

Volume 1, No. 1, Juni 2012

ISSN : 2301-4652

Jurnal Ilmiah

# SESTRUM

Sistem - kEndali - Tenaga - elektRonika - telekomUnikasi - koMputer



Jurusan Teknik Elektro  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

**DEWAN REDAKSI****Pengarah**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

**Penanggung Jawab**

Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Suhendar, S.Pd., M.T.

**Pemimpin Umum**

Dr. Alimuddin, S.T., M.M., M.T.

**Pemimpin Redaksi**

Anggoro Suryo Pramudyo, M.Kom.

**Mitra Bestari**

Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc. (IPB)

Prof. Dr. Salama Manjang, M.T. (UNHAS)

Prof. Dr.Eng. Wahyu Widada, M.Sc. (LAPAN)

Prof. Dr.Ing. Fahmi Amhar (BAKOSURTANAL)

Dr. Eng. Ir. Zulfajri Basri Hasanudin, M.Eng. (Dewan Riset Nasional)

**Penyunting**

Wahyuni Martiningsih, Ir., M.T.

Muhammad Iman Santoso, S.T., M.Sc.

Hartono, S.T., M.T.

Supriyanto, S.T., M.Sc.

Romi Wiryadinata, S.T., M.T.

Rocky Alfanz, S.T., M.Sc.

Muhammad Sadikin, S.T., M.T.

Irma Saraswati, S.Si., M.Si.

Yus Rama Denny, S.Si., M.Si.

**Kesekretariatan**

H. Andri Suherman, S.Si., M.Si.

Ri Munarto, Ir., M.Eng.

Siswo Wardoyo, S.T., M.Eng.

Heri Haryanto, S.T., M.T.

Herudin, S.T., M.T.

Yeni Apriyeni, A.Md.

**Tata Letak & Desain**

Rian Fahrizal, S.T., M.Eng.

Endi Permata, S.T., M.T.

Didik Aribowo, S.T., M.T.

Muhammad Otong, S.T., M.T.

## DATA BIBLIOGRAFI

SETRUM merupakan jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA). SETRUM adalah singkatan dari “Sistem – kEndali – Tenaga – elektRonika – telekomUnikasi - koMputer” yang merupakan 5 Bidang Keahlian yang ada di Jurusan Teknik UNTIRTA. SETRUM diterbitkan setiap 6 bulan sekali, pada bulan Juni dan Desember setiap tahunnya dan terbit pertama kali pada bulan Juni 2012. SETRUM memuat 8 judul penelitian pada tiap terbitannya yang disajikan dalam Bahasa Indonesia dilengkapi dengan abstrak dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris.

**DAFTAR ISI**

Aplikasi <i>Fuzzy Logic</i> Pada Metode <i>Dissolved Gas Analysis</i> Untuk Mengklasifikasikan Tipe <i>Fault</i> Pada Minyak Trafo	1-8
Risti Nurita Digdayanti, Wahyuni Martiningsih, Siswo Wardoyo	
Perbandingan Kinerja Algoritma BIC, HTCP, dan FAST Dalam Jaringan Kecepatan Tinggi Dengan Waktu Tunggu Besar Pada Topologi <i>Simple Network</i> Menggunakan NS2	9-17
Rian Fahrizal	
Perancangan LNA untuk Radar Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Pada Frekuensi 1090 MHz dengan Multistub Matching	18-23
Gunawan Wibisono; Teguh Firmansyah; Daverius Ma'arang	
Perbandingan Metode <i>Differentiated Service</i> Dengan Metode <i>Integrated Service</i> Untuk Analisis QoS Pada Jaringan VoIP	24-29
Galih Hirmawan, Supriyanto, Rian Fahrizal	
Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor	30-34
Iwan Tirta, Romi Wiryadinata	
Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan	35-40
Irma Handayani, Alimuddin, Suhendar	
Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)	41-45
Herudin	
Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon Untuk Aplikasi Pelat Bipolar <i>Fuel Cell</i>	46-49
Agus Pramono, Anne Zulfia	

# Aplikasi *Fuzzy Logic* Pada Metode *Dissolved Gas Analysis* Untuk Mengklasifikasikan Tipe *Fault* Pada Minyak Trafo

Risti Nurita Digdayanti<sup>1</sup>, Wahyuni Martiningsih<sup>2</sup>, Siswo Wardoyo<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

<sup>1</sup>risti89@gmail.com, <sup>2</sup>yuni\_elektro@yahoo.com, <sup>3</sup>siswo@ft-untirta.ac.id

**Abstrak** – Kegagalan thermal maupun kegagalan elektrik dapat menghasilkan gas-gas berbahaya yang disebut *fault gas*. Dengan mengidentifikasi jumlah konsentrasi gas yang terlarut pada minyak trafo dapat memberikan informasi akan adanya indikasi kegagalan yang terjadi pada trafo. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis gas-gas terlarut pada minyak disebut *dissolved gas analysis (DGA)*. Untuk interpretasi data DGA menggunakan rasio roger yang dikembangkan menggunakan logika fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan logika fuzzy, penentuan kode rasio menjadi lebih mudah dan tipe *fault* dapat diketahui lebih cepat.

**Kata kunci** : DGA, logika fuzzy, roger rasio

**Abstract** – Failure of thermal and electrical can produce harmful gases called *gas fault*. By identifying the number concentration of dissolved gas in transformer oil can provide an indication of the existence of failures in transformers. The methods used to identify and analyze the gases dissolved in the oil is called *dissolved gas analysis (DGA)*. For DGA data interpretation using ratios roger developed using fuzzy logic. The results showed that by using fuzzy logic, the determination of the ratio of code becomes easier and the type of fault can be detected more quickly.

**Keywords** : DGA, roger ratio, fuzzy logic

## I. PENDAHULUAN

Trafo merupakan salah satu bagian penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan daya tanpa mengubah frekuensi listrik. Sebagai peralatan listrik, trafo tidak lepas dari fenomena kegagalan (*failure*), baik kegagalan thermal maupun kegagalan *elektris*. Jenis kegagalan yang biasa terjadi pada trafo daya adalah *arcing*, *partial discharge*, dan *overheating* pada sistem isolasi. Kegagalan ini dapat diawali dengan dekomposisi pada bahan isolasi dan pembentukan berbagai kandungan gas yang berbeda. Gas yang terbentuk adalah Hydrogen (H<sub>2</sub>), Methane (CH<sub>4</sub>), Ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), Ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), Acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), Carbon Monoxide (CO) Dan Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>)[3].

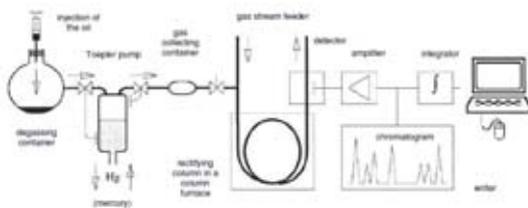
Untuk mencegah kegagalan isolasi trafo maka dilakukan tindakan preventif. Salah satu cara yang telah digunakan untuk mendeteksi kegagalan trafo adalah dengan mengevaluasi jumlah gas dan kenaikannya. Metodenya disebut Dissolved Gas Analysis (DGA) yaitu menganalisis kondisi trafo berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo Walaupun metode DGA telah banyak digunakan namun masih terdapat kesulitan saat menggunakan metode konvensional. Pada penelitian ini metode konvensional roger rasio dikembangkan menggunakan logika fuzzy. Diharapkan dengan menggunakan logika fuzzy penentuan kode tentang jenis *fault gas* yang terkadang tidak sesuai akan mampu diselesaikan dengan logika fuzzy.

## II. LANDASAN TEORI

Analisa gas terlarut (DGA) adalah analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo. Selama beberapa tahun metode analisa gas terlarut pada minyak telah digunakan sebagai alat diagnosis trafo. Metodenya telah digunakan untuk beberapa tujuan antara lain untuk mendeteksi incipient fault, untuk mengawasi tanda-tanda yang mencurigakan pada trafo, dan untuk meyakinkan bahwa trafo dalam keadaan sehat. Dalam menganalisa kandungan gas terlarut diperlukan beberapa tahap yaitu pengambilan sample minyak, ekstraksi gas, interpretasi data dan pengambilan kesimpulan. Metode untuk mengekstraksi gas ada dua macam yaitu:

### 1. Gas Chromatograph

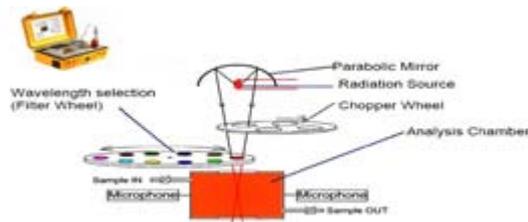
Teknik memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan berdasarkan tingkat penguapannya (*volatility*) seperti pada Gambar 1. Metode ini menggunakan beberapa komponen utama, yaitu tabung sempit yang dikenal sebagai kolom, oven/elemen pemanas, gas pembawa (*carrier gas*), dan detektor gas. Gas pembawa yang digunakan biasanya merupakan jenis gas yang lambat, seperti nitrogen atau argon.



Gambar 1. Proses gas chromatograph

2. Photoacoustic Spectroscopy (PAS)

Dengan radiasi gelombang elektromagnetik dalam menentukan konsentrasi gas terlarut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses PAS

2.1. Interpretasi data DGA

1. Limit IEEE

Panduan keempat kondisi DGA untuk mengklasifikasikan resiko trafo yang sebelumnya tidak bermasalah telah dikembangkan di IEEE C57.104. Ini menggunakan kombinasi individual gas dan total konsentrasi gas yang mudah terbakar.

Tabel 1. Batas konsentrasi gas terlarut(ppm)[4]

Status	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	TDCG
Kondisi 1	100	120	35	50	65	350	2500	720
Kondisi 2	101-107	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
Kondisi 3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Kondisi 4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

\*CO<sub>2</sub> tidak termasuk dalam pengendalian TDCG karena bukan termasuk gas yang mudah terbakar

Keempat kondisi dijelaskan di bawah ini:

Kondisi 1: Total dissolved combustible gas (TDCG) pada level ini mengindikasikan bahwa operasi trafo memuaskan. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat.

Kondisi 2: TDCG pada Kondisi ini menandakan komposisi gas sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat. Lakukan tindakan untuk mendapatkan tren karena gangguan mungkin muncul.

Kondisi 3: TDCG pada level ini mengindikasikan pemburukan tingkat tinggi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend. Gangguan kemungkinan besar hadir

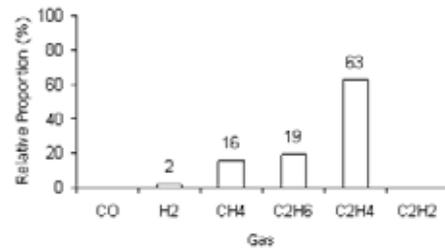
Kondisi 4: TDCG dalam kisaran ini menunjukkan dekomposisi yang berlebihan selulosa isolasi dan / atau minyak. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan kegagalan transformator.

2. Key Gas

Key gas didefinisikan oleh IEEE std.C57 – 104.1991 sebagai gas-gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan terbentuk pada berbagai temperatur.

A.Thermal – oil

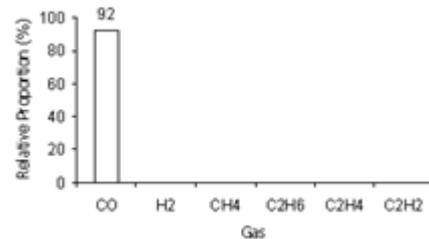
Hasil pemburukan termasuk ethylene dan methane, ditambah dengan kecilnya kehadiran hydrogen dan methane seperti yang ditunjukkan Gambar 3. Gas kunci ethylene.



Gambar 3. Grafik thermal oil

B.Thermal – hydrogen

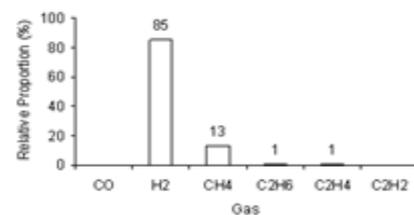
Jumlah besar dari senyawa CO dan CO<sub>2</sub> dibentuk dari panas berlebih pada kertas cellulose seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gas kunci carbon monoksida.



Gambar 4. Grafik thermal cellulose

C.Electrical – korona

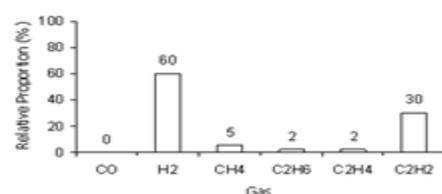
Elektrik discharge low- energy menghasilkan hydrogen dan methane, dengan jumlah kecil ethane dan ethylene seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gas kunci hydrogen



Gambar 5. Grafik electrical korona

D.Electrical – arcing

Jumlah yang banyak dari hydrogen dan acetylene dengan jumlah sedikit methane dan ethylene terjadi saat arcing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Gas kunci acetylene



Gambar 6. Grafik electrical arcing

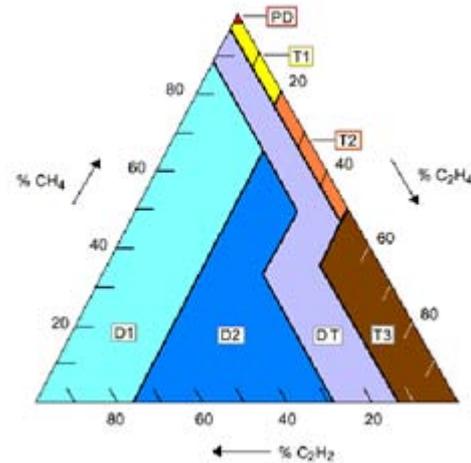
**3. Roger Ratio**

Metode rasio roger adalah membandingkan jumlah dari berbagai gas berbeda dengan membagi satu gas dengan yang lainnya, hal ini membentuk sebuah rasio perbandingan antara satu gas dengan yang lain. Metode ini menggunakan rasio tiga buah gas yaitu C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> /C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub> /H<sub>2</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> /C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Perlu diketahui bahwa metode roger rasio ini digunakan untuk analisa gangguan bukan untuk mendeteksi gangguan maka dari itu harus sudah terdeteksi adanya gangguan dengan menggunakan limit The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Panduan kode roger rasio dan penjelasan fault yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.

**4. Duval Triangle**

Metode ini menggunakan plot segitiga untuk menganalisa gangguan. metode ini menggunakan tiga nilai gas yaitu CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. Saat menggunakan duval triangle perlu ditentukan apakah ada masalah, dengan cara memastikan setidaknya satu dari hydrocarbon gas atau hydrogen harus di tingkat atau di atas L1 dan tingkat generasi gas setidaknya G2 seperti pada Tabel 3.

Setelah dilakukan perhitungan maka nilai yang didapatkan langsung diplotkan pada segitiga duval pada Gambar 7. Perhitungan menggunakan persamaan (1), (2), (3).



Gambar 7. Duval triangle

Tipe-tipe fault yang diklasifikasikan dalam duval triangle yaitu:

- PD = partial discharge
- T1 = thermal fault kurang dari 300 °C
- T2 = thermal fault antara 300 °C dan 700 °C
- T3 = thermal fault lebih dari 700 °C
- D1 = low energy discharge (sparking)
- D2 = high energy discharge (arcing)
- DT = campuran thermal dan electrical faults

Tabel 3. Limit L1 dan limir perbulan

Gas	L1 limit	G1 limit (ppm/bulan)	G2 limit (ppm/bulan)
H <sub>2</sub>	100	10	50
CH <sub>4</sub>	75	8	38
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3	3	3
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	75	8	38
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	75	8	38
CO	700	70	350
CO <sub>2</sub>	7000	700	3500

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4+C_2H_4+C_2H_2} 100\% \quad (1)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4+C_2H_4+C_2H_2} 100\% \quad (2)$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4+C_2H_4+C_2H_2} 100\% \quad (3)$$

Tabel 2. Roger rasio[3]

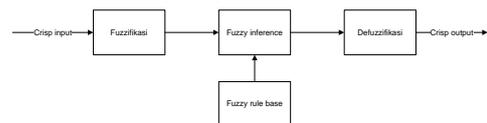
Kode range rasio	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Batas deteksi dan 10X batas deteksi: C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 1ppm 10ppm C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 1ppm 10ppm CH <sub>4</sub> 1ppm 10ppm H <sub>2</sub> 5ppm 50ppm C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 1ppm 10ppm	
<0.1	0	1	0		
0.1 - 1	1	0	0		
1 - 3	1	2	1		
>3	2	2	2		
No	Tipe fault	Masalah yang ditemukan			
1.	Tidak ada fault	0	0	0	Kondisi normal
2.	Low partial Discharge	0	1	0	Electric discharge dalam gelembung karena isolasi atau gas antara pada minyak atau kelembaban yang tinggi pada minyak
3.	High partial Discharge	1	1	0	Sama seperti di atas tapi di awali dengan tingkat isolasi rendah oleh sparking atau arcing ini biasanya menghasilkan CO dan CO <sub>2</sub>
4.	Low energy partial discharge, sparking, arcing	1-3	0	1-2	Sparking yang terus menerus pada minyak antara busbar yang buruk dari beda potensial breakdown dielektrik minyak antara material isolasi.
5.	High partial discharge, arcing	1	0	2	Isolasi konduktor overheated, umumnya menghasilkan CO dan CO <sub>2</sub> karena umumnya gangguan tipe ini meliputi isolasi rendah
6.	Thermal fault <150 °C	0	0	1	Tidak overheated pada busi karena konsentrasi fluka overheated pada busi konduktor karena eddy current. Kontak yang buruk pada lilitan atau bad contact pada tap changer. sirkulasi arus pada inti busi, ini dapat menggabungkan inti busi ke ground
7.	Thermal fault antara 150-300°C	0	2	0	
8.	Thermal fault antara 300-700°C	0	2	1	Masalah ini mungkin meliputi isolasi rendah yang menghasilkan CO dan CO <sub>2</sub>
9.	Thermal fault >700 °C	0	2	2	

**2.2. Logika Fuzzy**

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-samar. Suatu nilai dapat bernilai besar atau salah secara bersamaan. Dalam fuzzy dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 hingga 1. Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak). Logika fuzzy merupakan sesuatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (fuzzyness) antara benar atau salah. Dalam teori logika fuzzy suatu nilai bias bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan sesuatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya.

**2.2.1. Fuzzy Inference System**

Bagian sistem logika fuzzy terdiri dari 4 komponen utama yaitu fuzzifikasi, fuzzy inference, fuzzy rule base, dan defuzzifikasi.



Gambar 8. Sistem logika fuzzy

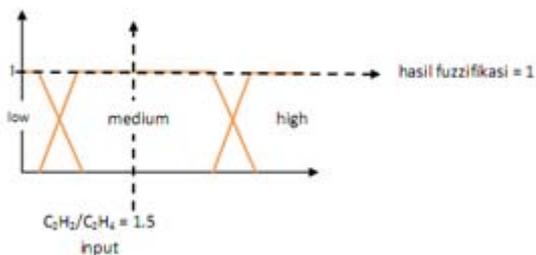
**1. Fuzzifikasi**

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan input crisp ke dalam himpunan-himpunan fuzzy dalam bentuk fungsi keanggotaan. Tujuan dari fuzzifikasi adalah untuk mendapatkan derajat keanggotaan dari hasil pemetaan

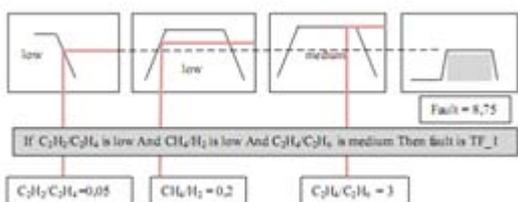
input crisp ke dalam fungsi keanggotaan yang bersesuaian. Proses fuzzifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

**2. Fuzzy inferensi**

Proses inferensi di artikan sebagai proses pemetaan input fuzzy menjadi output berdasarkan if-then rule yang diberikan[1]. Proses fuzzy inferensi melibatkan membership function, operator fuzzy dan if-then rule. Penelitian ini menggunakan metode mamdani dalam melakukan inferensi fuzzy. Proses inferensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Fuzzifikasi



Gambar 10. Inferensi fuzzy

**3. Fuzzy rule base**

Logika fuzzy bekerja berdasarkan aturan-aturan yang dinyatakan dalam bentuk pernyataan if-then. Sebuah aturan fuzzy tunggal berbentuk seperti berikut:

IF x is A THEN y is B

dimana A dan B adalah linguistic values (seperti panas, dingin, tinggi, rendah, dll). Pernyataan “x is A” disebut antecedent atau premise. Pernyataan “y is B” disebut consequent (kesimpulan). Sebuah contoh dari aturan fuzzy dengan operator And adalah:

“If C2H2 /C2H4 is low And CH4 /H2 is low And C2H4 /C2H6 is low then fault is normal”

**4. Defuzzifikasi**

Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (crisp). Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan Mamdani, diantaranya yaitu metode COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM.

**1. Metode COA**

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan pada persamaan 4 atau 5.

$$z = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \tag{4}$$

atau

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \tag{5}$$

**2. Bisektor**

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan separo dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy. Secara umum dituliskan pada persamaan 6.

$$\int_{\alpha}^{z^{BOA}} \mu(z)dz = \int_{z^{BOA}}^{\beta} \mu(z)dz \tag{6}$$

**3. MOM**

Pada solusi ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

**4. LOM**

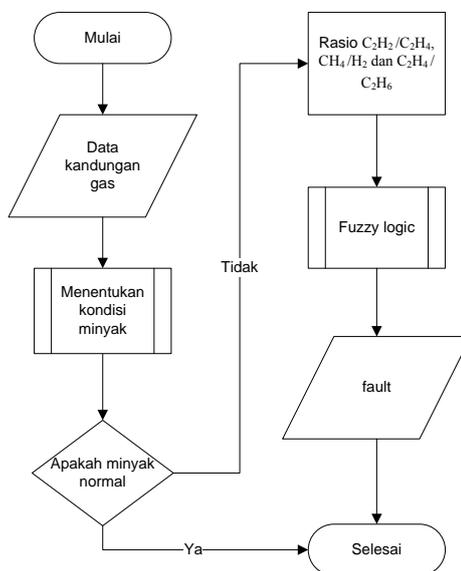
Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

**5. SOM**

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

**III. PERANCANGAN**

**3.1. Flowchart Penelitian**



Gambar 11. Flowchart penelitian

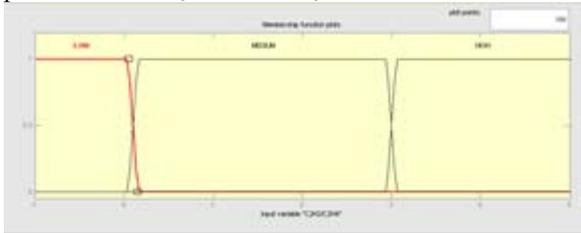
**3.2. Perancangan Sistem Logika Fuzzy**

Logika fuzzy dalam skripsi ini menggunakan 3 input yaitu 3 rasio gas (C2H2/C2H4, CH4/H2, C2H4/C2H6) dan satu output yaitu fault. Data yang digunakan merupakan data kandungan gas dari hasil ekstraksi gas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

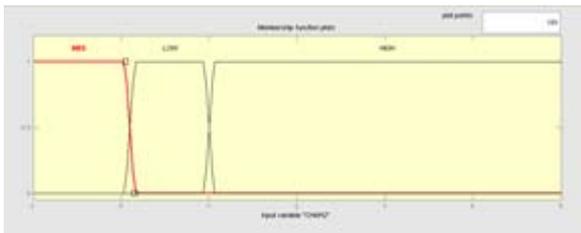
Tabel 4. Data kandungan gas

Date	H2	H2O	CO2	CO	C2H4	C2H6	CH4	C2H2	TDCG
	100	11	2500	350	50	65	120	85	730
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
13-Apr-09	20.84	35.48	3097.30	61.55	10.25	18.47	14.38	0.01	125.50
13-May-09	19.53	30.18	2942.48	56.31	9.10	18.85	17.98	0.01	121.77
9-Jun-09	34.51	18.54	3232.46	75.23	9.82	19.08	21.85	0.01	160.61
7-Jul-09	34.03	22.09	3288.44	74.71	9.05	19.49	23.12	0.01	160.41
18-Aug-09	34.19	21.95	3546.64	77.43	6.94	19.66	28.21	0.01	166.43
28-Sep-09	35.17	16.04	3664.07	90.76	6.98	21.51	28.92	0.01	183.36
29-Oct-09	37.58	15.41	4032.05	96.01	7.45	27.28	25.63	0.01	197.94
3-Feb-10	1.41	26.57	868.33	26.90	1.35	2.43	1.01	0.01	33.11
3-Mar-10	3.78	16.73	1198.25	52.58	1.89	1.72	6.03	0.01	65.83
7-Apr-10	6.75	23.43	2020.25	93.51	2.84	9.47	9.22	0.12	121.91
9-May-10	5.76	36.04	2929.45	229.78	6.04	6.81	19.31	0.01	267.73
27-May-10	6.02	42.67	3491.78	324.92	10.78	8.54	18.52	0.01	368.79
2-Jun-10	5.65	33.66	3350.49	333.57	10.22	8.75	17.75	0.01	375.93
27-Sep-10	9.59	31.88	3405.58	314.77	21.46	181.90	114.23	0.01	641.96
28-Sep-10	8.63	30.65	3405.55	311.82	21.86	190.62	114.25	0.01	647.19
12-Jan-11	4.00	28.00	2826.00	274.00	26.00	442.00	139.00	0.4	905.40
20-Jan-11	4.00	28.00	2924.00	286.00	26.00	505.00	148.00	0.4	970.40
21-Jan-11	4.00	33.00	2837.00	264.00	27.00	501.00	134.00	0.4	930.40
27-Jan-11	4.00	36.00	2995.00	301.00	28.00	512.00	153.00	0.4	987.40
8-Feb-11	4.00	26.00	2853.00	274.00	27.00	549.00	142.00	0.4	956.40

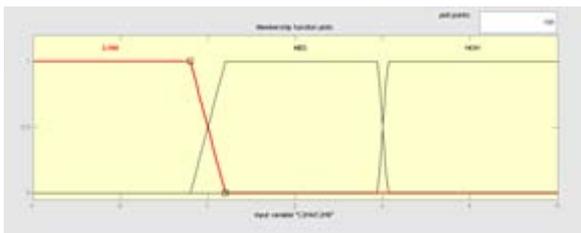
Bentuk membership function input dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 12. Membership function C2H2/C2H4

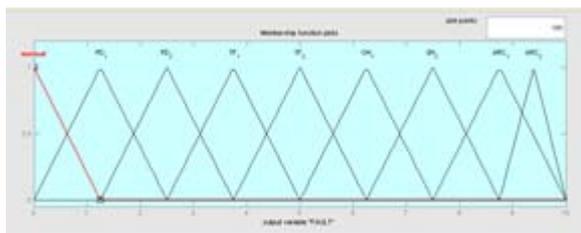


Gambar 13. Membership function CH4/H2



Gambar 14. Membership function C2H4/C2H6

Bentuk membership function output dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Membership function output

Perancangan ini menggunakan 9 rule yang didasarkan dari ketentuan kode roger rasio yaitu:

1. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is low then fault is normal.
2. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is medium and C2H4/C2H6 is low then fault is PD\_1.
3. If C2H2/C2H4 is medium and CH4/H2 is medium and C2H4/C2H6 is low then fault is PD\_2.
4. If C2H2/C2H4 is not low and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is not low then fault is ARC\_1.
5. If C2H2/C2H4 is medium and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is high then fault is ARC\_2.
6. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is medium then fault is TF\_1.
7. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is low then fault is TF\_2.
8. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is medium then fault is OH\_1.
9. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is high then fault is OH\_2.

#### IV. HASIL PENELITIAN

Kondisi minyak keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5. Kondisi minyak ditentukan berdasarkan jumlah Total Dissolved Combustible Gas (TDCG). Kondisi minyak dikatakan normal apabila jumlah combustible gas 720 ppm.

Tabel 6. menunjukkan fault yang terjadi secara keseluruhan pada minyak trafo yaitu thermal fault 150-300°C. Kenaikan nilai individual gas harus diperhatikan untuk memantau gas apakah yang dominan hadir pada minyak trafo seperti pada Gambar16.

