW yang dimiliki oleh antenna helix 3 adalah sebesar **34°**.

4.5 Pengukuran Gain

Gain Antenna *Helix* didapatkan dengan membandingkan level sinyal yang didapat dari hasil pembacaan pada *spectrum analyzer* saat antenna berada pada sisi penerima. Untuk dapat mengetahui besarnya *gain* yang dimiliki ketiga antenna helix Antenna *helix* dapat digunakan persamaan (10) :

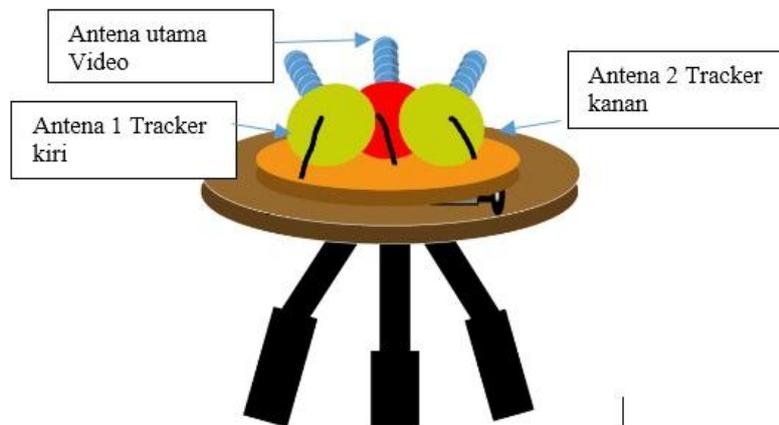
$$Gain = Pr_1 - Pr_2 + G_{ref}$$

$$\begin{aligned} \text{Gain Antena Helix 1} &= -35.80 - \\ &(-38.33) + 12 = 14,53 \text{ dB} \\ \text{Gain Antena Helix 2} &= -35.12 - \\ &(-38.61) + 12 = 15,49 \text{ dB} \\ \text{Gain Antena Helix 3} &= -36.00 - \\ &(-39.97) + 12 = 15,97 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat persamaan untuk mengetahui nilai *gain*, dimana Pr_1 merupakan *power receive* dari Antena helix sebagai antenna yang penerima yang diuji. Dan selanjutnya Pr_2 merupakan *power receive* dari antenna *horn* sebagai antenna referensi. Kemudian G_{ref} merupakan *gain* referensi yang dimiliki antenna *horn*, yakni sebesar 12dB. Hasil dari pengukuran melebihi spesifikasi yang telah direncanakan sebelumnya, yaitu > 10 dB, sehingga antenna mampu bekerja baik dengan *gain* pada frekuensi kerja 5,8 GHz.

4.6 Pengujian Fungsi Antena Sebagai Sistem Autotracking Antena Deskripsi Fungsi alat

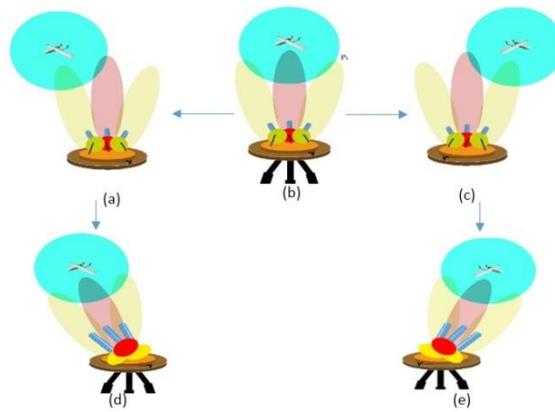
Alat ini berfungsi sebagai penjejak/penggerak antenna yang berada pada sisi *Ground Control Station* untuk dapat mengunci signal dan mengikuti arah terbang pesawat UAV agar tidak terjadi *loss signal* ketika pesawat UAV melakukan misi terbang. Antena *helix* 8 lilitan yang di buat berfungsi sebagai penentu arah datangnya signal pada frekuensi 5,8 Ghz. Antena tracker berbasis kekuatan signal ini menggunakan 1 buah *transmitter* dimana terdapat 1 buah antenna *monopole* dengan bentuk pola *omnidirectional* yang dipasang di sisi pesawat UAV, dan 3 buah *receiver* yang terdiri dari 3 buah antenna *Unidirectional* yaitu berupa antenna *helix* yang di pasang di sisi *GCS*. Koneksi dihubungkan secara *point to multipoint*. Konstruksi pemasangan antenna *helix* disusun menyerupai bentuk trisula seperti dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi alat

Cara Kerja Sistem

Alat ini bekerja dengan cara membandingkan kekuatan signal yang dikirim dari *transmitter* di sisi UAV dan diterima oleh kedua *receiver* (kanan & kiri) di sisi *GCS*. Kekuatan signal *receiver* kanan dan *receiver* kiri akan dibandingkan dengan rangkaian komparator op-amp dan dilanjutkan ke rangkaian *tracker*, kemudian menggerakkan servo sesuai dengan arah pergerakan dari *transmitter*. Logikanya adalah jika signal *receiver* kanan lebih besar dari *receiver* kiri, maka servo akan menggerakkan antenna ke arah kanan dan apabila *receiver* kiri lebih besar dari *receiver* kanan maka servo akan menggerakkan antenna ke arah kiri. Pada saat kekuatan signal di kedua *receiver* menunjukkan angka yang sama atau menunjukkan perbandingannya 1:1 maka artinya antenna sudah mengarah tepat kepada *transmitter* di sisi UAV. Sebagaimana pada Gambar 9 merupakan ilustrasi cara kerja antenna *tracker*.

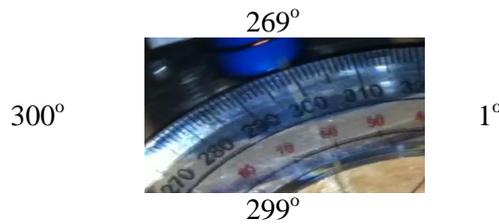


Gambar 9. Ilustrasi cara kerja alat

Pada gambar 9 terlihat ilustrasi cara kerja alat yaitu (a) Antena *helix* kiri menerima sinyal lebih besar dari antena *helix* kanan, (d) maka antena *tracker* akan bergerak kearah kiri. Dan sebaliknya (c) jika Antena *helix* kanan menerima sinyal lebih besar dari antena *helix* kiri, (e) maka antena *tracker* akan bergerak kearah kanan. Antena *tracker* akan terus bergerak sampai pada saat kekuatan sinyal dikedua *receiver* menunjukkan angka yang sama atau menunjukkan perbandingannya 1 yang artinya antena sudah mengarah tepat kepada *transmitter* di sisi pesawat UAV,

Tabel 2. Hasil pengujian fungsi antena dan analisa

Sudut yang di tuju (derajat)	Sudut Hadap (busur antena <i>tracker</i>)	Sudut kesalahan
0°	 1°	1°
30°	 31°	1°
60°	 63°	3°
90°	 90°	0°
270°	 270°	1°



Dari data hasil percobaan diatas menunjukkan pengujian sudut hadap antenna tracker terhadap sudut yang dituju, hasil yang didapatkan dari beberapa sudut masih terdapat kesalahan dengan sudut kesalahan terbesar sebesar 3o dengan presentase kesalahan yang didapat adalah sebesar 0,83% .

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Antena Helix 1 bekerja baik pada rentang frekuensi 5.7 GHz – 6 GHz dengan nilai return loss -17.84 dB, VSWR 1.294 , Gain 14.53 dB, dan Pola radiasi Unidirectional
2. Antena Helix 2 bekerja baik pada rentang frekuensi 5.72 GHz – 5.84 GHz dengan nilai return loss -17.31 dB, VSWR 1.315, Gain 15.49 dB, dan Pola Radiasi Unidirectional
3. Antena Helix 3 bekerja baik pada rentang frekuensi 5.66 GHz – 5.9 GHz dengan nilai return loss -18.88 dB, VSWR 1.256, Gain 15.97 dB, dan pola radiasi Unidirectional.
4. Pada pengujian sistem Autotracking Antena berbasis level signal memiliki sudut keakuratan yang cukup baik dengan presentase kesalahan sudut hadap terhadap sudut yang dituju sebesar 0,83%.

REFERENSI

- [1] Balanis, Constantine A. 2005. "Antenna Theory Analysis and Design 3rd Edition" . New York. Wiley-Interscience.
- [2] Bardwell, Joe. 2002. "Converting Signal Strength Percentage to dBm Values". Canada.
- [3] Irianto A, Betty S, dan Soerowirdho B. 2011. "Perancangan Antena Helix Untuk Frekuensi 2,4,4 GHz". Depok. Jurnal mahasiswa Teknik Elektro Universitas Gunadarma
- [4] Gunawan. Wibisono, Firmansyah. Teguh, "Concurrent multiband low noise amplifier with multisection impedance transformer ". Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC), 2012, 914-916
- [5] Wibisono. Gunawan, Firmansyah, Teguh, "Design of dielectric resonators oscillator for mobile WiMAX at 2, 3 GHz with additional coupling $\lambda/4$ ", IEEE Region 10 Conference TENCON 2011-2011, 489-493.
- [6] Wibisono, Gunawan; Firmansyah, Teguh; Priambodo, Purnomo S, et al Multiband Bandpass Filter (BPF) base on Folded Dual Crossed Open Stub", International Journal of Technology (IJTech), vol. 5, No. 1, 2014.
- [7] Firmansyah, Teguh; Purnomo, Sabdo; Fatonah, Feti; Nugroho, Tri Hendarto Fajar; " Antena Mikrostrip Rectangular Patch 1575, 42 MHz dengan Polarisasi Circular untuk Receiver GPS", Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), Vol. 4, No. 4, 2015.
- [8] Firmansyah. Teguh; Harsojo, Dwi; Fatonah, Feti; Aziz, Abdul. "Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119, 7 MHz dan 123, 2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto". Jurnal Ilmiah Setru. Vol.4, No. 1, 2015.
- [9] Firmansyah. Teguh, Alfanz, Rocky. "Rancang Bangun Low Power Elektric Surgery (Pisau Bedah Listrik) pada Frekuensi 10 KHz", Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol 5, No. 1. 2016.
- [10] Wibisono. Gunawan, Firmansyah. Teguh, Syafraditya. Tierta, "Design of triple-band bandpass filter using cascade tri-section stepped impedance resonators", Journal of ICT Research and Applications, vol. 10, no.1, pp. 43-56. 2016.
- [11] Megasakti, MC. 2010. "Rancang Bangun Auto Tracking Dengan Menggunakan Microcontroller GPS, SAT Finder dan Digital Compas untuk Sinkronisasi Azimuth Antena Terhadap Satelit Cakrawarta-2". Depok. Skripsi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Indonesia

Rancang Bangun Bandpass Filter untuk aplikasi *Long Term Evolution* (LTE) Frekuensi 1,8 GHz

Teguh Firmansyah, Herudin, Damar K Wardhana

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

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

Disetujui : 24 Desember 2017

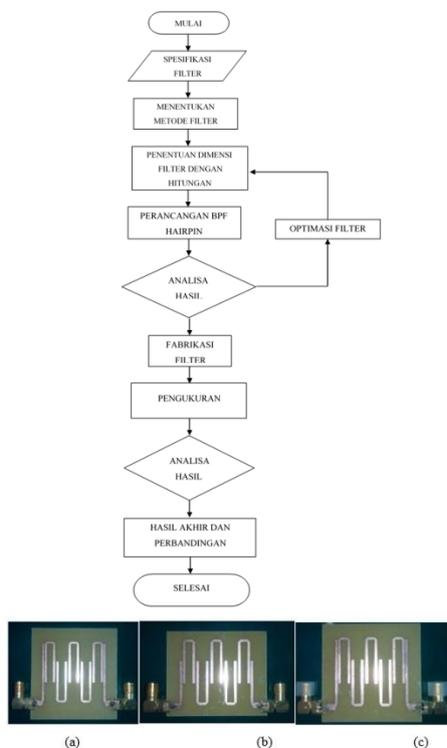
*Korespondensi Penulis :

teguhfirmansyah@untirta.ac.id

herudin@untirta.ac.id

damarkunn@gmail.com

Graphical abstract



Abstract

Filter is a device to pass a particular frequency by passing wanted frequency and reduce unwanted frequencies. The frequency that used is depend on the applications used. Based on the frequency regions that are passed, the filter is divided into several type: Lowpass Filter (LPF), Bandpass Filter (BPF), Highpass Filter (HPF), and Bandstop Filter (BSF). This script was aimed to realized Bandpass Filter (BPF) at frequency 1,8 GHz for long term evolution (LTE). The filter is a hairpin filter, which is one method of designing a distributed element filter with $\lambda/2$ length of resonators that is parallel coupled and have resonators topology as 'U' shape. Realization of this filters was using microstrip with FR4-Epoxy material as a transmission channel. The information filter performance was measured by using network analyzer. In this BPF designing and realizing, some of the parameters measured are frequency response, bandwidth, insertion loss, return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). The result of BPF characteristics measurements are: center frequency at 1,8 GHz with 360 MHz bandwidth, insertion loss 8,4 dB, return loss 11,42 dB, VSWR 1,14.

