

Volume 4, No. 1, Juni 2015

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 Alfan, 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**

Sisem Kendali dan Antarmuka pada Pembangkit Pulsa Terprogram untuk Tansduser Ultrasonik Imamul Muttakin, Evan Prianto	1-5
Analisis Sistem Fotovoltaik Menggunakan Respon Dinamika Induksi pada Lilitan Kawat Tembaga Rocky Alfan , Riza Sumaedi , Suhendar	6-11
Rancang Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto Teguh Firmansyah, Dwi Harsojo, Toni, Feti Fatonah, Abdul Aziz	12-17
Perancangan Wideband Band Pass Filter (BPF) dengan Metamaterial Mikrostrip Frekuensi 1,78 GHz – 3,38 GHz Triprijooetomo, Toto Supriyanto	18-23
Pemodelan dan Kendali Fuzzy pada DC Drive Bobby Fisher Butar Butar	24-29
Parameter Identifikasi Transfer Fungsi Menggunakan MATLAB Evan Ramdani	30-36
Penyelesaian Masalah 8-Queen dengan Depth First Search Menggunakan Algoritma Backtracking Muhammad Khoirussolih, Galang Wicaksono, Muhammad Prayogi, Rezky Nurrohman	37-39
Penyelesaian Masalah 8-Puzzle dengan Algoritma Steepest-Ascent Hill Climbing David Abraham, Indra W. Permana, Rangga Adi Nugraha, Movh. Alvian, Hanif	40-44

# Sistem Kendali dan Antarmuka pada Pembangkit Pulsa Terprogram untuk Transduser Ultrasonik

Imamul Muttakin<sup>1</sup>, Evan Prianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

<sup>2</sup>Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>imamul@untirta.ac.id, <sup>2</sup>evanprianto.stei@gmail.com,

**Abstrak** – Kontrol dan antarmuka pengguna adalah bagian penting dalam merancang diprogram pulsa-generator. Dalam tulisan ini, saya menyajikan sebuah metode untuk kontrol dan antarmuka The Pulse-Generator untuk Ultrasonic Transducer. Idennya adalah untuk mengontrol pulsa dengan Graphical User Interface (GUI) dari komputer. Tujuan dari GUI adalah untuk menghubungkan pengguna ke pulse-generator sehingga, pengguna tidak perlu memahami tentang sistem dan kode untuk menghasilkan pulsa. Saya menggunakan mikrokontroler untuk antarmuka antara pulsa-generator dan komputer. Komunikasi antara mikrokontroler dan komputer adalah seri RX-TX sementara antara mikrokontroler dan pulsa-generator serial SPI. Pulsa-generator dapat diimplementasikan oleh Direct Digital Synthesis (DDS) perangkat yang, dasar dari DDS adalah frekuensi referensi, osilator dikontrol secara numerik dan digital-to-analog converter (DAC). Pada akhirnya, aku terintegrasi semua perangkat bersama-sama.

**Kata kunci** : Kendali Antarmuka, Pembangkit Pulsa, DDS, GUI, Komunikasi Serial, Transduser Ultrasonik

**Abstract** – Control and user interface is an important part in the designing programmable pulse-generator. In this paper, I present a method for control and interface The Pulse-Generator for Ultrasonic Transducer. The idea is to control the pulse with Graphical User Interface (GUI) from the computer. Purpose of GUI is to connect user to pulse-generator so, user don't have to understand about the system and the code for generate pulse. I use microcontroller to interface between pulse-generator and computer. The communication between the microcontroller and the computer is serial RX-TX while between microcontroller and pulse-generator is serial SPI. The pulse-generator can be implemented by Direct Digital Synthesis (DDS) devices which, the basic of the DDS is frequency reference, numerically controlled oscillator and digital-to-analog converter (DAC). At the end, I integrated all of the devices together.

**Keywords** : Control Interface, Pulse-Generator, DDS, GUI, Serial Communication, Ultrasonic Transducer

## I. PENDAHULUAN

Sebuah transduser adalah sebuah alat yang mengubah satu bentuk energi ke bentuk lain dari energi. jenis energi termasuk listrik, mekanik, elektromagnetik yang termasuk ringan, kimia, akustik, energi panas, dll Biasanya transducer mengkonversi sinyal dalam satu bentuk energi ke sinyal lain. misalnya, loudspeaker mengkonversi sinyal listrik terdengar [1].

Secara umum, transduser dapat dibagi menjadi 3 jenis:

- Sensor
- Actuator
- Sensor dan Aktuator

Sebuah sensor digunakan untuk mendeteksi parameter dalam satu bentuk dan melaporkannya dalam bentuk lain dari energi, sering sinyal listrik. Misalnya, sensor tekanan mungkin mendeteksi tekanan (bentuk mekanik energi) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik untuk dipamerkan di pengukur jarak jauh. transduser ini secara luas digunakan dalam alat ukur. Aktuator adalah transduser yang menerima energi dan menghasilkan energi kinetik dari gerakan (action). Energi yang diberikan ke aktuator mungkin listrik atau mekanis

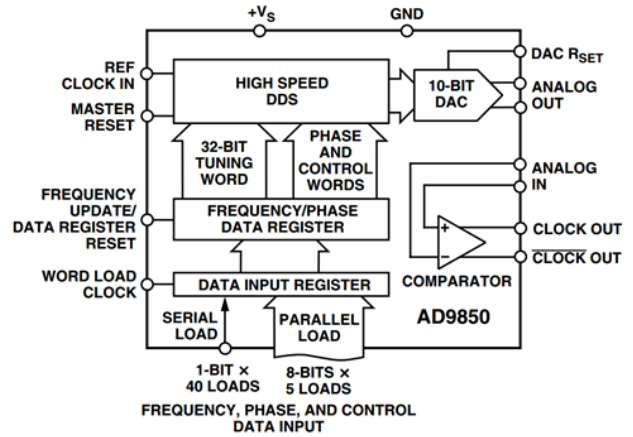
(pneumatik, hidrolik, dll). Sebuah motor listrik dan silinder hidrolik keduanya aktuator, mengubah energi listrik dan tenaga fluida menjadi gerak untuk tujuan yang berbeda. Beberapa transduser memiliki kedua fungsi; mereka berdua mendeteksi dan membuat tindakan. Contoh yang paling umum adalah antenna, transduser dari gelombang radio yang dapat mengirimkan, menerima, atau keduanya (transceiver). Contoh lain adalah transduser ultrasonik yang khas, yang beralih bolak-balik berkali kali kedua antara bertindak sebagai aktuator untuk menghasilkan gelombang ultrasonik, dan bertindak sebagai sensor untuk mendeteksi gelombang ultrasonik. Berputar rotor listrik motor DC akan menghasilkan listrik, dan speaker voice-coil juga dapat bertindak sebagai mikrofon.

Ultrasonic Transducer adalah transduser yang dapat mengkonversi gelombang ultrasound untuk sinyal listrik atau sebaliknya. Ada 2 jenis Ultrasonic transduser [2]:

- sensor ultrasonik aktif
- sensor ultrasonik pasif

sensor ultrasonik aktif menghasilkan gelombang suara frekuensi tinggi dan mengevaluasi gema yang diterima kembali oleh sensor, mengukur interval waktu antara pengiriman sinyal dan menerima gema untuk

menentukan jarak ke obyek. sensor ultrasonik pasif pada dasarnya mikrofon yang mendeteksi suara ultrasonik yang hadir dalam kondisi tertentu, mengubahnya menjadi sinyal listrik, dan melaporkannya ke komputer. Ada 3 unsur utama dalam transduser ultrasonik. Tiga unsur utama adalah elemen aktif, dukungan, dan memakai piring. Unsur aktif Transduser ultrasonik adalah bahan piezo atau feroelektrik. Bahan ini perlu sinyal pulsa listrik untuk menghasilkan gelombang ultrasonik. Jadi, saya perlu desain generator denyut untuk membuat sinyal pulsa listrik untuk transduser ultrasonik. Referensi transduser ultrasonik adalah dari Olympus® seperti TO19967 dan TO1996 Sonat-EST yang memiliki spesifikasi frekuensi pulsa adalah 4MHz. dalam kasus ini, saya menggunakan DDS untuk membuat sinyal.