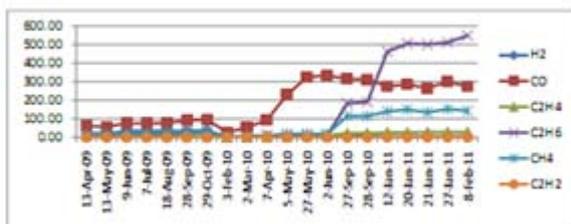
Walaupun CO2 bukan merupakan combustible gas namun tingkat kenaikannya

Tabel 5. Kondisi minyak

Tanggal	TDCG (ppm)	Kondisi minyak
13-Apr-09	125.50	Kondisi 1
13-May-09	121.77	Kondisi 1
9-Jun-09	160.51	Kondisi 1
7-Jul-09	160.41	Kondisi 1
18-Aug-09	166.43	Kondisi 1
28-Sep-09	183.35	Kondisi 1
29-Oct-09	197.94	Kondisi 1
3-Feb-10	33.11	Kondisi 1
2-Mar-10	65.83	Kondisi 1
7-Apr-10	121.91	Kondisi 1
5-May-10	267.73	Kondisi 1
27-May-10	368.79	Kondisi 1
2-Jun-10	375.93	Kondisi 1
27-Sep-10	641.96	Kondisi 1
28-Sep-10	647.19	Kondisi 1
12-Jan-11	905.40	Kondisi 2
20-Jan-11	970.40	Kondisi 2
21-Jan-11	930.40	Kondisi 2
27-Jan-11	997.40	Kondisi 2
8-Feb-11	996.40	Kondisi 2

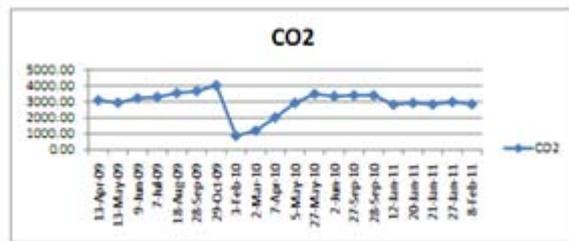
Tabel 6. Fault pada minyak trafo

Tanggal	TDCG (ppm)	Kondisi minyak	Rasio perbandingan gas	Fault
12-Jan-11	905.40	Kondisi 2	0 2 0	Thermal fault 150-300°C
20-Jan-11	970.40	Kondisi 2	0 2 0	Thermal fault 150-300°C
21-Jan-11	930.40	Kondisi 2	0 2 0	Thermal fault 150-300°C
27-Jan-11	997.40	Kondisi 2	0 2 0	Thermal fault 150-300°C
8-Feb-11	996.40	Kondisi 2	0 2 0	Thermal fault 150-300°C



Gambar 16. Kenaikan combustible gas

juga perlu diperhatikan karena berpengaruh pada cellulose. Tingkat kenaikan gas CO2 dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Kenaikan CO2

4.1. Perhitungan Roger rasio

Rasio roger membentuk tiga buah perbandingan gas yaitu C2H2 /C2H4, CH4 /H2 dan C2H4 /C2H6. Data pada tanggal 12 Januari menunjukkan bahwa nilai C2H2 = 0,4, C2H4 = 26, CH4 = 139, H2 = 4 dan C2H6 = 462.

$$\frac{C2H2}{C2H4} = \frac{0,4}{26} = 0,0153$$

$$\frac{CH4}{H2} = \frac{139}{4} = 34,75$$

$$\frac{C2H4}{C2H6} = \frac{26}{462} = 0,0562$$

Rasio yang muncul dari interpretasi data adalah 020 yang menunjukkan bahwa gangguan minyak berupa thermal 150-300°C.

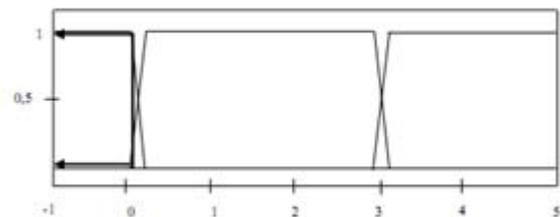
4.2. Perhitungan Fuzzy Logic

Jika input rasio C2H2/C2H4 adalah 0.0148, maka derajat keanggotaan pada tiap-tiap himpunan:

$$\mu_{low}[0.0148]=0.9013$$

$$\mu_{medium}[0.0148]=0.098$$

$$\mu_{high}[0.0148]=0$$



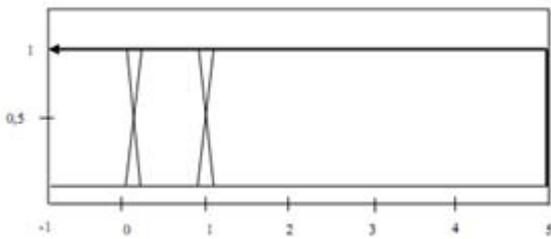
Gambar 18. Derajat keanggotaan C2H2/C2H4

Jika input rasio CH4/H2 adalah 35.5 maka nilai derajat keanggotaan dari tiap-tiap himpunan:

$$\mu_{medium} [35,5]=0$$

$$\mu_{low} [35,5]=0$$

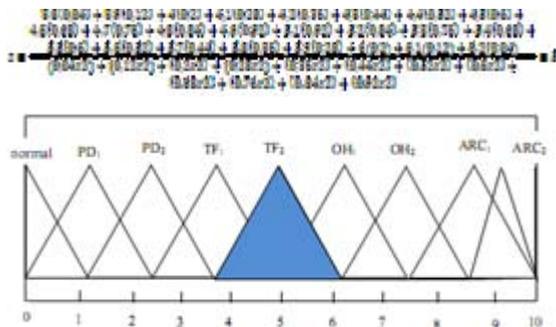
$$\mu_{high}[35,5]=1$$



Gambar 20. Derajat keanggotaan C2H4/C2H6

Setelah dilakukan fuzzifikasi, selanjutnya dilakukan inferensi. Nilai input fuzzy dipetakan ke output sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dibuat. Berdasarkan input fuzzy, aturan rule yang sesuai adalah aturan ketujuh *If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is low then fault is TF\_2.*

$$\begin{aligned}
 &= \min(\mu_{\text{low}}[0.0148]; \mu_{\text{high}}[5], \mu_{\text{low}}[0.049]) \\
 &= \min(0.9013; 1; 1) \\
 &= 0.9013
 \end{aligned}$$



Gambar 21. Defuzzifikasi

**V. KESIMPULAN**

1. Logika fuzzy mempercepat proses interpretasi data dibandingkan metode konvensional karena dalam metode konvensional dibutuhkan tahap perhitungan manual dan penyocokan kode sebelum menemukan fault yang terjadi.
2. Logika fuzzy membantu dalam menentukan fault yang terjadi ketika kode rasio tidak ditemukan.
3. Tipe fault yang terjadi berdasarkan proses DGA adalah gangguan thermal 150-300°C dengan kode roger rasio 020.
4. Faktor-faktor kegagalan minyak trafo adalah adanya overheat pada inti besi karena konsentrasi fluks, overheat pada besi karena eddy current, adanya koneksi yang buruk pada lilitan, dan gangguan pada isolasi kertas.
5. Kondisi minyak dari tanggal 13 April 2009- 28 September 2010 berada pada kondisi 1, sedangkan pada tanggal 12 Januari 2010- 8 Februari 2011 berada pada kondisi 2.
6. Konsentrasi gas yang mengalami peningkatan tinggi adalah C2H6. C2H6 mengindikasikan adanya pemanasan pada minyak trafo.

**VI. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Naba, Agus, Dr. Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab. 2009. Yogyakarta: Andi Publisher.
- [2] Sayogi, Hanung. Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [3] CS, Chang.CW, Lim.Q, Su.Fuzzy-Neural Approach For Dissolved Gas Analysis Of Power Transformer Incipient Faults. 2004.Singapura:National University of Singapore.
- [4] Suryadiman, Muhammad. Haryono, Iskak. Treatment Minyak Transformator 2000 KVA TR 302 Instalasi Radiometalurgi PTBN – Batan.2008. Serpong : PTBN-BATAN.
- [5] IEEE Std C57.104-1991.
- [6] Syakur, Abdul. Facta, Mochamad. Perbandingan Tegangan Tembus Media Solasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang. 2005. Semarang : FT. UNDIP.
- [7] Asyari, Hasyim. Jatmiko. Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus pada Bahan Isolasi Cair. 2004. Jurnal teknik elektro dan komputer emitor vol. 4, no. 2.
- [8] Wang, Zhenyuan. Artificial Intelligence Applications in the Diagnosis of Power Transformer Incipient Faults. 2000. Virginia : Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [9] Muhammad, N,A. Thung, B,T. BlackBurn, T,R. Lai, K,X. Comparative Study and Analysis of DGA Methods for Transformer Mineral Oil. Australia : The University of New South Wales.
- [10] Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga, Jakarta : PT PLN P3B, 2003
- [11] Faisal, Muhammad A.R.. Makalah Seminar Kerja Praktek: Analisa Jenis Kegagalan Transformer Berdasarkan Hasil Uji Dga Dengan Metode Roger’s Ratio Pltu Tambak Lorok. 2010.Semarang:FT UNDIP.
- [12] Bhala, Deepika. Bansal, RajKumar. Gupta, Hari Om. Transformer incipient fault diagnosis based on DGA using fuzzy logic.2011.New Delhi:India.
- [13] \_\_\_\_\_.Facilities, Instruction, Standard and Technique volume 3-31.2003. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation.
- [14] \_\_\_\_\_.Facilities, Instruction, Standard and Technique volume 3-30.2003. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation.

- [15] ABB TrafoServ HandBook LOW-Aug06.
- [16] <http://panellistrikindo.blogspot.com/2010/05/pengujian-karakteristik-minyak-isolasi.html> (URL dikunjungi pada 29 Juli 2011)
- [17] Gill, Paul. *Electrical Equipment Maintenance and Testing (Second Edition)*. 2009. New York : CRC Press.
- [18] Sutikno, Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC). 2000. Makalah Seminar Tugas Akhir : Universitas Diponegoro.
- [19] Liao, Rui-jin. Yang, Li-jun. Li, Jian. Grzybowski, Stanislaw. *Aging Condition Assessment of Transformer Oil-paper Insulation Model based on Partial Discharge Analysis*. 2011. IEEE Transaction on dielectric and electrical insulation : vol. 8.
- [20] Zuhail. *Dasar Tenaga Listrik*. 1980. ITB : Bandung.
- [21] Bahri, Syamsul. Samdara, Rida. Zaman, Fairus. *Penggunaan Metode Logika Fuzzy Untuk Memprediksi Jumlah Kendaraan Bermotor Berdasarkan Tingkat Kebisingan Lalu Lintas, Lebar Jalan Dan Faktor Koreksi*. 2007. Jurnal gradien : Universitas Bengkulu.
- [22] Kastaman, Roni. Kendarto, Dwi Rustam. Nugraha, Sandhi. *Penggunaan metode fuzzy dalam penentuan lahan kritis dengan menggunakan sistem informasi geografis di daerah subdas cipeles*. 2006. Universitas Diponegoro.
- [23] Aragón-Patil, J. Fischer, M. Tenbohlen, S. *Improvement of dissolved gas analysis (DGA) by means of experimental investigations of generated fault gases and a fuzzy logic based interpretation scheme*. Jerman.
- [24] Suwarno. *Dissolved Gas Analysis of Transformer Oils: Effects of electric arc*. 2006. Proceeding : Institute Teknologi Bandung.
- [25] Kohtoh, Masanori. Ueta, Genyo. Okabe, Shigemitsu. *Transformer Insulating Oil Characteristic Changes Observed Using Accelerated Degradation in Consideration of Field Transformer Conditions*. 2010. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation: vol. 7
- [26] Ratnawati, Dwi Ana. *Sistem Kendali Cerdas*. 2011. Yogyakarta: Graha Ilmu.

# Perbandingan Kinerja Algoritma BIC, HTCP, dan FAST dalam Jaringan Kecepatan Tinggi Dengan Waktu Tunggu Besar pada Topologi Simple Network Menggunakan NS2

Rian Fahrizal

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon

Jln. Jend. Sudirman Km 3 Cilegon Indonesia

**Abstrak**—Jaringan komputer kecepatan tinggi dengan waktu tunggu yang besar merupakan bentuk jaringan yang umum di masa depan. Pada jaringan ini algoritma TCP yang umum digunakan mengalami kesulitan di dalam melakukan pengiriman data. Ada beberapa algoritma yang telah digunakan yakni BIC, CUBIC, FAST, dan HTCP. Algoritma-algoritma ini perlu diuji untuk mengetahui kinerjanya jika diterapkan pada jaringan dengan topologi yakni simple network. Dari keempat algoritma tersebut algoritma BIC memiliki nilai kinerja secara keseluruhan yang paling baik dengan nilai yang paling kecil.

**Kata Kunci** : BIC, CUBIC, FAST, HTCP, fairness, throughput, rata-rata throughput, stabilitas, node, simple network, slow start, dan fast convergence.

**Abstract** -- High high-speed and long-distance will be a common for future computer networks. TCP may have a problem utilizing the full bandwidth. Some algorithms have been implemented to remedy this problem such as BIC, CUBIC, FAST and HTCP algorithm. These algorithms need to be tested to determine its performance when applied to network with simple network topologies. The results showed that all of the four algorithms were not worked well in this topology. However, the test results obtained the best algorithm is BIC.

**Keywords** : BIC, CUBIC, FAST, HTCP, fairness, average throughput, stability, multihome, dumbbell, parkinglot, and simple network..

## I. PENDAHULUAN

TCP merupakan metode pengiriman data yang banyak yang digunakan di dalam jaringan komputer pada saat ini. Protokol ini bertanggung jawab di dalam pengiriman data antara komputer di Internet. Algoritma TCP telah digunakan di dalam pengiriman data sejak tahun 1980-an. Algoritma ini telah bekerja dengan baik di dalam melakukan pengiriman data, akan tetapi bermasalah di dalam melakukan pengiriman data dengan bandwidth yang besar dengan waktu tunggu yang lama. Algoritma ini membutuhkan waktu 1,5 jam untuk mencapai bandwidth 10 Gbps dengan waktu tunggu 100ms [11].

Isu yang berkaitan dengan perilaku TCP dengan kecepatan tinggi, dengan waktu tunggu yang besar telah menarik perhatian yang luas. Algoritma pengendalian kongesti Additive Increase Multiplicative Decrease (AIMD) yang ada pada TCP dibuat untuk membagi sumber daya jaringan komputer diantara pengguna secara adil dan efisien [10]. Akan tetapi, hasil penelitian menunjukkan bahwa TCP tidak menunjukkan hasil yang baik dalam jaringan komputer kecepatan tinggi, dengan waktu tunda yang besar. Untuk mengatasi masalah ini, banyak algoritma yang telah diusulkan yakni High

Speed TCP (HSTCP), Scalable TCP (STCP), FAST, Binary Increase Control (BIC) TCP, CUBIC TCP, Hamilton TCP (H-TCP), dan sebagainya. Akan tetapi di dalam penggunaannya hanya algoritma BIC [11], CUBIC [4][9] dan HTCP [7] yang telah digunakan oleh sistem operasi Linux dengan kernel 2.16., dan algoritma FAST [14] telah diterapkan di dalam alat yang telah dijual secara bebas.

Keempat algoritma yang telah digunakan ini, baik digunakan pada Linux maupun yang digunakan setelah membeli peralatan seperti pada algoritma FAST, apakah merupakan algoritma yang efektif digunakan di dalam penggunaan secara umum pada jaringan kecepatan tinggi dengan waktu tunggu yang lama. Pengujian algoritma-algoritma ini menggunakan simple network. Topologi ini menguji dan harus bisa menjawab:

1. Apakah rata-rata throughput yang digunakan dibagi secara merata pada semua node yang melakukan pengiriman?
2. Apakah stabilitas throughput yang dihasilkan memiliki nilai yang kecil?
3. Apakah nilai dari throughput yang dihasilkan benar-benar adil jika dibandingkan satu dengan yang lainnya?
4. Diantara keempat algoritma yakni BIC, CUBIC, FAST dan HTCP, algoritma manakah yang paling baik dengan menggunakan pengujian topologi multihome, dumbbell, parkinglot dan simple network?

Penerapan algoritma congestion control telah dilakukan di dalam kernel Linux 2.16 (BIC, CUBIC dan HTCP) dan juga alat yang menggunakan algoritma FAST. Walaupun telah digunakan akan tetapi masih belum dilakukan pengujian apakah algoritma-algoritma ini efektif diterapkan pada jaringan komputer dengan kecepatan tinggi.

Pengujian dengan menggunakan topologi simple network ditujukan untuk mengetahui apakah algoritma yang diterapkan efektif dan juga mencari algoritma yang paling baik diterapkan di dalam jaringan komputer yang umum. Pengujian menggunakan nilai-nilai rata-rata throughput, stabilitas, dan intra protocol fairness (Raj Jain Index)[2].

Pengujian ini juga mengetahui algoritma yang paling efektif digunakan di dalam jaringan komputer secara umum. Kemudian diharapkan memberi masukan untuk perbaikan di dalam algoritma, sehingga didapatkan algoritma yang terbaik yang bisa diterapkan pada jaringan komputer kecepatan tinggi secara umum.

## II. LANDASAN TEORI

### II.1. H-TCP [3][7]

Metode pengaturan bandwidth dilakukan dengan melakukan penambahan window. Awal pengiriman data algoritma slow start dijalankan sampai mencapai nilai batas tertentu yang telah ditentukan. Setelah nilai tersebut tercapai maka algoritma ini dijalankan. Pada saat muncul kongesti nilai ambang batas menjadi setengah dari nilai sebelumnya yang digunakan pada pengiriman paket selanjutnya.

HTCP menggunakan waktu lalu  $\Delta$  sejak kejadian kongesti terakhir, daripada cwnd, untuk menentukan jalur pada bandwidth-waktu tunda dan parameter penambahan AIMD berbeda sebagai fungsi  $\Delta$ . Parameter penambahan AIMD juga ditentukan dengan jalur waktu round-trip untuk mengurangi ketidakadilan antara aliran dengan waktu round-trip yang berbeda. Pengurangan faktor AIMD ditentukan untuk meningkatkan utilisasi jalur berdasarkan pada estimasi ketuntasan queue pada jalur. Secara lengkap

$$ACK: cwnd \leftarrow cwnd + \frac{2(1-\beta)f_{\alpha}(\Delta)}{cwnd} \quad (2.1)$$

$$Loss: cwnd \leftarrow g_{\beta}(B) \times cwnd \quad (2.2)$$

Dengan

$$f_{\alpha}(\Delta) = \begin{cases} 1 & \Delta \leq \Delta_L \\ \max(\bar{f}_{\alpha}(\Delta)T_{min}, 1) & \Delta > \Delta_L \end{cases} \quad (2.3)$$

$$g_{\beta}(B) = \begin{cases} 0,5 & \left| \frac{B(k+1)-B(k)}{B(k)} \right| > 0 \\ \min\left(\frac{T_{min}}{T_{max}}, 0,8\right) & \text{selainnya} \end{cases} \quad (2.4)$$

dengan

$$\begin{aligned} cwnd &= \text{congestion window(bytes)} \\ \beta &= \text{faktor backoff} \end{aligned}$$

$\Delta$	= delta
$f_{\alpha}(\Delta)$	fungsi penambahan congestion window
$g_{\beta}(B)$	= fungsi pengurangan congestion window
$T_{min}$	= waktu minimum(detik)
$T_{max}$	= waktu maksimum(detik)

dimana  $\Delta_L$  ditentukan batas sehingga algoritma update TCP standar digunakan dimana  $\Delta > \Delta_L$ . Fungsi penambahan kuadrat untuk  $f_{\alpha}$  ialah

$$\bar{f}_{\alpha}(\Delta) = 1 + 10(\Delta - \Delta_L) + 0,25(\Delta - \Delta_L)^2 \quad (2.5)$$

dengan

$$\begin{aligned} f_{\alpha}(\Delta) &= \text{fungsi penambahan dalam rentang waktu} \\ \Delta_L &= \text{Delta limit} \end{aligned}$$

$T_{min}$   $T_{max}$  menghitung waktu round-trip yang telah ada.  $\beta(k + 1)$  adalah perhitungan throughput yang dicapai maksimum pada masa kongesti terakhir.

### II.2. BIC-TCP [11]

Seperti pada algoritma HTCP awal pengiriman data algoritma slow start dijalankan sampai mencapai nilai batas tertentu yang telah ditentukan. Setelah nilai tersebut tercapai maka algoritma ini dijalankan. Pada saat muncul kongesti nilai ambang batas menjadi setengah dari nilai sebelumnya yang digunakan pada pengiriman paket selanjutnya.

Algoritma ini memandang pengendalian kongesti merupakan sebuah masalah pencarian dimana sistem dapat memberikan jawaban ya/tidak sebagai umpan balik melalui paket yang hilang yang menunjukkan bahwa nilai pengiriman lebih besar dari kapasitas jaringan. Nilai dari window minimum dapat ditentukan sebagai besarnya window yang mengalir yang tidak terdapat paket yang hilang. Apabila ukuran window maksimum diketahui, dapat diterapkan teknik pencarian biner untuk menentukan besarnya window yang dituju untuk mencapai nilai tengah maksimum dan minimum. Pada saat penambahan sampai ke nilai yang diharapkan, jika menghasilkan paket hilang, nilai window dapat ditentukan sebagai nilai maksimum baru dan mengurangi besarnya window setelah paket loss dapat ditentukan sebagai minimum yang baru. Nilai antara kedua nilai ini merupakan nilai yang diharapkan.

Hubungan untuk pendekatan ini ialah bahwa ketika jaringan menghasilkan loss antara minimum baru tapi tidak terjadi terlalu dekat dengan nilai minimum yang baru, nilai yang diharapkan pasti berada diantara dua nilai. Sampai mencapai nilai yang diharapkan dan tidak menghasilkan paket hilang, maka besar nilai yang ada menjadi nilai minimum yang baru, dan nilai yang diharapkan dihitung kembali. Proses ini berulang dengan melakukan pembaharuan nilai minimum dan maksimum sampai perbedaan antara nilai-nilai tersebut mencapai nilai dibawah batas, yang disebut dengan penambahan minimum (minimum increment  $S_{min}$ ). Teknik ini disebut dengan binary search increase.

Binary search increase menjadikan pencarian bandwidth menjadi semakin agresif ketika perbedaan antara window yang ada dengan window yang diharapkan besar, dan menjadi kurang agresif pada saat besarnya window yang ada mendekati besarnya window yang diharapkan. Teknik unik dari protokol ini ialah

fungsi penambahannya dalam bentuk logaritmik, sehingga pada saat mendekati nilai saturasi besarnya penambahan window semakin berkurang. Protokol yang lain menambahkan nilai bandwidth sampai pada saat nilai saturasi sehingga penambahan nilai saturasi adalah nilai maksimum dari keadaan tersebut. Pada umumnya, jumlah paket yang hilang berbanding lurus dengan besarnya penambahan terakhir sebelum paket hilang. Oleh karena itu binary search increase dapat mengurangi paket yang hilang. Seperti yang diketahui, keuntungan utama dari binary search ialah dapat memberikan fungsi respon yang baik, yang dapat digabungkan dengan penambahan secara linear.

Untuk menjamin penyatuan yang lebih cepat dan RTT yang adil, digabungkan binary search increase dengan strategi penambahan linear. Pada saat jarak dari ukuran window dengan yang diinginkan terlalu besar, penambahan ukuran window secara langsung pada nilai tengah tersebut memberikan beban berat ke dalam jaringan. Pada saat jarak dari ukuran window yang ada dengan besarnya window yang diinginkan pada binary search increase lebih besar dari langkah maksimum yang disebut dengan penambahan maksimum (maximum increment  $S_{max}$ ), ditambahkan nilai window dengan  $S_{max}$  sampai jarak menjadi kurang dari  $S_{max}$ , pada saat dimana penambahan window secara langsung ke dalam nilai yang diinginkan. Kemudian setelah pengurangan window besar, menambahkan nilai window secara linear dan selanjutnya penambahan secara logaritmik. Penggabungan dari binary search increase dan penambahan secara penjumlahan disebut dengan binary increase.

Penggabungan dengan strategi pengurangan secara pembagian, binary increase menjadi mendekati penambahan linear dalam window yang besar. Hal ini disebabkan window yang lebih besar menghasilkan pengurangan yang lebih besar dengan pengurangan dengan perkalian, sehingga membutuhkan rentang waktu yang lebih lama. Kemudian di saat ukuran window kecil, menjadi binary search increase dengan rentang waktu penambahan yang lebih sedikit.

Dapat dilihat bahwa di dalam model loss yang telah tersinkronisasi secara penuh, binary search increase digabung dengan pengurangan secara pengali bergabung menjadi sebuah nilai throughput yang adil. Sebagai contoh ada aliran dengan ukuran window yang berbeda, tapi dengan RTT yang sama. Karena window yang berukuran lebih besar berkurang lebih banyak pada pengurangan secara perkalian (dengan factor yang tetap  $\beta$ ), waktu untuk mencapai target lebih lama untuk window yang lebih besar. Akan tetapi, penggabungannya membutuhkan waktu yang lama. Pada penambahan binary increase, membutuhkan  $\log(d)-\log(S_{min})$  RTT untuk mencapai window maksimum setelah pengurangan window  $d$ . karena penambahan window dalam fungsi log, semakin besar window dan semakin kecil window dapat mencapai kembali nilai maksimumnya dengan sangat cepat pada waktu yang hampir bersamaan. Akan tetapi window yang lebih kecil mengalir dengan bandwidth yang lebih kecil dari yang lebih besar sebelum pengurangan window selanjutnya. Oleh karena itu dimodifikasi binary search increase sebagai berikut.

Dalam binary search increase, setelah pengurangan window, nilai maksimum dan minimum ditentukan. Contohnya nilai-nilai ini adalah  $max\_wini$  dan  $min\_wini$  untuk aliran  $i$  ( $i=1,2$ ). Apabila nilai maksimum baru lebih kecil dari nilai sebelumnya, window ini memiliki tren penurunan. Kemudian diatur ulang nilai maksimum baru menjadi sama seperti nilai window yang diinginkan baru, dan selanjutnya diatur lagi nilai tujuan. Kemudian diterapkan penambahan binary increase normal. Bentuk strategi ini disebut fast convergence.

BIC-TCP menggunakan bentuk algoritma pencarian biner untuk memperbaharui  $cwnd$ . Nilai dari  $w1$  dipelihara yang menentukan nilai setengah antara nilai  $cwnd$  sebelum dan setelah kejadian kehilangan terakhir. Aturan pembaharuan  $cwnd$  mencari dengan cepat penambahan  $cwnd$  pada saat hal ini mencapai jarak tertentu  $S_{max}$  dari  $w1$ , dan memperbaharui  $cwnd$  lebih lambat ketika nilainya mendekati  $w1$ . Perkalian backoff dari  $cwnd$  digunakan pada pendeteksian paket yang hilang, dengan asumsi faktor backoff  $\beta$  sebesar 0,8. Secara rinci,

$$Ack: \begin{cases} \delta = (w_1 - cwnd)/B \\ cwnd \leftarrow cwnd + \frac{f_{\alpha}(\delta, cwnd)}{cwnd} \end{cases} \quad (2.16)$$

$$Loss: \begin{cases} w_1 = \begin{cases} \frac{1+\beta}{1} \times cwnd & cwnd < w_1 \\ cwnd & \text{selainnya} \end{cases} \\ w_2 = cwnd \\ cwnd \leftarrow \beta \times cwnd \end{cases} \quad (2.17)$$

Dengan

$$f_{\alpha}(\delta, cwnd) = \begin{cases} \frac{B}{\sigma} & (\delta \leq 1, cwnd < w_1) \\ \text{atau } (w_1 \leq cwnd < w_1 + B) \\ \delta & 1 < \delta \leq S_{max}, cwnd < w_1 \\ \frac{w_1}{B-1} & B \leq cwnd - w_1 < S_{max}(B - 1) \\ S_{max} & \text{selainnya} \end{cases} \quad (2.18)$$

dengan

- $\sigma$  = distance
- $cwnd$  = congestion window(bytes)
- $f(\delta, cwnd)$  = fungsi penambahan window size
- $\delta$  = pengurangan
- $w1$  = window(bytes)
- $w2$  = window(bytes)
- $\beta$  = backoff factor

BIC-TCP juga menerapkan sebuah algoritma dimana pada saat utiliasasi rendah terdeteksi, akan menambahkan window lebih agresif. Hal ini dikendalikan dengan parameter Low-Util dan Util\_Check. Untuk menentukan komabilitas sebelumnya, hal ini menggunakan parameter pembaharu TCP standar dimana  $cwnd$  dibawah batas Low-Window.

### II.3. FAST-TCP [5][6][14]

#### II.3.1 . Arsitektur

Pembagian mekanisme pengendalian congesti TCP menjadi empat komponen. Keempat komponen berfungsi secara sendiri-sendiri sehingga dapat dibuat secara terpisah dan ditingkatkan secara terpisah seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Komponen pengendalian data (data control) menentukan paket apa yang dikirimkan, pengendalian window (window control) menentukan berapa besar paket yang dikirim dan pengendalian Burstiness (Burstiness control) menentukan kapan pengiriman paket-paket ini dilakukan. Penentuan ditentukan berdasarkan pada informasi yang ditentukan pada komponen estimation.