Keywords: Bandpass filter, microstrip, bandpass filter hairpin, chebyshev, LTE

Abstrak

Filter merupakan suatu perangkat untuk melewatkan frekuensi tertentu dengan meloloskan frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi yang tidak diinginkan. Frekuensi yang digunakan akan berbeda-beda tergantung dengan aplikasi yang digunakan. Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter dibagi menjadi beberapa jenis yaitu: Lowpass Filter (LPF), Bandpass Filter (BPF), Highpass Filter (HPF), dan Bandstop Filter (BSF). Pada skripsi ini direalisasikan Bandpass Filter (BPF) pada frekuensi 1,8 GHz untuk Long Term Evolution (LTE). Filter berupa BPF hairpin yang merupakan salah satu metode perancangan filter elemen terdistribusi dengan panjang resonator $\lambda/2$ yang terkopel secara paralel dan mempunyai topologi resonator seperti huruf 'U'. Perealisasi filter menggunakan mikrostrip berbahan FR-4 Epoxy sebagai saluran transmisinya. Informasi kinerja filter diukur dengan menggunakan network analyzer. Beberapa parameter yang diukur dalam perancangan BPF ini adalah respon frekuensi filter, bandwidth, insertion loss, return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Adapun hasil pengukuran dari karakteristik BPF ini adalah frekuensi tengah 1,8 GHz dengan bandwidth 360 MHz, insertion loss 8,4 dB, return loss 11,42 dB, VSWR 1,14.

Kata kunci: Bandpass filter, microstrip, bandpass filter hairpin, chebyshev, LTE

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

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan teknologi akses nirkabel terus berkembang dengan pesat sesuai dengan tuntutan para pengguna jasa telekomunikasi. Pengguna jasa telekomunikasi menginginkan kebutuhan layanan data yang cepat yang dapat diakses di setiap waktu agar komunikasi dapat berjalan dengan lancar setiap saat [1].

Dengan adanya teknologi *Long Term Evolution* (LTE) maka keinginan pengguna jasa telekomunikasi akan kebutuhan layanan data dapat terwujud dengan kemampuan pengiriman data mencapai kecepatan 100 Mbit/s. LTE akan berjalan dengan optimal jika menggunakan frekuensi yang ideal. Frekuensi yang ideal untuk LTE adalah 1,8 GHz. Hal ini terbukti oleh berbagai negara di Asia, Eropa, Australia, Afrika dan Amerika bagian selatan menggunakan frekuensi 1,8 GHz untuk sistem komunikasi *downlink* LTE[1].

Untuk mengikuti pertumbuhan teknologi nirkabel saat ini, maka pada skripsi ini dilakukan perancangan dan perealisasiian *Band Pass Filter* (BPF) yaitu filter yang dapat melewatkan sinyal pada frekuensi 1,8 GHz untuk aplikasi LTE. BPF ini dirancang dengan menggunakan metode *hairpin*. Perealisasiian BPF menggunakan elemen yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya yaitu mikrostrip berbahan FR-4 Epoxy sebagai saluran transmisinya [1].

Spesifikasi Filter yang dirancang bangun adalah sebagai berikut :

- a) Bandwidth Filter : 360 MHz
- b) Jenis Filter : *Chebyshev*
- c) Ripple : 0.2 dB
- d) VSWR $\leq 1,5$
- e) Impedansi Terminal : 50 Ω
- f) Level frekuensi *Stop Band* : 40 dB
- g) *Insertion Loss* ≤ 0.2 dB
- h) *Return Loss* ≥ 14 dB

2. BANDPASS MIKROSTRIP FILTER

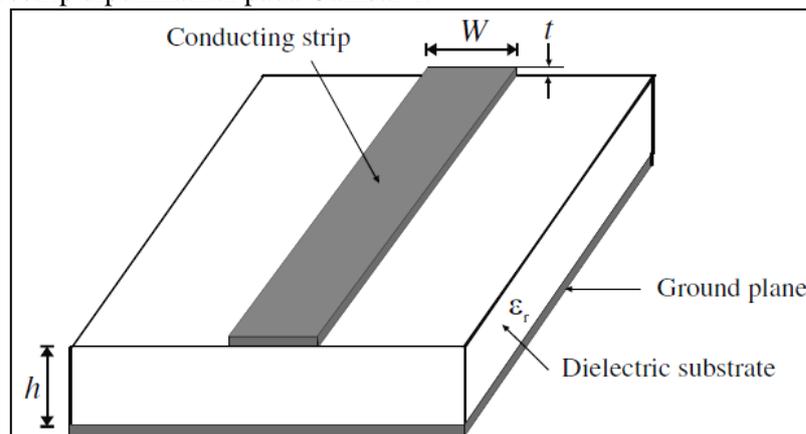
Filter *bandpass* mikrostrip memiliki beberapa metode perancangan yaitu diantaranya : *edge coupled*, *parallel coupled*, *hairpin* dan *interdigital* . Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. *Edge Coupled* dan *Parallel Coupled* memiliki topologi resonator yang sederhana sehingga mudah direalisasikan, namun mempunyai dimensi fisik yang besar.

2.2 Filter Mikrostrip *Hairpin*

Komponen-komponen dalam perancangan filter *hairpin* yaitu : dimensi resonator, koefisien kopling, *slide factor* (saluran yang tidak terkopel), panjang, dan saluran pencatu.

- a) Dimensi resonator

Dimensi saluran resonator terdiri dari panjang dan lebar saluran resonator, besarnya dimensi tersebut dipengaruhi oleh nilai konstanta dielektrik dan ketinggian substrat. Struktur umum saluran resonator pada mikrostrip diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur umum mikrostrip

Untuk mendapatkan nilai lebar saluran resonator (W) dapat digunakan persamaan 2-1 sampai dengan 2-4 [9][22]

Untuk $w/h < 2$

$$\frac{w}{H} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \left(\text{untuk } \frac{w}{h} < 2 \right) \quad (2-1)$$

$$\text{Dengan } A = \frac{Z_c}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{0.5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2-4)$$

Untuk $w/h > 2$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B - 1) - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$\text{Dengan } B = \frac{60\pi^2}{Z_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-2)$$

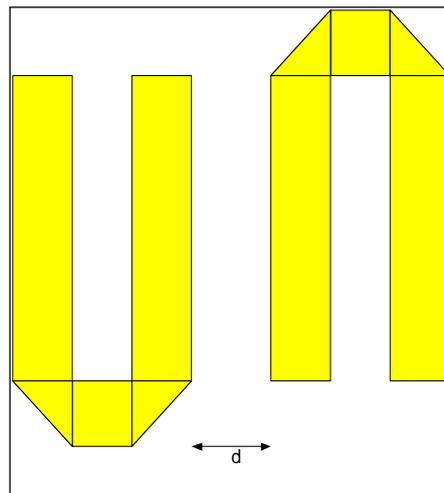
Kemudian untuk mendapatkan nilai L (panjang saluran resonator) dapat digunakan persamaan 2-7 sampai dengan 2-8

$$L = \frac{(\beta l) \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right)}{\sqrt{B} k_0} \quad (2-3)$$

$$\text{Dengan } k_0 = \frac{2\pi f}{c} \quad (2-4)$$

b) Koefisien Kopling

Koefisien kopling menyatakan besarnya transfer daya antar resonator. Besarnya nilai kopling ini akan berpengaruh langsung terhadap *bandwidth* filter. Semakin besar nilai kopling, semakin besar daya yang ditransferkan sehingga mengakibatkan *bandwidth* yang lebar.



Gambar 2. Kopling diantara dua buah resonator hairpin

Dapat dilihat pada gambar 3, jarak antara dua buah resonator dilambangkan dengan d. Semakin besar d, semakin kecil pengaruh koplingnya.

$$K_n = \frac{FBW}{\sqrt{g_n \cdot g_{n+1}}} \quad (2-5)$$

Persamaan 2-10 [13] digunakan untuk mencari koefisien kopling

$$L = \frac{FBW}{\sqrt{g_i \cdot g_{i+1}}} \quad (2-6)$$

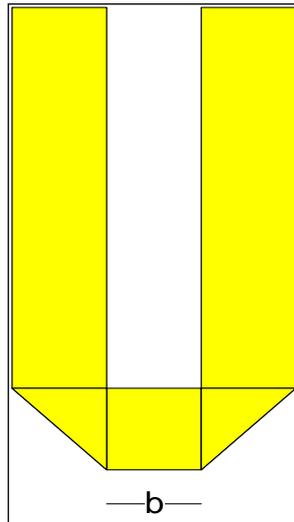
Dengan :

$$FBW = \text{Fractional Bandwidth} = \left(\frac{\text{Bandwidth}}{\text{Frekuensi tengah}} \right)$$

g_i = elemen *chebyshev* untuk orde ke-i

c) Slide factor

Slide factor merupakan saluran yang tidak terkopel pada filter *hairpin*. *Slide factor* yang terlalu panjang akan mengakibatkan redaman filter bertambah, namun apabila *slide factor* terlalu pendek justru akan mengakibatkan adanya kopling diantara saluran resonator yang sama. Untuk itu, panjang *slide factor* minimal adalah 1 sampai 3 kali dari lebar resonator atau 2 sampai 2,5 kali jarak antar resonator itu sendiri. Bagian *Slide factor* pada resonator ditunjukkan pada gambar 5 dengan lebar sebesar b.

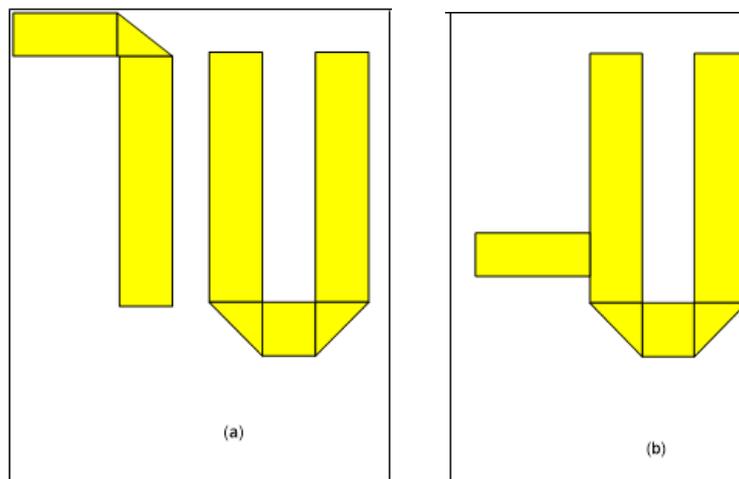


Gambar 3. Slide factor

d) Saluran input

Terdapat dua metode pencatuan dalam mikrostrip hairpin yaitu dengan menggunakan *feed-line* dan *tap*. *Feed-line* ini merupakan saluran $\lambda/4$ yang memiliki impedansi yang sama dengan saluran resonator dan dihubungkan dengan saluran 50Ω . Sedangkan *tap* merupakan saluran dengan impedansi 50Ω yang langsung dihubungkan dengan saluran filter. Pemakaian jenis saluran input ini tergantung kepada topologi filter yang digunakan.

Perbedaan kedua metode pencatuan pada resonator *hairpin* dapat dilihat pada gambar 4. Gambar sebelah kiri merupakan resonator *hairpin* dengan metode pencatuan *feed-line* dan gambar sebelah kanan merupakan resonator *hairpin* dengan metode pencatuan *tap*.