Gambar 2. Fungsional Blok Diagram

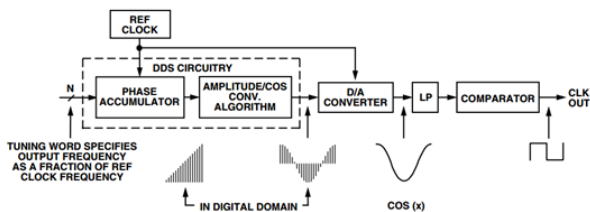
II. IMPLEMENTASI PERANGKAT KERAS

A. Desain Listrik

Sistem Spesifikasi:

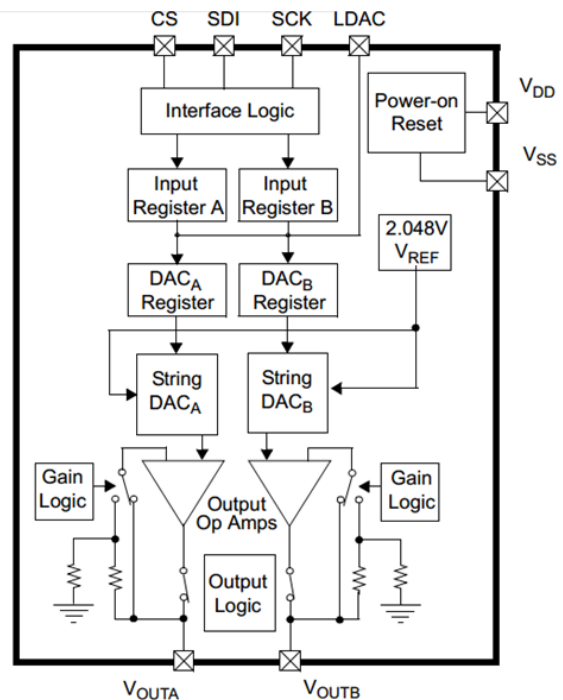
1. Sistem EBLE Berkomunikasi ke PC melalui UART Komunikasi.
2. Header RX dan TX untuk tujuan debugging
3. 4 sundulan sinyal output dari pulsa-generator untuk analisis
4. 2 sundulan tegangan output dari DAC
5. Pararel Port untuk komunikasi untuk pulsa Generator
6. tombol mendorong ulang
7. Sistem bekerja dengan level 5 Volt tegangan untuk prosesor, pulsa generator dan DAC

Dalam hal ini, saya harus memilih generator pulsa yang adalah perangkat DDS. karena frekuensi denyut nadi cukup tinggi. Komponen yang saya gunakan adalah AD9850 Lengkap synthesizer DDS. The AD9850 menggunakan teknologi direct sintesis digital (DDS), dalam bentuk osilator dikontrol secara numerik, untuk menghasilkan frekuensi / fase-tangkas gelombang sinus. [3] The gelombang sinus digital dikonversi ke bentuk analog melalui internal 10-bit berkecepatan tinggi D / A converter, dan on-board kecepatan tinggi komparator disediakan untuk menerjemahkan gelombang sinus analog ke output kompatibel jitter rendah TTL / CMOS gelombang persegi. [3] Diagram blok dan sinyal aliran fungsional dasar dari AD9850 dikonfigurasi sebagai generator jam ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dasar DDS Block Diagram dan Signal Arus AD9850

The AD9850 membutuhkan referensi tegangan untuk menerjemahkan gelombang sinus analog menjadi jitter TTL / CMOS keluaran kompatibel gelombang persegi yang rendah. Dalam hal ini, saya menggunakan tegangan output DAC. Tegangan output DAC adalah MPC4822. Perangkat MCP4822 dual 12-bit buffered rel-rel tegangan output (DAC) perangkat Digital-to-Analog Converter yang dirancang untuk beroperasi dengan berbagai Vdd dari 2.7V ke 5.5V. Its keluaran penguat cukup kuat untuk mendorong beban-sinyal kecil langsung. [4] Perangkat MCP4822 memanfaatkan 3-kawat sinkron protokol serial untuk mentransfer setup dan masukan kode DAC ini dari perangkat digital. Protokol serial dapat dihubungkan ke perangkat SPI atau Microwire yang umum di banyak unit mikrokontroler (MCU), termasuk Microchip PIC® MCUs dan dsPIC® DSCs [4].

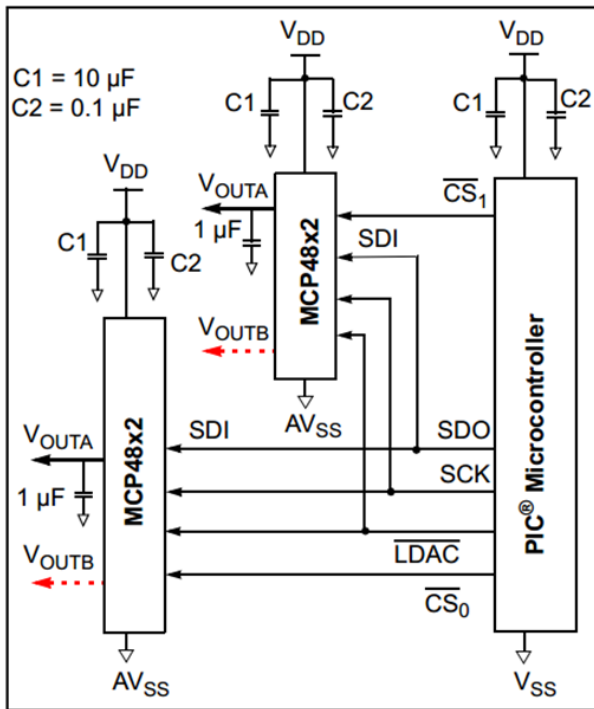


Gambar 3. 3MCP4822 Blok Diagram

Rel-rel keluaran penguat memiliki dua pilihan gain dikonfigurasi: keuntungan dari 1x (<math>\langle GA \rangle = 1</math>) atau keuntungan dari 2x (<math>\langle GA \rangle = 0</math>). Nilai default untuk sedikit ini adalah keuntungan dari 2 (<math>\langle GA \rangle = 0</math>). Hal ini

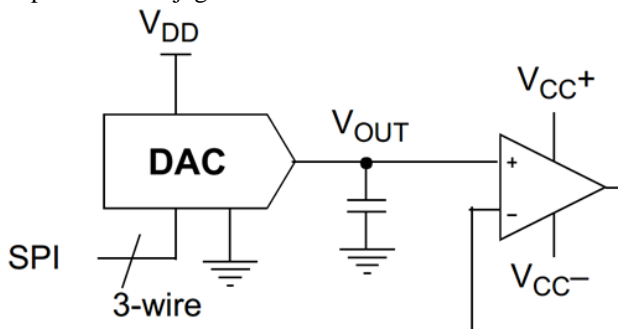


menyebabkan output skala penuh ideal 0.000V ke 4.096V karena referensi internal ( $V_{REF} = 2.048V$ ) [4].



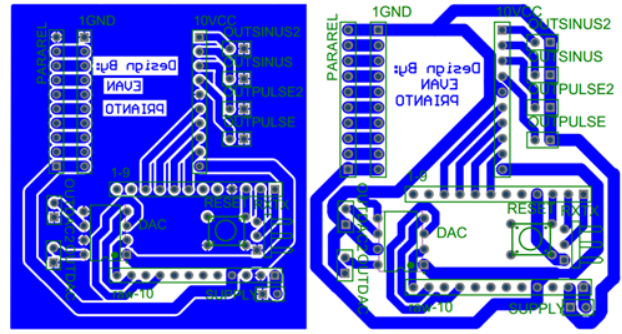
Gambar 4. 4 SPI Diagram Connection

Konfigurasi selanjutnya terhubung output dari MCP4822 ke komparator masukan dari AD9850. Diagram koneksi dapat dilihat pada gambar 5. Tegangan keluaran dari MPC4822 akan menjadi referensi Tegangan AD9850 tersebut. Tujuan dari referensi Tegangan adalah untuk menentukan dutycycle dari sinyal pulsa. Jadi, ketika tegangan output dapat dikendalikan, dutycycle dapat dikontrol juga.