Secara spesifik komponen estimasi menghitung dua bagian informasi umpan balik untuk setiap paket data mengirim waktu tunggu multibit queueing dan satu-bit indikasi loss-or-no-loss dengan digunakan dengan komponen tiga lainnya. Pengendalian data memilih paket selanjutnya yang dikirim dari tiga kandidat paket data tersimpan: paket baru, paket yang hilang, dan mengirim paket yang belum di acknowledge. Pengaturan window mengatur pengiriman paket pada sekala waktu RTT, dimana pengendalian Burstiness bekerja pada rentang waktu yang sedikit. Pengendalian Burstiness menghaluskan pengiriman paket data seperti aliran fluida untuk mengetahui bandwidth yang tersedia. Dibuat dua buah mekanisme, pertama memberikan clocking mandiri di dalam pengiriman paket data individu dan yang kedua menambahkan ukuran window secara halus dalam aliran yang lebih kecil. Pengurangan Burstiness membatasi jumlah paket yang dapat dikirim ketika sebuah ack diterima congestion window dengan jumlah yang banyak. Window pacing menentukan bagaimana menaikkan congestion window pada saat waktu idle koneksi ke nilai yang diinginkan dengan komponen pengendalian window. Hal ini dilakukan dengan mengurangi Burstiness dengan jumlah yang sesuai jadwal.

Data Control	Window Control	Burstiness Control
Estimation		
TCP Protocol Processing		

Gambar 1. Arsitektur FAST TCP

### II.3.2. Algoritma pengendalian window

FAST bekerja berdasarkan queueing delay dan paket loss. Pada kondisi normal, FAST secara teratur mengupdate congestion window berdasarkan rata-rata RTT dan queueing delay yang dihasilkan dari komponen estimasi dengan rumus:

$$\text{Setiap RTT: } cwnd \leftarrow \frac{cwnd + \frac{T_{min}}{T} cwnd + f_{\alpha}(B)}{2} \quad (2.19)$$

$$\text{Setiap Loss: } cwnd \leftarrow 0,5 \times cwnd \quad (2.20)$$

dengan

- cwnd = congestion window(bytes)
- Tmin = waktu minimum(detik)
- T = waktu rata-rata (detik)
- f<sub>α</sub>β = fungsi pengurangan

Dimana Tmin dan T adalah nilai latency minimum dan rerata yang diamati dari aliran data berurutan. Fungsi f<sub>α</sub>(β) tergantung dari perhitungan throughput β yang dicapai aliran: biasanya, f<sub>α</sub>(β) diberi nilai 8, 20 dan 200 untuk mencapai throughputs untuk kurang dari 10Mbit/sec, kurang dari 100Mbit/sec dan lebih besar dari 1Gbit/sec secara berurutan. FAST-TCP juga termasuk menggunakan tingkat pacing. Perhatikan bahwa tingkat pacing adalah fungsi yang berubah dan dilihat dimana hal ini merupakan bagian dari algoritma pengendalian congesti.

### II.3.4. CUBIC-TCP [4][8][9]

Seperti yang dijelaskan pada algoritma HTCP dan BIC awal pengiriman data algoritma slow start dijalankan sampai mencapai nilai batas tertentu yang telah ditentukan. Setelah nilai tersebut tercapai maka algoritma ini dijalankan. Pada saat muncul kongesti nilai ambang batas menjadi setengah dari nilai sebelumnya yang digunakan pada pengiriman paket selanjutnya.

Seperti namanya fungsi penambahan window yang digunakan ialah fungsi cubic yang memiliki kesamaan dengan fungsi penambahan BIC-TCP. CUBIC menggunakan fungsi cubic untuk waktu yang berlalu dari kejadian congesti yang terakhir. Walaupun sebagian besar algoritma alternative menggunakan fungsi penambahan convex dimana setelah kejadian paket hilang, penambahan window selalu bertambah, CUBIC menggunakan bentuk concave dan convex dari fungsi cubic untuk penambahan window.

Penjelasan lebih detail dari fungsi ini ialah setelah pengurangan window karena kejadian paket yang hilang, didaftarkan Wmaz menjadi nilai window dengan munculnya kejadian window hilang dan menggunakan pengurangan dengan perkalian dari congestion window dengan menggunakan factor β dengan β adalah konstanta pengurangan window dan menggunakan algoritma fast recovery dan retransmit dari TCP. Kemudian setelah masuk ke algoritma congestion avoidance dari fast recovery, mulai ditambahkan window menggunakan bentuk concave pada fungsi cubic. Fungsi cubic ditentukan untuk memiliki nilai baru pada Wmax sehingga penambahan berlanjut sampai ukuran window menjadi Wmax. kemudian fungsi cubic berubah menjadi bentuk convex dan penambahan window convex dimulai. Bentuk penentuan window (concave dan selanjutnya convex) meningkatkan stabilitas protokol dan jaringan ketika mengatur utilisasi jaringan kecepatan tinggi. Hal ini disebabkan ukuran window hamper mendekati konstan, membentuk nilai baru dekat dengan Wmax dengan utilisasi jaringan tertinggi dan di dalam kondisi steady, sebagian besar ukuran window CUBIC mendekati Wmax, sehingga mempromosikan stabilitas utilisasi jaringan kecepatan tinggi dan protokol. Protokol dengan fungsi penambahan convex menjadi memiliki penambahan window terbesar sekitar nilai saturasi, dengan paket yang hilang banyak.

Algoritma ini menggabungkan ide dasar dari High-Speed TCP dan H-TCP. Disebut dengan penambahan cwnd sebagai fungsi dari waktu karena pemberitahuan terakhir dari congesti, dan besarnya window pada

pemberitahuan terakhir congesti. Bentuk dari algoritma ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perubahan slow start. Perubahannya ditentukan pada awal. Sekali cwnd meningkat di atas ssthresh, CUBIC keluar dengan menggunakan algoritma slow start normal dan perubahan menggunakan penambahan eksponensial yang agresif dimana cwnd ditambahkan sebesar satu paket untuk setiap 50 ack yang diterima atau sama dengan dua kali cwnd mendekati setiap 35 waktu round-trip.
2. Faktor backoff 0,8. Pada paket yang hilang, cwnd dikurangi dengan faktor 0,8.
3. Clamp pada laju penambahan maksimum. Laju penambahan pada operasi AIMD dibatasi paling tidak  $20 \cdot \text{delay\_min}$  paket setiap RTT, dimana delay\_min adalah perkiraan round-trip propagation waktu tunda dari aliran data. Merubah dari paket per RTT menjadi paket per detik, clamp ini kira-kira sama dengan laju penambahan 20 paket/detik tidak tergantung RTT.
4. Fungsi penambahan cubic. Subyek pada clamp ini, laju penambahan adalah paket target-cwnd per RTT. Perhatikan bahwa efek dari penambahan ini ialah menyesuaikan cwnd menjadi sama dengan target pada arah dalam RTT tunggal. Nilai dari target dihitung dari

$$\text{target} = W_{\max} + C(t - \sqrt[3]{\beta(W_{\max} - 0,8W)})^3$$

dengan

- Wmax = window maksimum(bytes)
- W = window(bytes)
- t = waktu (detik)
- C = cubic
- $\beta$  = faktor pengurangan

dimana t adalah waktu berlalu sejak backoff terakhir (mendekati nilai delay\_min ditambahkan ke dalam nilai ini) dan Wmax dihubungkan dengan cwnd pada backoff terakhir dan ditandai origin\_point pada kode. W adalah nilai cwnd sebelum backoff terakhir, sehingga  $0,8W$  adalah nilai cwnd nilai sebelum backoff muncul.

5. Adaptasi fungsi cubic. Nilai dari Wmax ditentukan tergantung dari apakah backoff terakhir muncul sebelum atau sesudah cwnd tercapai pada nilai Wmax sebelumnya. Atau jika tidak Wmax diset sama dengan  $0,9W$ .

Algoritma ini juga mencakup kode untuk meyakinkan bahwa algoritma ini paling tidak seagresif seperti TCP yang ada.

#### II.4. Perhitungan Kinerja

Hasil dari simulasi yang dihasilkan menghasilkan nilai rata-rata throughput, stabilitas dan fairness. Nilai-nilai ini menunjukkan kinerja dari simulasi, akan tetapi masih merupakan data yang terlampaui banyak dan agak sulit untuk mengambil kesimpulan. Oleh karena itu untuk memudahkan di dalam analisis dilakukan

penyederhanaan hasil perhitungan dengan cara menggunakan parameter simpangan rata-rata throughput terhadap nilai ideal yang diinginkan. Dengan menggunakan rumus:

$$y = \left| \frac{\bar{x} - \text{Nilai ideal}}{\text{Nilai ideal}} \right| \quad (2.22)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.23)$$

Dengan

y = kinerja untuk rata-rata throughput.

$\bar{x}$  = rata-rata throughput

Nilai ideal = kapasitas bandwidth / jumlah node yang digunakan

$\bar{y}$  = rata-rata kinerja rata-rata throughput

Kemudian di dalam penyederhanaan perhitungan kinerja dengan menggunakan parameter fairness dilakukan penyederhanaan dengan menggunakan rumus, sebagai berikut:

$$z = 1 - \overline{\text{fairness}} \quad (2.24)$$

Dengan

z = kinerja fairness

$(\text{fairness})^-$  = rata-rata fairness

Parameter nilasi stabilitas perlu dilakukan perubahan untuk dapat melihat kinerja dengan menggunakan rumus, sebagai berikut

$$r = \frac{s}{\text{Nilai ideal}} \quad (2.25)$$

Dengan

r = nilai kinerja stabilitas

Perhitungan ini dirangkum ke dalam satu parameter kinerja algoritma dengan menggunakan rumus.

$$u = y + z + r \quad (2.26)$$

Dengan

u = nilai kinerja algoritma

Perhitungan kinerja algoritma ini ditunjukkan dengan nilai tertentu, yang semakin kecil nilai tersebut, maka semakin baik kinerja algoritma suatu algoritma. Kemudian untuk nilai yang lebih besar menunjukkan bahwa algoritma tersebut memiliki kinerja yang lebih buruk.

### III. METODE PENELITIAN

#### III.1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan di dalam pelaksanaan penelitian ini ialah:

1. Network Simulator ns2 Ver 2.34 dengan patch fast-tcp-ns2-v1\_1c.
2. Gnuplot Ver 4.2 patchlevel 5.

3. Microsoft Excel 2007 untuk melakukan pengolahan data.
4. Text editor Gedit 2.28.
5. Linux OS ver 10.10. Maverick.

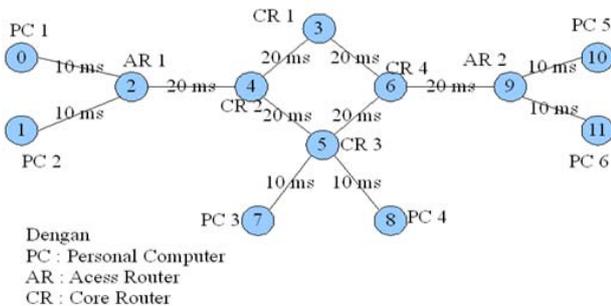
III.2. Alat Penelitian

Alat Penelitian yang akan digunakan didalam pelaksanaan penelitian adalah sebuah unit komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Processor AMD Turion II X2 M520 dengan clock speed 2.3 Ghz, dan L2 cache 1 MB.
2. Memory RAM 2 GB.
3. Hard Disk Drive 320 GB.

III.3. Jalan Penelitian

Topologi simple network dapat dilihat pada Gambar 1. Pada konfigurasi ini, router inti menunjukkan backbone jaringan dengan router perantara bertanggung jawab untuk node pengirim dan penerima terhubung dengan jaringan.



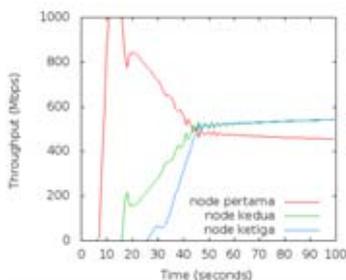
Gambar 1. Topologi Simple network [12]

Pada topologi ini node 0,1, dan 7 melakukan pengiriman data sedangkan node 8, 10, dan 11 menerima data yang dikirim. Topologi ini merupakan penyederhanaan topologi menggunakan transit dan stub [15].

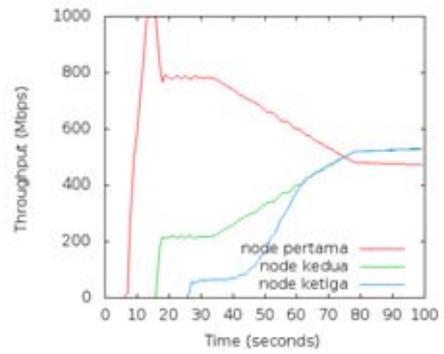
Program simulasi menggunakan algoritma FAST, H-TCP, BIC dan CUBIC pada metode pengiriman data. Hubungan antara node dapat dilihat pada Gambar 5.

III. ANALISIS HASIL SIMULASI

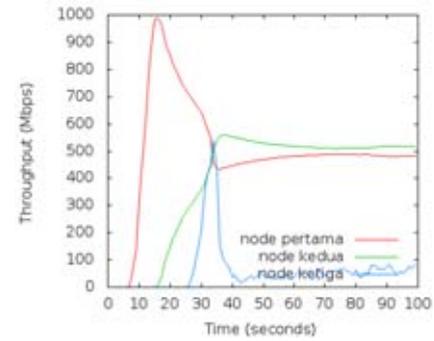
Hasil dari pengujian kali ini dapat dilihat pada Gambar 2 yang terdiri dari hasil throughput .



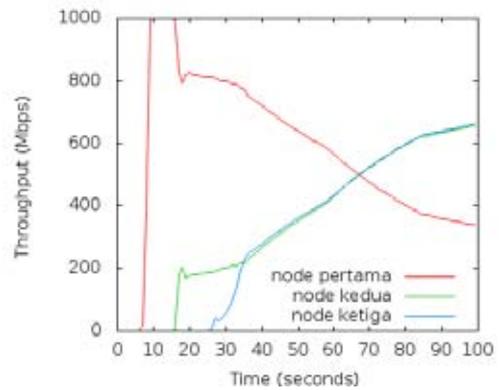
(a) Algoritma BIC



(b) Algoritma CUBIC



(c) Algoritma FAST



(d) Algoritma HTCP

Gambar 2. Nilai throughput simulasi topologi simple network

Seperti yang terlihat pada Gambar 2 (a) pada algoritma BIC selalu menggunakan algoritma slow start untuk memulai pengiriman data pada node pertama. Pada saat node kedua melakukan pengiriman digunakan algoritma fast convergance selama beberapa detik kemudian menggunakan algoritma BIC. Pada node ketiga yang melakukan pengiriman menggunakan algoritma BIC. Pada node kedua dan ketiga nilainya mendekati sama pada detik ke-40 sampai simulasi selesai. Akan tetapi pada node pertama nilai throughputnya semakin turun pada saat simulasi berakhir.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2 (b) dalam algoritma CUBIC node pertama menggunakan algoritma slow start pada saat mencapai bandwidth > 400 Mbps kemudian menggunakan algoritma CUBIC untuk

mencapai nilai maksimumnya. Pada saat node kedua melakukan pengiriman kedua node menggunakan fast convergance selanjutnya menggunakan algoritma CUBIC untuk mencapai nilai yang cenderung stabil. Node ketiga menggunakan algoritma slow start di awal pengiriman selanjutnya menggunakan algoritma cubic sampai dicapai nilai yang cenderung stabil yang memiliki nilai hampir sama dengan nilai throughput node kedua. Dari hasil terakhir dari simulasi bahwa node kedua dan ketiga memiliki throughput yang lebih besar dari nilai throughput node pertama.

Pada Gambar 2 (d) node pertama menggunakan algoritma slow start pada saat mulai melakukan pengiriman data, kemudian menggunakan algoritma HTCP sampai > 600 Mbps pada throughputnya kemudian menggunakan fast convergance pada saat node kedua mulai melakukan pengiriman node kedua juga menggunakan algoritma fast convergance. Selanjutnya node pertama mengalami tren penurunan dengan menggunakan algoritma HTCP akan tetapi node kedua turun selama beberapa saat kemudian cenderung meningkat dengan tajam bahkan pada simulasi terakhir memiliki nilai throughput yang lebih besar dari nilai throughput node pertama. Node ketiga langsung menggunakan algoritma HTCP di dalam pengiriman datanya selanjutnya cenderung landai dan mendekati nilai pengiriman node kedua. Pada saat detik ke 100 memiliki nilai yang mendekati nilai throughput node kedua dan lebih besar dari node pertama.

Pada penerapan algoritma FAST pada topologi simple network. Node pertama mulai melakukan pengiriman data dan berhasil mencapai titik maksimum kemudian mulai turun setelah node kedua mulai melakukan pengiriman. Node kedua mulai melakukan pengiriman naik sampai > 500 Mbps pada throughputnya kemudian mengalami tren penurunan dan cenderung stabil mendekati 500 Mbps.

Hasil simulasi ini menunjukan bahwa algoritma FAST mengalami kegagalan pada topologi ini. Hal ini ditunjukkan dengan kecilnya nilai throughput pada node ketiga. Algoritma yang paling baik di dalam topologi ini ialah algoritma BIC dan algoritma ini juga sesuai dengan nilai throughput pada penelitian sebelumnya dimana nilai throughput terbagi antara node pertama dan kedua serta node pertama dan node ketiga dan mendekati dengan penelitian sebelumnya (Wei 2006).

Pengujian pada simulasi ini menunjukan bahwa keempat algoritma memiliki nilai yang selalu berubah-ubah hingga akhir simulasi. Akan tetapi algoritma BIC memiliki nilai akhir throughput yang tidak terlalu besar perbedaannya antara node-node-nya. Kemudian algoritma CUBIC membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai nilai throughput yang mendekati stabil. Sedangkan algoritma HTCP tidak mencapai nilai yang

stabil atau mendekati stabil hingga akhir simulasi. Pada algoritma FAST terdapat kegagalan di dalam pengiriman pada node ketiga.

Dari hasil pengujian diambil nilai rata-rata throughput yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Berikut ini.

Tabel 1. Nilai rata-rata throughput topologi simple network

Algoritma	Node 1	Node 2	Node 3
	$\bar{x}$ (Mbps)	$\bar{x}$ (Mbps)	$\bar{x}$ (Mbps)
BIC	448.4048	549.7024	440.7162
CUBIC	405.0986	593.3803	383.8852
FAST	462.7857	535.2024	82.36486
HTCP	410.7262	550.1757	433.4595

Tabel 1. menunjukan algoritma yang memiliki rata-rata throughput yang mendekati sama antara ketiga node ialah algoritma BIC dengan memiliki nilai node pertama (node 1) 448,4 Mbps, node kedua (node 2) 549,7 Mbps dan node ketiga 440,7 Mbps. Sedangkan untuk algoritma FAST hanya node pertama dan kedua yang memiliki nilai rata-rata throughput yang mendekati sama yakni 462,8 Mbps untuk node pertama dan 535,2 Mbps untuk node kedua. Akan tetapi untuk node ketiga memiliki rata-rata throughput 100,3 Mbps. Kemudian untuk algoritma HTCP memiliki nilai rata-rata throughput yang mendekati sama antara ketiga node-nya yakni 410,7 Mbps, 550,2 Mbps, dan 433,5 Mbps untuk node pertama, node kedua dan node ketiga. Algoritma CUBIC memiliki nilai yang cukup berbeda antara node-nya.

Kemudian hasil pengujian nilai stabilitas pada pengujian kali ini dapat ditunjukkan pada table 2. Berikut ini.

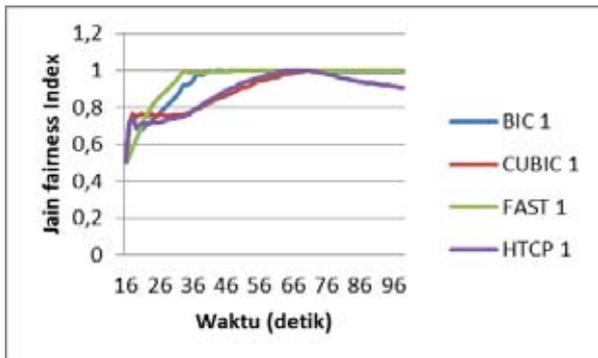
Tabel 2. Nilai stabilitas algoritma pengujian

Algoritma	Node 1	Node 2	Node 3	$\bar{S}_x$
	$S_x$	$S_x$	$S_x$	
BIC	133.6715	134.6867	170.1265	146.1616
CUBIC	111.6394	112.1566	165.7361	129.844
FAST	129.9823	130.5624	100.3157	120.2868
HTCP	175.3104	157.3839	224.3752	185.6898

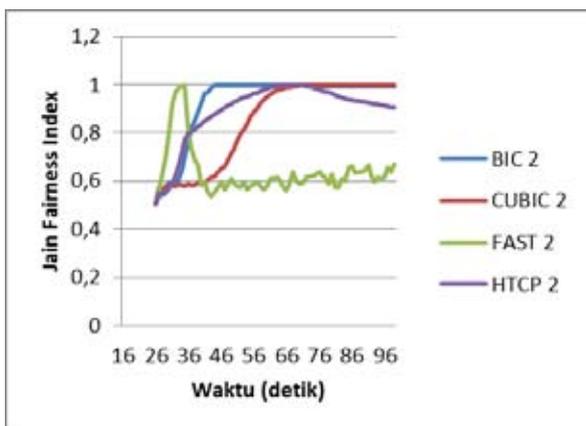
Dari hasil pengujian ini nilai stabilitas yang paling kecil ditunjukkan oleh algoritma FAST dengan memiliki nilai 120,2868, akan tetapi pada rata-rata throughput-nya jauh lebih kecil. Oleh karena itu dapat dikatakan

algoritma CUBIC lebih baik untuk nilai stabilitasnya yang memiliki nilai 129,844.

Pada topologi ini terdapat dua nilai indeks Jain yang digunakan untuk menghitung nilai fairness pada node pertama dan node kedua, serta node pertama dan node ketiga. Pada Gambar 3. nilai fairness antara node pertama dan node kedua. Dari gambar juga dapat dilihat algoritma FAST memiliki nilai yang paling tinggi. Nilai fairness dari algoritma FAST ini mendekati nilai 1 yang merupakan nilai tertinggi dalam menghitung nilai fairness.



Gambar 3. Nilai fairness 1 topologi simple network



Gambar 4. Nilai fairness 2 topologi simple network

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa algoritma BIC memiliki nilai yang paling baik yang dapat dilihat dengan nilai fairness yang mendekati 1 dan paling cepat mencapai nilai yang mendekati 1. Hasil analisis kinerja algoritma pada pengujian topologi simple network dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan kinerja algoritma topologi simple network

Algoritma	y	r	z	u
BIC	0.107054	0.292323	0.064604	0.463982
CUBIC	0.202931	0.259688	0.126967	0.589586
FAST	0.326701	0.240574	0.205244	0.772519
HTCP	0.137327	0.37138	0.111944	0.62065

Berdasarkan Tabel 5. menunjukkan bahwa algoritma BIC memiliki kinerja yang paling baik jika dibandingkan dengan algoritma yang lainnya yakni memiliki nilai 0,46. Kemudian algoritma yang terbaik kedua ialah algoritma CUBIC dengan nilai 0,59. Algoritma HTCP memiliki kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan FAST, algoritma HTCP memiliki nilai kinerja 0,62. Algoritma FAST memiliki kinerja yang paling buruk pada topologi ini dengan memiliki nilai 0,77.

V. KESIMPULAN

Pada pengujian kali ini dapat dilihat bahwa algoritma yang paling baik ditunjukkan oleh algoritma BIC dengan memiliki nilai kinerja keseluruhan sebesar 0,463982.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diberikan kepada Bapak Wahyu Dewanto dan Bapak Sujoko Sumaryono yang telah meluangkan waktu untuk membantu di dalam penelitian kali ini.

REFERENSI

- [1] Arshad M.J., Mian M.S., Issues of Multihoming Implementation Using FAST TCP: Simulation Based Analysis, IJCSNS, 2008.
- [2] Chiu D.M., Jain R., Analysis of the Increase and Decrease Algorithms for Congestion Avoidance in Computer Networks, Computer Networks and ISDN Systems, 1989
- [3] Even B., An Experimental Investigation of TCP Performance in High Bandwidth-Delay Product Path, Thesis, Hamilton Institute, Maynooth, Ireland, 2007.
- [4] Ha S., Rhee I., CUBIC: A New TCP-Friendly High-Speed TCP Variant, International Workshop on Protocols for FAST and Long Distance Networks, 2005.
- [5] Jin C., Wei D. X., Low S. H., FAST TCP: Motivation, Architecture, Algorithms, Performance, IEEE Infocom, Hongkong, 2004.
- [6] Jin C., Wei D. X., Low S. H., Bunn J., C. H. D., Doyle J. C., Newman H., Ravot S., Sigh S., Fast TCP: From Theory to Experiments, IEEE Network, 2005.
- [7] Leith D., Shorten R., "H-TCP Protocol for High-Speed Long Distance Networks", PFLDnet, 2004.
- [8] Leith D., Shorten R.N., McCullagh G., "Experimental Evaluation of CUBIC-TCP, PFLDnet, 2007.
- [9] Rhee I., Xu L., CUBIC: A New TCP-Friendly High-Speed TCP Variant, North Carolina State University, University of Nebraska-Licln, USA: 2004.
- [10] Tanenbaum A. S., Computer Network, Fourth Edition, Pearson Education International, Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 2003.
- [11] Xu L., Khaled H., Rhee I., Binary Increase Congestion Control for Fast, Long Distance Networks, Paper, North Carolina state University, Raleigh, NC, USA, 2003.
- [12] Wang G., Xia Y., Harisson D., An NS2 TCP Evaluation Tool, Internet Engineering Task Force, USA, 2007.

- [13] Wei D.X., Cao P., NS-2 TCP-Linux: An NS-2 TCP Implementation with Congestion Control Algorithm from Linux, ACM, 2006.
- [14] Wei D.X., Jin C., Low S.H., Hegde S., FAST TCP: Motivation, Architecture, Algorithms, Performance, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006.
- [15] Zegura W. E., Calvert L. K., Danahoo J. M., A Quantitative Comparison of Graph-based Models for Internet Topology, GT-ITM, 1997.

# Perancangan LNA untuk Radar Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Pada Frekuensi 1090 MHz dengan Multistub Matching

Gunawan Wibisono<sup>1</sup>; Teguh Firmansyah<sup>2</sup>; Daverius Ma'arang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Kampus UI Depok, 461425, <sup>2</sup>Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Jl. Jendral Sudirman Km. 3 Cilegon, <sup>3</sup>Daverius Ma,arang, Kementerian Perhubungan.

<sup>1</sup>gunawan@eng.ui.ac.id., <sup>2</sup>teguh.firmansyah1@gmail.com, <sup>3</sup>dwi\_muji@yahoo.com.

**Abstrak**— Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) adalah perlengkapan dari sistem radar untuk menjangkau daerah yang sulit. Untuk aplikasi radar, ADS-B memerlukan LNA dengan gain dan stabilitas yang tinggi serta noise figure (NF) dan return loss yang rendah. Untuk menghasilkan LNA dengan spesifikasi yang baik pada penelitian ini akan dirancang LNA menggunakan FET transistor-NE3210S01 dengan DC bias,  $V_{DS} = 2\text{ V}$  dan  $I_D = 10\text{ mA}$  agar dapat mencapai gain yang tinggi dengan NF yang rendah. Rangkaian multi-stub impedance matching digunakan untuk menekan return loss dan VSWR. Rangkaian LNA yang dirancang dengan single-stub matching memiliki output gain ( $S_{21}$ ) = 39.726 dB, input return loss ( $S_{11}$ ) = -25.368 dB, bandwidth = 20 MHz, NF = 0,808 dB, VSWR = 1.114 dan stability factor ( $K$ ) = 4.175. Sementara itu LNA yang dirancang dengan multi-stub matching memiliki keluaran yang lebih baik, gain ( $S_{21}$ ) = 41.744 dB, input return loss ( $S_{11}$ ) = -30.014 dB, bandwidth = 20 MHz, NF = 0778 dB, VSWR = 1.065 and stability factor ( $K$ ) = 2.154.