Gambar 4. Input hairpin dengan *feed line* dan dengan *tap*

Posisi pencatuan berpengaruh terhadap faktor kualitas yang dihasilkan, persamaan 2-7 dapat digunakan untuk mendapatkan faktor kualitas yang diinginkan, kemudian dengan mengatur posisi pencatu akan didapat spesifikasi filter yang sesuai dengan yang diinginkan.

$$Q = \frac{g_0 g_1}{FBW} \quad (2-7)$$

Dengan :

$$FBW = \text{Fractional Bandwidth} = \left(\frac{\text{Bandwidth}}{\text{Frekuensi tengah}} \right)$$

g_i = elemen *chebyshev* untuk orde ke- i

Q = faktor kualitas dari rangkaian resonator

3. METODE PENELITIAN

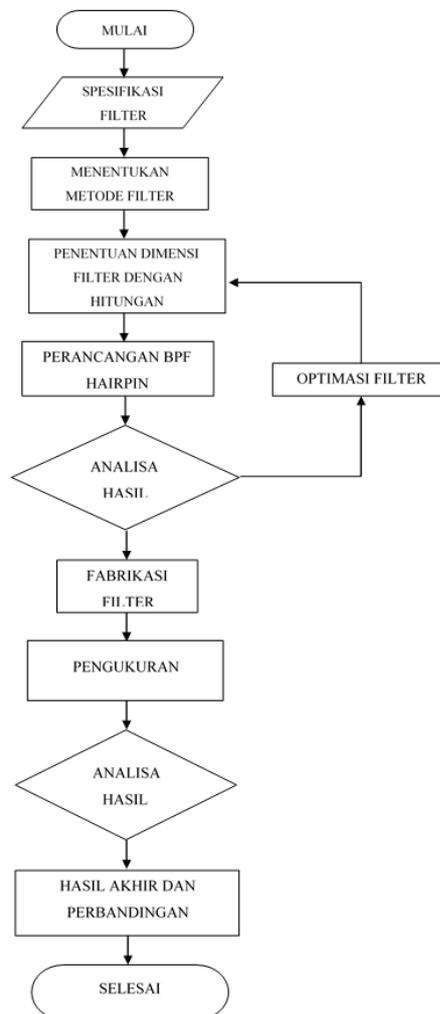
Filter hairpin ini dirancang dengan menggunakan respon Chebyshev ber-orde 5. Sesuai dengan alokasi *band* frekuensi, maka frekuensi *uplink* memiliki *cutoff* bawah sebesar 1620 MHz dan *cutoff* atas sebesar 1980 MHz. Dengan menggunakan persamaan 2-1, frekuensi tengah diperoleh sebesar :

$$f_{01} = \sqrt{f_{c1} \times f_{c2}} = \sqrt{1620 \times 1980} = 1790,977 \text{ MHz}$$

Fungsi frekuensi (ω/ω_c) ternormalisir diperoleh dengan cara mentransformasi fungsi frekuensi *Lowpass Filter* ke fungsi frekuensi *Band Pass Filter*.

$$\left| \frac{\omega}{\omega_c} \right| = \frac{1}{\Delta} \times \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$\left| \frac{\omega}{\omega_c} \right| = \frac{1}{0,020} \times \left(\frac{1800}{1790,977} - \frac{1790,977}{1800} \right) = 1.833$$



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

3.1 Perancangan dimensi resonator

Dengan menggunakan spesifikasi substrat yang telah ditentukan, dapat dihitung dimensi filter (panjang dan lebar salurannya).

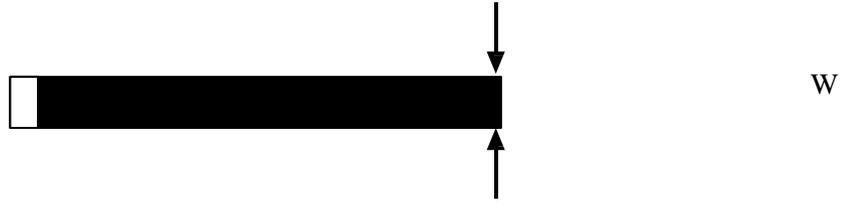
Berikut perhitungan Fractional Bandwidth sebelum melakukan perhitungan lebar resonator

$$FBW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} = \frac{1.62 - 1.98}{1.80} = 0.2 = 3.6$$



3.2 Lebar saluran resonator (W)

Lebar saluran resonator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-1 sampai dengan 2-4. Berikut perhitungan lebar saluran resonator dengan spesifikasi filter yang telah disebutkan sebelumnya.



Gambar 6. Lebar saluran resonator

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right)$$

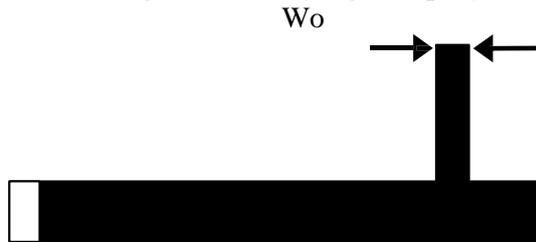
$$= \frac{75}{60} \sqrt{\frac{4.4+1}{2}} + \frac{4.4-1}{4.4+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.4}\right) = 2.214$$

$$W = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} * h = \frac{8e^{2.214}}{e^{2(2.214)} - 2} * 1.52$$

= 1.361 mm, setelah dilakukannya optimasi maka didapatkan nilai W= 1.15 mm

3.2.2 Panjang Tap (Wo)

Tap berfungsi sebagai saluran pencatu. Saluran ini menggunakan impedansi karakteristik sebesar 50 Ω, disesuaikan dengan konektor yang mempunyai impedansi karakteristik yang sama.



Gambar 7. Panjang saluran tap

$$B = \frac{377\pi}{2.50\sqrt{4.4}} = 5.646$$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (5.646 - 1) - \ln(2 \times 5.646 - 1) + \frac{4.4 - 1}{2 \times 4.4} \left[\ln(5.646 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.4} \right] \right\}$$

$$\frac{w}{h} = 1.913$$

$$W_o = 1.913 \times 1.52 = 2.91 \text{ mm}$$

3.2.3 Menentukan impedansi karakteristik saluran terkopel

Impedansi karakteristik pada saluran terkopel terdiri dari dua buah mode yaitu impedansi karakteristik mode genap (Z_{0e}) dan impedansi karakteristik mode ganjil (Z_{0o}). Persamaan (2.8 dan 2.9) adalah persamaan untuk mencari nilai impedansi karakteristik mode genap dan ganjil kemudian hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.5.

$$(Z_{0e})_{j,j+1} = Z_0 \left[\frac{1 + J_{j,j+1} Z_0 \cos ec \theta + J_{j,j+1}^2 Z_0^2}{1 - J_{j,j+1}^2 Z_0^2 \cot^2 \theta} \right] \quad (2.8)$$

$$(Z_{0o})_{j,j+1} = Z_0 \left[\frac{1 - J_{j,j+1} Z_0 \cos ec \theta + J_{j,j+1}^2 Z_0^2}{1 - J_{j,j+1}^2 Z_0^2 \cot^2 \theta} \right] \quad (2.9)$$

Tabel 1. Impedansi karakteristik mode genap dan ganjil tiap resonator (FR-4 Epoxy)

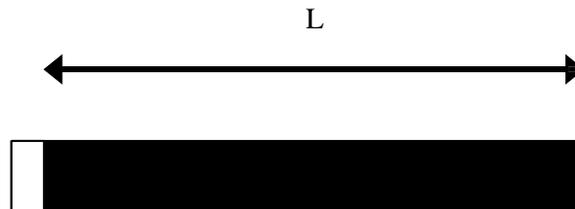
Resonator	$Z_{0e} (\Omega)$	$Z_{0o} (\Omega)$
01	80,67	37,75
12	67,42	40,06
23	63,72	41,30
34	63,72	41,30
45	67,42	40,06
56	80,67	37,75

3.2.4 Panjang saluran resonator (L)

Panjang saluran resonator dapat dihitung dengan menggunakan 2-5 sampai dengan 2-6. Berikut perhitungan panjang resonator.

$$\begin{aligned} \epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12(\frac{h}{W})}} \\ &= \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \sqrt{\frac{1}{1 + 12(\frac{1.6}{1.15})}} = 3.570 \end{aligned}$$

$$L = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{4f_0\sqrt{\epsilon_e}}$$



Gambar 8 Panjang Saluran Resonator

Kemudian dapat dicari panjang saluran untuk masing frekuensi kerja.

$$L = \frac{3 * 10^8}{4 * 1.8 * 10^6 \sqrt{3.570}} = 22 \text{ mm}$$

Setelah dilakukannya optimasi maka didapatkan nilai $L = 21.67 \text{ mm}$

4. HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

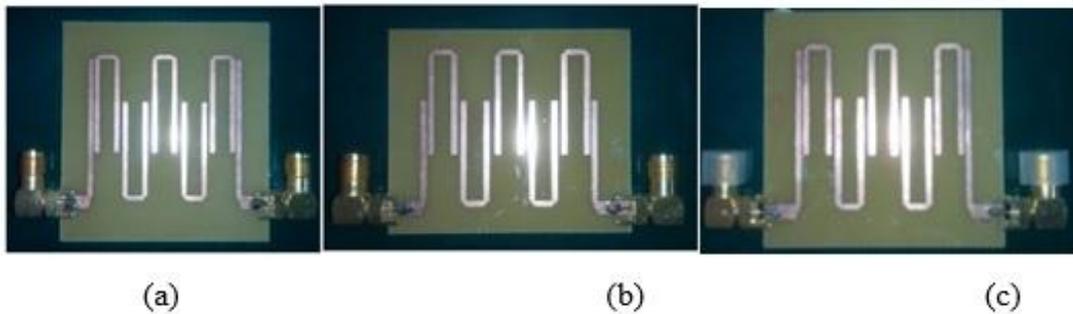
Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data mengenai kinerja *Bandpass Filter* Mikrostrip 1.8 GHz yang telah direalisasikan yang meliputi pengukuran respon frekuensi, *insertion loss*, *return loss*.

4.1 Hasil Fabrikasi

a. FR-4 Epoxy

Fabrikasi ke bahan dielektrik (PCB) ini tidak bisa dilakukan secara manual karena memerlukan keakuratan yang tinggi sehingga dilakukan dengan bantuan mesin *etching*. Namun pada kenyataannya, ketelitian yang tinggi tetap sulit diperoleh yaitu hanya sekitar 0,25 milimeter. hasil desain yang telah difabrikasi ditunjukkan pada Gambar 9 (a), (b) dan (c).





Gambar 9.(a), (b) dan (c) Realisasi PCB FR-4 Epoxy dengan Copper Layer sebagai pembedanya

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran adalah sebagai berikut :

1. *Network Analyzer*
2. *VSWR Bridge*
3. Adapter N to N
4. Beban terminasi 50 Ω
5. Kabel koaksial

Pengukuran respon frekuensi dilakukan untuk memperoleh data parameter-parameter filter, yaitu frekuensi tengah, frekuensi *cutoff*, *bandwidth*, frekuensi stop, *Insertion Loss*, dan *fractional bandwidth*.

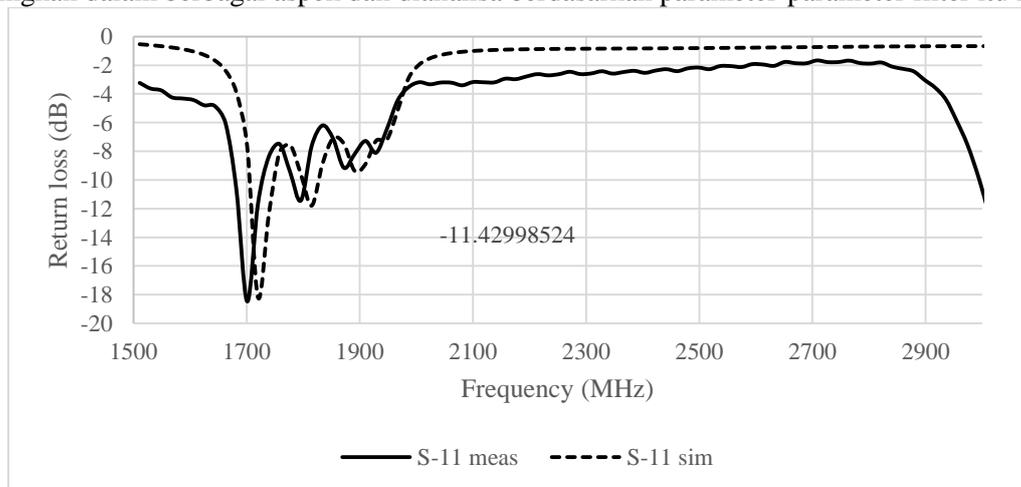
4.2 Simulasi dan hasil pengukuran filter pertama

Prosedur pengukuran :

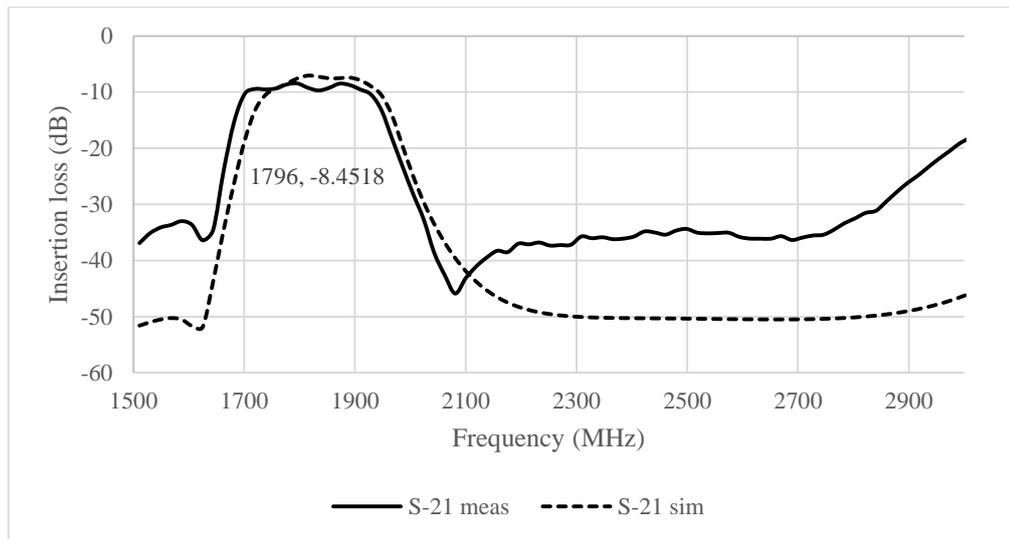
1. Melakukan *set-up* peralatan.
2. Mengkalibrasi *network analyzer* dengan terlebih dahulu mengatur *center frequency*, *start frequency*, *stop frequency* dan lebar *span* yang diinginkan; dengan cara menghubungkan port RF input dengan port generator output.
3. Menghubungkan input *bandpass filter* Mikrostrip ke port Generator output dan output *bandpass filter* Mikrostrip ke port RF input.
4. Membaca hasil pengukuran respon frekuensi yang ditampilkan pada *network analyzer*.