Gambar 5. Diagram Koneksi antara MCP4822-AD9850

Final adalah menciptakan layout PCB untuk semua kebutuhan dan routing semua jalan. Setelah layout PCB dilakukan, saya mencetak layout PCB dan etsa ke papan. Layout PCB dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. PCB

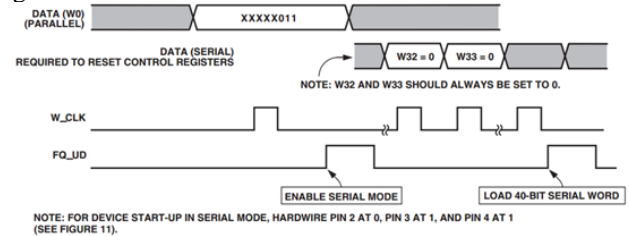


Gambar 7 Hardware Akhir

### III. BIBLIOGRAFI

#### A. Kontrol AD9850

metode untuk mengontrol AD9850 menggunakan metode komunikasi serial dari mikrokontroler untuk pulsa pembangkit. Saya menggunakan beberapa pin untuk mengontrol sinyal serial yang diberikan oleh mikrokontroler. Dia pin  $W\_CLK$ ,  $FQ\_UD$ ,  $DATA$ , dan Reset. Untuk memastikan informasi yang menerima, algoritma harus memenuhi persyaratan minimum diagram waktu. Diagram waktu dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Timing Diagram AD9850

Kata tuning frekuensi menetapkan modulus counter, yang secara efektif menentukan ukuran kenaikan ( $\Delta$  Tahap) yang ditambahkan ke nilai dalam akumulator fasa pada jam pulsa berikutnya. Hubungan frekuensi output, jam referensi, dan kata tuning dari AD9850 ditentukan dengan rumus:

$$f_{out} = (\Delta Phase \times CLKIN) / 2^{32}$$

Dimana:

$\Delta$ Phase adalah nilai dari kata tala 32-bit.

CLKIN adalah masukan referensi frekuensi clock dalam MHz.

$f_{out}$  adalah frekuensi sinyal output dalam MHz.

**B. Kontrol MCP4822 [4]**

Tujuan dari kontrol MCP4822 adalah untuk mengontrol dutycycle dari sinyal pulsa output. sinyal pulsa yang dihasilkan oleh kecepatan komparator tinggi. Input dari komparator adalah gelombang sinus yang Vpp 1volt dan tegangan referensi. Jadi, kisaran referensi tegangan antara 0volt ke 1volt. Untuk melakukan itu kita harus mengerti tentang MCP4822 masukan coding. Ini masukan coding DAC dari perangkat ini biner lurus. [4] Persamaan 2 menunjukkan DAC analog perhitungan tegangan output.

$$V_{out} = (2.048V \times Dn) / 2^n \times G$$

Dimana:

2.048V = tegangan referensi internal

Dn = masukan kode DAC

G = Pilihan Gain

= 2 untuk <GA> bit = 0

= 1 untuk <GA> bit = 1

N = 12 untuk MCP4822

Rentang output ideal perangkat:

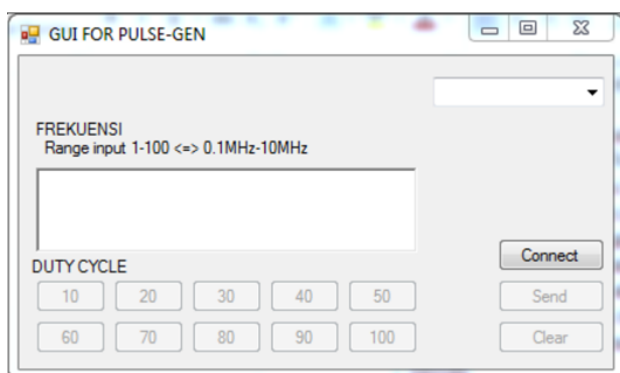
(A) 0.0V ke 4095/4096 \* 2.048V ketika gain pengaturan = 1x.

(B) 0.0V ke 4095/4096 \* 4.096V ketika gain pengaturan = 2x.

LSB adalah perbedaan tegangan ideal antara dua kode berturut-turut. Jika gain yang digunakan adalah 1x maka LSB adalah 2.048V / 4096 = 0.5mV dan jika gain yang digunakan adalah 2X maka LSB adalah 4.096V / 4096 = 1mV. Jadi, untuk mengontrol dutycycle saya menggunakan gain1 karena rentang telah memenuhi spesifikasi 1Vpp.

**C. Graphical User Interface**

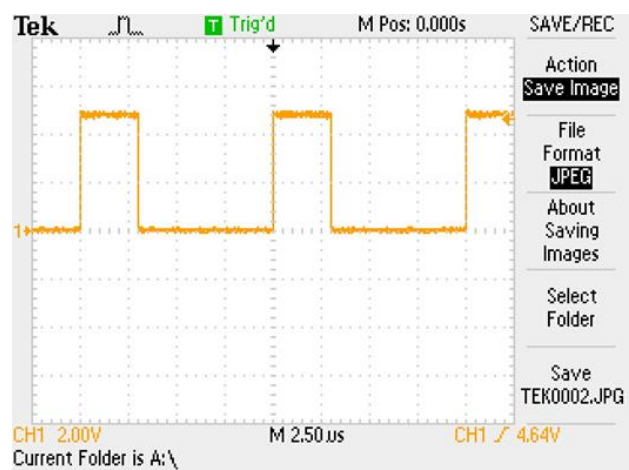
GUI ini adalah jembatan antara pengguna dan perangkat. Jadi, pengguna harus merasa mudah ketika menggunakannya. Untuk desain GUI ini, saya menggunakan Visual studio dan port serial untuk melakukannya. GUI ini memiliki 2 bagian utama. Yang pertama adalah kontrol frekuensi dan yang kedua adalah kontrol dutycycle. Akhirnya, hasil dari desain GUI ini dapat dilihat pada gambar 9.



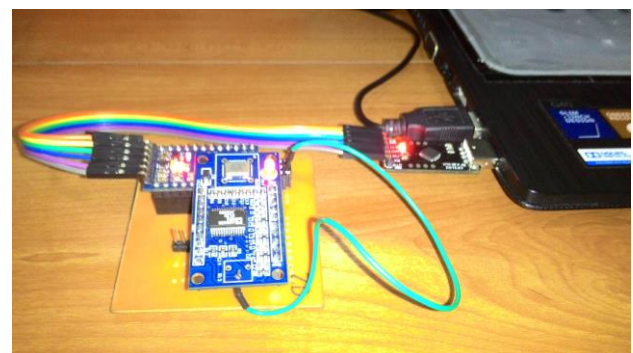
Gambar 9. Desain GUI

**IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Setelah semua komponen telah selesai, beberapa tes harus dilakukan untuk perangkat. Komponen al pertama harus diuji satu per satu sampai semua komponen yang jelas. Saya menguji hasil output gelombang sinus untuk AD9850 tersebut. The AD9850 dapat menghasilkan gelombang sinus dengan Vpp 1Volt dan frekuensi 10 kHz, 100KHz, 1MHz, 10MHz, dan 20MHz. selanjutnya adalah pengujian MCP4822. The MCP4822 dapat menghasilkan gelombang segitiga dengan 7.7Hz frekuensi. Amplitudo gain1 adalah 2.08V sementara gain2 adalah 4.16V. setelah itu saya menguji sinyal pulsa oleh kedua komponen. Perangkat dapat menghasilkan sinyal pulsa dengan 1MHz frekuensi, 2MHz, 3MHz, 4MHz, 5MHz, 6MHz, 7MHz, 8MHz, 9MHz dan 10MHz. yang dutycycles 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Dari hasil pengujian, saya bisa melihat perangkat dapat bekerja. Gambar ketika pekerjaan perangkat dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil dari Pengujian



Gambar 11. Gambar Pengujian

**V. KESIMPULAN**

Pelaksanaan pulsa-generator untuk transduser ultrasonik dengan DDS telah berhasil dilaksanakan. Implementasi bersama-sama antara AD9850 dan MCP4822 telah berhasil bekerja.

implementasi software telah berhasil dilaksanakan. berinteraksi antara Graphical User Interface dan kode di mikrokontroler telah berhasil bekerja.