**Kata kunci** ; ADS-B, LNA, Single-stub, Multi-stub, FET-NE3210S01.

**Abstract** – Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) is a fixture of the radar system to reach difficult areas. For radar applications, ADS-B requires LNA with high gain and stability as well as the noise figure (NF) and low return loss. To produce baik pada LNA with the specifications of this research will be designed LNA using a FET transistor-NE3210S01 with DC bias,  $V_{DS} = 2\text{ V}$  and  $I_D = 10\text{ mA}$  in order to achieve high gain with low NF. The series of multi-stub impedance matching is used to suppress the return loss and VSWR. LNA circuit is designed with single-stub matching has an output gain ( $S_{21}$ ) = 39 726 dB, input return loss ( $S_{11}$ ) = -25 368 dB, bandwidth = 20 MHz, NF = 0.808 dB, VSWR = 1,114 and stability factor ( $K$ ) = 4,175. Meanwhile LNA designed with multi-stub matching has a better output, the gain ( $S_{21}$ ) = 41 744 dB, input return loss ( $S_{11}$ ) = -30 014 dB, bandwidth = 20 MHz, NF = 0778 dB, VSWR = 1,065 and stability factor ( $K$ ) = 2,154.

**Keywords** :. ADS-B, LNA, Single-stub, Multi-stub, FET-NE3210S01.

## I. PENDAHULUAN

Sistem otomasi pemanduan lalu lintas udara Air Traffic Control (ATC) diruang udara Jakarta dikenal dengan istilah Jakarta Automated Air Traffic Control System (JAATS) yang terpasang di Bandara Soekarno Hatta. Pada sistem ATC inputan berasal dari peralatan pengamatan sensor yang berupa : Primary Surveillance Radar (PSR), Secondary Surveillance Radar(SSR), Mono Pulse SSR (MSSR), Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B), Automatic Dependent Surveillance-Contract (ADS-C), dan Multilateration (MLAT) [1]-[2]. ADS-B merupakan salah satu peralatan yang menjadi pelengkap peralatan radar agar dapat menjangkau daerah yang sulit karena letak geografis. ADS-B adalah perangkat penerima (receiver) yang bekerja pada frekuensi 1090 MHz [1]. Salah satu modul penyusun

sistem peralatan ADS-B yang bernama Antenna Amplifier Unit (AAU), modul ini berisikan antena, band pass filter (BPF) dan low noise amplifier (LNA).

LNA digunakan untuk menguatkan sinyal dengan nilai noise yang tetap kecil. Beberapa pertimbangan utama dalam desain LNA diantaranya stabilitas ( $K$ ), gain, bandwidth (BW), noise figure (NF), bias DC, return loss dan VSWR

Semua faktor tersebut sangat berkaitan dengan komponen transistor yang digunakan [3]-[4]. Sementara itu, nilai return loss dan VSWR dapat ditekan dengan mengoptimasi matching impedansinya [4]. Nilai return loss dan VSWR menjadi sangat penting karena sinyal radar yang diterima memiliki power yang kecil [2].

Untuk aplikasi radar ADS-B diperlukan LNA yang memiliki gain dan kestabilan yang tinggi dengan NF dan return loss yang rendah [1][5]. Untuk memperoleh hal

tersebut maka pada penelitian ini dirancang LNA menggunakan transistor FET-NE3210S01 dengan bias DC,  $V_{DS} = 2\text{ V}$  dan  $I_D = 10\text{ mA}$  agar memperoleh gain yang tinggi dengan noise figure rendah [6] dan untuk tetap menjaga nilai gain dan kestabilannya digunakan 2-stage secara cascade. Sementara itu, digunakan multi-stub pada rangkaian matching impedansinya untuk menurunkan nilai return loss dan VSWR dan digunakan inter-stage matching agar penyaluran power lebih optimal dari kedua transistor tersebut. Karakteristik LNA yang akan dirancang yaitu memiliki frekuensi kerja 1090 MHz, gain > 20 dB, NF < 1, VSWRmax = 2, dan return loss < -10 dB [1].

Beberapa perancangan LNA yang telah ada diantaranya dilakukan oleh Che Halim [7], yang merancang LNA cascade pada frekuensi 5-6 GHz, dengan nilai input/output return loss < -10dB. Gain = 57 dB and NF = 1,16 dB. LNA ini menggunakan triple-stage amplifier cascade dengan menggunakan rangkaian matching berupa komponen lumped. Nilai gain yang tinggi disebabkan penggunaan triple-stage amplifier.

Sementara itu, Mashury [8], merancang sebuah LNA FM-CW RADAR yang bekerja pada frekuensi 9.370 – 9.430 MHz menggunakan dual-stage cascade LNA dan single-stub matching. Gain yang dihasilkan sebesar 17.5 dB dengan noise figure 2 dB dan  $K > 1$ . Nilai return loss dan VSWR yang tinggi menjadi catatan tersendiri untuk penelitian ini.

Dari berbagai penelitian dengan berbagai metode yang diusulkan [7][8], terlihat bahwa nilai gain dan NF sangat dipengaruhi oleh jenis transistor dan DC bias yang digunakan, dan nilai VSWR juga return loss dipengaruhi oleh matching impedansinya. [9]-[12]

Untuk aplikasi LNA radar ADS-B, maka pada penelitian ini diusulkan penggunaan FET-NE3210S01 secara dual-stage cascade untuk memperoleh gain dan kestabilan yang tinggi, selain itu karena sinyal yang diterima memiliki power yang rendah maka diusulkan untuk menerapkan multistub pada matching impedansinya sehingga nilai return loss dan VSWR nya rendah

Perancangan LNA disimulasikan dalam Advance Design System (ADS). Untuk menverifikasi performansi LNA yang di desain, hasil simulasi LNA multi-stub yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil LNA single-stub dengan tetap mempertahankan nilai DC biasnya.

## II. PRENCANGAN LOW NOISE AMPLIFIER

### A. Spesifikasi LNA

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sebuah LNA menggunakan transistor FET-NE3210S01

dengan bias DC,  $V_{DS} = 2\text{ V}$  dan  $I_D = 10\text{ mA}$ . Karakteristik LNA yang akan dirancang yaitu memiliki frekuensi kerja 1090 MHz, bandwidth = 20 MHz, gain > 20 dB, NF < 1, VSWRmax < 1,5, dan return loss < -10 dB [1]. LNA ini berbasis mikrostrip pada frekuensi 1090 MHz untuk aplikasi radar Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B).

### B. Alur Perancangan LNA ADS-B

Diagram alir perancangan LNA radar ADS-B ditunjukkan pada Gambar 1.



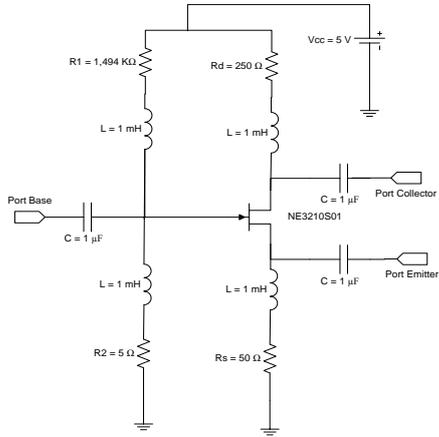
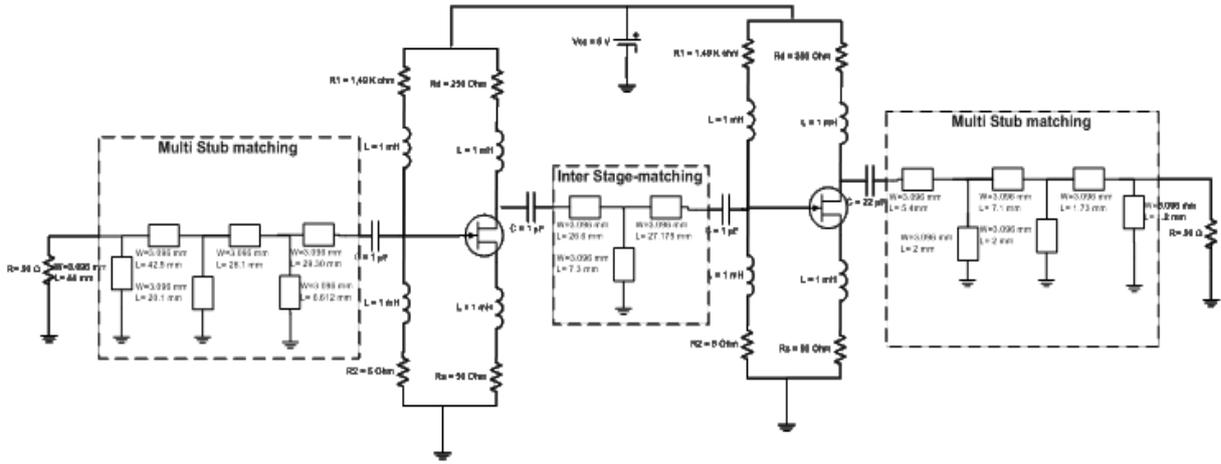
Gambar 1. Alur perancangan LNA ADS-B

Dengan perhitungan pada [3] dan [8] didapatkan nilai komponen yang menghasilkan bias seperti yang terlihat pada Gambar 2.

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} \rightarrow R_D = \frac{5 - 2,5\text{ V}}{10 \cdot 10^{-3}} = 250\ \Omega$$

$$V_D = \frac{5\ \Omega (5\text{ V})}{1,497\ \text{K}\Omega} \rightarrow V_D = 16,70\ \text{mV}$$

$$R_S = \frac{V_D - V_{GS}}{I_D} \rightarrow R_S = \frac{16,70\ \text{mV} - (-484\ \text{mV})}{10 \cdot 10^{-3}} \rightarrow R_S = 50\ \Omega$$



Gambar 2. Rangkaian dengan DC bias

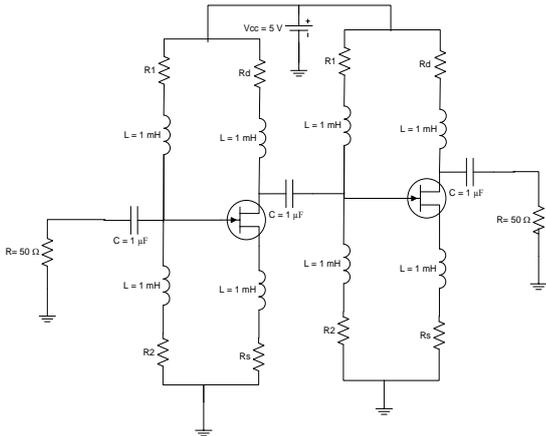
Dari hasil simulasi, diperoleh karakteristik DC bias transistor pada frekuensi 1090 MHz secara cascade seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik DC bias transistor

freq	S11	S12	S21	S22	SWRport1
900.0 MHz	0.9221 -j13.344	5.222E-4 -j142.073	47.077 +j46.926	0.621 -j11.371	4.976
910.0 MHz	0.921 -j13.373	5.222E-4 -j142.048	47.076 +j46.914	0.621 -j11.365	4.974
920.0 MHz	0.9201 -j13.402	5.222E-4 -j142.023	47.075 +j46.902	0.621 -j11.359	4.972
930.0 MHz	0.9191 -j13.431	5.222E-4 -j142.000	47.074 +j46.891	0.621 -j11.353	4.970
940.0 MHz	0.9181 -j13.460	5.222E-4 -j141.977	47.073 +j46.880	0.621 -j11.347	4.968
950.0 MHz	0.9171 -j13.489	5.222E-4 -j141.954	47.072 +j46.869	0.621 -j11.341	4.966
960.0 MHz	0.9161 -j13.518	5.222E-4 -j141.931	47.071 +j46.858	0.621 -j11.335	4.964
970.0 MHz	0.9151 -j13.547	5.222E-4 -j141.908	47.070 +j46.847	0.621 -j11.329	4.962
980.0 MHz	0.9141 -j13.576	5.222E-4 -j141.885	47.069 +j46.836	0.621 -j11.323	4.960
990.0 MHz	0.9131 -j13.605	5.222E-4 -j141.862	47.068 +j46.825	0.621 -j11.317	4.958
1000.0 MHz	0.9121 -j13.634	5.222E-4 -j141.839	47.067 +j46.814	0.621 -j11.311	4.956
1010.0 MHz	0.9111 -j13.663	5.222E-4 -j141.816	47.066 +j46.803	0.621 -j11.305	4.954
1020.0 MHz	0.9101 -j13.692	5.222E-4 -j141.793	47.065 +j46.792	0.621 -j11.299	4.952
1030.0 MHz	0.9091 -j13.721	5.222E-4 -j141.770	47.064 +j46.781	0.621 -j11.293	4.950
1040.0 MHz	0.9081 -j13.750	5.222E-4 -j141.747	47.063 +j46.770	0.621 -j11.287	4.948
1050.0 MHz	0.9071 -j13.779	5.222E-4 -j141.724	47.062 +j46.759	0.621 -j11.281	4.946
1060.0 MHz	0.9061 -j13.808	5.222E-4 -j141.701	47.061 +j46.748	0.621 -j11.275	4.944
1070.0 MHz	0.9051 -j13.837	5.222E-4 -j141.678	47.060 +j46.737	0.621 -j11.269	4.942
1080.0 MHz	0.9041 -j13.866	5.222E-4 -j141.655	47.059 +j46.726	0.621 -j11.263	4.940
1090.0 MHz	0.9031 -j13.895	5.222E-4 -j141.632	47.058 +j46.715	0.621 -j11.257	4.938
1100.0 MHz	0.9021 -j13.924	5.222E-4 -j141.609	47.057 +j46.704	0.621 -j11.251	4.936
1110.0 MHz	0.9011 -j13.953	5.222E-4 -j141.586	47.056 +j46.693	0.621 -j11.245	4.934
1120.0 MHz	0.9001 -j13.982	5.222E-4 -j141.563	47.055 +j46.682	0.621 -j11.239	4.932
1130.0 MHz	0.8991 -j14.011	5.222E-4 -j141.540	47.054 +j46.671	0.621 -j11.233	4.930
1140.0 MHz	0.8981 -j14.040	5.222E-4 -j141.517	47.053 +j46.660	0.621 -j11.227	4.928
1150.0 MHz	0.8971 -j14.069	5.222E-4 -j141.494	47.052 +j46.649	0.621 -j11.221	4.926
1160.0 MHz	0.8961 -j14.098	5.222E-4 -j141.471	47.051 +j46.638	0.621 -j11.215	4.924
1170.0 MHz	0.8951 -j14.127	5.222E-4 -j141.448	47.050 +j46.627	0.621 -j11.209	4.922
1180.0 MHz	0.8941 -j14.156	5.222E-4 -j141.425	47.049 +j46.616	0.621 -j11.203	4.920
1190.0 MHz	0.8931 -j14.185	5.222E-4 -j141.402	47.048 +j46.605	0.621 -j11.197	4.918
1200.0 MHz	0.8921 -j14.214	5.222E-4 -j141.379	47.047 +j46.594	0.621 -j11.191	4.916
1210.0 MHz	0.8911 -j14.243	5.222E-4 -j141.356	47.046 +j46.583	0.621 -j11.185	4.914
1220.0 MHz	0.8901 -j14.272	5.222E-4 -j141.333	47.045 +j46.572	0.621 -j11.179	4.912
1230.0 MHz	0.8891 -j14.301	5.222E-4 -j141.310	47.044 +j46.561	0.621 -j11.173	4.910
1240.0 MHz	0.8881 -j14.330	5.222E-4 -j141.287	47.043 +j46.550	0.621 -j11.167	4.908
1250.0 MHz	0.8871 -j14.359	5.222E-4 -j141.264	47.042 +j46.539	0.621 -j11.161	4.906
1260.0 MHz	0.8861 -j14.388	5.222E-4 -j141.241	47.041 +j46.528	0.621 -j11.155	4.904
1270.0 MHz	0.8851 -j14.417	5.222E-4 -j141.218	47.040 +j46.517	0.621 -j11.149	4.902
1280.0 MHz	0.8841 -j14.446	5.222E-4 -j141.195	47.039 +j46.506	0.621 -j11.143	4.900
1290.0 MHz	0.8831 -j14.475	5.222E-4 -j141.172	47.038 +j46.495	0.621 -j11.137	4.898
1300.0 MHz	0.8821 -j14.504	5.222E-4 -j141.149	47.037 +j46.484	0.621 -j11.131	4.896
1310.0 MHz	0.8811 -j14.533	5.222E-4 -j141.126	47.036 +j46.473	0.621 -j11.125	4.894
1320.0 MHz	0.8801 -j14.562	5.222E-4 -j141.103	47.035 +j46.462	0.621 -j11.119	4.892
1330.0 MHz	0.8791 -j14.591	5.222E-4 -j141.080	47.034 +j46.451	0.621 -j11.113	4.890
1340.0 MHz	0.8781 -j14.620	5.222E-4 -j141.057	47.033 +j46.440	0.621 -j11.107	4.888
1350.0 MHz	0.8771 -j14.649	5.222E-4 -j141.034	47.032 +j46.429	0.621 -j11.101	4.886
1360.0 MHz	0.8761 -j14.678	5.222E-4 -j141.011	47.031 +j46.418	0.621 -j11.095	4.884
1370.0 MHz	0.8751 -j14.707	5.222E-4 -j140.988	47.030 +j46.407	0.621 -j11.089	4.882
1380.0 MHz	0.8741 -j14.736	5.222E-4 -j140.965	47.029 +j46.396	0.621 -j11.083	4.880
1390.0 MHz	0.8731 -j14.765	5.222E-4 -j140.942	47.028 +j46.385	0.621 -j11.077	4.878
1400.0 MHz	0.8721 -j14.794	5.222E-4 -j140.919	47.027 +j46.374	0.621 -j11.071	4.876
1410.0 MHz	0.8711 -j14.823	5.222E-4 -j140.896	47.026 +j46.363	0.621 -j11.065	4.874
1420.0 MHz	0.8701 -j14.852	5.222E-4 -j140.873	47.025 +j46.352	0.621 -j11.059	4.872
1430.0 MHz	0.8691 -j14.881	5.222E-4 -j140.850	47.024 +j46.341	0.621 -j11.053	4.870
1440.0 MHz	0.8681 -j14.910	5.222E-4 -j140.827	47.023 +j46.330	0.621 -j11.047	4.868
1450.0 MHz	0.8671 -j14.939	5.222E-4 -j140.804	47.022 +j46.319	0.621 -j11.041	4.866
1460.0 MHz	0.8661 -j14.968	5.222E-4 -j140.781	47.021 +j46.308	0.621 -j11.035	4.864
1470.0 MHz	0.8651 -j14.997	5.222E-4 -j140.758	47.020 +j46.297	0.621 -j11.029	4.862
1480.0 MHz	0.8641 -j15.026	5.222E-4 -j140.735	47.019 +j46.286	0.621 -j11.023	4.860
1490.0 MHz	0.8631 -j15.055	5.222E-4 -j140.712	47.018 +j46.275	0.621 -j11.017	4.858
1500.0 MHz	0.8621 -j15.084	5.222E-4 -j140.689	47.017 +j46.264	0.621 -j11.011	4.856

C. Simulasi S-Parameter

Untuk meningkatkan gain dan kestabilan maka digunakan cascade amplifier seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian dengan DC bias

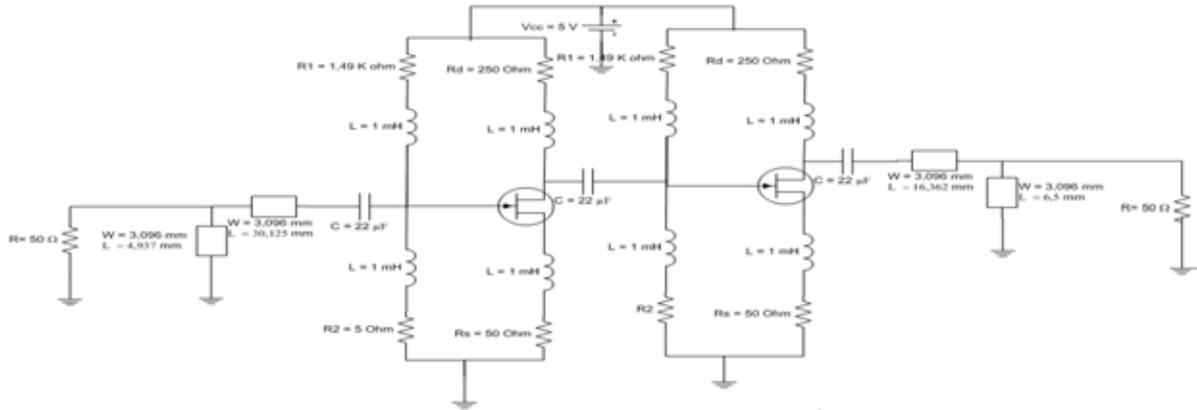
Dari Tabel 1 didapat  $S_{11} = 0,92 \angle -15,175$  ;  $S_{12} = 2,522 E-4 \angle 136,199$  ;  $S_{21} = 44,450 \angle -57,591$  ;  $S_{22} = 0.621 \angle -11,388$  ; dengan  $K = 4,951$ . Terlihat bahwa nilai  $S_{21} > 1$  mencerminkan kondisi yang unconditionally stable dengan  $K = 4,951$ , sehingga konfigurasi bias tersebut dapat dipergunakan untuk perancangan LNA.

D. Matching Impedance

Rangkaian matching impedance terdiri dari input dan output yang dirancang dengan impedansi karakteristik yang berbeda. Langkah pertama yaitu menentukan nilai admitansi sumber  $Y_S$  dan admitansi beban  $Y_L$ . Besarnya nilai  $Y_S$  dan  $Y_L$  bergantung pada koefisien refleksi sumber  $\Gamma_S$  dan koefisien refleksi beban  $\Gamma_L$ . Pada LNA, nilai  $Y_S$  bergantung pada nilai :

$$\Gamma_S = \Gamma_{OPT}$$

$$\text{Sehingga } \Gamma_S = \Gamma_{OPT} = 0.954 \angle 3.380$$



Gambar 5. Rangkaian lengkap LNA dengan **multi-**

$$Y_S = \frac{1}{50} \left( \frac{1 - \Gamma_S}{1 + \Gamma_S} \right) = \frac{1}{50} \left( \frac{1 - \Gamma_{OPT}}{1 + \Gamma_{OPT}} \right)$$

$$= \frac{1}{50} \left( \frac{1 - 0,954 \angle 3,380^\circ}{1 + 0,954 \angle 3,380^\circ} \right) = 0,0007549 \angle -51,374^\circ$$

Apabila dalam bentuk bilangan kompleks, maka nilai  $Y_S = 4,71.10^{-4} - i 5,88.10^{-4}$

Penentuan nilai admitansi beban  $Y_L$  ditentukan oleh nilai dari koefisien refleksi beban  $\Gamma_L$  ditentukan yang diberikan oleh

$$\Gamma_L = \left( S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_{OPT}}{1 - S_{11} \Gamma_{OPT}} \right)$$

$$= \left( 0,621 \angle -11,388^\circ + \frac{(0,0002 \angle 136,199^\circ)(44,450 \angle -57,591^\circ)(0,954 \angle 3,380^\circ)}{1 - (0,912 \angle -15,175^\circ)(0,954 \angle 3,380^\circ)} \right)$$

$$= 0,648 \angle 9,18^\circ$$

Sehingga nilai  $Y_L$  :

$$Y_L = \frac{1}{50} \left( \frac{1 - \Gamma_L}{1 + \Gamma_L} \right) = \frac{1}{50} \left( \frac{1 - 0,648 \angle 9,18^\circ}{1 + 0,648 \angle 9,18^\circ} \right)$$

dalam bentuk bilangan kompleks

$$Y_L = 0,00429 - j0,00153 \text{ S}$$

Langkah selanjutnya yaitu perhitungan nilai matching impedansi dengan nilai menggunakan  $Y_S = 4,71.10^{-4} - i5,88.10^{-4}$  dan nilai  $Y_L = 0,00429 - j0,00153 \text{ S}$

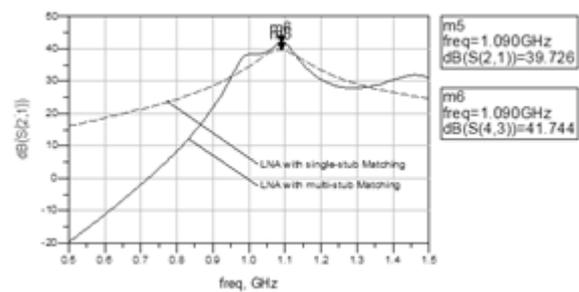
Dengan menggunakan *smith chart* diperoleh nilai panjang transmission line sebesar  $\theta$  dengan impedansi 50  $\Omega$ . Rangkaian lengkap LNA dengan **single-stub** terlihat pada Gambar 4, sementara rangkaian lengkap LNA dengan **multi-stub** terlihat pada Gambar 5.

### III. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bagian ini akan dibahas kinerja dari LNA yang didesain menggunakan software ADS.

#### A. Simulasi (S21) dari LNA

Hasil simulasi gain rangkaian LNA terlihat pada Gambar 6.

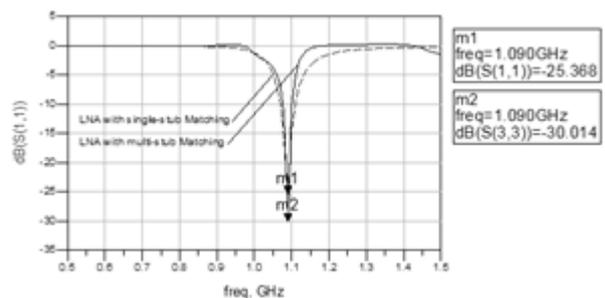


Gambar 6. Perbandingan hasil gain (S21) LNA

Hasil simulasi menunjukan bahwa rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching memiliki nilai  $\text{dB}(S_{21}) = 39,726 \text{ dB}$ . Sementara rangkaian LNA dengan multi-stub matching memiliki gain  $\text{dB}(S_{21})$  yang lebih baik yaitu sebesar  $\text{dB}(S_{21}) = 41,744 \text{ dB}$ . Hal tersebut terjadi karena pada rangkaian LNA dengan multi-stub matching memiliki fokus power yang lebih tinggi sehingga gain yang dihasilkan lebih optimal.

#### B. Simulasi Input Return Loss (S11) dari LNA

Hasil simulasi input return loss (S11) rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching tampak dan rangkaian LNA dengan multi-stub matching tampak pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Hasil Input Return Loss (S11) LNA

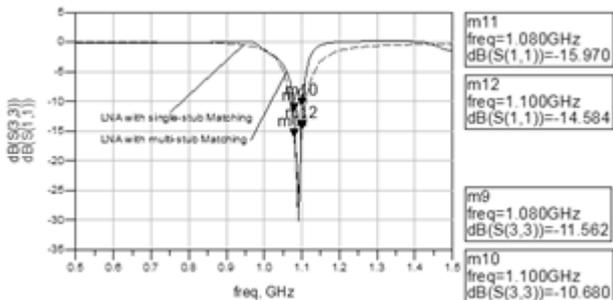
Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching memiliki nilai return loss  $\text{dB}(S_{11}) = -25,368 \text{ dB}$ . Sementara rangkaian

LNA dengan multi-stub matching memiliki return loss  $\text{dB}(S_{11})$  yang lebih baik yaitu sebesar  $\text{dB}(S_{11}) = -$

30,014 dB. Nilai return loss yang kecil disebabkan menggunakan multistub matching, yang mengakibatkan transmisi power ke LNA dari sumber berjalan lebih optimal.

C. Simulasi Bandwidth dari LNA

Hasil simulasi nilai bandwidth LNA terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan hasil bandwidth LNA

Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching memiliki bandwidth 20 MHz pada saat nilai :

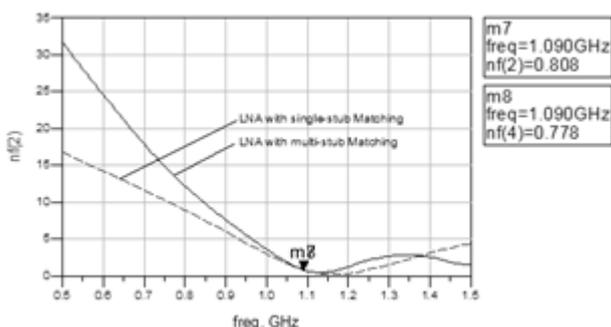
- a. Frekuensi atas 1080 MHZ memiliki nilai dB(S11) = -15,97 dB.
- b. Frekuensi atas 1100 MHZ memiliki nilai dB(S11) = -14,58 dB.

Sementara hasil simulasi rangkaian lengkap LNA dengan multi-stub matching memiliki bandwidth 20 MHz saat nilai :

- a. Frekuensi atas 1080 MHZ memiliki nilai dB(S11) = -11,562 dB.
- b. Frekuensi atas 1100 MHZ memiliki nilai dB(S11) = -10,680 dB.