A. Perbandingan simulasi terhadap hasil pengukuran

Berikut ini adalah hasil pengukuran respon frekuensi Bandpass filter mikrostrip terhadap simulasi yang telah direalisasikan, yaitu FR-4 Epoxy filter pertama. Hasil pengukuran ditampilkan dalam span untuk memperoleh pengamatan yang akurat. Kemudian hasil parameter pengukuran ini dibandingkan dalam berbagai aspek dan dianalisa berdasarkan parameter-parameter filter itu sendiri



Gambar 10. Perbandingan parameter S-11 pada filter pertama



Gambar 11. Perbandingan parameter S-21 pada filter pertama

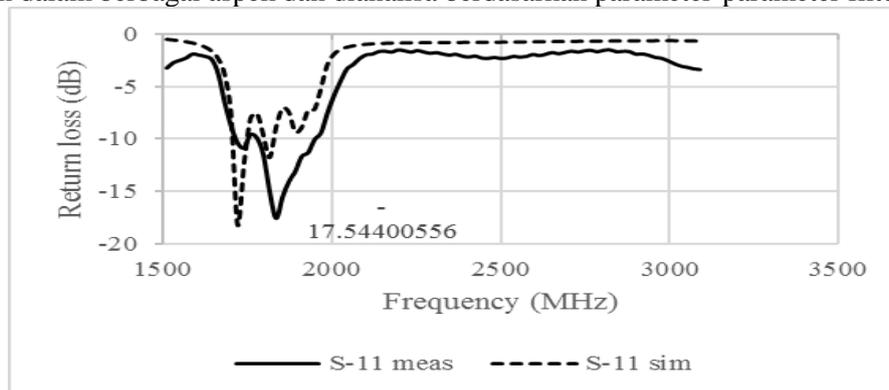
4.3 Simulasi dan hasil pengukuran filter kedua

Prosedur pengukuran :

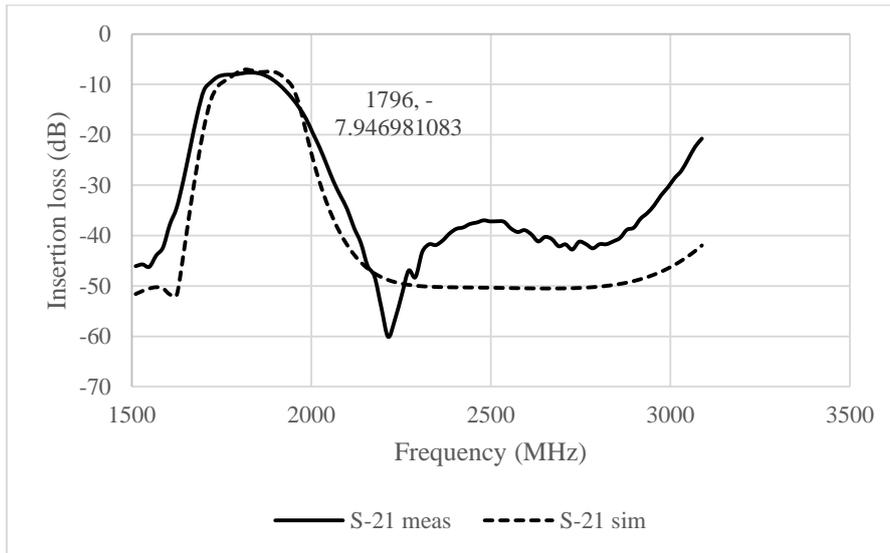
1. Melakukan *set-up* peralatan.
2. Mengkalibrasi *network analyzer* dengan terlebih dahulu mengatur *center frequency*, *start frequency*, *stop frequency* dan lebar *span* yang diinginkan; dengan cara menghubungkan port RF input dengan port generator output.
3. Menghubungkan input *bandpass filter* Mikrostrip ke port Generator output dan output *bandpass filter* Mikrostrip ke port RF input.
4. Membaca hasil pengukuran respon frekuensi yang ditampilkan pada *network analyzer*.

A. Perbandingan simulasi terhadap hasil pengukuran

Berikut ini adalah hasil pengukuran respon frekuensi *bandpass filter* mikrostrip terhadap simulasi yang telah direalisasikan, yaitu *FR-4 Epoxy* filter kedua. Hasil pengukuran ditampilkan dalam *span* untuk memperoleh pengamatan yang akurat. Kemudian hasil parameter pengukuran ini dibandingkan dalam berbagai aspek dan dianalisa berdasarkan parameter-parameter filter itu sendiri.



Gambar 13. Perbandingan parameter S-11 filter kedua



Gambar 14. Perbandingan parameter S-21 filter kedua

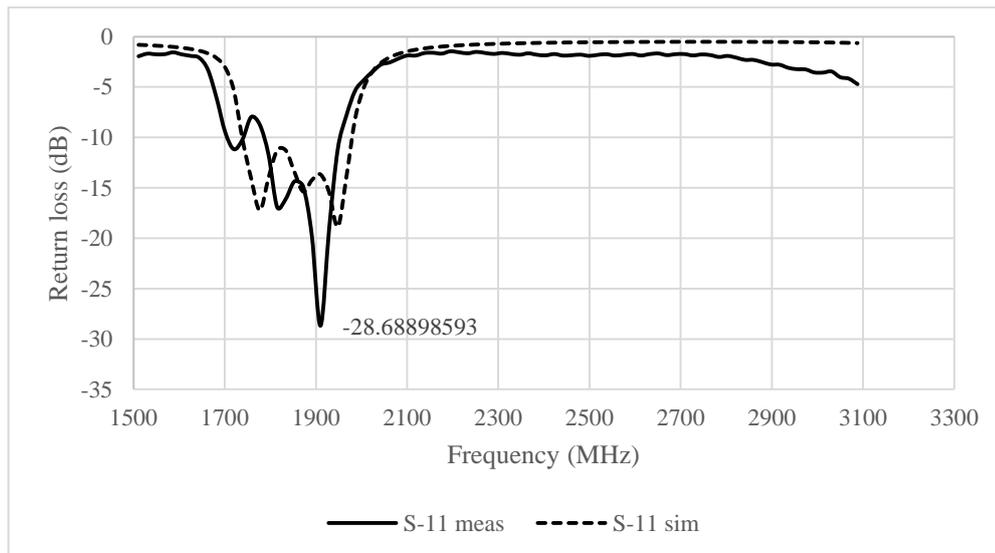
4.4 Simulasi dan hasil pengukuran filter ketiga

Prosedur pengukuran :

1. Melakukan *set-up* peralatan.
2. Mengkalibrasi *network analyzer* dengan terlebih dahulu mengatur *center frequency*, *start frequency*, *stop frequency* dan lebar *span* yang diinginkan; dengan cara menghubungkan port RF input dengan port generator output.
3. Menghubungkan input *bandpass filter* mikrostrip ke port generator output dan output *bandpass filter* Mikrostrip ke port RF input.
4. Membaca hasil pengukuran respon frekuensi yang ditampilkan pada *network analyzer*.

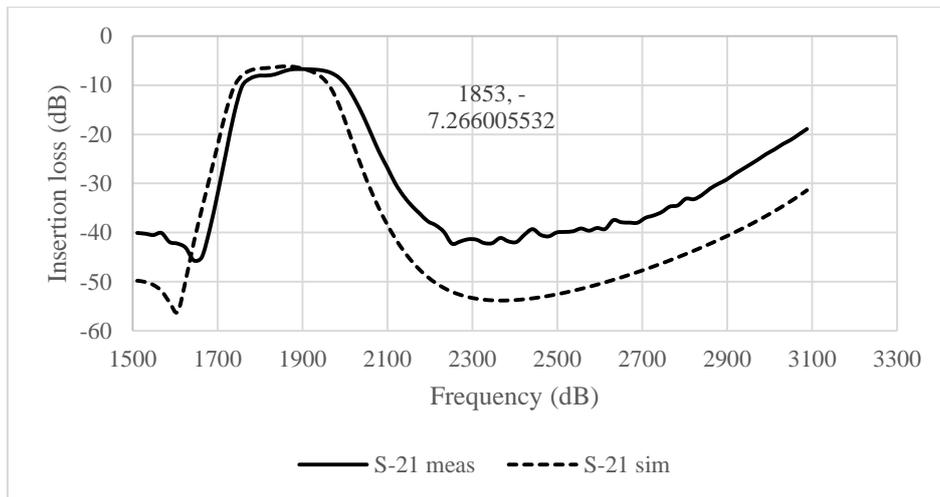
A. Perbandingan simulasi terhadap hasil pengukuran

Berikut ini adalah hasil pengukuran respon frekuensi *bandpass filter* mikrostrip terhadap simulasi yang telah direalisasikan, yaitu *FR-4 Epoxy* filter ketiga. Hasil pengukuran ditampilkan dalam *span* untuk memperoleh pengamatan yang akurat. Kemudian hasil parameter pengukuran ini dibandingkan dalam berbagai aspek dan dianalisa berdasarkan parameter-parameter filter itu sendiri.



Gambar 15. Perbandingan parameter S-11 filter ketiga





Gambar 1. Perbandingan parameter S-21 filter ketiga

Tabel 3. Data hasil pengukuran respon frekuensi resonansi

Parameter	Perancangan (Simulasi)	Pengukuran (FR-4 Epoxy)		
		Filter Pertama	Filter Kedua	Filter Ketiga
Frekuensi tengah	1845 MHz	1796 MHz	1796 MHz	1853 MHz
Frekuensi <i>cutoff</i> bawah	1740 MHz	1701 MHz	1701 MHz	1758 MHz
Frekuensi <i>cutoff</i> atas	1950 MHz	1929 MHz	1929 MHz	2005 MHz
Bandwidth	210 MHz	128 MHz	128 MHz	247 MHz

4.5 Analisa hasil pengukuran

Pergeseran nilai frekuensi tengah merupakan akibat dari fabrikasi pada PCB yang kurang teliti sehingga dimensi panjang dan lebar saluran berubah.

Tabel Error! No text of specified style in document.. Perbandingan hasil perancangan dan realisasi lebar saluran filter

Parameter	Lebar Saluran (W)
	Resonator
Perancangan	1,15 mm
Realisasi	1,2 mm

Bandwidth resonansi yang lebih kecil maupun yang lebih besar dibandingkan dengan spesifikasi perancangan disebabkan oleh :

1. Ketidakpresisian dalam fabrikasi *layout* saluran yang menyebabkan jarak antar saluran tidak sesuai dengan perancangan sehingga kopling antar resonator tidak tentu lagi.

Tabel 5. Perbandingan hasil perancangan dan realisasi jarak antar saluran

Parameter	Jarak antar Saluran (S)					
	S ₀₁	S ₁₂	S ₂₃	S ₃₄	S ₄₅	S ₅₆
Perancangan	0,384 mm	0,8 mm	0,96 mm	0,96 mm	0,8 mm	0,384
Realisasi	0,4 mm	0,9 mm	1 mm	1 mm	0,9 mm	0,4 mm

2. Panjang saluran terkopel dan besarnya kopling antar resonator yang berubah diakibatkan oleh fabrikasi yang tidak akurat.
3. *Insertion loss* yang relatif besar karena dimensi PCB yang tidak sesuai juga dapat mengurangi

bandwidth yang dihasilkan.