Mengontrol siklus dan frekuensi generator pulsa telah berhasil dilaksanakan. siklus tugas 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% sedangkan



frekuensi memiliki jangkauan between 10KHz dan 20MHz.

Terintegrasi semua komponen bersama-sama telah dilakukan. perintah pengguna telah dikirim ke generator pulsa oleh mikrokontroler dan generator pulsa telah menghasilkan pulsa yang sesuai dengan perintah.

Menerapkan GUI di komputer untuk pengguna berinteraksi telah berhasil bekerja. Hasil dari sinyal pulsa dari perintah GUI dan memuji langsung adalah sama..

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Agarwal, Foundations of Analog and Digital Electronic, Massachusetts: Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, 2005..
- [2] R. Edwin, Analyses of Signal UT-NDT system sonactx for detecting cracks on CNG tube, Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UI, 2010.
- [3] Analog Devices, AD9850, Norwood: Analog Devices, 2004.
- [4] Microchip, MPC4822, Boston: Microchip, 2010.

# Analisis Sistem Fotovoltaik Menggunakan Respon Dinamika Induksi pada Lilitan Kawat Tembaga

Rocky Alfanz<sup>1</sup>, Riza Sumaedi<sup>2</sup>, Suhendar<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jendral Sudirman km. 03 Cilegon, Banten

<sup>1</sup>rocky.alfanz@ft-untirta.ac.id

**Abstrak** – Paper ini menguraikan tentang sistem fotovoltaik menggunakan respon dinamik induksi dengan adanya penambahan lilitan kawat tembaga. Lilitan kawat tembaga yang digunakan terdiri dari 3 kombinasi yaitu 30 lilitan, 45 lilitan dan 60 lilitan. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan daya output sel surya sebelum dan sesudah penambahan lilitan kawat tembaga. Penelitian dilakukan dengan beberapa pengujian yaitu pengujian terhadap sun angle dan altitude angle, dan pengujian H-NengPV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar peningkatan daya sel surya pada induksi coil pertama sebesar 1,499%, coil kedua 3,777% dan coil ketiga 5,215%.

**Kata kunci** : fotovoltaik, induksi, H-Neng PV, coil.

**Abstract** – This paper describes how to use of photovoltaic systems dynamic response induced by the addition of copper wire windings. The Copper wire windings used consisted of 3 combined is 30 loops, 45 loops and 60 loops. This research expected to increase the power output of solar cells before and after the addition of copper wire windings. About the study was conducted with some of the test is the test of the sun angle and altitude angle, and testing of the H – Neng PV. The results showed that a large increase in the power of solar cells to the induction of the first coil of 1.499%, 3.777% second coil and a third coil 5.215%.

**Keywords** : Keyword1, Keyword2, Keyword3, Keyword4, Keyword5

## I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di daerah khatulistiwa sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Kondisi penyinaran ini potensial untuk digunakan dalam pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS). PLTS merupakan teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan energi sel surya fotovoltaik dengan cara mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Potensi pengembangan PLTS di Indonesia sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari.

Pemanfaatan tenaga matahari untuk pembangkitan listrik sebenarnya sudah dilakukan sejak cukup lama namun masih minim sekali penelitian tentang bagaimana mengoptimalkan panel surya yang ada pada PLTS agar mampu beroperasi optimal. Panel surya telah banyak dikembangkan baik dalam bidang keilmuan ataupun teknologi terapan. Panel surya memberikan pendekatan baru dalam perancangan sumber energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan. Teknologi sel surya merupakan teknologi konversi dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

Sel surya dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain monokristal silikon, polikristal silikon dan amorf silikon. Saat ini polikristal lebih banyak dipakai karena proses pembuatannya lebih mudah dengan tingkat efisiensi yang sedang. Parameter dari sel surya diperoleh dari karakteristik arus-tegangan (I-V) seperti arus hubung singkat (Isc), tegangan rangkaian terbuka (Voc), daya maksimum (Pmax) dan nilai *Fill Factor*.

Penelitian membahas tentang pengaruh suhu dan intensitas cahaya terhadap optimalisasi panel surya ketika suhu panel surya berubah-ubah sesuai panas dari intensitas cahaya yang mengenai permukaan panel surya dan pengaruh coil terhadap suhu dan daya pada sel surya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

PLTS adalah suatu pembangkit yang mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida.

### A. Panel Surya

Menurut Mintorogo (2000) agar memperoleh sejumlah tegangan atau arus yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lain baik secara seri ataupun paralel untuk membentuk suatu rangkaian yang disebut modul. Sejumlah modul umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel dan 72 sel. Usia dari panel surya dapat mencapai 25 tahun sesuai garansi yang diberikan produsen panel surya. Modul-modul ini kemudian dirangkai menjadi panel surya dan jika panel surya ini dihubungkan secara baris dan kolom disebut dengan *array*. Sel surya

Sel surya atau *solar cell* terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus

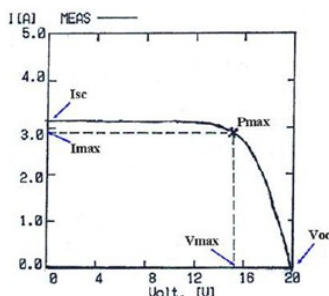
untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 Volt. Sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan *Photovoltaik Effect* untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

Menurut Anggraeni (2010) secara sederhana sel surya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor bertipe *p* dan *n* (*p-n junction semiconductor*) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sehingga kelebihan muatan negatif (*n* = negatif), sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan *hole* sehingga kelebihan muatan positif (*p* = positif). Pembuatan dari dua jenis semikonduktor awalnya digunakan untuk meningkatkan konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami (semikonduktor intrinsik), elektron maupun *hole* memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron maupun *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.

**B. Karakteristik Sel Surya**

Sel surya menerima penyinaran matahari dalam satu hari sangat bervariasi. Hal ini dikarenakan sinar matahari memiliki intensitas yang besar ketika siang hari dibandingkan pagi hari. Besarnya kapasitas daya yang dihasilkan, dapat diketahui melalui pengukuran terhadap arus (*I*) dan tegangan (*V*) pada gugusan sel surya yang disebut panel atau modul.

Pengukuran arus maksimum dilakukan dengan cara kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau *I<sub>sc</sub>*. Pengukuran terhadap tegangan (*V*) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul sel surya dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau *V<sub>oc</sub>*. Karakteristik I-V seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Kurva I-V pada Modul Sel Surya

Daya keluaran sel surya dapat diperoleh dengan persamaan 1:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \tag{1}$$

dengan:

$$P_{out} = \text{daya keluaran sel surya (W)}$$

- $V_{oc}$  = tegangan *open circuit* (V)
- $I_{sc}$  = arus *short circuit* (A)
- $FF$  = *fill factor*

*FF* (*Fill Factor*) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya. Besarnya *FF* dapat dihitung dengan persamaan 2:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \text{ atau}$$

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \tag{2}$$

Efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi listrik diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan sel surya adalah daya dari total sinar matahari yang masuk ke sel surya, secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan:

$$P_{in} = G \times A \tag{3}$$

Berdasarkan hasil substitusi antara persamaan (1) dan (3) maka diperoleh persamaan (4), sehingga besarnya efisiensi diperoleh melalui persamaan 5:

$$P_{out} = P_{mp} \tag{4}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \tag{5}$$

dengan:

- $V_{mp}$  = tegangan maksimum (V)
- $I_{mp}$  = arus maksimum (A)
- $P_{mp}$  = daya maksimum (W)
- $\eta$  = efisiensi (%)
- $P_{in}$  = daya masukan sel surya (W)
- $G$  = intensitas cahaya ( $W/m^2$ )
- $A$  = luasan panel surya ( $m^2$ )

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja maksimum dari panel surya bergantung pada faktor berikut:

1. Temperatur atau Suhu udara

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap normal pada temperatur 25 °C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan (*V<sub>oc</sub>*) yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1 °C (dari 25 °C) akan mengakibatkan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga (daya) yang dihasilkan (Foster dkk., 2010). Besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar panel surya mengalami kenaikan °C dari temperatur standarnya, diperoleh dengan persamaan 6.