D. Simulasi Noise Figure dari LNA

Hasil simulasi noise dari LNA terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan hasil noise figure LNA

Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching memiliki nilai noise figure = 0.808 dB. Sementara rangkaian LNA

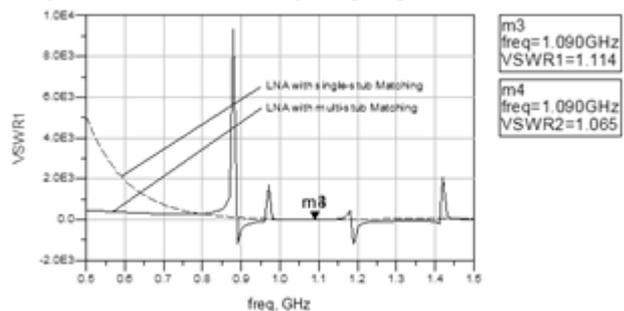
dengan multi-stub matching memiliki noise figure yang lebih baik yaitu sebesar nf = 0.778 dB.

Noise figure kedua perancangan masih dalam range spesifikasi yang diharapkan yaitu dibawah 1 dB. Hasil noise figure yang kecil ini lebih dikarenakan dari

penggunaan transistor yang memiliki noise figure yang rendah.

E. Simulasi VSWR dari LNA

Hasil simulasi VSWR rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching tampak dan rangkaian LNA dengan multi-stub matching tampak pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan VSWR LNA

Hasil simulasi VSWR terlihat pada Gambar 10 menunjukkan bahwa rangkaian lengkap LNA dengan single-stub matching VSWR = 1,114. Sementara rangkaian lengkap LNA dengan multi-stub matching memiliki VSWR = 1,065. Perbandingan nilai-nilai hasil simulasi terlihat secara lengkap pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Simulasi LNA dengan Single-stub dan Multi-stub Matching

Spesifikasi	LNA dengan Single-Stub Matching	LNA dengan Multi-Stub Matching
Frekuensi	1090 MHz	1090 MHz
Gain	39,726 dB	41,744 dB
Input Return Loss	-25,368 dB	-30,014 dB
Bandwidth	20 MHz	20 MHz
Noise Figure	0.808 dB	0.778 dB
VSWR	1,114	1,065
Stability Factor	4,715	2,154

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa kinerja LNA yang telah disimulasikan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Telah dirancang dua buah LNA Radar ADS-B pada frekuensi 1090 MHz yaitu rangkaian LNA dengan single-stub matching dan rangkaian LNA dengan multi-stub matching. Hasil yang diperoleh berupa:
  - i. Hasil perancangan dan simulasi rangkaian LNA dengan single-stub matching memiliki keluaran gain (S21) = 39,726 dB, input return loss (S11) = -25,368 dB, bandwidth = 20 MHz, noise figure = 0.808 dB, VSWR = 1,114 dan stability factor (K) = 4,175.
  - ii. Sementara hasil perancangan dan simulasi rangkaian LNA dengan multi-stub matching memiliki keluaran lebih baik, yaitu gain (S21) = 41,744 dB, input return loss (S11) = -30,014 dB,

bandwidth = 20 MHz, noise figure = 0.778 dB,

VSWR = 1,065 dan stability factor (K) = 2,154.

- b. Terlihat bahwa LNA dengan multi-stub matching memiliki hasil keluaran yang lebih baik, peningkatan gain dikarenakan penggunaan inter-stage matching sehingga penyaluran power lebih optimal, sementara itu, penurunan return loss dan VSWR disebabkan penggunaan multi-stub matching yang menghasilkan matching lebih baik.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roland Weibel & Marisa Jenkin. "MIT International Center for Air Transportation Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Costs, Benefits, Applications, and Implementation Challenges Airline" Advisory Board Meeting November 6, 2008.
- [2] Kathleen O'Brien. "BOEING is a trademark of Boeing Management Company Boeing : Avionics – Air Traffic Management Boeing Commercial Airplanes" Civil Aviation System Modernization Symposium Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Taipei, Taiwan. July 27-28, 2009
- [3] Gonzalez, Gualermo. Microwave Transistor Amplifier . Anal -'sis and Design, 2""r ed. New Jersey : Prentice Hall, Inc. 1996.
- [4] Pozar, David M. Microwave Engineering, 2""1 edition. New York : Wiley and Sons, 1998.
- [5] Manual hook Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B).
- [6] "Data sheet NE3210 Super low noise". 22 April 2011.
- [7] Amplifier Halim, C." 5-6 GHz Front End Low Noise Amplifier" Telecommunication Technologies 2008 and 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics. NCTT-MCP 2008. Page(s): 136 - 139.2008.
- [8] MashuryWahab. " Design and Simulation of high performance low noise amplifier for FM-CW Radar" PusatPenel 1 ti an Elektronikadan Telckomunikasi (PPET-LIPI). 2008.
- [9] Norhapizin, -I-NA for wireless using 0.15  $\mu\text{m}$  GaAS pHEMT cascode feedback" IEEE Explore. 2008.
- [10] Yueh-HuaYu. "A Compact Wideband CMOS Low Noise Amplifier With Gain Flatness Enhancement" IEEE Journal of Solid-State Circuits, Volume: 45 , Issue: 3, Page(s): 502 - 509.2010 .
- [11] Abbas, T. "Design of a two stage Low Noise Amplifier at Ku Band". The 17th International Conference. IEEE Conferences. Page(s): 40 - 45.2005.
- [12] Challal, M. "Microstrip design of low noise amplifier for application in narrowband and Wideband"Signals, Circuits and Systems, 2008. SCS 2008. 2nd International Conference. Page(s): 1 -4. 2008.

# Perbandingan Metode Differentiated Service Dengan Metode Integrated Service Untuk Analisis QoS Pada Jaringan VOIP

Galih Hirmawan<sup>1</sup>, Supriyanto<sup>2</sup>, Rian Fahrizal<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

<sup>1</sup>galih.hirmawan89@gmail.com, <sup>2</sup>supriyanto@ft-untirta.ac.id, <sup>3</sup>rianef@yahoo.com

**Abstrak-** Pada saat ini masyarakat membutuhkan teknologi telekomunikasi yang berbiaya murah, salah satu bentuk teknologi telekomunikasi yang berbiaya murah adalah VoIP (Voice over Internet Protocol). VoIP adalah sebuah teknologi yang dapat melewati traffic suara pada jaringan IP. Kelemahan dari VoIP ini adalah kualitas suara yang dihasilkan tidak sebaik dengan kualitas suara yang dihasilkan dari jaringan telepon konvensional atau PSTN. Hal ini disebabkan oleh QoS (Quality of Service) yang buruk. Untuk meningkatkan QoS pada jaringan menggunakan 2 metode yaitu integrated service dan differentiated service. Penelitian ini membandingkan nilai delay, jitter dan MOS dengan menggunakan metode integrated service dan differentiated service sehingga dapat diketahui metode manakah yang paling baik untuk meningkatkan kualitas suara pada jaringan VoIP. Hasil dari perbandingan tersebut adalah kualitas suara yang menggunakan metode differentiated Service lebih baik dari kualitas suara yang menggunakan metode integrated Service karena dengan menggunakan metode differentiated service, peningkatan kualitas suara sekitar 2.8% - 4.49% sedangkan persentase peningkatan kualitas suara dengan metode integrated service sekitar 1.87% - 3.2%.

**Kata kunci :** VoIP, Differentiated Service, Integrated Service, QoS.

**Abstract –** At this time the community needs a low-cost telecommunications technologies, one of which is a low-cost telecommunications technology is VoIP (Voice over Internet Protocol). VoIP is a technology that can pass voice traffic on IP networks. The downside of this is VoIP sound quality is not as good as the quality of the sound produced from the conventional telephone network or PSTN. It is caused by a QoS (Quality of Service) is bad. To increase the QoS on the network using two methods, integrated service and differentiated service. This study compares the value of delay, jitter and MOS by using integrated service and differentiated service so it can know which method is best for improving voice quality in VoIP networks. The results of this comparison is the sound quality using the differentiated Service better than the sound quality using the integrated Service for using differentiated service, improving the sound quality of about 2.8% - 4:49% while the percentage increase in sound quality by using integrated service around 1.87% - 3.2%

**Keywords :** VoIP, Differentiated Service, Integrated Service, QoS.

## I. PENDAHULUAN

Dunia telekomunikasi pada saat ini sudah mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hampir setiap manusia membutuhkan sarana telekomunikasi untuk berbagai keperluan mereka dan yang selalu dicari adalah sarana telekomunikasi yang biayanya murah dikarenakan biaya telekomunikasi pada saat ini masih dianggap mahal oleh sebagian orang. Salah satu alternatifnya adalah dengan menggunakan VoIP (Voice over Internet Protocol) yang murah biayanya [3].

Secara teori VoIP adalah sebuah teknologi yang dapat melewati traffic suara pada jaringan IP [1] atau dapat pula didefinisikan sebagai teknologi yang memanfaatkan Internet Protocol untuk menyediakan komunikasi voice jarak jauh secara elektronik dan realtime [7].

Jaringan IP memiliki karakteristik yang berbeda dengan jaringan telepon karena data-data pada jaringan IP berebut untuk menggunakan bandwidth yang tersedia,

kondisi ini berbeda dengan jaringan telepon yang satu kanal dikhususkan untuk satu pembicaraan telepon. Perbedaan karakteristik ini berakibat pada kualitas suara pada VoIP.

Hal-hal yang sering menjadi masalah pada VoIP adalah delay yang sangat besar dan adanya packet loss yang cukup tinggi sehingga didapatkan tingkat layanan kualitas atau sering disebut QoS (Quality of Service) yang buruk [3]. Hal-hal yang menjadi parameter dari QoS adalah delay, jitter dan packet loss. Khusus untuk jaringan VoIP penilaian baik atau buruknya QoS jaringan selain dari ketiga parameter tersebut juga dinilai berdasarkan nilai Mean Opinion Square (MOS). Untuk meningkatkan QoS pada jaringan biasanya digunakan 3 metode yaitu best effort service, integrated service dan differentiated service.

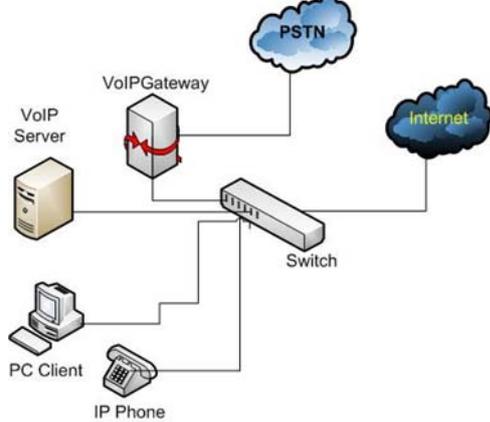
Pada tugas akhir ini, akan membandingkan nilai QoS dari jaringan VoIP yang menggunakan metode differentiated service dan integrated service sehingga

nanti dapat diketahui metode manakah yang lebih baik untuk meningkatkan kualitas layanan jaringan VoIP.

II. LANDASAN TEORI

2.1 VoIP (Voice over Internet Protocol)

VoIP adalah sebuah teknologi yang dapat melewati traffic suara pada jaringan IP [1].



Gambar 2.1 Topologi VoIP

Jaringan VoIP memiliki topologi seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa setiap panggilan VoIP yang dilakukan oleh user akan melalui VoIP server. Kemudian VoIP server akan mengarahkan panggilan tersebut sesuai dengan nomor yang akan dituju oleh user (PC client). Apabila user ingin melakukan panggilan ke jaringan PSTN maka akan melewati VoIP gateway yang berfungsi sebagai jembatan penghubung antara jaringan IP dengan jaringan PSTN sehingga user dapat melakukan panggilan ke jaringan telepon konvensional.

2.2 QoS (Quality of Service)

QoS (Quality of Service) atau biasa disebut kualitas layanan dari jaringan adalah kemampuan untuk memberikan prioritas yang berbeda untuk berbagai aplikasi, pengguna, atau aliran data, atau untuk menjamin tingkat kinerja tertentu ke aliran data. Untuk menentukan apakah nilai QoS pada suatu jaringan tersebut baik atau tidak, dapat dilihat dari beberapa parameter berikut:

1. Delay

Delay merupakan interval waktu yang dibutuhkan oleh suatu paket data saat data mulai dikirim dan keluar dari proses antrian dari titik awal menuju titik tujuan

2. Packet Loss

Packet loss adalah jumlah paket yang hilang. Biasanya perangkat jaringan memiliki buffer untuk menampung data yang diterima. Jika terjadi kongesti yang cukup lama, buffer akan penuh, dan data baru tidak akan diterima. Semakin besar packet loss maka semakin buruk QoS pada jaringan.

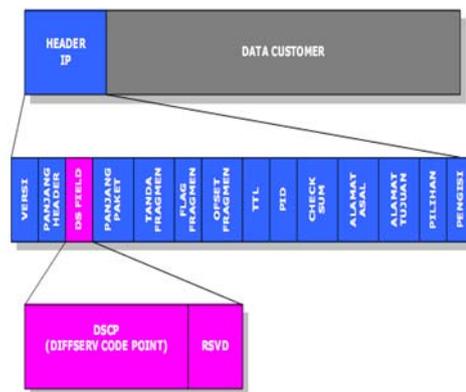
3. Jitter

Jitter adalah perbedaan selang waktu kedatangan antar paket di terminal tujuan. Jitter dapat disebabkan oleh terjadinya kongesti, kurangnya kapasitas jaringan, variasi ukuran paket, serta ketidakurutan paket.

2.3 Differentiated Service

DiffServ bertujuan untuk memberikan perbedaan (diskriminasi) layanan terhadap aliran paket data tanpa memerlukan pensinyalan antar node (per-hop signalling) [8].

Differentiated service menyediakan suatu set perangkat klasifikasi dan mekanisme antrian terhadap protokol-protokol atau aplikasi-aplikasi dengan prioritas tertentu di atas jaringan yang berbeda. Identifikasi kelas dilakukan dengan memasang semacam kode Diffserv, disebut DSCP (Differentiated Service Code Point) ke dalam paket IP seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Ini dilakukan dengan tidak menambah header baru, tetapi dengan menggantikan field TOS (Type of Service) di header IP dengan DS field. Dengan cara ini, klasifikasi paket melekat pada paket dan bisa diakses tanpa perlu protokol pensinyalan tambahan [4].



Gambar 2.2 Pemberian Kode DSCP

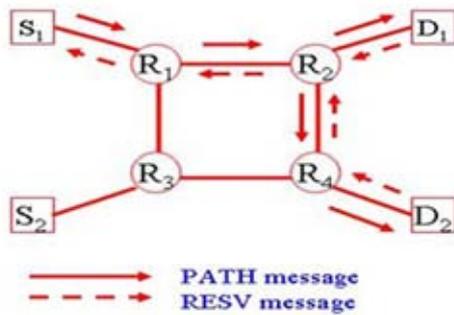
Paket yang telah memiliki kode DSCP akan diperlakukan sesuai dengan PHB (Per Hop Behavior). Pemberlakuan kebijakan ini dilakukan pada saat paket memasuki core router.

2.4 Integrated Service

Integrated service model atau disingkat IntServ merupakan sebuah model QoS yang bekerja untuk memenuhi berbagai macam kebutuhan QoS berbagai perangkat dan berbagai aplikasi dalam sebuah jaringan [9].

Integrated service menggunakan RSVP untuk memberi sinyal reservasi. Komunikasi integrated service via RSVP untuk menciptakan dan memelihara flow specific states host pada titik terakhir dan pada router pada sepanjang jalur flow.

RSVP adalah sebuah sistem persinyalan yang bertugas untuk mengirimkan profil dan request mereka ke perangkat QoS dan RSVP ini merupakan protokol persinyalan khusus untuk keperluan QoS [7]. Protokol ini menggunakan info dari routing protocol untuk menentukan jalur terbaik menuju ke suatu lokasi. Operasi RSVP dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Operasi RSVP

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

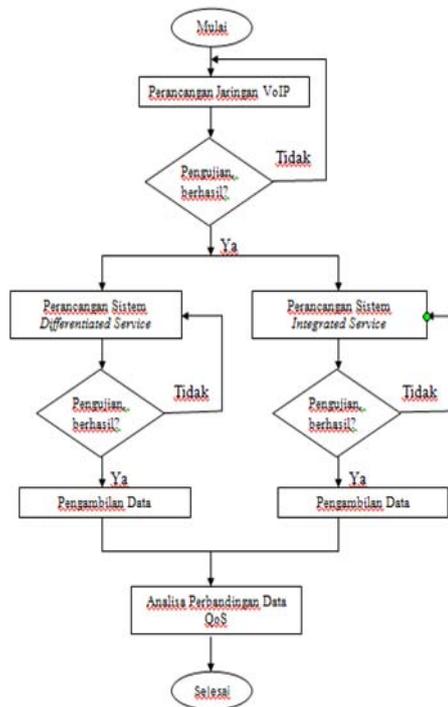
Metode penelitian yang dilakukan pada skripsi ini dapat digambarkan dengan flowchart pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Metode Penelitian

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini seperti perancangan jaringan VoIP yang menggunakan metode differentiated service dan integrated service. Perancangan sistem pada skripsi ini digambarkan dengan flowchart pada Gambar 3.2

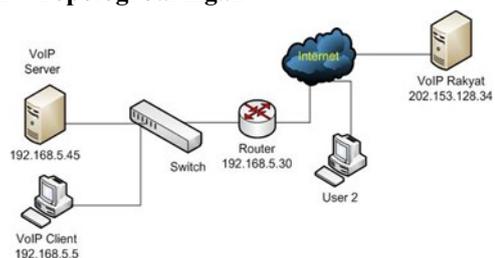


Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Sistem

3.2.1 Perancangan Sistem Jaringan VoIP

Dalam jaringan VoIP sangat penting sekali peran dari VoIP server karena VoIP server berfungsi untuk mengkoneksikan antar client sehingga para client tersebut dapat saling terhubung. Setiap client harus terdaftar pada VoIP server karena VoIP server dapat juga disebut sebagai pengatur dan juga jembatan bagi setiap client sehingga dapat saling terhubung.

3.2.1.1 Topologi Jaringan



Gambar 3.3 Topologi Jaringan VoIP

3.2.1.2 Skenario Pengujian

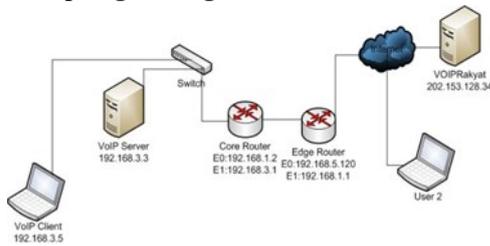
Skenario pengujian jaringan VoIP yang merujuk pada topologi jaringan pada Gambar 3.3, adalah PC client melakukan panggilan telepon ke user lain yang berada pada jaringan luar dalam hal ini menghubungi user yang terdaftar pada SIP server voiprakyat.or.id. Panggilan dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan codec G.711, G.726 dan GSM.

3.2.2 Perancangan Sistem DiffServ

Untuk dapat mewujudkan sistem differentiated service maka dibutuhkan beberapa komponen. Komponen-komponen tersebut adalah 2 buah komputer

yang berfungsi sebagai PC router. Kedua komputer tersebut memiliki peranan yang berbeda-beda yaitu sebagai edge router dan core router.

**3.2.2.1 Topologi Jaringan**



Gambar 3.4 Topologi Jaringan Diffserv

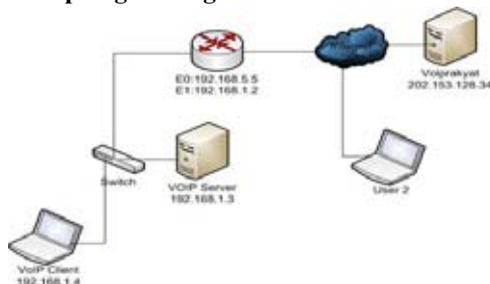
**3.2.2.2 Skenario Pengujian**

Skenario pengujian jaringan VoIP yang merujuk pada topologi jaringan pada Gambar 3.4, adalah PC client melakukan panggilan telepon ke user lain yang berada pada jaringan luar dalam hal ini menghubungi user yang terdaftar pada SIP server voiprakyat.or.id. Panggilan dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan codec G.711, G.726 dan GSM.

**3.2.3 Perancangan Sistem IntServ**

Untuk dapat mewujudkan sistem integrated service maka dibutuhkan 1 buah komputer yang berfungsi sebagai PC router. Komputer tersebut telah terinstall software GNS3 yang dapat mengimplementasikan komputer tersebut seperti router yang dapat mendukung sistem intserv.

**3.2.3.1 Topologi Jaringan**



Gambar 3.5 Topologi Jaringan Intserv

**3.2.3.2 Skenario Pengujian**

Skenario pengujian jaringan VoIP yang merujuk pada topologi jaringan pada Gambar 3.5 adalah PC client melakukan panggilan telepon ke user lain yang berada pada jaringan luar dalam hal ini menghubungi user yang terdaftar pada SIP server voiprakyat.or.id. Panggilan dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan codec G.711, G.726 dan GSM.

**IV. HASIL DAN ANALISA**

Dari pengujian yang dilakukan yang dilakukan sesuai dengan skenario pengujian didapatkan hasil dan hasil tersebut kemudian dibandingkan dan dianalisa.

**4.1 Perbandingan QoS Jaringan VoIP**

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan metode DiffServ, tanpa kedua metode dan metode IntServ menghasilkan nilai MOS, delay dan jitter. Dari nilai tersebut dapat dibandingkan sehingga dapat diketahui metode manakah yang paling baik kualitas layanan jaringannya. Berikut akan disajikan grafik perbandingan MOS, delay dan jitter sesuai dengan codec yang digunakan.

- Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Rata-Rata QoS dengan Codec G.711

QoS	Tanpa Metode	Metode DiffServ	Metode IntServ
MOS	4.27	4.39	4.35
Delay	15..9 ms	4.8 ms	7.3 ms
Jitter	14.03 ms	5.03 ms	7.7 ms

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Rata-Rata QoS dengan Codec G.726

QoS	Tanpa Metode	Metode DiffServ	Metode IntServ
MOS	3.98	4.08	4.07
Delay	16.48 ms	5.09 ms	6.8 ms
Jitter	16.7 ms	4.7 ms	7.03 ms

Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Rata-Rata QoS dengan Codec GSM

QoS	Tanpa Metode	Metode DiffServ	Metode IntServ
MOS	3.36	3.49	3.45
Delay	17.7 ms	4.62 ms	6.75 ms
Jitter	22.2 ms	3.78 ms	6.5 ms

- Analisa

Dari grafik hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.1,4.2 dan 4.3 terlihat bahwa rata-rata nilai MOS, delay dan jitter panggilan VoIP yang menggunakan metode Diffserv lebih baik daripada panggilan VoIP yang menggunakan metode Intserv dan tanpa metode. Hal ini menandakan bahwa metode Diffserv memberikan kualitas layanan yang lebih baik daripada metode Intserv ataupun tanpa menggunakan metode apapun.

Rata-rata nilai parameter QoS yang menggunakan metode DiffServ lebih baik nilainya dari yang tidak menggunakan metode dan QoS jaringan yang menggunakan metode IntServ dikarenakan paket suara telah diklasifikasikan dan menerima perlakuan tiap hop yang berupa Expedited Forwarding (EF) sehingga paket suara lebih diprioritaskan dibandingkan paket-paket jenis yang lain.

Identifikasi kelas dilakukan dengan memasang semacam kode Diffserv, disebut DSCP (Differentiated

Service Code Point) ke dalam paket IP. Ini dilakukan dengan tidak menambah header baru, tetapi dengan menggantikan field TOS (Type of Service) di header IP dengan DS field. Pemberian kode tersebut dilakukan pada saat trafik melewati edge router. Setelah diberi label maka paket akan mempunyai kelas tersendiri dan diprioritaskan saat melewati core router.

Kualitas layanan jaringan VoIP yang menggunakan metode integrated service lebih baik dari kualitas jaringan VoIP yang tidak menggunakan metode apapun karena metode integrated service memiliki model layanan controlled load service. Servis ini menjaga agar pengguna dapat selalu mendapatkan kualitas jaringan dengan delay yang rendah dan bandwidth yang besar meskipun jaringan sedang padat sehingga kualitas suara VoIP dapat meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyimpulkan bahwa kualitas layanan jaringan setelah menggunakan metode intserv lebih baik dibandingkan kualitas layanan jaringan yang tidak menggunakan metode.

**4.2 Perbandingan Kualitas Suara Antara Codec G.711, G.726 dan GSM**

Panggilan VoIP pada penelitian ini menggunakan tiga buah codec yang berbeda, yaitu codec G.711 (PCMU), G.726 dan GSM. Setelah diadakan pengujian, kualitas suara yang dihasilkan pada panggilan VoIP yang menggunakan ketiga codec tersebut berbeda-beda. Pada Tabel 4.4 akan menampilkan nilai rata-rata MOS dari tiga skenario pengujian yang menggunakan ketiga codec tersebut.

Tabel 4.4 Nilai Rata-Rata MOS dari Tiga Skenario Pengujian

Skenario Pengujian	G.711	G.726	GSM
Tanpa Metode	4.26	4.04	3.34
IntServ	4.32	4.1	3.4
DiffServ	4.4	4.1	3.48

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kualitas suara yang dihasilkan oleh codec G.711 lebih baik dibandingkan dengan codec G.726 dan GSM dikarenakan proses kompresi pada codec G.711 lebih cepat daripada proses kompresi G.726 dan GSM. Proses kompresi codec G.711 memerlukan waktu 0 ms sedangkan proses kompresi G.726 memerlukan waktu 1 ms dan GSM memerlukan waktu 20 ms. Semakin lama waktu yang digunakan untuk proses kompresi maka akan semakin memperkecil nilai R Factor dan akhirnya memperburuk nilai MOS.

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini, rata-rata nilai MOS, delay dan jitter panggilan VoIP yang menggunakan metode Differentiated Service, yaitu:

- a. codec G.711: MOS=4.39, delay= 4.8 ms, jitter= 5.03 ms.
- b. codec G.726: MOS=4.08, delay= 5.09 ms, jitter= 4.7 ms.
- c. codec GSM : MOS=3.49, delay= 4.62 ms, jitter= 3.78 ms.

Sedangkan rata-rata nilai MOS, delay dan jitter panggilan VoIP yang menggunakan metode Integrated Service, yaitu:

- a. codec G.711: MOS= 4.35, delay= 7.3 ms, jitter= 7.7 ms.
  - b. codec G.726: MOS= 4.07, delay= 6.8 ms, jitter= 7.03 ms.
  - c. codec GSM : MOS= 3.45, delay= 6.75 ms, jitter= 6.5 ms.
2. Metode Differentiated Service dapat meningkatkan kualitas suara (MOS) lebih baik dibandingkan menggunakan metode Integrated Service. Hal ini dapat dilihat dari persentase peningkatan kualitas suara dengan metode Diffserv sekitar 2.8% - 4.49% sedangkan persentase peningkatan kualitas suara dengan metode Intserv sekitar 1.87 % - 3.2%.
  3. Nilai MOS, delay dan jitter yang dihasilkan pada pengujian yang dilakukan pada pagi dan malam hari lebih baik daripada nilai MOS, delay dan jitter yang dihasilkan pada pengujian yang dilakukan pada siang dan sore hari dikarenakan pada siang dan sore hari traffic data pada jaringan lebih padat dibandingkan pada pagi dan malam hari.
  4. Kualitas suara pada panggilan yang menggunakan codec G.711 lebih baik dibandingkan panggilan yang menggunakan codec G.726 dan GSM.
  5. Semakin lama proses kompresi pada codec maka akan semakin memperburuk kualitas suara yang dihasilkan

**5.2 Saran**

Terdapat beberapa saran dai penulis untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Pengukuran dilakukan dengan melakukan panggilan oleh beberapa VoIP client secara bersamaan sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap nilai QoS.
2. Peningkatan nilai QoS dapat dilakukan dengan metode lain seperti dengan menggunakan Header Compression yang lain ataupun dengan menggunakan skema algoritma penjadwalan keberangkatan paket suara yang tidak dibahas pada skripsi ini.