4. *Return loss* yang baik akan menghasilkan nilai $VSWR = 1$. Berdasarkan hasil pengukuran *return loss*, harga $VSWR$ pada *Bandpass filter* ini dihitung dengan menggunakan persamaan 2-22 dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 6. Data hasil perhitungan $VSWR$

BPF	VSWR
	Frekuensi Resonansi
Filter Pertama	1,73
Filter Kedua	1,3
Filter Ketiga	1,07

Tabel diatas menunjukkan bahwa $VSWR$ *Bandpass filter FR4-Epoxy* yang dihasilkan kurang baik. Hal ini antara lain disebabkan karena :

1. Ketidakpresisian pada saat fabrikasi *layout* saluran yang menyebabkan lebar saluran tidak sesuai dengan perancangan sehingga impedansi saluran tidak lagi 50Ω dan terjadi *missmatch* dengan impedansi konektor.
2. Pemasangan port SMA pada saluran akan menimbulkan efek kapasitif sehingga mempengaruhi besarnya impedansi karakteristik saluran.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya realisasi dan pengukuran *Bandpass filter* mikrostrip 1,8 GHz, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. *Bandpass filter* mikrostrip berhasil direalisasikan dengan metoda *Chebyshev*.
2. *Bandpass filter* mikrostrip ini memiliki frekuensi tengah filter pertama 1796 GHz (bergeser 4 MHz), frekuensi tengah filter kedua sebesar 1796 GHz (bergeser 4 MHz) dan frekuensi tengah filter ketiga sebesar 1853 GHz (bergeser 53 MHz).
3. Bandwidth sebesar 360 MHz mampu bekerja pada LTE 1,8 GHz (1620 MHz sampai dengan 1980 GHz).
4. Frekuensi 1,8 GHz yang merupakan frekuensi *stopband* berhasil diredam >30 dB.
5. *Insertion loss* yang dihasilkan pada frekuensi tengah filter pertama, kedua, dan ketiga masing-masing sebesar 8,4 dB, 8,4 dB dan 7,6 dB.
6. *Return loss* yang dihasilkan pada frekuensi tengah filter pertama, kedua, dan ketiga masing-masing adalah 11,42 dB ($VSWR = 1,7$), 17,54 dB ($VSWR = 1,3$), 28,68 dB ($VSWR = 1,07$).

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang bisa dijadikan pedoman untuk merealisasikan filter terutama menggunakan metoda yang sama, yaitu :

1. Perancangan filter frekuensi tinggi memerlukan ketelitian yang sangat besar karena kesalahan kecil dalam perhitungan dimensi ukuran akan berpengaruh terhadap kinerja filter.
2. Sebaiknya dilakukan percobaan berulang terlebih dahulu untuk mendapatkan desain yang paling optimal, karena perhitungan teori tidak sepenuhnya sesuai dengan praktek.
3. Letak pemasangan konektor harus tepat berada ditengah saluran untuk menjaga kecocokan impedansi saluran terhadap impedansi beban.
4. Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat dicoba mengganti *FR-4 Epoxy* dengan bahan lainnya.

REFERENSI

- [1] Nori, A., *Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Berbasis Mikrostrip*. 2008.
- [2] Fallis, A., *Rancang Bangun Bandpass Interdigital Filter mikrostrip*. 2013.
- [3] Yulyanthy, D. R., *Perancangan Dan Realisasi Bandpass Filter Berbasis Mikrostrip Pada*

- Frekuensi 2.6-2.7 GHz untuk aplikasi LTE*. 2012.
- [4] Toto, S., *Perancangan Bandpass Filter Untuk Cpe M-Wimax Menggunakan Filter Aktif Mikrostrip Hairpin*. 2010.
- [5] Angga, H.Y , Heroe, W., & Yuyu, W., *Perancangan dan Realisasi Filter Band Pass Hairpin Line Pada Frekuensi 2.425 Ghz menggunakan Substrat Rogers Duroid 5880 untuk Satelit Nano*. 2009.
- [6] Rianto, M. H., *Perancangan Simulasi dan Realisasi BPF Mikrostrip Hairpin untuk Aplikasi WiFi Pada Frekuensi 5.725 – 5.875 GHz*. 2011.
- [7] Hapsari, N. R., *Perancangan dan Realisasi BPF berbasis Mikrostrip pada Frekuensi 1930-1990 MHz*. 2011.
- [8] Brady, Dana., *The Design, Fabrication and Measurement of Microstrip Filter and Coupler Circuits, High Frequency Electronic, Summit Technical Media*. 2002.
- [9] Fauzi, Y., *Rancang Bangun Bandpass Filter Untuk Aplikasi Radar X-Band Menggunakan Resonator Hairpin*. 2012.
- [10] Ikkal, T. M., *Perancangan Filter Band Pass Compline Pada Frekuensi 5.21 GHz*. 2016.
- [11] Setiawan, A., Hariyadi, T., & Mulyanti, B., *Rancang Bangun Band Pass Filter Mikrostrip Hairpin Dengan Open Stub Dan Defected Ground Structure (DGS) Untuk Frekuensi UMTS 3G (1920-1980 MHz)*. 2014.
- [12] Golio, M., & Golio, J., *RF and Microwave Handbook Second Edition*. 2007.
- [13] Makimoto, M., & Yamashita, S., *Bandpass Filters Using Parallel Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators*. 1980. vol. 28, no. 12, pp. 1413–1417.
- [14] Saputra, R., *Rancang Bangun Bandpass Filter Mikrostrip Untuk Aplikasi Sistem RFID Multiband Pada Frekuensi Kerja 433 MHz Dan 923 MHz*. 2011.
- [15] Gunawan. Wibisono, Firmansyah. Teguh, "Concurrent multiband low noise amplifier with multisection impedance transformer " . Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC), 2012, 914-916
- [16] Wibisono. Gunawan, Firmansyah, Teguh, "Design of dielectric resonators oscillator for mobile WiMAX at 2, 3 GHz with additional coupling $\lambda/4$ ", IEEE Region 10 Conference TENCON 2011-2011, 489-493.
- [17] Wibisono, Gunawan; Firmansyah, Teguh; Priambodo, Purnomo S, et al Multiband Bandpass Filter (BPF) base on Folded Dual Crossed Open Stub", International Journal of Technology (IJTech), vol. 5, No. 1, 2014.
- [18] Firmansyah, Teguh; Purnomo, Sabdo; Fatonah, Feti; Nugroho, Tri Hendarto Fajar; " Antena Mikrostrip Rectangular Patch 1575, 42 MHz dengan Polarisasi Circular untuk Receiver GPS", Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), Vol. 4, No. 4, 2015.
- [19] Firmansyah. Teguh; Harsojo, Dwi; Fatonah, Feti; Aziz, Abdul. "Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119, 7 MHz dan 123, 2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto". Jurnal Ilmiah Setru. Vol.4, No. 1, 2015.
- [20] Firmansyah. Teguh, Alfanz, Rocky. "Rancang Bangun Low Power Elektric Surgery (Pisau Bedah Listrik) pada Frekuensi 10 KHz", Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol 5, No. 1. 20
- [21] Wibisono. Gunawan, Firmansyah. Teguh, Syafraditya. Tierta, "Design of triple-band bandpass filter using cascade tri-section stepped impedance resonators", Journal of ICT Research and Applications, vol. 10, no.1, pp. 43-56. 2016.
- [22] Hong, J., & Lancaster, M. J., *Microstrip Filters for RF / Microwave*. 2001. vol. 7.

Desain dan Realisasi Sistem Komunikasi Cahaya Tampak untuk Streaming Teks berbasis PWM

Trio Adiono¹, Syifaulyu Fuada¹, Angga Pradana¹

¹University Center of Excellence on Microelectronics, Institut Teknologi Bandung. IC Design Laboratory, Gedung PAU Lt. IV, Kampus ITB, Jln. Tamansari No.126, Kota Bandung (40132), Jawa Barat.

Informasi Artikel

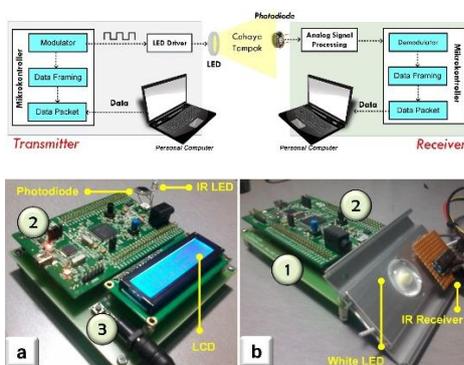
Naskah Diterima : 6 Desember 2017

Direvisi : 6 Januari 2017

Disetujui : 6 Januari 2018

*Korespondensi Penulis : syifaulyu@pme.itb.ac.id

Graphical abstract



Abstract

The design and implementation of visible light communication systems for transmitting digital data (texts) have been discussed in this paper. Then, two evaluations were performed also, i.e. the demonstration of streaming text through the visible light as a proof-of-concept system design. The next evaluation is a BER measurement intended to know the VLC system performance quantitatively. The value of BER against the several parameters: by the variation of distance and its reception angle. The proposed VLC system works well until the photodiode reception angle to the LEDs up to 50°. According to evaluation, our system can operate optimally within 30 – 80 cm or 50 – 130 cm of optical channel range depending on the Gain setting option. To support the reliability of noise from ambient light and interference lamps such as fluorescent lamps, the filters circuit are employed: high pass filter and DC-offset remover. Based on the BER analysis, the filters can compensate the problem of ambient light noise (DC-offset signal) and interference lamp (100-150 Hz of carrier frequency). The speed of data-rate obtained with 1-PWM modulation and the low-cost analog component is 3.3 kbps.

Keywords: Visible light communication, PWM, Real-time, Text streaming

Abstrak

Perancangan dan implementasi sistem komunikasi cahaya tampak untuk mengirim data digital berupa teks telah dibahas dalam makalah ini. Kemudian, juga dilakukan dua bentuk evaluasi, yakni dengan demonstrasi streaming teks lewat cahaya tampak sebagai proof-of-concept desain sistem dan berikutnya adalah pengukuran BER yang dimaksudkan untuk mengetahui performa sistem VLC secara kuantitatif dengan parameter variasi jarak dan sudut penerimaan. Sistem dapat bekerja dengan baik sampai sudut penerimaan photodiode terhadap LED sampai 50°. Sistem VLC dapat beroperasi optimal dalam jarak kanal optik 30 – 80 cm atau 50 – 130 cm yang bergantung dari opsi pengaturan Gain. Untuk mendukung kehandalan terhadap noise dari ambient light dan interference lamp seperti lampu neon, digunakan rangkaian bentuk filter yakni HPF dan DC-offset remover. Berdasarkan hasil analisa BER, filter dapat mengkompensasi problem dari lampu-lampu gangguan tersebut. Kecepatan laju data yang diperoleh dengan modulasi 1-PWM dan low-cost komponen analog adalah 3,3 kbps.

Kata kunci: Komunikasi cahaya tampak, PWM, Real-time, Streaming teks

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

1. PENDAHULUAN

Visible Light Communication (VLC) memanfaatkan panjang gelombang 380 nm – 780 nm sebagai medium penghantar informasi yang merupakan spektrum cahaya tampak. Sifat dari komunikasi ini adalah tidak memiliki lisensi dibandingkan dengan komunikasi Radio Frequency (RF) yang memiliki rule pemakaian frequency band tertentu [1]. Oleh karena itu, frequency band dari VLC bebas dipergunakan. Adapun keunggulan teknologi VLC lainnya yakni memiliki bandwidth 10.000 kali lebih lebar dari pada RF [2], dengan demikian dapat berpotensi sebagai media teknologi wireless

alternatif dari RF yang saat ini telah penuh. Tabel 1 menunjukkan perbandingan VLC dengan teknologi *short-range wireless communication*, seperti *Near Field Communication* (NFC) dan *Bluetooth Low Energy* (BLE). Dapat diperlihatkan bahwa VLC memiliki keunggulan pada aspek regulasi pemakaian pita komunikasi, penyediaan *bandwidth* (secara teoretikal), kecepatan transmisi data, ketersediaan infrastruktur, dan faktor kerenangan terhadap interferensi elektromagnetik.

Tabel 1. Perbandingan teknologi *short-range* RF (NFC dan BLE) terhadap VLC, diambil dari [3-4]

Karakteristik	NFC	BLE	VLC
Standar komunikasi	ISO/IEC 14443 A&B, JIS X-6319: 4	<i>Bluetooth Core Specification</i> 4.0 / 4.1/ 4.2	IEEE 802.157 VLCC JEITA CP-1223
<i>Bandwidth</i>	13.56 MHz	2.4 GHz	400 nm (750 THz) – 700 nm (428 THz)
Regulasi pemakaian frekuensi	Teregulasi, <i>Bandwidth</i> terbatas	Teregulasi, <i>Bandwidth</i> terbatas	Tidak teregulasi
Kecepatan transmisi data	424 Kbits/s	300 Kbits/s	Mb/s-Gb/s
Jarak transmisi data	< 10 cm	< 70 m	< 120 m
Kematangan teknologi	Matang	Matang	Belum matang
Interferensi gelombang elektromagnetik	Ya	Ya	Tidak
Infrastruktur	<i>Acces point</i>	<i>Acces point</i>	Perangkat penerangan
<i>Vision line</i>	Ya (kontak langsung)	Tidak	Ya / Tidak (dengan konfigurasi LOS / non-LOS)
Konsumsi energi	Sangat rendah	<i>Medium</i>	Rendah, <i>Medium</i> , Tinggi (bergantung pada daya LED yang dipakai)
Interaksi mobilitas	Tidak ada	Luas	Terbatas (sifat cahaya tidak dapat menembus objek padat)
Transmisi <i>Machine-to-Machine</i> (M2M)	<i>Bidirectional</i>	<i>Bidirectional</i>	<i>Bidirectional</i>
Resiko pemakaian	Tidak ada	Ya (emisi sinyal RF)	Kesehatan mata dan <i>mood</i>
Sensitivitas terhadap <i>noise</i>	Tidak	<i>Other users</i>	Kondisi lingkungan

Teknologi VLC telah banyak dipraktikkan untuk pengiriman data-data digital, misalnya *streaming* konten multimedia berupa audio [5-6], video [7], audio-video, *voice*, ataupun citra digital [8-9], ataupun teks [10-12] secara *real-time*. Terkait dengan konten teks, salah satu contohnya dilaksanakan oleh S. Jeenawong, dkk yang mendemonstrasikan transmisi karakter sederhana melalui cahaya tampak, yakni “V”, “L”, “C”. Dengan LED berdaya rendah yakni 5 Watt, sistem dapat dipakai dalam jarak 5,4 meter dan *baudrate* mencapai 115200 bps [13]. Selanjutnya S. Shakeera, dkk juga melakukan penelitian serupa, yakni mendemonstrasikan pengiriman karakter “0” dan “1”, adapun sensor yang dipakai adalah LDR yang mana memiliki sensitifitas lebih lamban dari pada APD atau PIN *Photodiode* sehingga kecepatan laju data yang dipakai sangat rendah [14]. Kemudian, N. Yudharama, dkk melakukan rancang bangun sistem VLC dan analisisnya untuk keperluan *streaming* teks, maksimum *Bit rate* yang dapat dikejar adalah 19200 bps dengan jarak kanal optik maks. pada lima belas sentimeter [15]. pada lingkungan dalam ruang (*indoor*).