$$P_{saat\ t\ naik} = 0,5\% \times P_{MPP} \times \text{kenaikan } t \text{ (}^\circ\text{C)} \tag{6}$$

Dengan :

$$P_{saat\ t\ naik} = \text{daya pada saat temperatur naik } ^\circ\text{C dari temperatur standarnya.}$$

$$P_{MPP} = \text{daya keluaran maksimum panel surya.}$$

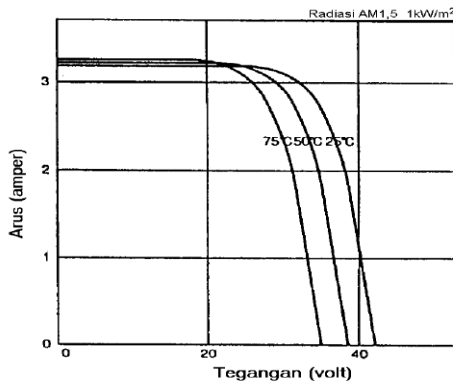
Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi *t* °C dari temperatur standarnya, dengan persamaan 7:

$$P_{MPP}(t) = P_{MPP} - P_{saat\ t\ naik} \tag{7}$$

Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$TCF = \frac{P_{mpp\ saat\ naik\ menjadi\ t^{\circ}C}}{P_{mpp}} \tag{8}$$

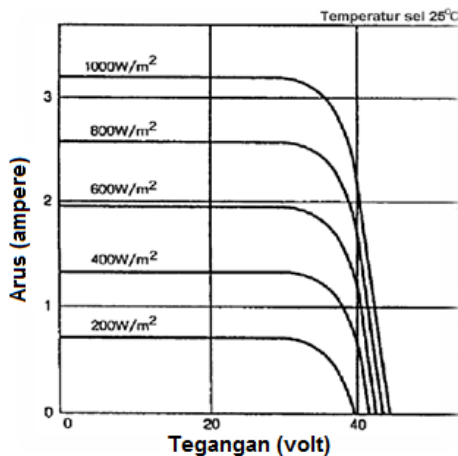
Pengaruh temperatur terhadap tegangan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Efek Temperatur *Solar Cell* terhadap Tegangan

2. Intensitas Cahaya Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolasion matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (V) (Hardiansyah, 2012). Pengaruh temperatur terhadap arus dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Efek *Insolation intensity* terhadap Arus

3. Kecepatan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan temperature permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran temperatur yang kondusif.

4. Keadaan Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

5. Sudut orientasi matahari (*tilt angle*) dan peletakan panel

Orientasi dari rangkaian PV (*array*) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi matahari juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Agar energi tetap berada pada nilai yang optimal maka permukaan *solar cell* harus dipertahankan tegak lurus terhadap sinar matahari yang jatuh ke permukaan panel surya, oleh karena itu penentuan *tilt angle* sangat penting untuk mempertahankan energi matahari yang dihasilkan.

C. Induktansi *Coil*

Induktansi dari induktor (*Coil*) tergantung pada konfigurasi fisik konduktor. Jika sebuah konduktor dibentuk menjadi sebuah lilitan, maka induktansi konduktor akan meningkat. Sebuah induktor dengan banyak lilitan akan memiliki induktansi lebih besar dari induktor dengan sedikit lilitan, jika kedua induktor tersebut secara fisik serupa. Inti induktor juga berpengaruh. Sebuah induktor dengan inti besi akan memiliki induktansi lebih besar dari induktor dengan inti udara.

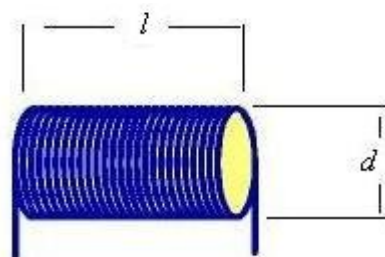
Polaritas gaya gerak listrik (ggl) yang diinduksikan selalu berlawanan dengan arah perubahan arus dalam rangkaian. Ini berarti bahwa jika arus dalam rangkaian meningkat, akan terjadi usaha untuk melawan ggl yang diinduksikan dengan menyimpan energi dalam medan magnet. Jika arus dalam rangkaian cenderung menurun, energi yang tersimpan dalam medan magnet akan kembali ke rangkaian, sehingga ditambahkan dengan energi yang dicatu oleh sumber ggl. Energi yang tersimpan dalam medan magnet sebuah induktor dapat dihitung dengan persamaan 9:

$$W = \frac{1}{2} I^2 L \tag{9}$$

dengan:

- $W$  = energi (J)
- $I$  = arus (A)
- $L$  = induktansi (H)

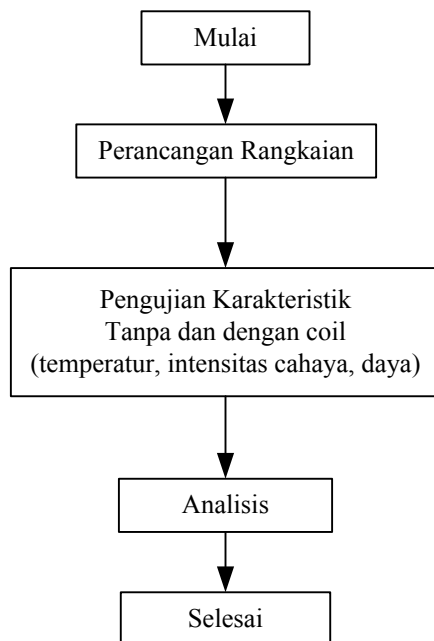
Induktansi pada kawat lurus dan pendek sangat kecil tetapi tidak dapat diabaikan. Jika arus yang melaluinya berubah sangat cepat sebagaimana pada frekuensi sangat tinggi, maka tegangan yang diinduksikannya juga harus diperhitungkan. Pada Gambar 4 menunjukkan contoh kumparan satu lapis dengan diameter ( $d$ ) dan panjang lilitan ( $l$ ).



Gambar 4. Induktansi Kumparan Satu Lapis

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Secara sederhana, metodologi penelitian dilakukan 3 tahap, yaitu perancangan rangkaian termasuk perancangan coil, pengujian karakteristik dan analisis. Secara sederhana dijelaskan pada diagram alir Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Sun Angle

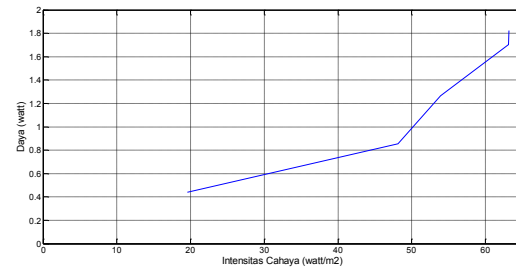
Pengujian *sun angle* dilakukan variasi sudut, yaitu mulai dari sudut  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ . Percobaan pada *sun angle* dilakukan dengan mengatur saklar intensitas pencahayaan dari posisi pertama hingga posisi kelima untuk masing-masing sudut percobaan *sun angle* pada alat *Solar Module* CO3208-1B. Gambar 6 merupakan gambar *Solar Module* CO3208-1B yang digunakan dalam pengujian *sun angle*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Pengujian Sun Angle

Sun Angle	Suhu panel (°C)	TCF	Intensitas Cahaya (w/m <sup>2</sup> )	Tegangan (volt)	Arus (amp)	Daya (watt)
0°	32,2	0,967	63,184	18,484	0,099	1,823
15°	30,66	0,974	63,153	18,702	0,0911	1,704
30°	30,1	0,976	53,941	18,10	0,0700	1,267
45°	29,74	0,978	48,127	17,604	0,0486	0,855
60°	29,28	0,980	19,545	16,864	0,0260	0,438

Hasil pengamatan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa besar sudut *sun angle* berbanding terbalik dengan suhu panel (°C), intensitas cahaya (Watt/m<sup>2</sup>), dan dengan daya (Watt) yaitu semakin besar sudut *sun angle* yang digunakan pada pengujian maka semakin kecil nilai suhu

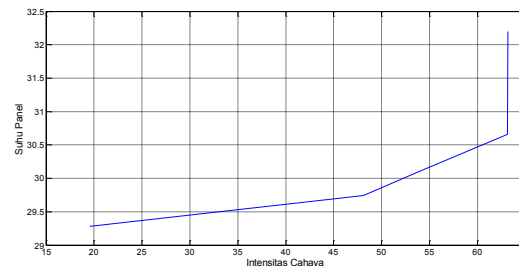
panel, intensitas cahaya, dan daya sel surya. Gambar 6 merupakan grafik perbandingan intensitas cahaya terhadap daya.