**VI. DAFTAR PUSTAKA**

[1] Damara, Devi Y. 2009. Perancangan dan Implementasi Sistem Voice over Internet Protocol (VoIP) Berbasis Session Initiation Protocol (SIP) di

- Kampus FT Untirta. Laporan Tugas Akhir. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa: Cilegon
- [2] Syafitri, Dwita A. 2007. Analisis Waktu Tunda Satu Arah Pada Panggilan VoIP Antara Jaringan UMTS dan PSTN. Laporan Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara: Medan
- [3] Raharjo, Ibnu A. dan Affandi, A. Perancangan VoIP Menggunakan Jaringan Komunikasi Publik Untuk Solusi Korporasi. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya
- [4] Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z., Weiss, W. 1998. RFC 2475: An Architecture for Differentiated Service. Tersedia dari: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt> [URL dikunjungi pada 3 November 2011]
- [6] Handley, M., Schulzrinne, M. 1999. RFC 2543: SIP: Session Initiation Protocol. Internet Engineering Task Force
- [7] Forouzan, B.A.. 2007. Data Communications and Networking. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [8] Yenni, L. 2010. Peningkatan Kualitas Layanan Voice Over Internet Protocol (voip) Menggunakan Codec G.729 dan G.723 Berbasis Differentiated Services. Laporan Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara: Medan
- [9] Dharmawan, D. 2003. Analisa Kualitas Pelayanan Sistem dengan Mekanisme Integrated Service dan Demilitared Zone pada Local Area Network Departemen Pertanian Indonesia. Laporan Tugas Akhir. Institut Pertanian Bogor: Bogor
- [10] Schulzrinne, H. dan Rosenberg, J. 1998. A Comparison of SIP and H.323 for Internet Telephony. Proceeding of the 1998 Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV '98)
- [11] Braden, R., Clark, D. dan Shenker, S. 1994. RFC:1633: Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview. Internet Engineering Task Force.

# Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor

Iwan Tirta<sup>1</sup>, Romi Wiryadinata<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

<sup>1</sup>iwantirta7777@gmail.com, <sup>3</sup>romi@wiryadinata.web.id

**Abstrak**– Accelerometer dan tingkat - giroskop telah banyak diterapkan di berbagai bidang , salah satunya adalah bidang navigasi . Output accelerometer dan sensor tingkat - giroskop memiliki suara yang dapat membuat kesalahan pada output sensor . Makalah ini membahas tentang pengukuran murah sensor navigasi ( accelerometer dan tingkat - giroskop ) dengan low-pass filter untuk meminimalkan kesalahan . Data output sensor ditampilkan pada komputer dan diplot dalam bentuk grafik . Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kecepatan sudut dan linier akselerasi menggunakan LPF lebih akurasi dengan perbedaan kecepatan sudut 0,4451 deg / s tanpa filter dan 0,3312 deg / s menggunakan filter, perbedaan percepatan sumbu x 0,3311 m / s<sup>2</sup> tanpa filter dan 0,3209 m / s<sup>2</sup> menggunakan filter dari akselerasi yang diinginkan , sumbu y 1,3593 m / s<sup>2</sup> tanpa filter dan 1,2650 m / s<sup>2</sup> menggunakan filter dan z axis 1,2831 m / s<sup>2</sup> tanpa filter dan 1,2388 m / s<sup>2</sup> menggunakan filter.

**Keyword** - Signal Conditioning, Low-Pass Filter, Low-Cost Sensor.

**Abstract** – Accelerometer and rate-gyroscope have been much applied in various fields, one of them is navigations field. The output accelerometer and rate-gyroscope sensor have a noise that can make error at sensor output. This paper discussed about measuring low-cost navigation sensors (accelerometer and rate-gyroscope) with low-pass filter to minimize the error. Sensor output data displayed on computer and plotted in graph form. The result of experiment showing that the value of the angular velocity and linear acceleration using the LPF is more accuracy with difference angular velocity 0.4451 deg/s without filter and 0.3312 deg/s using filter, difference of acceleration x axis 0.3311 m/s<sup>2</sup> without filter and 0.3209 m/s<sup>2</sup> using filter from desired acceleration, y axis 1.3593 m/s<sup>2</sup> without filter and 1.2650 m/s<sup>2</sup> using filter and z axis 1.2831 m/s<sup>2</sup> without filter and 1.2388 m/s<sup>2</sup> using filter.

**Keywords** : Signal Conditioning, Low-Pass Filter, Low-Cost Sensor.

## I. PENDAHULUAN

Accelerometer dan rate-gyroscope telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang navigasi. Kombinasi accelerometer dan rate-gyroscope akan membentuk suatu unit dalam modul elektronik yang berfungsi mengumpulkan data akselerasi linier (accelerometer) dan kecepatan sudut (rate-gyroscope) untuk mendapatkan data keberadaan dan pergerakan suatu benda, unit tersebut dikenal dengan IMU (Inertial Measurement Unit) [1]. IMU merupakan komponen utama dalam sistem GNC (Guidance, Navigation, and Control) yang berfungsi menangkap parameter-parameter sinyal yang dibutuhkan dalam sistem navigasi [2], namun demikian keluaran dari sensor tidak murni nilai dari sensor tetapi ada noise, bias, dan drift dari sensor yang terbawa dan dikuatkan juga sampai pada output sistem [3]. Noise dapat menyebabkan keluaran sensor menjadi tidak stabil sehingga diperlukanlah suatu rangkaian pengkodisi sinyal LPF (Low Pass Filter) yang berfungsi melewatkan sinyal pada frekuensi rendah agar keluaran sensor menjadi lebih stabil.

Penelitian ini membahas tentang pengukuran percepatan linier menggunakan accelerometer dan kecepatan sudut menggunakan rate-gyroscope. Rangkaian pengkodisi sinyal LPF digunakan untuk

memperkecil error dari keluaran accelerometer dan rate-gyroscope. Pengolah data menggunakan ATmega128. Software emulasi terminal menggunakan RFIterm yang berfungsi membaca serta menyimpan data pengukuran dalam bentuk notepad dan matlab digunakan untuk menampilkan data dalam bentuk grafik.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang dikemas menjadi sebuah chip yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, I/O, memori, dan ADC (Analog to Digital Converter) [4].

Mikrokontroler yang sudah dilengkapi ADC yang berjumlah 8 channel dengan mode 10 bit dengan jangkauan nilai bit 0 sampai dengan 1024 memiliki perhitungan hasil konversi ADC sebagai berikut:

$$HA = \frac{V_{out} \times 1024}{V_{ref}} \quad (1)$$

HA adalah hasil konversi ADC, Vout adalah tegangan keluaran sensor yang masuk ke pin ke ADC dalam satuan volt, dan Vref adalah tegangan referensi dalam satuan volt.

Perhitungan kenaikan tegangan tiap bit-nya untuk ADC dengan n sebagai mode bit ADC:

$$V_{bit} = \frac{V_{ref}}{ADC_{max}} \quad (2)$$

Vbit adalah kenaikan tegangan tiap bit dalam volt, Vref adalah tegangan referensi dalam volt, ADCmaks adalah jangkauan maksimum ADC dengan mode 10 bit sehingga besar ADCmaks sama dengan 1024.

**B. Rate-Gyroscope**

Rate-gyroscope adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur rotasi benda, benda dikatakan berotasi jika benda tersebut bergerak pada sumbunya [5].

Prinsip kerja rate-gyroscope sama seperti gasing. Jika pusing (berputar pada sumbunya) gasing melambat, gasing itu miring ke samping. Gaya gravitasi menarik gasing ke bawah, tetapi gasing itu tidak jatuh. Gasing berputar melambat di sekeliling titik keseimbangannya. Benda yang berputar mengubah gaya vertikal gravitasi menjadi gerakan horisontal, fenomena seperti itu disebut dengan presisi [6].

Pengukuran kecepatan sudut membutuhkan alat yang dapat merubah kecepatan sudut menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisis besar kecepatan sudutnya, alat tersebut adalah sensor rate-gyroscope. Berdasarkan datasheet, persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan keluaran dari sensor rate-gyroscope sebagai berikut:

$$V_{out} = V_o + (Sv \times \omega) \quad (3)$$

Vout adalah tegangan keluaran dalam satuan V, Vo adalah tegangan keluaran statis (saat kecepatan sudut nol) dalam V, Sv (scale factor) adalah faktor skala dalam satuan V/deg/s, dan ω adalah kecepatan sudut atau angular velocity dalam satuan deg/s.

Perubahan temperatur mempengaruhi semua piranti elektronik dan dapat mengakibatkan perubahan arus offset dan tegangan offset, istilah ini disebut dengan geseran (drift) [7]. Keluaran dari sensor tidak murni nilai dari sensor tetapi ada noise, bias, dan drift dari sensor yang terbawa dan dikuatkan juga sampai pada output sistem [3]. Tingkat eksitasi atau percepatan dari sensor tidak mempengaruhi bias [8]. Noise yang disebabkan karena perubahan temperatur disebut dengan drift noise yang memiliki frekuensi rendah, sehingga untuk mengurangi noise tersebut digunakan low pass filter [5]. Pengkondisi sinyal LPF (Low Pass Filter) yang berfungsi melewatkan sinyal pada frekuensi rendah agar keluaran sensor rate-gyroscope lebih stabil. Rangkaian LPF yang digunakan adalah rangkaian LPF orde 1. Perhitungan frekuensi cut-off untuk orde 1 (kutub tunggal) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

fc adalah frekuensi cut-off. R adalah nilai resistansi yang digunakan. C adalah nilai kapasitansi yang digunakan.

**C. Accelerometer**

Accelerometer adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, dan juga untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Sensor accelerometer mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya [9].

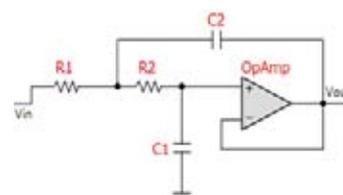
Prinsip kerja accelerometer berdasarkan hukum fisika bahwa apabila suatu konduktor digerakkan melalui suatu medan magnet, atau jika suatu medan magnet digerakkan melalui suatu konduktor, maka akan keluar suatu tegangan induksi pada konduktor tersebut. Accelerometer yang diletakan di permukaan bumi dapat mendeteksi percepatan 1 g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikalnya, untuk percepatan yang dikarenakan oleh pergerakan horisontal, maka accelerometer akan mengukur percepatannya secara langsung ketika bergerak secara horisontal.

Pengukuran percepatan suatu benda membutuhkan alat yang dapat merubah percepatan benda tersebut menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisis besar percepatannya, alat tersebut adalah sensor accelerometer. Menurut [10], persamaan yang digunakan untuk menghitung percepatan dari keluaran sensor accelerometer sebagai berikut:

$$a = \frac{V_{out} - V_{off}}{S} \quad (5)$$

a adalah percepatan benda dalam satuan g (gravitasi), Vout adalah tegangan keluaran sensor accelerometer dalam satuan volt, Voff adalah tegangan offset dalam satuan volt, S atau sama dengan ΔV/g adalah sensitifitas sensor atau kenaikan tegangan keluaran sensor tiap 1 g atau sama dengan 9,8 m/s<sup>2</sup>.

Saat accelerometer dalam keadaan diam, keluaran sensor akan menghasilkan tegangan offset yang besarnya setengah dari tegangan masukan sensor. Tegangan offset accelerometer dipengaruhi oleh orientasi sensor dan percepatan statis tiap sumbu akibat gaya gravitasi bumi. Percepatan yang bernilai positif memiliki sinyal keluaran yang terus meningkat di atas tegangan offset, sedangkan untuk percepatan yang bernilai negatif sinyal keluaran akan semakin menurun di bawah tegangan offset [11]. Pengujian accelerometer menggunakan rangkaian LPF orde 2 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Low Pass Filter Orde 2

Berdasarkan (Gambar 1) maka perhitungan frekuensi cut-off untuk orde 2 (kutub 2) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (6)$$

$f_c$  adalah frekuensi cut-off. R1 dan R2 adalah nilai resistansi yang digunakan. C1 dan C2 adalah nilai kapasitansi yang digunakan.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

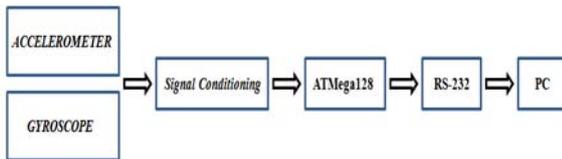
Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Diagram Blok Penelitian

Perancangan alat bertujuan mencari unsur yang diperlukan pada penelitian ini, baik dalam bentuk software ataupun hardware. Alat dibuat berdasarkan unsur-unsur yang telah diperoleh dari tahap perancangan alat. Pengujian alat menggunakan RFInterm untuk membaca data sensor dan menyimpannya dalam bentuk notepad selanjutnya dimodelkan dalam bentuk grafik menggunakan Matlab untuk dianalisa akurasi.

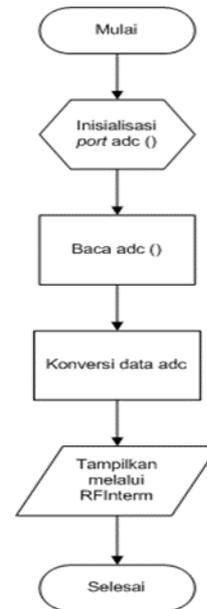
Alat yang dibuat bekerja seperti diagram blok hardware pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Hardware

Sensor accelerometer dan rate-gyroscope yang digunakan memiliki tegangan keluaran DC analog sehingga harus melewati signal conditioning sebelum masuk ke mikrokontroler yang tujuannya untuk mengkondisikan tegangan sesuai yang diinginkan. Seperti dalam diagram blok hardware (Gambar 3), perubahan sinyal analog ke sinyal digital membutuhkan ADC (Analog to Digital Converter) yang terdapat pada mikrokontroler ATmega128. Data sensor dikirimkan secara serial menggunakan jalur RS-232. Selanjutnya data ditampilkan melalui komputer menggunakan RFInterm dan disimpan dalam bentuk notepad untuk diplot dalam bentuk grafik menggunakan matlab.

Flowchart (Gambar 4) menjelaskan langkah pemrograman sensor dengan keluaran analog yang terintegrasi ke mikrokontroler dan ditampilkan menggunakan RFInterm, flowchart-nya sebagai berikut:

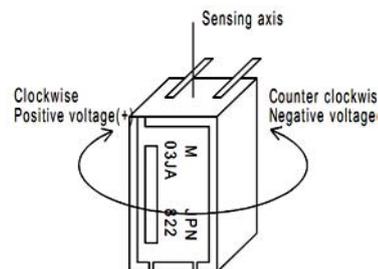


Gambar 4. Flowchart Pemrograman Sensor

Sensor accelerometer MMA7260Q dan rate-gyroscope JPN ENC-03JA adalah sensor yang memiliki tegangan keluaran DC analog yang membutuhkan ADC untuk diubah menjadi tegangan digital untuk selanjutnya dikonversi dalam satuan m/s<sup>2</sup> (accelerometer) dan deg/s (rate-gyroscope). Data ADC yang telah dikonversi, selanjutnya ditampilkan secara serial menggunakan RFInterm.

Mikrokontroler ATmega128 digunakan pada penelitian ini memiliki beberapa fungsi, diantaranya sebagai pengolah data sensor dan pengatur jalur komunikasi serial.

Sensor rate-gyroscope 1 axis digunakan untuk mengetahui kecepatan sudut. Besar tegangan keluarannya ±1,35 V saat kecepatan sudut nol. Saat diputar searah dengan jarum jam rate-gyroscope akan bernilai positif. Bentuk rate-gyroscope JPN ENC-03JA seperti Gambar 5.



Gambar 5. JPN ENC-03JA

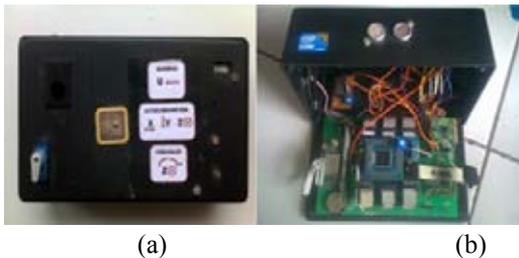
Penelitian ini menggunakan accelerometer MMA7260Q dengan mode percepatan hingga ±6 g. Sensor ini bekerja pada rentang tegangan input DC mulai dari 2,2 V sampai dengan 3,6 V. Bentuk accelerometer MMA7260Q seperti Gambar 6.



Gambar 6. Board Sensor MMA7260Q

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat yang dibuat pada penelitian ini memiliki bentuk seperti Gambar 7 di bawah ini.

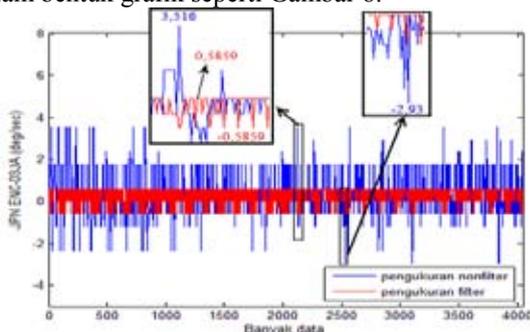


Gambar 7. Bentuk Alat, (a) Tampak Luar, (b) Tampak Dalam

Alat (Gambar 7) di dalamnya terdapat sensor rate-gyroscope yang digunakan untuk mengukur kecepatan sudut dan sensor accelerometer yang digunakan untuk percepatan linier. Beberapa sensor lainnya terdapat pada sistem yang digunakan tetapi pada tulisan ini hanya 2 sensor yang dibahas, yaitu accelerometer dan gyroscope.

A. Pengujian JPN ENC-03JA (Rate-Gyroscope)

Kecepatan sudut yang diinginkan pada kondisi statik yaitu 0 deg/s namun pada kenyataannya pada kondisi statik besar kecepatan sudut yang terukur menggunakan sensor rate-gyroscope JPN ENC-03JA tidak 0 deg/s. Data keluaran dari sensor rate-gyroscope masih terdapat noise yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada keluaran sensor rate-gyroscope sehingga diperlukanlah suatu rangkaian filter berupa pengkondisi sinyal LPF (Low Pass Filter) yang berfungsi sebagai filter agar keluaran sensor rate-gyroscope lebih stabil. LPF yang digunakan pada penelitian ini LPF orde 1 dan memiliki frekuensi cut-off sebesar 1 Hz. Perbandingan data kecepatan sudut hasil pengukuran menggunakan LPF dengan pengukuran tanpa filter dengan kecepatan sudut yang diinginkan digambarkan dalam bentuk grafik seperti Gambar 8.

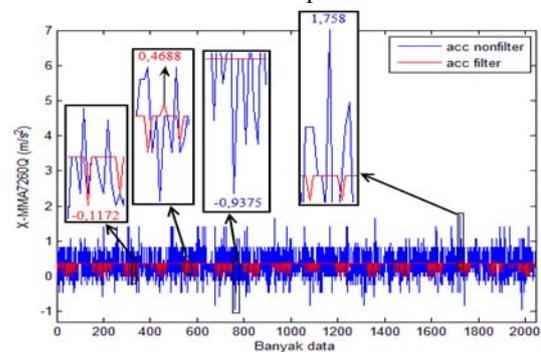


Gambar 8. Grafik Pengujian Gyroscope pada Kondisi Statik

Gambar 8 adalah grafik yang menunjukkan antara hasil pengukuran kecepatan sudut tanpa filter dengan hasil pengukuran filter menggunakan LPF orde 1 dengan frekuensi cut-off 1 Hz dengan hasil kecepatan sudut yang diinginkan dengan selisih kecepatan sudut rata-rata sebesar 0,445104 deg/s (tanpa filter) dan 0,33122 deg/s (filter) dari kecepatan sudut yang diinginkan.

B. Pengujian MMA7260Q (Accelerometer)

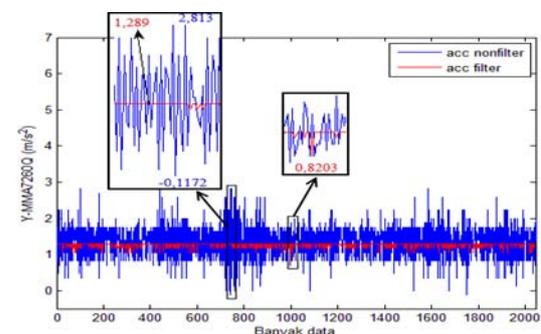
Misalnya percepatan yang diinginkan sebesar 0 m/s<sup>2</sup>, namun pada kenyataannya besar percepatan yang terukur tidaklah selalu stabil di nilai 0 m/s<sup>2</sup>. Perbandingan data percepatan hasil pengukuran menggunakan LPF orde 2 dengan pengukuran tanpa filter dari sumbu X accelerometer seperti Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengujian Sumbu X Accelerometer

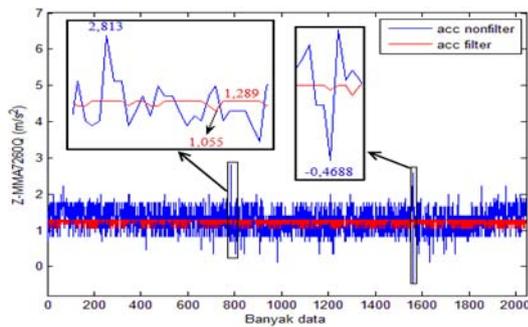
Gambar 9 adalah grafik pengujian sumbu X accelerometer yang menunjukkan antara hasil pengukuran percepatan tanpa filter dengan hasil pengukuran filter menggunakan LPF orde 2 dengan frekuensi cut-off 1,94 Hz dengan percepatan rata-rata yang dihitung dengan Matlab sebesar 0,331152 m/s<sup>2</sup> (tanpa filter) dan 0,320916 m/s<sup>2</sup> (filter).

Pengujian berikutnya adalah sumbu Y accelerometer seperti Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Pengujian Sumbu Y Accelerometer

Gambar 10 adalah grafik pengujian sumbu Y accelerometer dengan percepatan rata-rata sebesar 1,35935 m/s<sup>2</sup> (tanpa filter) dan 1,26504 m/s<sup>2</sup> (filter).



Gambar 11. Grafik Pengujian Sumbu Z Accelerometer

Pengujian sumbu Z accelerometer seperti Gambar 11 di atas dengan sensor MMA7260Q memperoleh percepatan rata-rata sebesar 1,2831 m/s<sup>2</sup> (tanpa filter) dan 1,23884 m/s<sup>2</sup> (filter).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa selisih kecepatan sudut gyroscope dari kecepatan sudut yang diinginkan 0,445104 deg/s (tanpa filter) dan 0,33122 deg/s (filter). Selisih percepatan sumbu X accelerometer sebesar 0,331152 m/s<sup>2</sup> (tanpa filter) dan 0,320916 m/s<sup>2</sup> (filter) dari percepatan yang diinginkan, sumbu Y 1,35935 m/s<sup>2</sup> (tanpa filter) dan 1,26504 m/s<sup>2</sup> (filter), dan sumbu Z 1,2831 m/s<sup>2</sup> (tanpa filter) dan 1,23884 m/s<sup>2</sup> (filter). Sehingga nilai kecepatan sudut dan percepatan linier menggunakan LPF lebih mendekati ketelitian. Error pada keluaran sensor analog dapat diperkecil dengan menggunakan filter. Penggunaan filter dapat dikembangkan lagi agar nilai data sensor mendekati nilai sesungguhnya.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riyadi, M., Wahyudi, dan I, Setiawan. (2011). Pendeteksi Posisi Menggunakan Sensor Accelerometer MMA7260Q Berbasis Mikrokontroler ATmega32. Tugas Akhir Teknik Elektro. UNDIP. Semarang.
- [2] Wiryadinata, R., dan W, Widada. (2008). Error Correction Of Rate-Gyroscope Calibration For Inertial Navigation System Algorithm. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI). Yogyakarta.
- [3] Wiryadinata, R., W. Widada, T.S. Widodo, dan Sunarno. (2009). Design and Testing of Six DOF IMU v2.1 Carried in Vehicle for INS Algorithm. Proceedings of CITEE 2009. UGM. Yogyakarta.
- [4] Budiharto, W. (2008). Membuat Sendiri Robot Cerdas. Penerbit PT Elex Media Komputindo. Jakarta.
- [5] Prisantono, R. Wiryadinata, T.S. Widodo, A.P. Adi, dan W. Widada. (2009). Analisa Sensor Rate-

Gyroscope untuk Mendeteksi Gerak Rotasi Roket. Proceedings of CITEE 2009. UGM. Yogyakarta.

- [6] Kindersley, D. (1992). Jendela IPTEK : Gaya Dan Gerak. (Terjemahan). Penerbit Balai Pustaka. Jakarta.
- [7] Koestoer, R. A. (2004). Pengukuran Teknik. Penerbit Termprima Utama. Jakarta.
- [8] Kapaldo, A. J. (2005). Gyroscope Calibration and Dead Reckoning for an Autonomous Underwater Vehicle. Thesis report. Virginia.
- [9] Alma'i, V.R., Wahyudi, dan I, Setiawan. (2011). Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi. Skripsi Teknik Elektro FT Universitas Diponegoro. Semarang.
- [10] Tuck, K. (2007). Implementing Auto-Zero Calibration Technique for Accelerometers. Application Note 3447. Freescale Semiconductor.
- [11] Gani, R., Wahyudi, dan I, Setiawan. (2011). Perancangan Sensor Gyroscope dan Accelerometer untuk Menentukan Sudut dan Jarak. Tugas Akhir Teknik Elektro. UNDIP. Semarang

# Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan

Irma Handayani<sup>1</sup>, Alimudin<sup>2</sup>, Suhendar<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro FT. UNTIRTA Cilegon, Indonesia

Jl. Jenderal Sudirman KM 03. Kampus Fakultas Teknik UNTIRTA, Cilogen, Banten

<sup>1</sup>holanho\_naboi@yahoo.com, <sup>2</sup>alimudyuntirta@yahoo.co.id, <sup>3</sup>rairaka246@yahoo.co.id

**Abstrak**--Studi tentang prediksi ( peramalan ) beban listrik dalam ating kelistrikan di Indonesia dapat dilakukan dengan menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) – backpropagation. Ramalan beban listrik 5 tahun yang akan ating sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter, khususnya untuk wilayah Jakarta utara. Dalam studi ini dipilih data yang diperkirakan mempengaruhi prediksi ( peramalan ) beban tenaga listrik untuk 5 tahun yang akan ating, yang dalam hal ini menjadi data masukan JST, yaitu: PDRB, Jumlah Penduduk, Jumlah kepala Rumah tangga, Jumlah konsumen pelanggan Listrik, Daya Tersambung, Jumlah Industri besar dan Kecil, Temperatur. Data yang dipergunakan untuk pembelajaran adalah data sebenarnya (actual data), mulai tahun 2000 sampai dengan 2009. Pada penelitian ini, prosedur yang digunakan, yaitu perumusan masalah, pengumpulan data dan analisis data yang terdiri dari perancangan model peramalan Beban Jangka Pendek menggunakan jaringan syaraf tiruan backpropagation. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan backpropagation yang digunakan untuk memprediksi beban puncak dari 2010 sampai tahun 2014. maka hasil peramalan tahun 2010 sebesar 614.670,384 MW, tahun 2011 sebesar 642.382,208 MW, pada tahun 2012 sebesar 817,602.5 MW, tahun 2013 sebesar 7,007.28 MW, dan pada tahun 2014 sebesar 648,365.808 MW

**Kata Kunci:** Peramalan Beban Listrik, Jaringan Syaraf Tiruan, Back propogation

**Abstract**--Studi about load forecasting on power system in Indonesia get by use of been done Artificial neural Network (ANN) – backpropagation. Forecasting load for 5 next years really been regarded by severally parameters, notably for north Jakarta region. In these data studi that presumed regards to load predict (forecasting) for 5 next years, one that in such event as ANN entry data, which is: PDRB, Population, Total Family head, Total Electric customer consumer, Energy most interlocking, Total Industry outgrows and little, and Temperature. Used to data learning is data actually (real data), beginning 2000 until 2009. On this research, procedure that is utilized, which is problem formulation, data collecting and analisis is consisting of data load forecasting Shorting-range to utilize backpropagation's Artifial Neural Network. Of count result by use of backpropagation's Artificial Neural Network to predict top load of 2010 until years 2014. Therefore load forecasting result for 2010 is 614.670,384 MW, in 2011 is 642.382,208 MW, on year 2012 is 817,602. 5 MW, year 2013 is 7,007. 28 MW, and on year 2014 is 648,365. 808 MW.