Sistem VLC pada penelitian [13-15] idealnya hanya dapat didemonstrasikan pada lingkungan yang gelap atau tanpa sumber cahaya lain (~0 lux) karena tidak dilengkapi dengan rangkaian *filter* pada blok *receiver*. Suatu rangkain *filter* diperlukan untuk mengkompensasi sinyal *direct current* (DC) yang bersumber dari *ambient light noise* (yakni: lampu senter dan cahaya matahari) dan *interference lamp noise* (yakni: *incandescent* atau lampu pijar dan *fluorescent* atau lampu neon). Sinyal-sinyal tersebut dapat mempengaruhi performa sistem komunikasi, yakni menjadikan nilai *bit error-rate* (BER) besar. Dengan demikian, *noise* sinyal pada sistem VLC harus diminimalisir [16-18].

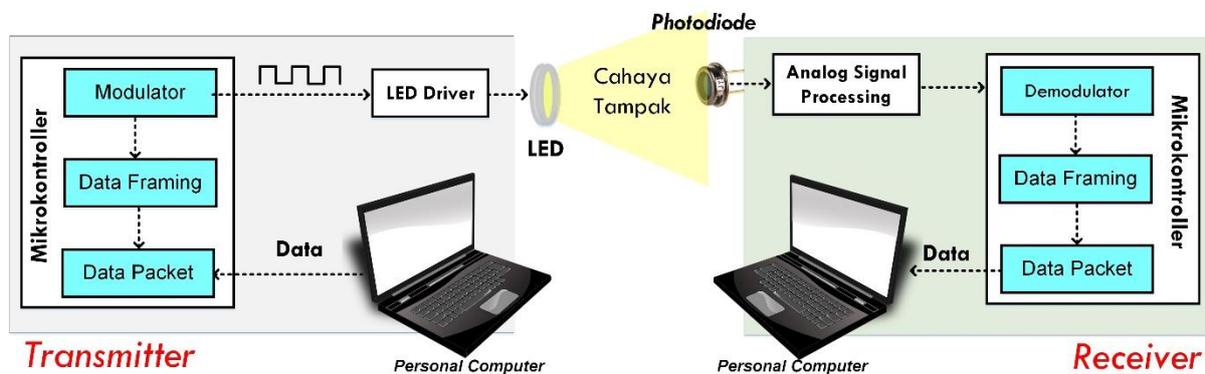
Pada penelitian ini, penulis melakukan rancang bangun sistem komunikasi cahaya tampak dengan *pulse width modulation* (PWM) sebagai *carrier signal* dan Mikrokontroler STM32 sebagai perangkat *digital signal processing* (DSP). *Use-case* dari penelitian ini adalah untuk *streaming* konten

running texts berbasis VLC dalam lingkungan dalam ruang/indoor. Pada bagian receiver ditambahkan dua rangkaian filter, yakni sirkuit DC-offset remover untuk menghilangkan sinyal DC akibat pengaruh ambient light dan sirkuit high-pass filter untuk mereduksi noise dari interference lamp. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi untuk pengembangan VLC yang handal terhadap pengaruh lingkungan luar sistem, seperti ambient light atau interference lamp noise.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Penentuan Spesifikasi Sistem

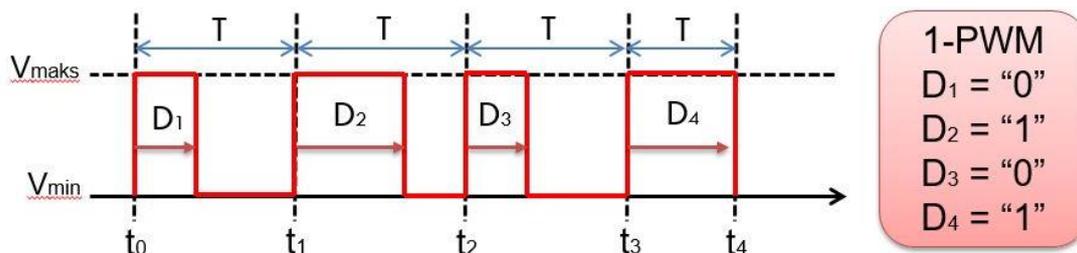
Gambar 1 menunjukkan usulan rancangan sistem VLC, terdiri atas host dan client user yang mana masing-masing terdiri atas blok DSP dan analog. Topologi komunikasi yang dipakai adalah one-way point-to-point (untuk keperluan downlink saja). LED dipilih sebagai antenna transmitter dan PIN photodiode dipilih sebagai antenna receiver. Sedangkan kanal optik yang dipilih adalah line-of-sight (LOS) yakni perangkat host dan perangkat client user dihadapkan langsung. Pada komputer host dan user client dipasang aplikasi Graphic User Interface (GUI) untuk menampilkan data yang dikirim dan diterima. Pada penelitian ini, digunakan modulasi digital yakni PWM dengan alasan karena mampu membawa lebih banyak bit dibandingkan modulasi konvensional yakni on-off keying (OOK).



Gambar 1. Diagram blok sistem VLC

2.2 Modulasi PWM

Beberapa teknik modulasi digital telah dipraktekkan untuk sisteem VLC antara lain OOK, Pulse Position Modulation (PPM) dan PWM. Modulasi OOK kurang direkomendasikan dalam kecepatan rendah, karena kondisi LED bergantung pada data yang ditransmisikan, ketika transmitter memiliki deretan data '0' sebanyak 1 byte, maka tentu LED akan dalam keadaan padam pada waktu yang lebih lama. Selanjutnya, modulasi OOK juga kurang efisien dalam memanfaatkan bandwidth. Sementara modulasi PPM cenderung lebih rumit dalam implementasinya. PWM memodulasi data terhadap lebar pulsa (Gambar 2), jenis modulasi ini dapat mendukung modulasi multi-level sehingga pulsa untuk tiap satu periode mampu membawa bit yang lebih banyak, misalnya 2-PWM, 3-PWM, 4-PWM, dst. Namun pada penelitian ini diimplementasikan 1-PWM. Target bit rate data pada modulasi 1-PWM ini adalah mencapai 3 kbps, maka periode pulsa (T) haruslah disetel sebesar $T = \frac{1 \text{ bit}}{3000 \text{ bit/s}}$ sehingga periode pulsa (T) yang digunakan adalah sebesar 0,3333 ms atau 0,35 ms.



Gambar 2. Pulsa PWM untuk sistem VLC

2.3 Pemilihan Komponen

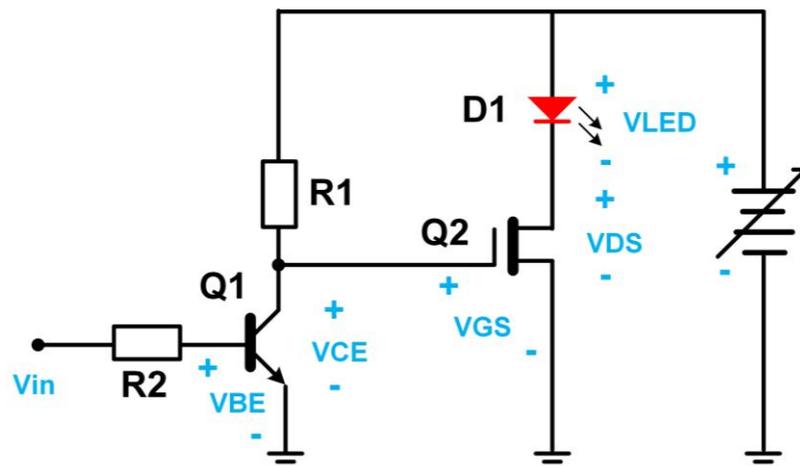
Komponen-komponen elektronika yang utama untuk *Hardware* sistem VLC secara garis besar mencakup LED sebagai *antenna* pemancar, *Photodetector* sebagai *antenna* penerima, Op-Amp sebagai *analog signal processing*, dan Mikrokontroler. Pertimbangan pemilihan komponen berdasarkan spesifikasi aplikasi dan juga kebutuhan yang mana sistem VLC pada penelitian ini hanya untuk transfer teks, maka dari itu digunakanlah komponen yang bersifat *low-cost*.

Pada penelitian ini, digunakan modul LED Coochip dengan model LEDMD-W110C yang diproduksi oleh Hyrite Lighting.co (<http://www.hyrite.com/coochip-led-module-ledmd-w110c.html>), modul LED tersebut menggunakan chip LED Epistar dengan warna menyala putih. Tegangan Kerja sebesar 12 V_{DC} dengan Daya maksimum 9 Watt. Adapun spesifikasi lainnya adalah memiliki sudut pancaran yang lebar yakni 178° sehingga memungkinkan iluminansinya mampu menjangkau sudut sempit. Sementara intensitas cahaya yang dipancarkan adalah 550 lumen yang mana sesuai spesifikasi standar penerangan dalam ruang pada rumah hunian. Sedangkan pada sisi *antenna* penerima, dipilih PIN *Photodiode* model KODENSHI SP-8ML [19], spesifikasi *photodiode* ini adalah: 1) memiliki luas penampang efektif (A_r) sebesar 7,4 mm², 2) cakupan area panjang gelombang (λ) adalah 450 – 1050 nm yang mana melingkupi area cahaya tampak (*visible light*) ke inframerah, dan memiliki *short circuit* (I_{SC}) atau *photocurrent* sebesar 270 μ A pada saat 1000 lux.

Pada penelitian ini terdapat dua tipe Op-Amp yang dipakai, yakni OP-AMP *general purpose* (Model: LM358) yang diproduksi oleh Texas Instrument.Inc memiliki *Gain bandwidth Product*: 1 MHz saat Gain = 1 kali. Tipe Op-Amp yang kedua adalah OP-AMP *specific purpose* (Model: AD8011AN) yang mana hanya difungsikan sebagai *Trans-impedance Amplifier* (TIA), Op-Amp ini memiliki *Gain bandwidth Product*: 300 MHz saat Gain = 1 kali dan *Rise/fall time* mencapai 0,4 ns. Sedangkan perangkat DSP memanfaatkan modul mikrokontroler STM32F4 *discovery* (ARM Cortex M4, f_{clock} maksimum = 168 MHz). *Development board* ini sudah cukup memadai untuk dipakai dalam *sampling analog-to-digital converter* (ADC) dari data-data relative berukuran kecil seperti teks.