Gambar 6. Perbandingan Intensitas Cahaya terhadap Daya

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar daya yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan sel surya. Seperti diketahui bahwa setiap kenaikan temperatur  $1^\circ\text{C}$  (dari temperatur standarnya) pada panel surya, maka hal tersebut akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang sekitar 0,5%. Berdasarkan data Tabel 1 yang diperoleh dari rata-rata percobaan *Sun Angle*, pengurangan nilai daya pada panel surya diakibatkan oleh nilai *Temperature Correction Factor* (TCF) yang berkurang.

Nilai TCF merupakan salah satu parameter untuk mendapatkan nilai daya karena semakin besar nilai TCF maka semakin besar daya panel surya, begitu juga sebaliknya semakin kecil nilai TCF maka semakin kecil pula daya panel surya yang dihasilkan. Gambar 7 merupakan grafik berbanding intensitas cahaya terhadap suhu.



Gambar 7. Perbandingan Intensitas Cahaya Terhadap Suhu

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar suhu panel yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula suhu panel yang dihasilkan.

#### B. Pengujian Altitude Angle

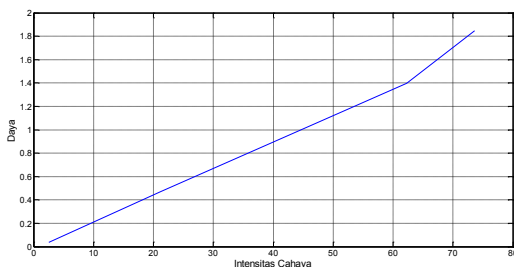
Pengujian *altitude angle* dilakukan pada beberapa sudut, yaitu mulai dari sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ . Pengujian dilakukan dengan mengatur saklar intensitas pencahayaan dari posisi pertama hingga posisi kelima untuk masing-masing sudut *altitude angle* pada alat *Solar Module* CO3208-1B.



Tabel 2. Nilai Rata-rata Pengujian *Altitude Angle*

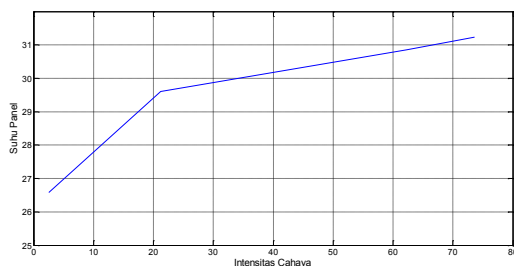
Altd. Angle	Suhu panel (°C)	TCF	Intensitas Cahaya (w/m <sup>2</sup> )	Tegangan (volt)	Arus (amp)	Daya (watt)
0°	31,24	0,972	73,612	18,29	0,101	1,847
35°	30,86	0,973	62,268	18,086	0,0773	1,398
60°	29,60	0,979	21,219	17,054	0,0275	0,469
90°	26,58	0,993	2,512	12,804	0,0028	0,036

Hasil pengamatan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa besar sudut *altitude angle* berbanding terbalik dengan suhu panel (°C), intensitas cahaya (Watt/m<sup>2</sup>), maupun dengan daya (Watt) yaitu semakin besar sudut *Altitude Angle* yang digunakan pada pengujian maka semakin kecil nilai suhu panel, intensitas cahaya, dan daya sel surya. Gambar 8 merupakan grafik perbandingan intensitas cahaya terhadap daya pada pengujian *altitude angle*.



Gambar 8. Perbandingan Intensitas Cahaya terhadap Daya

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar daya yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan sel surya.



Gambar 9. Perbandingan Intensitas Cahaya Terhadap Suhu

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar suhu panel yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula suhu panel yang dihasilkan.

**C. Pengujian pada *H-Neng PV modul***

Pengujian percobaan *H-Neng PV module* dilakukan pada beberapa macam *coil* yaitu tanpa *coil*, menggunakan *coil* pertama (30 lilitan), kedua (45 lilitan), dan ketiga (60 lilitan). Pada Pengujian ini setiap percobaan diberi beberapa perlakuan yaitu dengan

menyalakan 1 lampu, 2 lampu, 3 lampu, dan 4 lampu yang terpasang didalam kotak pengujian. Gambar 10 merupakan gambar dari pengujian pada *H-Neng PV modul*.



Gambar 10. Pengujian pada *H-Neng PV modul*

Tabel 3. Nilai Induktansi *Coil*

<i>coil</i>	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Jumlah Lilitan	Induktansi (μH)
1	3,5	0,7	30	307,624
2	3,5	1	45	611,727
3	3,5	1,5	60	910,683

Pengujian modul *H-Neng PV* dilakukan tanpa dan dengan *coil* yang bervariasi seperti pada Tabel 3. Dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Rata-rata Percobaan Menggunakan *Coil*

Kondisi	Suhu Panel (°C)	TCF	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Tegangan (volt)	Arus (amp)	Daya (Watt)
Tanpa <i>coil</i>	27,67	0,988	13,983	4,722	0,0337	0,1668
<i>Coil 1</i>	27,95	0,973	12,778	4,720	0,0342	0,1693
<i>Coil 2</i>	28,35	0,985	12,897	4,737	0,0348	0,1731
<i>Coil 3</i>	28,70	0,983	13,983	4,763	0,0351	0,1755

Tabel 4 menunjukkan bahwa percobaan tanpa *coil* sampai *coil* ketiga berbanding lurus dengan suhu dan daya sel surya yaitu terjadi peningkatan suhu dari kondisi tanpa *coil* hingga *coil* ketiga yaitu sebesar 0,28°C, 0,68°C, dan 1,03°C. Nilai daya mengalami kenaikan dari *coil* pertama sebesar 0,0025W, *coil* kedua sebesar 0,0063W, dan *coil* ketiga sebesar sampai 0,0087W. Gambar 11 merupakan grafik perbandingan daya terhadap suhu pada percobaan menggunakan *coil*.

**V. SIMPULAN**

Hasil yang diperoleh dari pengujian sel surya yaitu nilai suhu saat pengujian tanpa *coil* 27,67°C, saat pengujian *coil* pertama 27,95°C naik sebesar 0,28°C, *coil* kedua 28,35°C naik 0,68°C, dan *coil* ketiga 28,70°C naik 1,03°C.

Nilai daya saat pengujian tanpa *coil* 0,1668 Watt, saat pengujian *coil* pertama 0,1693 Watt naik 0,0025 Watt, *coil* kedua 0,1731 Watt naik 0,0063 Watt, dan *coil* ketiga 0,1755Watt naik 0,0087 Watt.

**DAFTAR PUSTAKA**

Dwistya A, N. (2010). *Aplikasi Sel Surya Sebagai Energi Terbarukan Pembangkit Listrik Pada Solar Home System*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran.

- Hardiansyah. (2012). *Perancangan Dual Axis Solar Tracker*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Herlina. (2009). *Analisis Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan*. Tesis Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Imron. (2013). *Studi Pemanfaatan Energi Matahari Di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Kumara, N. (2010). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- Mintorogo, D. (2000). *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial*. Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Permana, H. (2014). *studi potensi pembangkit listrik tenaga surya sebagai energi pendukung pada sistem kelistrikan di Hotel The Royale Krakatau Cilegon*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Santiari, I Dewa A. S. (2011). *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan Di Nusa Lembongan Bali*. Tesis Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- Suriadi dan Syukri M. (2010). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan Di Banda Aceh*. Jurnal Rekayasa Elektrika Jurusan Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala Vol. 9. No. 2.
- Tamamadin, M. (2008). *Kajian Daerah Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Studi Kasus di Wilayah Jawa Timur)*. Tugas Akhir Jurusan Meteorologi Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung.
- Tomoaki Ikegami et al, (2012). *PV module diagnostics using dynamic response to external cell excitation*. School of Science and Technology, GelK. Kumamoto University.