**Keyword:** Electric Load Forecasting, Neural Networks, Backpropogation.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Listrik merupakan bentuk energi yang mengalir melalui jaringan kabel dan merupakan bentuk energi yang paling penting bagi manusia saat ini. Semakin bertambahnya konsumsi listrik perkapita di seluruh dunia mengindikasikan adanya kenaikan standar kehidupan manusia. Listrik dapat membantu manusia melakukan berbagai aktivitas sehari – hari. Pemanfaatan secara optimum energi listrik ini oleh masyarakat dapat dibantu dengan manajemen sistem distribusi yang efektif. (5)

Ketersediaan energi listrik merupakan aspek yang sangat penting bahkan merupakan suatu parameter untuk mendukung keberhasilan pembangunan suatu daerah. Pengelolaan sumber daya energi listrik yang tepat dan terarah dengan jelas akan menjadi potensi yang dimiliki suatu daerah berkembang dan termamfaatkan secara optimal. Ketersediaan energi listrik yang memadai dan tepat sasaran akan memacu perkembangan pembangunan daerah seperti sektor industri, komersil, pelayanan publik dan bahkan kualitas hidup masyarakat dengan semakin banyaknya warga yang menikmati energi listrik. Kemudian secara langsung maupun secara

tidak langsung, hal ini akan mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan tingkat kesejahteraan masyarakat. Atas dasar pertimbangan untuk pemenuhan energi listrik, maka kebutuhan listrik pada tahun mendatang terlebih dahulu diperkirakan besar daya listrik yang diperlukan konsumen sebelum dibangun pusat – pusat pembangkit tenaga listrik. Untuk itulah peramalan listrik perlu dibuat sesuai pedoman dalam merencanakan industri listrik di masa yang akan datang.

Oleh karena itu penulis menggunakan aplikasi dengan metode Jaringan Syaraf Tiruan dengan pembelajaran Backpropagation. Keuntungan yang didapatkan dari hasil pembuatan sistem ini adalah mempunyai penyedia listrik untuk memprediksikan kebutuhan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen listrik. Karakteristik beban hari libur berbeda dengan beban biasa. Ketidakpastian beban ini, jika tidak diperkirakan, akan sangat mempengaruhi operasi unit-unit gardu yang ada. Pada penelitian ini diusulkan peramalan dengan metode artificial neural network. Kelebihan metode ini dapat dengan mudah memformulasikan pengalaman dan pengetahuan peramal dan sangat fleksibel.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah “Mengetahui seberapa besar kebutuhan beban listrik di wilayah Jakarta utara untuk 5 tahun yang akan datang dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan pada algoritma backpropagation”.

**1.2 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui kemampuan Jaringan syaraf tiruan dengan metode backpropogation dalam memprediksi beban tenaga listrik di wilayah Jakarta utara selama 5 tahun.
2. Dapat mengetahui seberapa besar kesalahan kemampuan prediksi Jaringan syaraf tiruan dengan metode pembelajaran backpropogation.
3. Dapat menganalisa dan mengetahui kebutuhan energi listrik khususnya di wilayah Jakarta utara dalam jangka 5 tahun ke depan dengan Jaringan syaraf tiruan.

**II. LANDASAN TEORI**

**2.1.1 Jaringan Syaraf Tiruan**

Jaringan syaraf (Neural Network) dimotivasi dari persepsi bahwa otak manusia sangatlah berbeda dengan komputer digital konvensional. Otak manusia adalah sebuah komputer yang kompleks, nonlinear dan paralel ( sistem pemrosesan informasi ). Otak manusia memiliki kemampuan untuk komputasi tertentu seperti pengenalan bentuk, persepsi, dan kontrol motor melalui konstituent struktural yang dimiliki, yang dikenal sebagai neuron. Dimana melalui neuron inilah pemrosesan komputasi tersebut lebih cepat dari komputer tercepat yang ada sampai saat ini. (Simon Haykin, 1994) (1)

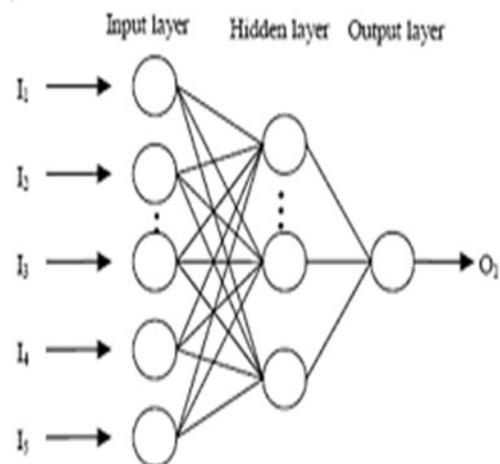
Oleh karena itu, menurut Fausett, Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Artificial Neural Network (ANN) dikembangkan berdasarkan generalisasi model matematis dari kesadaran manusia atau syaraf biologis berdasarkan asumsi sebagai berikut : (3)

1. Proses informasi terjadi pada banyak elemen sederhana yang dikenal dengan neuron.
2. Sinyal melewati neuron melalui link koneksi.
3. Setiap link koneksi memiliki bobot sendiri, dimana neural net umum , mengalikan dengan sinyal yang ditransmisikannya.
4. Setiap neuron diaplikasikan ke dalam fungsi aktivasi (biasanya non linear) terhadap net inputnya (jumlah dari bobot sinyal input) untuk menentukan sinyal outputnya. (3)

**2.1.2 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan**

Operasional Jaringan Syaraf Tiruan dapat dinyatakan dalam beberapa lapisan yang antara lain:

1. Lapisan masukan (input layer): pada lapisan ini berfungsi untuk menampung dan menyebarkan sinyal yang ada ke lapisan berikutnya.
2. Lapisan tersembunyi atau lapisan dalam (hidden layer ): lapisan ini berada di antara lapisan masukan dan lapisan keluaran. Lapisan ini berfungsi mengolah sinyal yang ada dalam bentuk fungsi transformasi neuron.
3. Lapisan keluaran (output layer): Sebagai lapisan pengeluaran hasil operasi Jaringan Syaraf Tiruan. (7)



Gambar 2.1 Blok Diagram Algoritma BackPropagation

**Metode Backpropagation**

Backpropagation merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma backpropagation menggunakan error output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur ( backward ). Untuk mendapatkan error ini, tahap perambatan maju ( forward propagation ) harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi yang dapat didiferensiasikan. (13)

**2.2 Kajian Pustaka**

Penelitian ini dilakukan dengan mengacu beberapa penelitian sebelumnya yaitu :

1. Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan Beban Tenaga Listrik Jangka Panjang Pada Sistem Kelistrikan Di Indonesia ( Arif Heru Kuncoro Dan Rinaldy Dalimi , UI, 2005 )
2. Peramalan Kebutuhan Beban Jangka Pendek Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan ( Dinar Artika Sari , UNDIP,2007 )
3. Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Peramalan ( Siana Halim dan A.M.Wibisono , Universitas Kristen Petra )
4. Peramalan Beban Tenaga Listrik di PT.PLN pada Wilayah Kota Tangerang Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan dengan Algoritma Backpropogation ( Indah Noviani , TE 2005 )

Sedangkan Penelitian ini dilakukan di tempat penelitian yang berbeda yaitu di PT.PLN Jakarta, khususnya di APJ Jakarta Utara, dan dengan parameter-parameter yang berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya.

**III. METODELOGI PENELITIAN**

**Pemilihan Metode Peramalan Kebutuhan Tenaga Listrik**

Metode yang digunakan adalah metode Jaringan Syaraf Tiruan yang menggunakan pembelajaran backpropagation. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan pembelajaran backpropagation merupakan metode yang bagus serta cocok yang dapat menemukan hubungan non-linear antara beban dan faktor-faktor ekonomi yang bervariasi dan faktor-faktor lainnya, serta dapat melakukan penyesuaian terhadap perubahan-perubahan yang terjadi. (3)

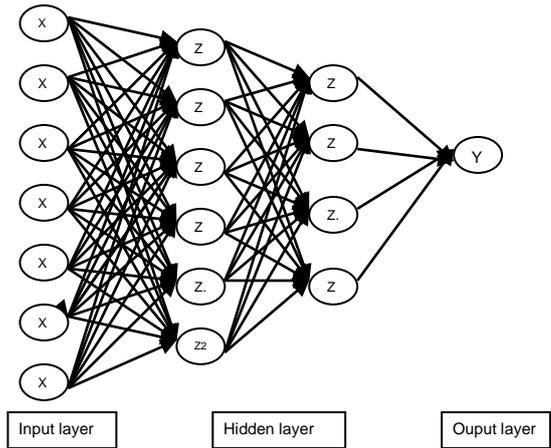
**Diagram Alir Proses Peramalan Kebutuhan Tenaga Listrik**

Proses peramalan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Mulai.
2. Mengumpulkan data statistik masa lalu.
3. Menganalisa data tersebut dan mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh secara statistik terhadap kelompok.
4. Mencari model matematis yang menyatakan hubungan antara peubah yang diestimasi. Dengan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan dengan pembelajaran back propagation.
5. Menetapkan model dengan uji statistik yang paling signifikan (bahasa lain).

6. Mendapatkan hasil ramalan.

**3.3 Arsitektur Jaringan**



**IV. Hasil dan Pembahasan**

**4.1 Data Pelatihan**

Pembuatan struktur dari ANN ke dalam program harus diatur terlebih dahulu, dalam hal ini pengaturannya adalah dengan memasukan 560 data maka berarti terdapat sekitar 7 neuron sebagai input, penentuan banyaknya hidden layer ini berdasarkan pada trial dan error agar didapatkan jaringan yang terbaik dan sesuai untuk pelatihan data peramalan beban tenaga listrik ini.

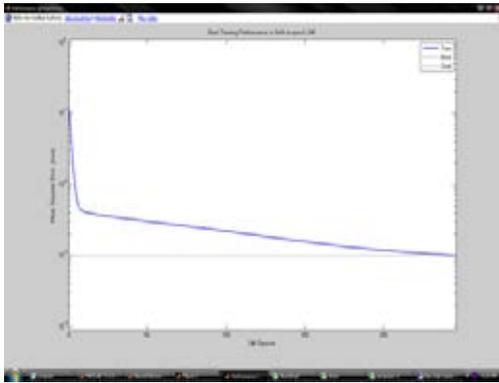
Beberapa parameter pelatihan yang diatur sebelum program pelatihan dijalankan agar diperoleh hasil yang optimal, parameter tersebut antara lain:

1. net.trainParam.show: dipakai untuk menampilkan frekuensi perubahan mse (default: setiap 25 epochs), pada program yang dibuat frekuensi perubahannya setiap 50 epoch.
2. net.trainParam.epochs : dipakai untuk menentukan jumlah epoch maksimum pelatihan (default: 100 epochs), pada program yang dibuat untuk pelatihan pertama maksimum 20000 epochs.
3. net.trainParam.goal: dipakai untuk menentukan batas nilai mse agar iterasi dihentikan. Iterasi akan dihentikan jika mse lebih kecil dari batas yang ditentukan dalam net.trainParam.goal atau jumlah epoch mencapai batas yang ditentukan dalam net.trainParam.epochs. Pada program pelatihan yang dijalankan, untuk pelatihan pertama iterasi berhenti pada epoch yang kecil dan diperoleh nilai mse yang diinginkan yaitu sebesar 1.10-3. Karena pada pelatihan pertama jaringan telah mencapai nilai mse yang ditentukan, maka pelatihan kedua tidak dilakukan.
4. net.trainParam.lr : dipakai untuk menentukan laju pemahaman ( $\alpha$  = learning rate). Default = 0.01. Semakin besar nilai  $\alpha$ , semakin cepat pula proses pelatihan. Akan tetapi jika  $\alpha$  terlalu besar, maka algoritma menjadi tidak stabil dan mencapai titik

minimum lokal. Untuk pelatihan pertama nilai learning rate yang ditentukan sebesar 0.001. ( 3 )

Data pelatihan ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil yang baik, namun aspek pembagian data harus ditekankan agar jaringan mendapat data pelatihan yang secukupnya. Bilangan data yang kurang untuk proses pelatihan akan menyebabkan jaringan mungkin tidak dapat mempelajari taburan data dengan baik. Sebaliknya, data yang terlalu banyak untuk proses pelatihan akan melambatkan poses pemusatan (konvergensi). Masalah overtraining (data pelatihan yang berlebihan) akan menyebabkan jaringan cenderung untuk menghafal data yang dimasukan daripada mengeneralisasi.

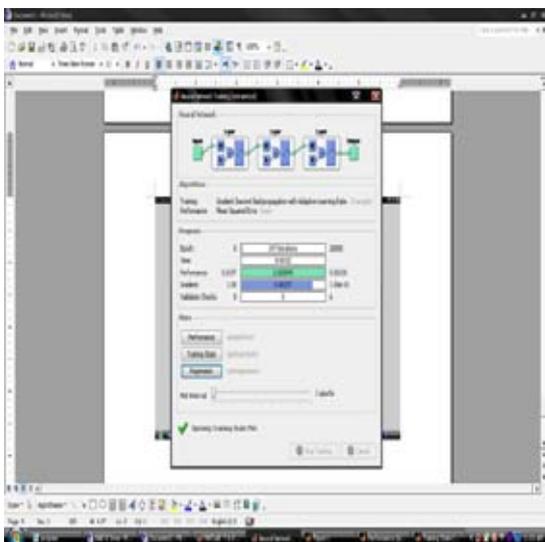
Pada gambar dibawah ini merupakan hasil dari pelatihan terbaik:



Gambar 4.1 Grafik Performance Pelatihan Beban Puncak Jangka Pendek

### 4.2 Hasil Pelatihan JST Back Propagation

Program JST backpropagation untuk peramalan beban tenaga listrik menggunakan 7 data input dan 1 data target. Terdiri dari 7 unit masukan dan dua layer pada hidden layer, dan 1 unit pada layer keluaran. Fungsi aktivasi dari unit masukan ke hidden layer adalah sigmoid biner.



Gambar 4.12 ‘best training dan gardient’ pada tabel no 4 , 2 lapisan tersembunyi 20 dan 5 , dengan learning rate 0.6 dan 0.3 dengan fungsi aktivasi tansig, logsig , logsi

Pada pelatihan dengan iterasi terbaik dengan kondisi tanpa isolasi menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner ( logsig ) dan sigmoid bipolar ( tansig ) , Sigmoid biner dengan range 0 sampai 1 sedangkan sigmoid bipolar dengan range 1 sampai -1 . kedua fungsi aktivasi ini biasa digunakan untuk jaringan syaraf tiruan yang dilatih dengan menggunakan metode backpropogation. Fungsi aktivasi identitas menghasilkan nilai MSE yang hampir mencapai target . ini dipengaruhi karena masukan dari fungsi aktivasi sama dengan keluarannya.

### 4.3 Hasil Pengujian JST BackPropagation

Test No.	Type	Start Modified	MSE
1	Mila	14/08/2011 10:30:44	0.3350
2	Mila	24/08/2011 10:22:43	0.3020
3	Mila	24/08/2011 10:22:43	0.2940
4	Mila	24/08/2011 10:22:43	0.4600
5	Microsoft Excel	4/07/2011 9:40:57	0.4750
6	Microsoft Excel	7/04/2011 9:42:57	0.5330
7	Mila	24/08/2011 17:02:57	0.5430
8	Microsoft Excel	4/07/2011 9:11:57	0.5620
9	Mila	24/08/2011 5:51:59	0.6040
10	Microsoft Excel	10/08/2011 9:40:57	0.6400
11	Microsoft Excel	22/08/2011 10:02:57	0.6220
12	Microsoft Excel	10/08/2011 14:45:59	0.6450
13	Microsoft Excel	22/08/2011 10:02:57	0.6450
14	Mila	24/08/2011 8:02:59	0.7620
15	Mila	19/08/2011 8:02:59	0.8090
16	Mila	24/08/2011 10:11:59	0.8000
17	Mila	20/08/2011 10:10:59	0.8000
18	Mila	24/08/2011 10:10:59	0.8000

Tabel perbandingan dan error yang di dapat pada peramalan beban Tenaga listrik :

Data	Aktual	Prediksi	Standar Deviasi (STDEV)
1.	0.1	0.101	0.00714
2.	0.102	0.112	0.00700
3.	0.114	0.141	0.01902
4.	0.163	0.152	0.00770
5.	0.175	0.156	0.01434
6.	0.248	0.222	0.01830
7.	0.245	0.251	0.00421
8.	0.287	0.26	0.01901
9.	0.335	0.448	0.07990
10.	0.382	0.43	0.03391
11.	0.394	0.46	0.04660
12.	0.46	0.499	0.02752
13.	0.475	0.5916	0.08231
14.	0.533	0.6014	0.04812
15.	0.543	0.624	0.05721
16.	0.563	0.634	0.05022
17.	0.606	0.624	0.01272
18.	0.64	0.706	0.04666
19.	0.632	0.695	0.04451
20.	0.643	0.724	0.05727
21.	0.725	0.698	0.01909
22.	0.762	0.687	0.05303
23.	0.809	0.748	0.04313
24.	0.9	0.7804	0.01414

4.4 Hasil peramalan beban puncak

Data-data historis beban puncak diambil selama 10(sepuluh) tahun, yaitu beban pada hari libur di PT. PLN Jakarta Raya. Epochs maksimal yang digunakan adalah 20000 dengan goal 1.10-3 dan learning rate 0,001.

Pada tabel dibawah ini merupakan hasil peramalan untuk beban puncak selama 5 tahun selengkapnya adalah sebagai berikut :

NO.	Tahun	Beban Puncak ( A )
1.	2010	38,416.899
2.	2011	40,148.888
3.	2012	40,880,125
4.	2013	41,437.955
5.	2014	40,522.863

Dari hasil data peramalan tersebut maka dapat dikatakan jaringan mampu mempelajari taburan data sebanyak 560 pola data yang digunakan begitu juga jaringan mampu mempelajari taburan data dengan baik berdasarkan 140 data yang digunakan. Jaringan juga mampu menemukan jawaban terbaik sehingga mampu meminimalkan fungsi biaya. Dalam hal ini jawaban yang dimaksud adalah hasil prediksi atau hasil peramalan di 5 tahun mendatang , dimana ini berguna untuk mengetahui beban puncak pada tahun mendatang ,sehingga dapat mengetahui berapa banyak energi yang akan terpakai.

V. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pelatihan dan pengujian pada permalan beban puncak pada tahun 2010 – 2014 dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan adalah sebagai berikut:

1. prediksi beban puncak jangka pendek dari tahun 2010 -2014 di UPJ Jakarta Utara dapat dilakukan dengan menggunakan metode jaringan syaraf tiruan backpropogation.
2. Jaringan sangat baik dalam melakukan klasifikasi pola terhadap data pelatihan yang berjumlah 560 pola data dan pada pengujian sebanyak 140 pola data. Atau dapat dikatakan 80% dari total data digunakan untuk pelatihan sedangkan sisanya 20 % dari total data digunakan untuk proses pengujian.
3. penggunaan metode pembelajaran backpropogation sangat cocok pada penelitian ini, namun metode ini ternyata memiliki kelemahan yakni proses pelatihan memerlukan waktu yang lama karena banyak membutuhkan banyak iterasi sampai mencapai keadaan stabil.
4. Dari data pelatihan didapatkan perbandingan error antara actual atau dalam hal ini dimaksud data PLN dengan data prediksi atau yang dimaksud dengan data hari yang diberikan jaringan , dimana error tidak besar atau hasilnya mendekati data actual ( target ).
5. Jaringan Syaraf Tiruan dapat menciptakan suatu pola pengetahuan melalui pengaturan diri atau kemampuan belajar ( self organizing ).

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fausett, Laurence, Fundamental of Neural Network, Prencinte-hall,NJ, 2004
- [2] Semarang, Dinar Atika Sari Peramalan kebutuhan Beban Jangka Pendek menggunakan Jaringan syaraf Tiruan Bacpropogation, 2008
- [3] Kusumadewi, Sri, (2004), Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excel Link, Graha Ilmu.
- [4] Djiteng M,(2005), Pembangkitan energi Listrik.jakarta, Erlangga
- [5] A Hadi, Pabla AS,1999).Distribusi Daya Listrik.Jakarta.Penerbit Elangga
- [6] Kadir , A, Ditribusi dan Utilasi Tenaga Listrik.Jakarta, Universitas Indonesia,2000.p.124
- [7] Purnomo Hery Mauridhi, 2006, Supervised Neural Networks, Jakarta.Graha Ilmu
- [8] Katalog Badan Pusat Statistik, 2000-2009.Jakarta Dalam Angka..
- [9] Katalog Badan Pusat Statistik, 2000-2009.Jakarta Utara Dalam Angka.

- 
- [10] J\_j\_siang,( 2004 ),jaringan syaraf tiruan dan pemogramannya menggunakan matlab. Yogyakarta.
  - [11] Anonim, statistik PLN 2005/2009. PT.PLN (Persero), Jakarta
  - [12] Suswanto Daman (2005), Sistem Distribusi Lstrik.Jakarta
  - [13] Yani Eli , ( 2005 ).Pengantar Jaringan Syaraf Tiruan.
  - [14] Pasini.J Anhtony. Guide to Electrical Power Distribution System
  - [15] William D Stevenson,Jr. (1983).Analisis Sistem Tenaga Listrik.Jakarta,Erlangga.

# Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)

Herudin

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

h3ru3rl1@yahoo.co.id

**Abstrak**--Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan, di antaranya bentuk kompak, dimensi kecil, mudah untuk difabrikasi, mudah dikoneksikan dan diintegrasikan dengan divais elektronik lain. Salah satu aplikasi antena mikrostrip adalah untuk komunikasi data. Pada penelitian ini dirancang suatu antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 2,6 GHz untuk aplikasi LTE(Long Term Evolution). Perancangan antena ini menggunakan software AWR Microwave Office 2009. Setelah dilakukan simulasi diperoleh beberapa parameter antena yaitu: return loss sebesar -22,16 dB, VSWR sebesar 1,169 dB. Dari hasil simulasi juga diperoleh bahwa pola radiasi antena bersifat omni directional dan impedansi masukan antena mendekati 50 Ohm.

**Kata kunci** : Antena Mikrostrip, Return loss, VSWR, LTE

**Abstract** – Microstrip antenna has several advantages, including the form of compact, small dimensions, easy to manufactured, easily connected and integrated with other electronic devices. One application is the microstrip antenna for data communication. In this study, designed a microstrip antenna which works at a frequency of 2.6 GHz for the application of LTE (Long Term Evolution). The design of this antenna using AWR Microwave Office software 2009. After the simulation yielded some antenna parameters, namely: return loss of -22.16 dB, VSWR of 1.169 dB. From the simulation results also showed that the radiation pattern is omni directional antenna and antenna input impedance close to 50 Ohms.

**Keywords** : Antena Mikrostrip, Return loss, VSWR, LTE

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Telekomunikasi merupakan hal yang memegang peranan penting dalam abad ini. Dengan telekomunikasi manusia dapat saling bertukar informasi dengan siapa saja, dimana saja dan kapan saja. Seiring dengan perkembangan aktivitas manusia yang semakin mobile, maka dituntut pula suatu konsep teknologi telekomunikasi yang mampu mengimbangnya. Oleh karena itu, muncul konsep teknologi mobile wireless, dimana pada sistem komunikasi ini tidak lagi menggunakan media kabel, sehingga pengguna dapat bebas bergerak kemanapun.

Kebutuhan manusia untuk dapat melakukan komunikasi dimana saja menyebabkan teknologi komunikasi mobile wireless berkembang semakin pesat. Perkembangannya menuntut akan komunikasi yang tidak hanya terbatas pada komunikasi suara saja, akan tetapi dapat dilakukannya komunikasi berupa data multimedia dengan menggunakan peralatan wireless.

Sistem komunikasi tanpa kabel membutuhkan suatu alat yang berguna sebagai pemancar dan penerima (transmitter dan receiver). Untuk menunjang kebutuhan tersebut diperlukan suatu antena yang dapat mendukung komunikasi tanpa kabel. Salah satu jenis antena yang saat ini banyak digunakan untuk komunikasi tanpa kabel adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip memiliki

kelebihan diantaranya bentuk yang kecil, kompak, dan sederhana.

Long Term Evolution (LTE) merupakan generasi ke-empat (4G) dalam teknologi komunikasi. LTE memiliki beberapa kelebihan dibandingkan generasi sebelumnya, antara lain mampu melakukan komunikasi data lebih cepat dan akurat. Salah satu frekuensi kerja LTE adalah pada frekuensi 2,6 GHz.

### 1.2 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat menemukan suatu bentuk antena mikrostrip yang tepat dan efisien, sehingga dapat diaplikasikan pada teknologi LTE.

### 1.3 Teori Singkat

#### 1.3.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip memiliki bentuk dan ukuran yang ringkas sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi yang membutuhkan spesifikasi antena yang berdimensi kecil sehingga dapat mudah dibawa dan dapat diintegrasikan dengan rangkaian elektronik lainnya (seperti IC, rangkaian aktif, dan rangkaian pasif). Antena ini dapat diaplikasikan pada berbagai kegunaan seperti komunikasi satelit, komunikasi radar, militer, dan aplikasi bergerak (mobile) [1].

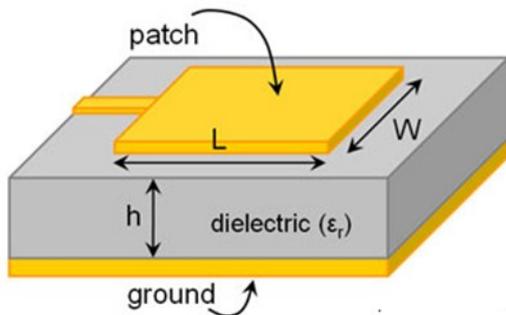
Antena mikrostrip ini sendiri memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan antena lainnya, yaitu:

1. Mudah direalisasikan dan tidak memakan biaya yang besar.
2. Mempunyai ukuran dan bentuk yang ringkas
3. Dapat dibuat untuk menghasilkan berbagai macam pola radiasi
4. Mudah dikoneksikan dan diintegrasikan dengan devis elektronik lain.

Akan tetapi selain beberapa keuntungan yang dimiliki, antenna mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

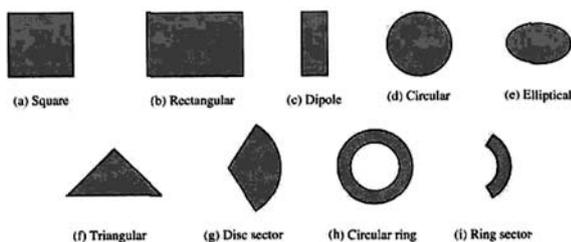
1. Mempunyai efisiensi yang rendah
2. Memiliki bandwidth yang sempit

Antena mikrostrip mempunyai 4 bagian dasar, yaitu elemen peradiasi (patch), substrat dielectric, saluran transmisi, dan bidang pentanahan (ground plane). Adapun bagian-bagian dasar dari antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagian-bagian Antena Mikrostrip

Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut sebagai radiator patch dan terbentuk lapisan logam yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasa digunakan adalah tembaga (copper) dengan konduktivitas  $5,8 \times 10^7$  S/m. Ada berbagai macam bentuk elemen peradiasi yang diantaranya adalah bentuk persegi, persegi panjang, garis tipis (dipole), lingkaran, elips, segitiga. Gambar berbagai bentuk antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Berbagai Bentuk Antena Mikrostrip

### 1.4.2 Parameter Antena

Performansi dari suatu antenna dapat dilihat dari parameter antenna itu sendiri. Ada banyak parameter dari antenna. Berikut ini akan dijelaskan beberapa parameter tersebut.

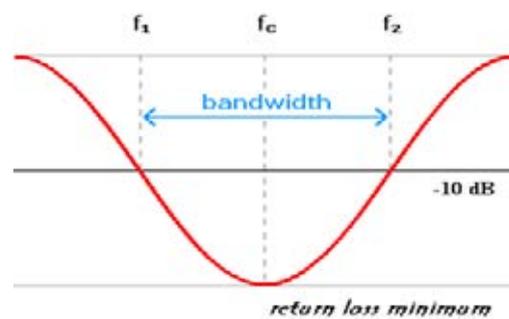
#### 1.4.2.1 Frekuensi Resonansi.

Frekuensi resonansi merupakan frekuensi kerja dari suatu antenna. Rentang frekuensi kerja dari suatu

antena dapat dilihat dari grafik VSWR dan grafik return loss. Rentang frekuensi dari suatu antenna dapat diketahui dari grafik VSWR-nya, yaitu ketika nilai VSWR-nya lebih kecil atau sama dengan 2. Sedangkan apabila menggunakan grafik return loss rentang frekuensi kerja dari suatu antenna dapat dilihat ketika nilai return loss-nya bernilai lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB.

#### 1.4.2.2 Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita frekuensi (Gambar 3) suatu antenna didefinisikan sebagai besar rentang frekuensi kerja dari suatu antenna, di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, beamwidth, polarisasi, gain, efisiensi, VSWR, return loss,) memenuhi spesifikasi standar [5]. Nilai bandwidth dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antenna sudah diketahui. Frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antenna, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antenna.