2.4 Desain Blok Analog Front-End (AFE)

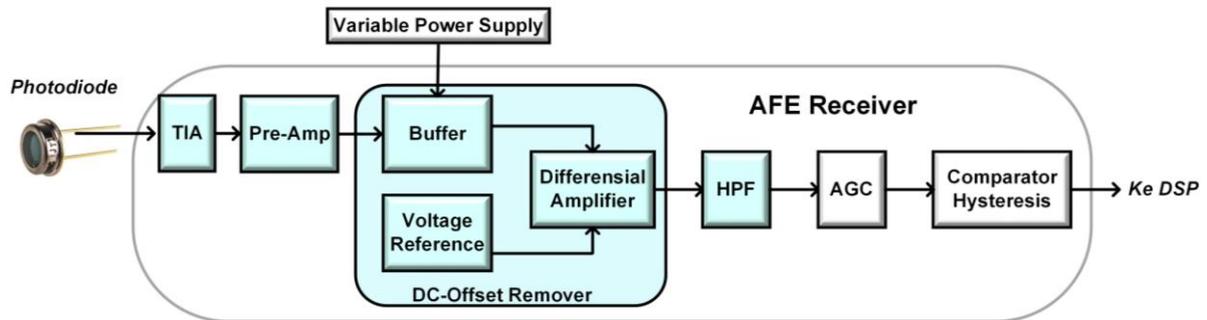
Blok analog terdiri atas dua bagian, yakni LED *driver* dan AFE *receiver*. LED *driver* yang dipilih adalah jenis *switch* yang mana digunakan untuk mengkondisikan sinyal digital seperti PWM [20]. Kondisi LED “menyala” dinyatakan dalam logika “1” yang mana transistor diatur saturasi dan begitu pula sebaliknya, kondisi LED “padam” dinyatakan dalam logika “0” yang mana transistor diatur *cut-off*. Prinsip LED driver jenis *switch* berbeda dengan LED driver linear [21-23]. Rangkaian *switch* LED driver dan *variable power supply* untuk pengaturan intensitas cahaya dari LED, ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Rangkaian *switch* LED driver dan *variable power supply* pada sistem transmitter VLC

Blok AFE *receiver* terdiri atas 4 *stage*: pertama adalah *trans-impedance amplifier* (TIA) sebagai konverter *photocurrent* ke tegangan atau V_{TIA} [24]. Topologi TIA yang dipilih adalah *photovoltaic*. Nilai V_{TIA} masih terlalu kecil untuk dibaca oleh ADC Mikrokontroler STM32 (min. 3,3 V_{DC}) sehingga diperlukan rangkaian *Pre-amplifier* sebagai penguat tegangan tahap pertama. Untuk

menghilangkan tegangan DC-offset digunakan rangkaian *DC-Offset Remover*. Sementara untuk mengkompensasi gangguan dari *interference lamp* (dalam hal ini adalah *incandescent* dan *fluorescent*), pada *stage* selanjutnya digunakan rangkaian *high pass filter* untuk menapis frekuensi dibawah 100 Hz yang merupakan frekuensi *carrier* dari *interference lamp*. Blok AFE receiver secara lengkap divisualisasikan pada Gambar 4.

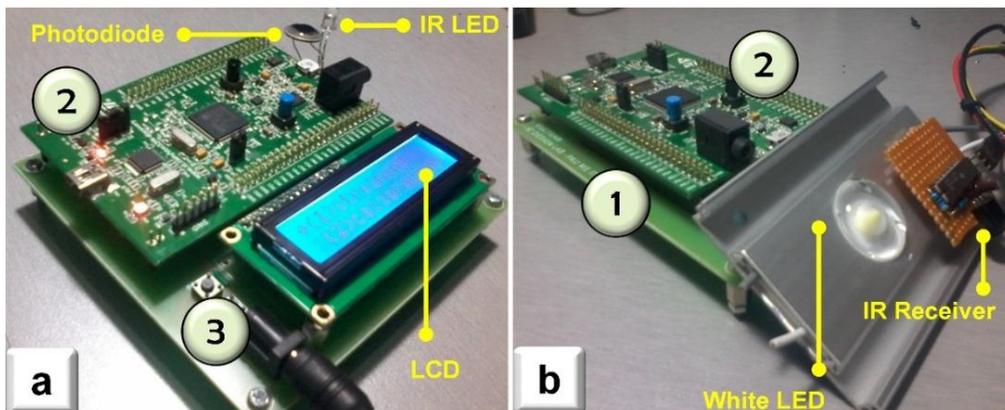


Gambar 4. Blok AFE receiver yang terdiri atas TIA, Pre-Amplifier, DC-Offset Remover dan HPF

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Realisasi Perangkat Keras

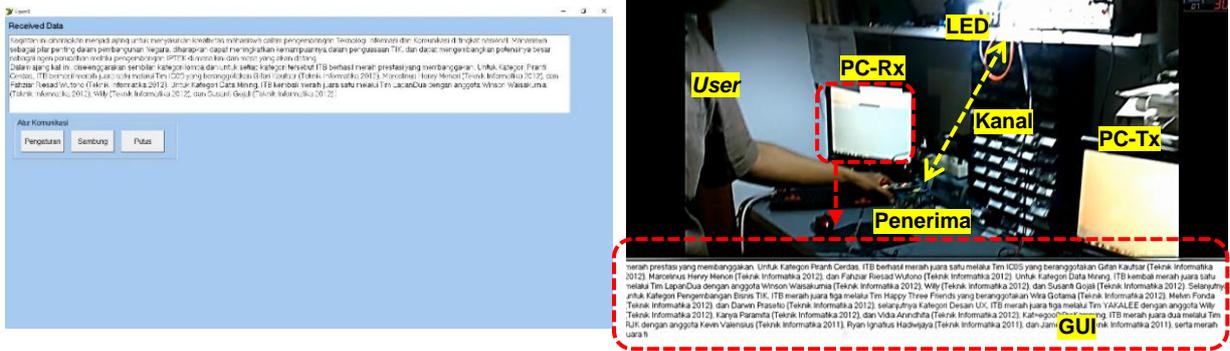
Implementasi *Hardware* dari sistem VLC ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(b). Modul *Host VLC (transmitter)* terdiri atas *development board* mikrokontroler STM32, LED driver, dan LED 8 Watt. Fungsi dari *Host* adalah sebagai pemancar sinyal informasi informasi. Sedangkan modul *user client VLC (receiver)* terdiri atas modul *photodiode* KODENSHI SP-8ML, AFE receiver, dan *development board* mikrokontroler STM32. Fungsi dari *user client* adalah sebagai penerima sinyal informasi yang dipancarkan oleh *Host VLC*. Informasi yang diterima tersebut ditampilkan pada komputer melalui koneksi USB. PCB rangkaian LED driver dan AFE receiver buat dengan bantuan perangkat lunak (*software*) PROTEUS® yang mana memiliki keunggulan dalam hal penyediaan macromodel komponen yang sangat lengkap, interaktivitas GUI yang baik, kelengkapan alat ukur virtual, dan cukup mampu dipergunakan sebagai *proof-of-concept* suatu rangkaian [25].



Gambar 5. Perangkat keras sistem VLC: (a) pemancar/transmitter; (b) penerima/receiver

3.2 Demonstrasi *Real-time* transfer konten teks

Langkah selanjutnya setelah direalisasikan perangkat keras VLC, adalah melakukan demo untuk *proof-of-concept* sistem yang telah dirancang. Gambar 6(b) merupakan *screenshot* video tentang demonstrasi *running text* yang mana mula-mula teks dikirim dari komputer *transmitter* (PC-Tx) dan diterima oleh komputer *receiver* (PC-Rx) melalui cahaya tampak. Gambar 6(a) merupakan tampilan teks yang diterima, GUI dibangun menggunakan *software* Delphi 7.0. Hasil menunjukkan bahwa *streaming* teks dapat didemonstrasikan dengan baik.



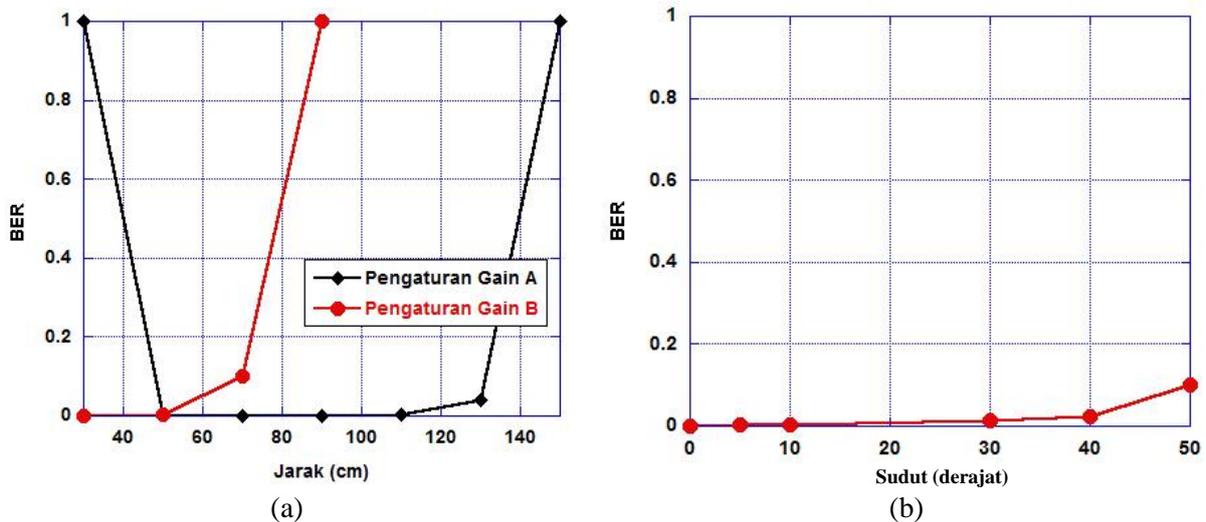
(a) (b)

Gambar 6. (a) Screenshot aplikasi GUI pada komputer receiver/ PC-Rx; (b) Cuplikan video demonstrasi sistem VLC berbasis PWM dalam streaming konten teks dari PC-Tx ke PC-Rx.

3.3 Evaluasi Sistem VLC dengan Analisa BER

Berbeda dengan pengujian secara demonstrasi yang hanya menerapkan metode *proof-of-concept*, pengukuran secara kuantitatif performa sistem VLC perlu dilakukan yakni melalui analisa BER. Metode pengukuran BER adalah dengan mengirimkan data berupa teks melalui perangkat PC transmitter ke PC receiver dengan medium cahaya tampak, topologi pengujian memakai *point-to-point communication*. Adapun variabel eksperimen yang dilakukan adalah saat transfer data berlangsung, kondisi ruangan harus nol lux (toleransi maksimum 15 lux), kemudian jarak antara receiver terhadap transmitter (kanal optik) divariasikan dalam sudut nol derajat (30 cm, 50 cm, 70 cm, 90 cm, 110 cm, 130 cm, dan 150 cm). Sedangkan pengujian BER terhadap perubahan orientasi sudut penerimaan adalah variasi *angle* sebagai berikut: 0°, 5°, 10°, 30°, 40°, dan 50° dengan jarak kanal optik pakem, yakni 60 cm.

Pengiriman teks sebanyak 10 kb dari PC coordinator ke PC client dilaksanakan untuk keperluan perhitungan BER, adapun modulasi yang dipakai adalah modulasi 1-PWM. Sementara Rumus BER dalam penelitian ini adalah menggunakan persamaan: $BER = \frac{\text{Data diterima}}{\text{Data terkirim}}$, yakni membandingkan *bit* data yang diterima oleh receiver dengan *bit* data yang dikirim oleh transmitter. Ketika BER = ~1, maka data yang diterima memiliki potensi *error* yang besar dan saat sama dengan 1, maka data kemungkinan tidak diterima sama sekali.



Gambar 7. (a) BER terhadap variasi pengaturan Gain pada AFE receiver; (b) BER terhadap variasi perubahan sudut penerimaan (*angle of reception*) dari modul user client terhadap modul Host

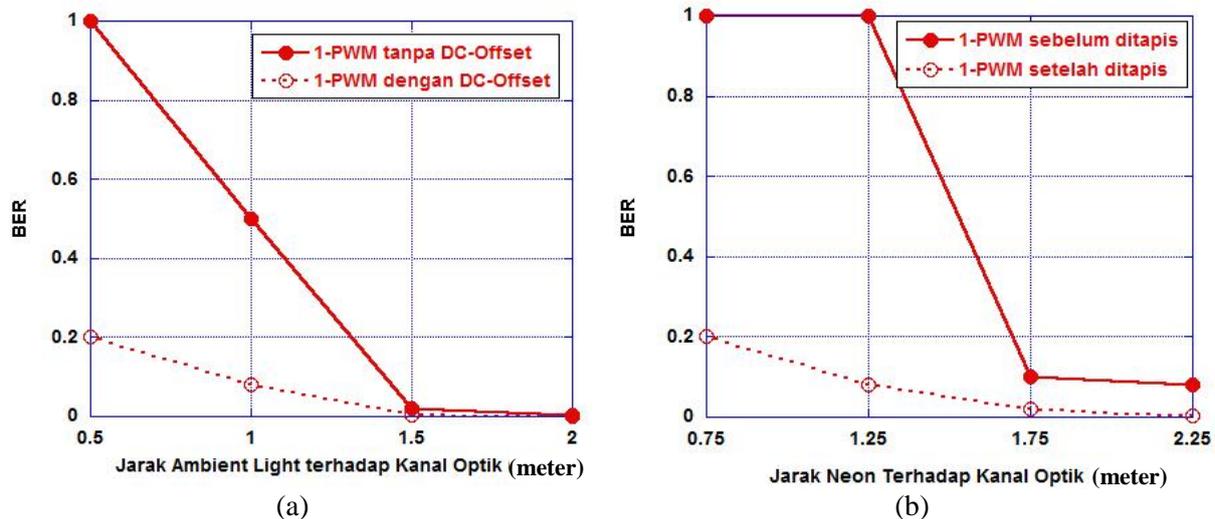
Gambar 7(a) menunjukkan hasil pengukuran BER terhadap dua opsi pengaturan Gain. Pada opsi pengaturan Gain A, dengan jarak kanal optik sejauh 30 cm, data tidak diterima sama sekali, BER = 1, karena V_{TIA} saturasi yang diakibatkan oleh *photocurrent* besar (jarak *photodiode* terlalu dekat

dengan LED). Dan sebaliknya, data juga tidak diterima sama sekali ketika jarak kanal optik semakin jauh. Karena *photodiode* menerima level iluminansi dari LED yang lemah. Jarak efektif dari pengaturan Gain A adalah 50 cm sampai 130 cm. Opsi pengaturan Gain B merupakan penyesuaian level iluminansi dari LED agar lebih sesuai dengan spesifikasi sistem, yakni mampu mengkompensasi jarak yang terlalu dekat. Berdasarkan hasil pengukuran, maka jarak ideal untuk sistem VLC yang dirancang dapat bekerja dengan baik dalam jarak 20 cm maksimal namun jarak kanal optimum hanya menggapai 30 cm sampai 80 cm.