# Rancangan Dual Band Cascode Band Pass Filter Frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz untuk Perangkat Tower Set Bandara Budiarto

Teguh Firmansyah<sup>1</sup>, Dwi Harsojo<sup>2</sup>, Toni<sup>3</sup>, Feti Fatonah<sup>4</sup>, Abdul Aziz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (USAT). Cilegon. Banten.

<sup>2</sup>Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara. Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI). Curug. Tangerang. Banten.

[teguhfirmansyah@untirta.ac.id](mailto:teguhfirmansyah@untirta.ac.id)

**Abstrak** – Pada penelitian ini dilakukan perancangan bandpass filter dengan dual frekuensi secara cascode. Filter tersebut bekerja pada frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz yang merupakan frekuensi untuk Perangkat Tower Set di Bandara Budiarto. Hasil perancangan bandpass filter pada frekuensi 119,7 MHz diperoleh nilai return loss ( $S_{11}$ ) sebesar -37,86 dB, bandwidth 19 kHz, insertion loss ( $S_{21}$ ) -0,001 dB. Sementara itu, pada frekuensi 123,2 MHz diperoleh nilai return loss ( $S_{11}$ ) sebesar -19,167 dB, bandwidth 16 kHz, insertion loss ( $S_{21}$ ) -0,053 dB. Filter dual frekuensi menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi standar spesifikasi yang diharapkan.

**Kata kunci:** Cascode, Insertion Loss, Return Loss, Filter.

**Abstract** – The band pass filter with a dual frequency with cascode method was simulated, analyzed, and reported in this paper. The filter works at frequency 119.7 MHz and 123.2 MHz which is the frequency for Budiarto Airport Tower Set. The simulation of the bandpass is obtained return loss ( $S_{11}$ ) of -37.86 dB, 19 kHz bandwidth, insertion loss ( $S_{21}$ ) -0.001 dB at the frequency 119.7 MHz. Meanwhile, on the frequency 123.2 MHz have a return loss ( $S_{11}$ ) -19.167 dB, 16 kHz bandwidth, insertion loss ( $S_{21}$ ) -0.053 dB. This dual frequency filter shown good performance and meets the specifications of the standards.

**Keywords:** Cascode, Insertion Loss, Return Loss, Filter.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan komunikasi yang ada di Bandar Udara Budiarto adalah peralatan *Tower Set* yang merupakan peralatan komunikasi penerbangan dari darat ke udara atau sebaliknya berupa informasi penerbangan dan pengaturan pergerakan pesawat udara termasuk pendaratan dan lepas landas [1].

Komunikasi yang berlangsung antara Pemandu Lalu Lintas Udara dan Pilot tersebut berlangsung menggunakan frekuensi radio. Berdasarkan Annex 10 tentang *Aeronautical Telecommunications Vol.V*, pembagian rentang frekuensi yang dialokasikan untuk komunikasi berada pada klasifikasi kelas *Very High Frequency* (VHF) yang biasa disebut VHF A/G (*Air to Ground*) memiliki rentang frekuensi 117,975 MHz sampai dengan 137 MHz, dengan *channel spacing* 25 kHz. Bandarudara Budiarto memiliki dua *channel* frekuensi yang digunakan pada proses komunikasi tersebut, yaitu pada frekuensi *Ground* 119,7 MHz dan frekuensi *Tower* 123,2 MHz.

Penggunaan frekuensi VHF A/G (*Air to Ground*) memiliki kekurangan yaitu sering terjadi interferensi pada frekuensi penerima *Tower Set* yang disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya adalah penggunaan radio amatir disekitar Bandar udara Budiarto sehingga

mengganggu proses komunikasi antar Pilot dan Pemandu Lalu Lintas Udara.

Untuk menanggulangi faktor adanya gangguan interferensi dari *channel* frekuensi lain saat sedang melakukan komunikasi, maka dibutuhkanlah sebuah metode yang dapat memisahkan *spectrum* frekuensi secara lebih spesifik. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah filter [1][2].

Dari permasalahan yang muncul maka pada penelitian ini akan dirancang *bandpass* filter menggunakan komponen *lumped*, yaitu induktor dan kapasitor, yang diharapkan mampu bekerja pada dua frekuensi yaitu frekuensi *Ground* 119,7 MHz dan frekuensi *Tower* 123,2 MHz untuk peralatan penerima *Tower Set* Bandar Udara Budiartodengan lokasi penelitian di Bandar Udara Budiarto.

## II. PERANCANGAN BAND PASS FILTER

### A. Gambaran Umum Sistem Receiver

Peralatan penunjang telekomunikasi antara pemandu lalu lintas udara dan pilot adalah peralatan *Tower set*. Dalam hal ini Bandar udara Budiarto memiliki dua *channel* frekuensi yang digunakan untuk proses komunikasi, yaitu frekuensi *ground* di 119,7 MHz dan frekuensi *tower* di 123,2 MHz. Untuk menghindari adanya gangguan atau interferensi dari frekuensi-

frekuensi lainnya, di gunakan sebuah metode yang disebut filter.

Filter bekerja melewati frekuensi yang dikehendaki dan membatasi frekuensi yang tidak diinginkan. Perancangan filter diawali dengan menentukan karakteristik filter yang diharapkan, karakteristik yang dimaksud adalah jenis filter yang digunakan, frekuensi kerja, bandwidth, return loss dan insertion loss [3][4][5].

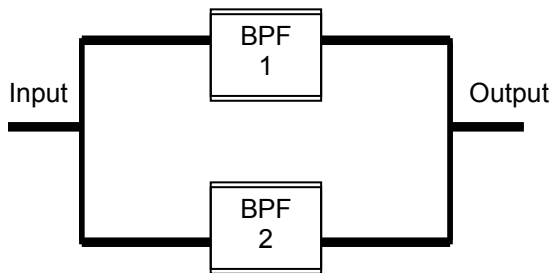
Dalam perancangan ini ditentukan jenis filter yang digunakan yaitu bandpass filter, yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz, dibuat dengan menggunakan komponen *lumped*, yaitu kapasitor dan induktor yang dirangkai secara baik seri maupun paralel, untuk kemudian ditentukan nilai nya.

Kemudian rancangan rangkaian bandpass filter tersebut disimulasikan untuk mengetahui hasilnya, adapun hasil yang diperoleh dari simulasi harus memenuhi spesifikasi dari bandpass filter yang akan dirancang yaitu bekerja pada frekuensi kerja 119,7 MHz dan 123,2 MHz, dengan nilai *insertion loss* lebih dari – 3 dB, nilai *return loss* kurang dari – 10 dB, dan *bandwidth* sebesar kurang lebih 25 kHz.

Setelah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, simulasi *dual bandpass* ini akan memasuki tahap pabrikan. Hasil pabrikan tersebut akan diuji menggunakan alat ukur *Network Analyzer*, yang hasil pengukurannya tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi.

**B. Tahap Perancangan BPF**

Rangkaian *lumped* akan digunakan pada frekuensi pertama yaitu 119,7 MHz dan selanjutnya digunakan kembali pada frekuensi kedua, yaitu frekuensi 123,2 MHz, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pembentukan *dual bandpass filter*

**1. Frekuensi yang dipilih**

Pemilihan frekuensi dilakukan berdasarkan *focus* penelitian, yaitu di bandar udara budiarto yang mana frekuensi yang dipilih menyesuaikan dengan peralatan tower set yang digunakan untuk berkomunikasi di bandar udara tersebut. Frekuensi yang dimaksud adalah 119,7 MHz untuk frekuensi *Ground* dan frekuensi 123,2 MHz untuk frekuensi *Tower*.