Gambar 3. Rentang Frekuensi yang Menjadi Bandwidth

Bandwidth dapat dicari dengan menggunakan Persamaan berikut ini:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \tag{1}$$

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2} \tag{2}$$

dengan :

BW = bandwidth (%)

f2 =frekuensi tertinggi (GHz)

f1 = frekuensi terendah (GHz)

fc = frekuensi tengah (GHz)

Bandwidth (BW) antenna biasanya ditulis dalam bentuk persentase bandwidth karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi.

Salah satu jenis bandwidth adalah Impedance bandwidth, yaitu rentang frekuensi di mana patch antenna berada pada keadaan matching dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai matching ini dapat dilihat dari return loss dan VSWR. Nilai return loss dan VSWR yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dB dan 2, secara berurutan.

#### 1.4.2.3. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (standing wave) maksimum ( $|V|_{max}$ )

dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ) [7]. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [4]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} \tag{3}$$

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi.

Persamaan untuk mencari nilai VSWR adalah [6]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{4}$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan matching sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk pabrikan antenna adalah  $VSWR \leq 2$ .

**1.4.2.4 Return Loss**

Return loss merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antenna dan saluran transmisi tidak matching. Return loss dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antenna). Sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan balik.

Nilai VSWR yang baik pada suatu antenna adalah lebih kecil atau sama dengan 2, sehingga nilai return loss yang baik adalah sebesar lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB. Maka dari itulah frekuensi kerja dari antenna yang baik adalah ketika return loss-nya bernilai  $\leq -9,54$  dB.

**2.3.5 Impedansi Masukan**

Impedansi masukan dari suatu antenna dapat dilihat sebagai impedansi dari antenna tersebut pada terminalnya. Impedansi masukan,  $Z_{in}$  terdiri dari bagian real ( $R_{in}$ ) dan imajiner ( $X_{in}$ ).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \tag{5}$$

Dari Persamaan 5 di atas, komponen yang diharapkan adalah impedansi real ( $R_{in}$ ) yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi. Komponen imajiner ( $X_{in}$ ) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna. Kondisi matching harus dibuat sedemikian rupa sehingga mendekati  $50 + j0 \Omega$ .

**1.4.3. Antena Mikrostrip Patch Segiempat**

Salah satu bentuk patch antenna mikrostrip adalah Segiempat. Sejauh ini, patch berbentuk Segiempat adalah

bentuk yang paling mudah untuk dianalisis. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk merancang antenna mikrostrip berbentuk Segiempat :

Frekuensi resonansi dirumuskan dengan:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[ \left( \frac{m}{L_{eff}} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \tag{7}$$

Panjang elemen peradiasi efektif:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \tag{8a}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_{10}\sqrt{\epsilon_e}} \tag{8b}$$

Lebar elemen Peradiasi:

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \tag{9}$$

Dengan :

- $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik,
- $c$  = kecepatan cahaya
- $f_r$  = rekuensi operasi dalam Hz.
- $\epsilon_e$  = konstanta dielektrik efektif
- $\Delta L$  = perubahan panjang yang disebabkan oleh adanya *fringing effect*.

**II. PERANCANGAN ANTENA**

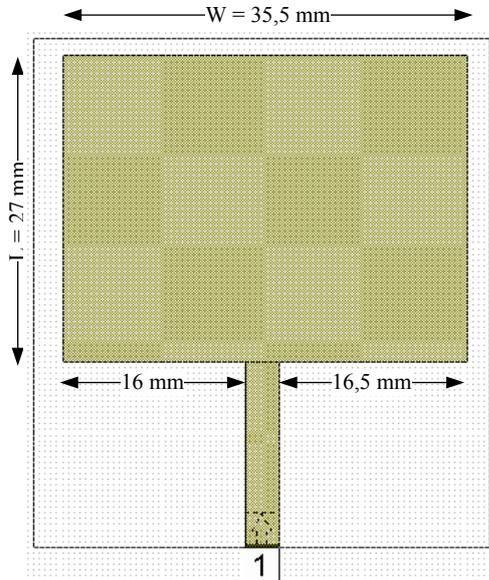
Pada penelitian ini akan dirancang sebuah antenna mikrostrip untuk aplikasi LTE yang bekerja pada frekuensi 2,6 GHz (2,6 Ghz – 2,610 Ghz).

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna ini, di antaranya adalah penentuan frekuensi kerja antenna, penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi patch antenna, dan penentuan posisi pencatu. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak AWR Microwave Office 2009 .

**III. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN**

**3.1.1. Penentuan Dimensi Patch Antena**

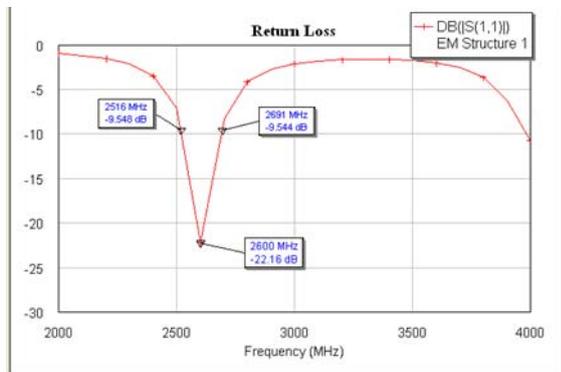
Setelah dilakukan perhitungan dan simulasi maka diperoleh dimensi patch antenna mikrostrip seperti pada gambar dibawah ini.



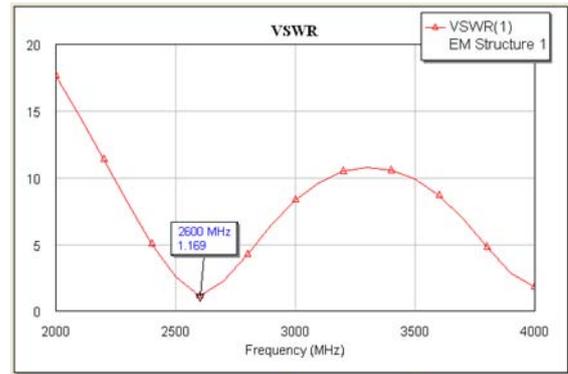
Gambar 4. Hasil Rancangan Dimensi Antena Mikrostrip

**3.1.2. Hasil Simulasi Return Loss, VSWR dan Perhitungan Bandwidth**

Untuk mengetahui nilai return loss dan VSWR dari antenna yang telah dirancang, maka dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak AWR Microwave Office 2009 , adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 .



Gambar 5. Hasil Simulasi Return Loss



Gambar 6. Hasil Simulasi VSWR

Berdasarkan grafik return loss pada Gambar 5 diatas, maka dilakukan perhitungan bandwidth sebagai berikut:

$$f_1 = 2,516 \text{ GHz (frekuensi terendah)}$$

$$f_2 = 2,691 \text{ GHz (frekuensi tertinggi)}$$

maka,

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2}$$

$$= \frac{2,691 + 2,516}{2} = 2,603 \text{ Ghz}$$

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\%$$

$$= \frac{2,691 - 2,516}{2,603} \times 100 \%$$

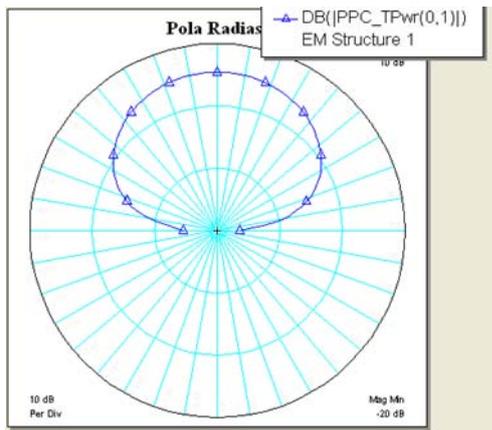
$$= 6,72 \%$$

Berdasarkan hasil simulasi diatas diperoleh bahwa nilai return loss, VSWR telah memenuhi syarat-syarat agar antenna dapat bekerja dengan baik, dimana hasil simulasi diperoleh nilai return loss sebesar -22,16 dB dan VSWR sebesar 1,169 dB, dengan hasil ini dapat dinyatakan bahwa antenna sudah dalam keadaan matching.

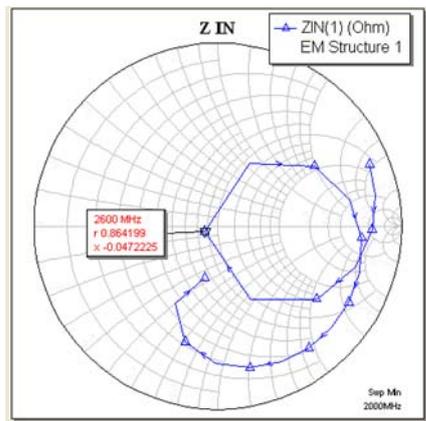
Sedangkan untuk nilai bandwidth sudah tercapai sesuai dengan tujuan antenna yang dirancang, dimana diharapkan antenna yang akan dirancang bekerja pada rentang frekuensi 2,6 Ghz – 2,610 Ghz, atau memiliki bandwidth sebesar 10 Ghz.

**3.1.3. Hasil Simulasi Pola Radiasi dan Impedansi Masukan**

Hasil simulasi pola radiasi dan impedansi masukan dari antenna yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 7. Hasil Simulasi Pola Radiasi



Gambar 8. Hasil Simulasi Impedansi Masukan

Berdasarkan hasil simulasi pola radiasi yang dilakukan, diperoleh bahwa antenna yang dirancang memiliki pola radiasi omni directional dan tidak terlihat adanya side lobe. Sedangkan nilai impedansi masukan mendekati 50 Ohm yang menunjukkan bahwa antenna sudah dalam keadaan matching.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dirancang antenna mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 2,6 Ghz untuk aplikasi LTE. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai return loss antenna sebesar -22.16 dB dan nilai VSWR nya sebesar 1,169 dB.

Sedangkan pola radiasi antenna bersifat omni directional dan antenna mendekati matching terlihat dari simulasi impedansi masukan yang mendekati 50 Ohm.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] Andy Wiryanto, "Perancangan Antena Mikrostrip Linear Array 4 Elemen Dengan Teknik Slot Untuk Aplikasi GPS". 2008.  
 [2] Bahl, Inder, Apisak I., P. Bhartia dan R. Garg, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House. Inc, Norwood,MA, 2001.  
 [3] Balanis,C.A. "Antenna Theory Analysis and Design".1997. John Wiley & Sons, Inc., Singapore.

[4] B. L. Ooi,X. D. Xu, dan Irene Ang,"Triple-band Slot Antenna with Spiral EBG Feed", IEEE International Workshop on Antenna Technology, 2005.  
 [5] Hilman Halim, "Designing Triple-Band Microstrip Antenna That Operate At WiMAX Frequencies", Mei 2007.  
 [6] Huie, Keith C., Microstrip Antennas : Broadband Radiation Patterns Using Photonic Crystal Substrates, (Blacksburg, VA, 2002).  
 [7] M.A.S. Alkanhal, Composite Compact Triple-Band Microstrip Antennas, Progress

# Konduktifitas Listrik Komposit Polimer Polipropilena/Karbon Untuk Aplikasi Pelat Bipolar Fuel Cell

Agus Pramono<sup>1</sup>, Anne Zulfia<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Departemen Metalurgi Material Universitas Indonesia

<sup>1</sup>agus.pramono.stmt@gmail.com, <sup>2</sup>anne.zulfia@metal.ui.ac.id

**Abstrak** – Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang saat ini sedang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan krisis energi dan lingkungan. Salah satu komponen yang mempunyai peran signifikan dalam efisiensi biaya dan proses PEMFC adalah pelat bipolar. Untuk itu diperlukan pelat bipolar yang ringan, murah, dan mudah diproduksi secara massal. Dalam penelitian ini dikembangkan komposit pelat bipolar menggunakan matriks polipropilena (PP), penguat karbon hitam dan grafit elektroda dengan variasi komposisi wt% PP/grafit/CB sebesar 85:10:5; 75:20:5; 65:30:5; dan 55:40:5, sehingga mendapatkan sifat daya hantar listrik yang baik. Sifat-sifat dari komposit yang dihasilkan diuji dengan pengujian konduktivitas. Dari keempat formula, didapatkan bahwa sifat listrik yang paling baik terdapat pada formula empat dengan penambahan grafit sebesar 40 wt%. Formulasi empat memiliki konduktivitas listrik sebesar  $2,523E-03$  S/cm. sifat listrik juga belum optimal dikarenakan masih terdapatnya banyak rongga atau pori dalam komposit PP/grafit/CB yang disebabkan oleh udara yang terjebak selama proses penekanan.

**Kata kunci** : PEM Fuel Cell, komposit polimer, konduktifitas Listrik, pelat bipolar.

**Abstract** – Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is one of the alternative energy sources that are currently being developed to overcome the energy crisis and environmental problems. One of the components that have a significant role in the cost efficiency and the PEMFC is the bipolar plate. It is necessary for bipolar plates are lightweight, inexpensive, and easily mass produced. In this study developed a matrix composite bipolar plates using polypropylene (PP), reinforced by carbon black and graphite electrodes with various compositions wt% PP / graphite / CB at 85:10:5; 75:20:5; 65:30:5, and 55:40:5, so get the properties of good electrical conductivity. The properties of the resulted composites were tested by testing the conductivity, of the four formulas, it was found that the electrical properties are best found in the formula fourth with the addition of 40 wt% graphite. Formulation by fourth caused electrical conductivity of  $2.523 E-03$  S / cm. electrical properties are also not optimal due to the presence of many cavities or pores in the composite PP / graphite / CB caused by air trapped during the compression.

**Keywords** : PEM Fuel Cell, Composites Polymers, Electrical Conductivity, Bipolar Plate.

## PENDAHULUAN

*Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells* (PEMFC) merupakan salah satu jenis fuel cell yang saat ini dikembangkan. PEMFC sendiri memiliki beberapa keunggulan, yaitu efisiensi yang tinggi, kerapatan arus yang tinggi, temperatur aplikasi yang relatif rendah, suplai bahan bakar yang baik, dan waktu pakai yang panjang. Namun, mahalnya biaya produksi PEMFC telah menjadi salah satu penghalang terbesar dalam komersialisasi PEMFC.

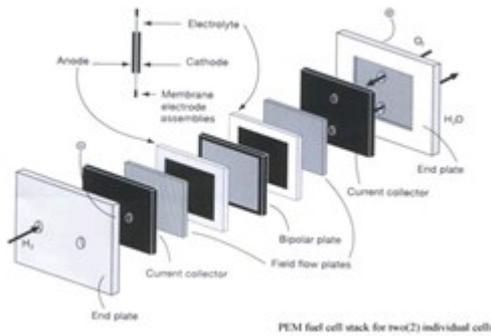
Dalam mereduksi biaya produksi yang dibutuhkan untuk membuat PEMFC, perlu dilakukan pengkajian ulang proses produksi dan material yang digunakan. Salah satu komponen yang paling berpengaruh terhadap biaya produksi PEMFC adalah pelat bipolar (*bipolar plates*). Pelat bipolar sendiri mempengaruhi hingga 80% volume, 70% berat, dan hingga 60% biaya PEMFC. (Yuhua Wang. 2006). Hal ini

berarti dengan mengurangi ukuran, berat, dan biaya bipolar plates yang digunakan, maka kita dapat mengurangi biaya produksi dari PEMFC secara signifikan. Selain itu, diperlukan pula suatu proses produksi massal yang tidak mahal dan efisien. Salah satu cara untuk mereduksi biaya produksi bipolar plates dari PEMFC adalah dengan mengembangkan suatu komposit berbasis polimer termoplastik.

## PEMFC

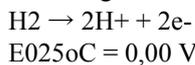
*Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells* (PEMFC) *Polymer electrolyte membrane* (PEM) fuel cell adalah sebuah perangkat elektrokimia yang mengubah secara langsung energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui reaksi berpasangan oksidasi-reduksi. (Yuhua Wang.2006). PEMFC memiliki beberapa komponen primer yang memegang peranan penting dalam menjalankan fungsi dari PEMFC itu sendiri, yaitu *membrane electrolyte assembly* (MEA), gas diffusion

layer, gasket, pelat bipolar, kolektor arus, dan endplate. Adapun komponen tersebut disajikan dalam Gambar 1 di bawah ini.

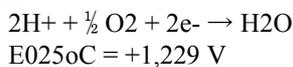


Gambar 1 Struktur PEM FC

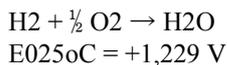
Pada PEMFC, gas kaya oksigen atau hidrogen yang dimampatkan berperan sebagai bahan bakar dan oksigen yang dimampatkan berfungsi sebagai oksidan. Dari anoda, hidrogen berdifusi melalui gas *diffusion layer* menuju lapisan katalisator dimana molekul hidrogen terpecah menjadi elektron dan proton mengikuti reaksi elektrokimia setengah sel berikut ini.



Proton akan berjalan melewati membran elektrolit menuju katoda dan elektron akan berjalan melalui sirkuit eksternal menuju katoda. Pada katoda, oksigen berdifusi melalui katoda gas *diffusion layer* menuju katoda katalis. Pada katalis, oksigen akan bereaksi dengan proton dan elektron membentuk air dan memproduksi panas sesuai dengan reaksi setengah sel berikut ini.



Sehingga reaksi keseluruhan dari PEMFC adalah sebagai berikut.



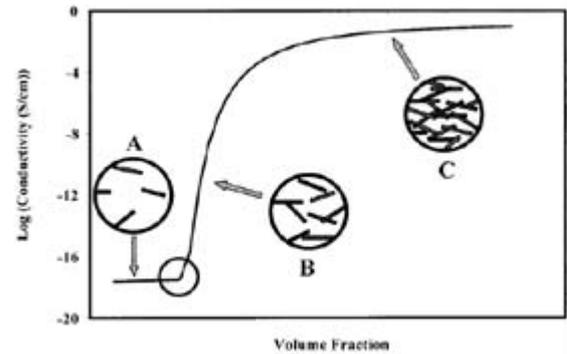
Polimer pada dasarnya bersifat insulator, dan nilai konduktivitasnya kira-kira 10<sup>-14</sup> – 10<sup>-17</sup> S/cm (Tabel 3).

Tabel 1 Nilai konduktivitas untuk jenis material yang berbeda.

Material	Konduktivitas listrik (S/cm)
Polimer	10 <sup>-14</sup> - 10 <sup>-17</sup>
Karbon Konduktif	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>5</sup>
Logam	10 <sup>6</sup>

Konduktivitas material polimer dapat ditingkatkan dengan menambahkan karbon konduktif, seperti serat karbon, karbon hitam, dan grafit sintetis membentuk material komposit. Akan tetapi, konduktivitas komposit bergantung pada konsentrasi, orientasi, bentuk, ukuran, dan sifat-sifat dari pengisi konduktif yang dipakai. Dispersi partikel dan bentuk jaringan kontinyu dari bahan pengisi konduktif juga berpengaruh pada sifat konduktivitas. Di sisi lain, sering dihasilkan material komposit yang sifat-sifat mekaniknya

dari lebih buruk dari material-material penyusunnya. Gambar 2 berikut menggambarkan kecenderungan kurva konduktivitas komposit dengan tiga fraksi volume berbeda A, B, dan C. Pada muatan pengisi yang rendah (A), nilai konduktivitas komposit masih mendekati nilai konduktivitas matriks polimer. Akan tetapi, pada beberapa muatan yang kritis (C), konduktivitas meningkat teratur dengan peningkatan yang sangat sedikit.



Gambar 2. Ketergantungan nilai konduktivitas pada fraksi volume pengisi.

Resistensi materi dengan ketebalan T dan area permukaan A dapat dihitung dengan Eqn.

$$R_{material} = \rho z \text{ bulk } T/A$$

Dimana  $R_{material}$  merupakan listrik materi *through-plane resistance* (ohm cm<sup>2</sup>) dan  $\rho z \text{ bulk}$  yang merujuk kepada resistivitas listrik *through-plane* (ohm-cm)

**METODOLOGI PENELITIAN**

**Bahan**

- Polipropilena HI10HO
- Karbon hitam 7H (N234)
- Grafit Elektroda EAF ukuran 118#

**Pembuatan Masterbatch**

Masterbatch dibuat dengan cara mencampurkan PP dan penguat karbon di dalam mesin rheomix HAAKE PoliDrive R600/610, tetapi sampel telah terlebih dahulu dicampurkan secara manual (*dry mixing*) di dalam beaker glass. Komposisi dari masing-masing masterbatch disesuaikan dengan formulasi yang telah dihitung terlebih dahulu (Tabel 3). Pada proses ini diharapkan tercipta sebuah campuran yang homogen.

Mesin ini terdiri dari 3 pelat, pelat pertama yang stasioner, dan pelat kedua serta ketiga yang dapat dilepas. Pada mesin ini, *chamber* pencampuran berada pada pelat kedua yang dibersihkan untuk mendapat hasil rheomix.

Adapun kondisi operasi yang digunakan adalah:

1. Temperatur : 180 °C
2. Deviasi : 0
3. Waktu Pencampuran : 5 menit

Tabel 3 Formulasi Masterbatch

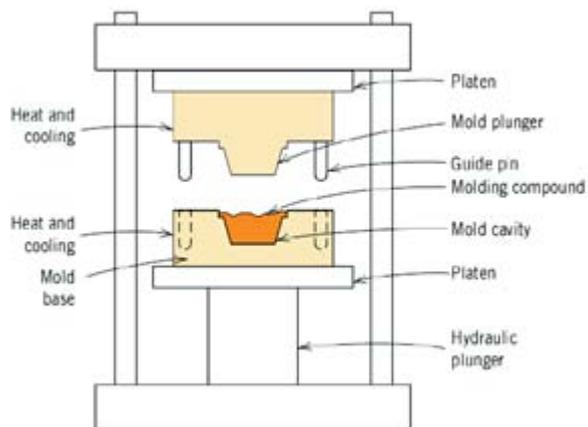
PP:Grafit:CB (wt%)	Massa PP (g)	Massa Grafit (g)	Massa CB (g)	Jumlah Campuran (g)
85 : 10: 5 (F1)	255	30	15	300
75 : 20: 5 (F2)	225	60	15	300
65 : 30: 5 (F3)	195	90	15	300
55 : 40: 5 (F4)	165	120	15	300
Jumlah (g)	840	300	60	

**Preparasi Sampel Uji**

Pada penelitian ini, preparasi sampel pengujian dilakukan dengan membuat slab menggunakan mesin hot press. Pada proses ini dihasilkan slab berbentuk persegi panjang dengan ketebalan 2 mm dan berbentuk sample uji tarik. Kondisi operasi proses adalah sebagai berikut:

- 1.Temperatur : 230 °C
- 2.Tekanan : 427 Psi

Pada penelitian ini, preparasi sampel pengujian dilakukan dengan membuat sampel uji menggunakan mesin hot press Collin Hot Press.



Gambar 3. Skema mesin compression moulding

**Karakterisasi**

Karakterisasi masterbatch terdiri dari pengujian tarik, flekstural, densitas, porositas, dan konduktivitas listrik. Setelah itu dilakukan mengamatan stuktur mikro dan juga SEM.

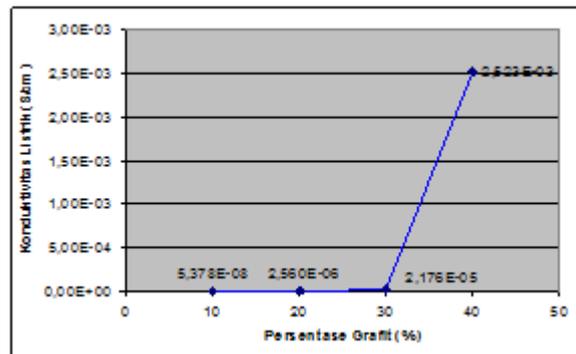
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakterisasi Nilai Konduktivitas Listrik**

Dari Gambar Grafik 4, terlihat bahwa formula empat memiliki nilai konduktivitas yang paling baik dibandingkan dengan formula lainnya. Hal ini disebabkan oleh kandungan grafit yang paling banyak dalam formula tersebut, sehingga mampu meningkatkan nilai konduktivitas rata-rata secara signifikan. Selain itu, komposisi carbon black sebagai semi-konduktor yang cukup besar dalam formula tersebut juga membantu peningkatan nilai konduktivitas pada formula tersebut. Performa konduktivitas yang cukup baik ini juga didukung oleh komposisi penguat karbon yang bersifat konduktif. Pada formula satu, dua, dan tiga nilai

konduktivitas yang sangat rendah disebabkan oleh komposisi matriks PP yang tinggi. Sifatnya sebagai isolator listrik menyebabkan matriks PP mampu menginsulasi penguat-penguat karbon sehingga aliran listrik tidak dapat mengalir dengan baik pada ketiga formula tersebut. Hal ini dapat dijelaskan dengan konsep “percolation treshhold”

Namun dalam penelitian ini tidak mendapatkan nilai konduktivitas optimal dari komposit PP/grafit/CB. Untuk mengetahui konduktivitas listrik yang lebih optimal perlu dilakukan penelitian mengenai penambahan grafit lebih dari 40 wt%. Hasil konduktivitas ini pun masih belum memenuhi target DOE untuk pelat bipolar yaitu sebesar 100 S/cm



Gambar 4. Grafik pengaruh penambahan grafit terhadap nilai konduktivitas listrik komposit PP/Grafit/CB

**KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit polipropilena-karbon dengan kerapatan massa tertinggi adalah formula F4 sebesar 1,0204 g/cm<sup>3</sup>. Nilai kerapatan massanya lebih rendah apabila dibandingkan dengan kerapatan massa pelat bipolar grafit, sehingga pelat bipolar komposit diharapkan mampu menggantikan pelat bipolar grafit yang bobotnya lebih berat.
2. Komposit polipropilena-karbon dengan modulus tarik tertinggi adalah formula F4 sebesar 620 MPa, menunjukkan formula F4 paling getas apabila dibandingkan komposit lain.
3. Komposit polipropilena-karbon dengan modulus tekuk tertinggi adalah formula F4 sebesar 1650 Mpa. menunjukkan F5 paling kaku apabila dibandingkan komposit lain.
4. Komposit polipropilena-karbon dengan konduktivitas tertinggi adalah formula F4 sebesar 2,523E-03 S/cm.
5. Hasil pengamatan SEM pada permukaan patahan menunjukkan terdapat banyak rongga atau poros pada komposit PP/Grafit/CB yang menyebabkan rendahnya sifat mekanik dan listrik komposit tersebut.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Zhang jie, Zou Yan-Wen, He jun. 2005. Influence of graphite particle size and its shape on performance of carbon composite bipolar plate. Beijing. Tsinghua Universit
- [2] Y, Wang. 2006. “Conductive Thermoplastic Composite Blends for Flow Field Plates for Use in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells (PEMFC).” Thesis Master of Applied Science, Chemical Engineering University of Waterloo, Ontario Kanada.
- [3] Cunningham, Brent. 2007. The Development of Compression Moldable Polymer Composite Bipolar Plates for Fuel Cells Disertation Macromolecular Science and Engineering. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University
- [4] D. F. Caulfield et al. 2005. Wood Thermoplastic Composites Handbook of Wood Chemistry and Wood Composite, Chap. 13. Taylor and Francis.
- [5] Du, Ling. 2008. “Highly Conductive Epoxy/Graphite Polymer Composite Bipolar Plates In Proton Exchange Membrane (Pem) Fuel Cells” Dissertasion. The Graduate Faculty of the University.
- [6] EG&G Services Parsons, Inc. 2000. Fuel Cell Handbook fifth Edition. Morgantown, West Virginia: U.S. Department of Energy
- [7] F. Mighri dan M.A. Huneault, 2004. Electrically Conductive Thermoplastic Blends for Injection and Compression Molding of Bipolar Plates in the Fuel Cell Application”, Polymer Engineering and Science, , 44 (9), hlm. 1755 – 765.
- [8] Pramono, Agus. 2006. Pengaruh Kompaksi Dengan Variasi temperature sintering terhadap karakteristik graphite bipolar plate fuel cell komposit matrik polimer hasil metalurgi serbuk. Tesis tidak diterbitkan. Universitas Indonesia. Depok
- [9] Rusmiyatno, Fandhy. 2007. Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Komposit Nylon/Epoxy Resin Serat Pendek Random-Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- [10] Schwartz, M. M. 1984. Composite Material handbook. New York: McGraw-Hill International Editions.
- [11] T.M. Besmann, J. W. Klett, dan J.J Hendry. 2000. Metals And Ceramics Division Oak Ridge National Laboratory Carbon Composite Bipolar Plate For Pem Fuel Cell National Laboratory R&D Meeting Doe Fuel Cell For Transportation Program Northwest National Laboratory,
- [12] U. S. Fuel Cell Council. 2000. Fuel Cell Glossary 2nd Edition

# **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.

ISSN 2301-4652



9 772301 485253

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