Pada penelitian ini, digunakan opsi pengaturan Gain B. Hasil pengujian tentang pengaruh BER terhadap variasi sudut penerimaan disajikan pada Gambar 7(b). Berdasarkan data hasil, dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem VLC mampu bekerja dengan baik dengan perubahan orientasinya sampai sudut 50 derajat dengan jarak antara LED ke *photodiode* sejauh 60 cm.

3.4 Pengujian Filter Analog dan Ambient Light Compensator

Selanjutnya dilakukan pengukuran BER dengan keadaan *indoor* terdapat gangguan cahaya lain dari luar, yakni *ambient light* dan *interference lamp*. Untuk membangkitkan *DC-offset*, penulis menggunakan lampu senter LED berdaya 20 Watt. Sumber gangguan DC digunakan untuk menguji performa dari rangkaian *DC-Offset remover*. Sementara untuk menguji rangkaian HPF, digunakan lampu *fluorescent* (neon) tanpa *ballast*. Skenario pengujian mengacu pada percobaan pada Bab 3.2, yakni melakukan pengiriman teks dari PC-TX ke PC-RX melalui medium cahaya tampak. Namun selama proses transfer teks berlangsung, sumber DC dan selanjutnya lampu neon diletakkan disekitar *photodiode* atau modul *user client* dalam jarak tertentu.



Gambar 8. Pengukuran BER dengan: (a) sumber *ambient light*; (b) lampu neon

Grafik BER terhadap variasi jarak antara sumber DC dengan modul *user client* ditunjukkan pada Gambar 8(a). Nilai BER akan semakin besar ketika jarak sumber DC semakin dekat dengan *photodiode* karena *photocurrent* semakin besar. Dengan kata lain, sinyal informasi dari LED tertutup oleh cahaya sumber DC tersebut. *Photodiode* akan menerima *received power* yang linier terhadap level iluminansi [26]. Dari Gambar 8(a) dapat disimpulkan bahwa penggunaan rangkaian *DC-Offset remover* terbukti efektif dalam menurunkan BER.

Grafik BER terhadap variasi jarak antara lampu neon dengan modul *user client* ditunjukkan pada Gambar 8(b). Nilai BER akan semakin besar ketika jarak lampu neon semakin dekat dengan *photodiode*. Dari Gambar 8(a) dapat disimpulkan bahwa penggunaan rangkaian HPF pada sistem VLC dapat bekerja dengan baik untuk meredam sinyal interferensi yang disebabkan oleh lampu neon (100 – 150 Hz) dan dapat menurunkan nilai BER. Detail evaluasi disajikan pada paper [27].

3.5 Komparasi dengan Penelitian Lain

Tabel 1 menunjukkan perbandingan dengan beberapa penelitian terkait dengan *streaming* konten teks menggunakan medium cahaya tampak dengan variabel kecepatan laju data yang didapatkan dan jarak kanal optik optimum yang dapat dicapai serta kelengkapan fitur untuk

mengkompensasi lampu pengganggu. Berdasarkan observasi secara kajian pustaka dari kelima artikel ilmiah pembeding, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini unggul dalam fitur. Ketika menggunakan opsi pengaturan Gain A, maka penelitian penulis lebih unggul dari faktor jarak kanal optik, yakni 130 sentimeter dengan LED 8 Watt. Keterangan N.A menyatakan *not available*, yakni tidak ada informasi valid dalam paper yang bersangkutan.

Tabel 1. Perbandingan dengan riset-riset yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya

Referensi	Modulasi	Bit rate	Jarak kanal Optik maks.	Filter Analog	Ambient Light Noise Compensator
Penelitian ini	1-PWM	3,3 kbps	80 cm atau 130 cm	Ada	Ada
[28]	1-PWM	920 bps	65 cm	N.A.	Tidak Ada
[29]	1-PPM	1 kbps	80 cm	Tidak Ada	Tidak Ada
[9]	N.A	19,2 kbps	115 cm	Tidak Ada	Tidak Ada
[15]	N.A	19,2 kbps	12 cm	Tidak Ada	Tidak Ada
[39]	OOK	9,6 kbps	N.A.	Tidak Ada	Tidak Ada

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan, implementasi, dan evaluasi sistem VLC untuk *streaming* data digital berupa teks. Evaluasi dilaksanakan dengan uji fungsional sistem dengan demonstrasi pengiriman teks *via* cahaya tampak dan pengukuran BER terhadap jarak, sudut, dan pengaruh lampu pengganggu. Berdasarkan investigasi, pengaturan *Gain* dapat mempengaruhi kinerja sistem yakni menurunkan nilai BER dan mentolelir efek kanal optik yang terlalu dekat. Selain itu, penggunaan rangkaian *filter* dapat mengkompensasi sumber DC dalam lingkungan *indoor* (*ambient light*) dan mereduksi *noise* yang disebabkan oleh lampu neon. Adapun kecepatan data yang diperoleh adalah 3,3 kbps untuk modulasi 1-PWM. *Bit rate* yang rendah ini disebabkan karena pemakaian IC Op Amp 358 disemua sistem dimana *bandwidth produk* dari model Op Amp ini adalah maksimal 1 MHz, sehingga wajar mendapati hasil penelitian yang demikian. Pada penelitian berikutnya, akan dilakukan optimasi dengan pemilihan Op Amp dengan tipikal *high bandwidth* dan peningkatan daya LED agar iluminansi LED dapat menjangkau sampai 2 meter.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh dana Hibah Penelitian dari KEMRISTEKDIKTI melalui skema Kerjasama Luar Negeri (KLN) kolaborasi dengan *Pukyong National University*-Korea Selatan, judul proyek penelitian "*Machine to machine communication (M2M) based on visible light communication (VLC)*" (No. Kontrak: 009/SP2H/LT/DRPM/IV/2017).

REFERENSI

- [1] R. Hou, Y. Chen, J. Wu, and H. Zhang, "A Brief Survey of Optical Wireless Communication," *Proc. of the 13th Australasian Symp. on Parallel and Distributed Computing* (AusPDC), pp. 41-50, January 2015.
- [2] S. Wu, H. Wang, and C-H. Youn, "Visible Light Communications for 5G Wireless Networking Systems: from Fixed to Mobile Communications," *IEEE Network*, pp. 41-45, December 2014.
- [3] G.C. García, I.L. Ruiz and M. Ángel, "State of the Art, Trends and Future of Bluetooth Low Energy, Near Field Communication and Visible Light Communication in the Development of Smart Cities," *MDPI Sensors J.*, Vol. 16, pp. 1-38, 2016. DOI:10.3390/s16111968.
- [4] 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.
- [5] S. Fuada, and T. Adiono, "Rancang Bangun Layer Fisik Visible Light Communication Pada Sistem Transmisi Audio," *J. INFOTEL*, Vol. 9(3), pp. 352-360, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.20895/infotel.v9i3.288>.

- [6] S. Fuada, A.P. Putra, and T. Adiono, "Short-range Audio Transfer through 3 Watt White LED based on LOS Channels," *Int. Conf. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, Xiamen, China, November 2017.
- [7] T. Adiono, R.A. Saputro, M. Luthfi, and S. Fuada, "A Real-time Wireless Video Streaming based on VLC Technology using FPGA," *Unpublished*.
- [8] T. Adiono, R.A. Saputro, M. Luthfi, and S. Fuada, "FPGA Implementation for Real-time File Transfer using Visible Light Communications," *Unpublished*.
- [9] N. Yudhabrama, et al, "Low Cost Visible Light Communication Transceiver Prototype for Real Time Data and Images Transfer," *Proc. of the ICCEREC*, PP. 7-10, 2017.
- [10] R. Sagotra and R. Aggarwal, "Visible Light Communication," *Int. J. of Computer Trends and Technology (IJCTT)*, Vol. 4(4), pp. 906-910, April 2013.
- [11] A. Pradana, S. Fuada, and T. Adiono, "Desain dan Implementasi Sistem *Visible Light Communication* berbasis *Pulse Width Modulation*," *Unpublished*.
- [12] P.P. Salian, et al, "Visible Light Communication," *Proc. of the 2013 Texas Instruments India Educator' Conf.*, pp. 379-383, 2013.
- [13] S. Jeenawong, et al., "Demonstration of Visible light Text data transmission system using LED lamp," *Proc. of the 15th Int. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, pp. 439-442, October 2015.
- [14] S. Shakeera, et al., "PC to PC File Transfer using Li-Fi Technology," *Int. J. of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Vol. 46(3), pp. 143-145, April 2017.
- [15] N. Yudhabrama, et al, "Perancangan dan Analisis Pengiriman Data Digital berbasis Visible Light Communication," *Proc. of Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*, pp. 1-7, Februari 2017.
- [16] T. Adiono, and S. Fuada, "Investigation of Optical Interference Noise Characteristics in Visible Light Communication System," *Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, pp. 612-615, December 2017.
- [17] 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).
- [18] T. Adiono, and S. Fuada, "Optical Interference Noise Filtering over Visible Light Communication System Utilizing Analog High-Pass Filter Circuit," *Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, pp. 616-619, December 2017.
- [19] T. Adiono and S. Fuada, "Karakteristik PIN Photodiode KODENSHI SP-8ML untuk Aplikasi Visible Light Communication," *Unpublished*.
- [20] T. Adiono, S. Fuada, A.P. Putra, and Y. Aska, "Desain Awal *Analog Front-End Optical Transceiver* untuk aplikasi *Visible Light Communication*," *J. Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 5(4), pp. 319-327, November 2016. DOI: [10.22146/jnteti.v5i4.280](https://doi.org/10.22146/jnteti.v5i4.280).
- [21] S. Fuada, T. Adiono, A. P. Putra, and Y. Aska, "A Low-cost Analog Front-End (AFE) Transmitter Designs for OFDM Visible Light Communications," *Proc. of the IEEE Int. Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, pp. 371-375, October 2016. DOI: [10.1109/ISESD.2016.7886750](https://doi.org/10.1109/ISESD.2016.7886750).
- [22] T. Adiono and S. Fuada, "Desain dan Implementasi LED Driver Linier untuk Aplikasi *Visible Light Communication*," *Unpublished*.
- [23] S. Fuada, T. Adiono T, A.P. Putra, Y. Aska, "LED Driver Design for Indoor Lighting and Low-rate Data Transmission Purpose," *Optik-Int. J. for Light and Electron Optics*, Vol. 156, pp. 847-856, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.11.180>.
- [24] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska, and 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).
- [25] S. Fuada, "Perancangan Sistem Kontrol pada Prototip Pengereng Kerupuk Berbasis IC Digital Menggunakan Software Proteus 7.0," *J. Ilmiah Setrum*, Vol. 6(1), pp. 88-96, 2017.

- [26] S. Fuada, A.P. Putra, and 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), pp. 164-172, July 2017. DOI: [10.14569/IJACSA.2017.080722](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080722).
- [27] T. Adiono, A. Pradana, R.V.W. Putra, and S. Fuada, "Analog Filters Design in VLC Analog Front-End Receiver for Reducing Indoor Ambient Light Noise," *Proc. of the IEEE Asia Pacific Conf. on Circuit and Systems (APCCAS)*, pp. 581-584, October 2016. DOI: [10.1109/APCCAS.2016.7804058](https://doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804058).
- [28] A. Pradana, N. Ahmadi, T. Adiono, "Design and Implementation of Visible Light Communication System using Pulse Width Modulation," *Proc. of ICEEI*, pp. 25-30, August 2015.
- [29] A. Pradana, N. Ahmadi, T. Adiono, W.A. Cahyadi, and Y-H. Chung, "VLC Physical Layer Design based on Pulse Position Modulation (PPM) for Stable Illumination," *Int. Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, pp. 368-373, November 2015.
- [30] Z. Song and S. Peng, "A Simple Implementation of Long Distance Visible Light Communication System," *Proc. of the ICMIC and ICOEE*, pp. 349-355, 2016.

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