**2. Pemilihan spesifikasi filter**

Agar filter yang dirancang ini bekerja sesuai dengan fungsinya yang hanya melewati frekuensi yang diinginkan, frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz, maka dipilih jenis filter yang berfungsi hanya melewati

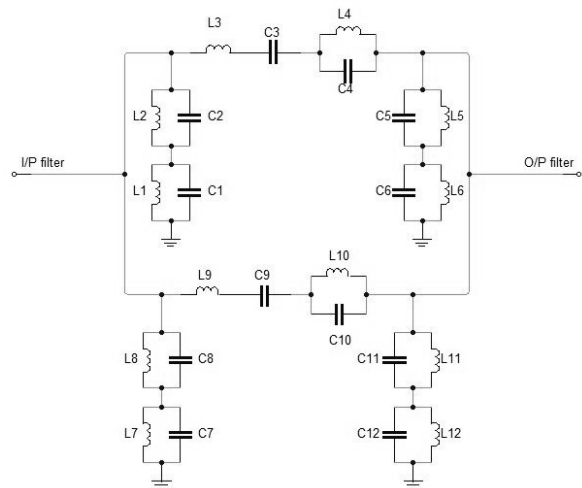
frekuensi tengah, dan membatasi frekuensi sesudah dan sebelum, yaitu filter jenis *bandpass*.

Perancangan *bandpass* filter ini juga memiliki spesifikasi yang harus dipenuhi agar mampu bekerja diperalatan penerima *tower set*, adapun spesifikasi yang harus dipenuhi seperti pada Tabel 3.2, yaitu lebar *bandwidth* kurang lebih 25 kHz, nilai *return loss* kurang dari -10 dB, nilai *insertion loss* > -3 dB, dan nilai VSWR kurang dari 2.

**3. Perancangan konfigurasi filter**

Untuk merancang sebuah filter yang mampu melewati frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz dibentuk sebuah rangkaian yang terdiri dari komponen *lumped*, yaitu induktor dan kapasitor.

Untuk mendapatkan dua frekuensi kerja, maka penulis membuat rancangan *bandpass* filter ini menggunakan konsep pada Gambar 1. Sehingga, rangkaian yang dirancang akan menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi *Dual Bandpass* filter yang dirancang

**4. Menentukan Nilai Komponen *Lumped Dual Bandpass Filter***

Langkah selanjutnya setelah merancang konfigurasi *dual bandpass* filter adalah menentukan nilai komponen. Untuk mendapatkan nilai komponen, terlebih dahulu dihitung nilai variabel-variabel yang dibutuhkan. Untuk menentukan nilai variabel, terlebih dahulu diketahui bahwa [4][5][6]:

$$\begin{aligned} \omega_a &= 119,7 \\ \omega_b &= 119,7 \\ \omega_p &= 2,51 \times 10^{-3} \\ \omega_z &= 1,89 \times 10^{-3} \\ \omega_{z1} &= 119,684 \\ \omega_{z2} &= 119,716 \\ \omega_{p1} &= 119,684 \\ \omega_{p2} &= 119,716 \\ X &= 63841,7699 \end{aligned}$$

Nilai komponen ini di peroleh melalui perhitungan frekuensi resonansi yang dapat dihitung dengan menentukan impedansi total dengan pendekatan. Sehingga didapati persamaan untuk menentukan nilai komponen untuk frekuensi 119,7 MHz sebagai berikut:

Diketahui nilai-nilai variabel:  
 $b = 1,4507 \times 10^{-4}$

$$\begin{aligned}
 a &= 5,25 \times 10^{-9} \\
 f &= 1,4507 \times 10^{-4} \\
 d &= 5,25 \times 10^{-9} \\
 E &= \frac{X \omega_a^2 (\omega_b^4 d - \omega_b^2 f + 1)}{\omega_b \omega_a^2 - \omega_b^3} \\
 &= 2,670 \times 10^{-7} \\
 \text{maka nilai } C_1 \text{ adalah:} \\
 C_1 &= \frac{\omega_a^4 a - \omega_a^2 b + 1}{X \left( \omega_a - \frac{\omega_a^3}{\omega_b} \right)} \\
 &= \frac{119,7^4 \cdot 5,25 \times 10^{-9} - 119,7^2 \cdot 1,4507 \times 10^{-4} + 1}{1,329 \times 10^{-3} \left( 119,7 - \frac{119,7^3}{(2,51 \times 10^{-3})^2} \right)}
 \end{aligned}$$

= 42,705 pF  
Maka nilai L1 adalah

$$L_1 = \frac{a \omega_p^2}{C_1} = \frac{5,25 \times 10^{-9} (2,51 \times 10^{-3})^2}{42,705} = 37,28 \text{ nH}$$

Nilai C2 dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$C_2 = \frac{-C_1}{a \omega_p^4 + 1 - b \omega_p^2} = 64,16 \text{ pF}$$

Maka nilai L2 adalah

$$L_2 = \frac{1}{\omega_p^2 C_2} = \frac{1}{(2,51 \times 10^{-3})^2 \cdot 64,16} = 29,6867 \text{ nH}$$

Sementara nilai C4 menggunakan persamaan

$$C_4 = \frac{\left( f - \frac{v}{2} \right) 2 \omega_z^2 d - v \omega_z^2 d}{2 \omega_z^2 d E - v E} = 49,755 \text{ pF}$$

Sedangkan nilai L4 dengan menggunakan persamaan

$$L_4 = \frac{d \omega_{p1}^2}{C_4} = \frac{5,25 \times 10^{-7} \cdot (119,684)^2}{49,755} = 80,785 \text{ nH}$$

Untuk menentukan nilai komponen C3

$$C_3 = \frac{-\omega_z^2 d C_4}{\omega_z^2 d - E C_4} = 82,76 \text{ pF}$$

Selain itu, untuk menentukan nilai L3

$$L_3 = \frac{d \omega_{p2}^2}{C_3} = \frac{5,25 \times 10^{-9} \cdot (119,716)^2}{82,76} = 84,885 \text{ nH}$$

Menentukan nilai C5, L5, C6 dan L6 dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 C_5 &= \frac{-\omega_z^2 d C_4}{\omega_z^2 d - E C_4} \\
 &= \frac{-(1,89 \times 10^{-3})^2 \cdot 5,25 \times 10^{-9} \cdot 49,755}{(1,89 \times 10^{-3})^2 \cdot 2,27 \times 10^8 - 2,67 \times 10^{-7} \cdot 49,755} \\
 &= 43,66 \text{ pF} \\
 L_5 &= \frac{d \omega_{p2}^2}{C_5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5,25 \times 10^{-9} \cdot (119,716)^2}{82,76} \\
 &= 47,185 \text{ nH} \\
 C_6 &= \frac{\left( f - \frac{v}{2} \right) 2 \omega_z^2 d - v \omega_z^2 d}{2 \omega_z^2 d E - v E} \\
 &= 26,265 \text{ pF} \\
 L_6 &= \frac{d \omega_{p1}^2}{C_6} \\
 &= \frac{5,25 \times 10^{-7} \cdot (119,684)^2}{49,755} \\
 &= 51,55 \text{ nH}
 \end{aligned}$$

Berikut di bawah ini merupakan nilai komponen pada rangkaian yang bekerja di frekuensi 119,7 MHz.

Tabel 1. Komponen *Bandpass* filter untuk frekuensi 119,7 MHz

Komponen	Nilai
L1	37,28 nH
L2	29,6867 nH
L3	84,885 nH
L4	80,785 nH
L5	47,185 nH
L6	51,55 nH
C1	42,705 pF
C2	64,16 pF
C3	82,76 pF
C4	49,755 pF
C5	43,66 pF
C6	28,265 pF

Dan pada frekuensi 123,2 MHz didapatkan nilai komponennya sebagai berikut,

Diketahui bahwa  
 $\omega_a = 123,2$   
 $\omega_b = 123,2$   
 $\omega_p = 2,662 \times 10^{-3}$   
 $\omega_z = 1,88 \times 10^{-3}$   
 $\omega_{z1} = 123,184$   
 $\omega_{z2} = 123,216$   
 $\omega_{p1} = 123,184$   
 $\omega_{p2} = 123,216$   
 $X = 62081,89$

Berdasarkan hasil perhitungan yang sama maka diperoleh nilai komponen seperti Tabel 2.

Tabel 2. Komponen *Bandpass* filter untuk frekuensi 123,2 MHz

Komponen	Nilai
L7	37,255 nH
L8	28,2 nH
L9	80,2 nH
L10	71,2 nH
L11	45 nH
L12	50,2 nH
C7	41,15 pF
C8	62,905 pF
C9	88,55 pF
C10	50,2 pF
C11	40,9 pF
C12	29,35 pF

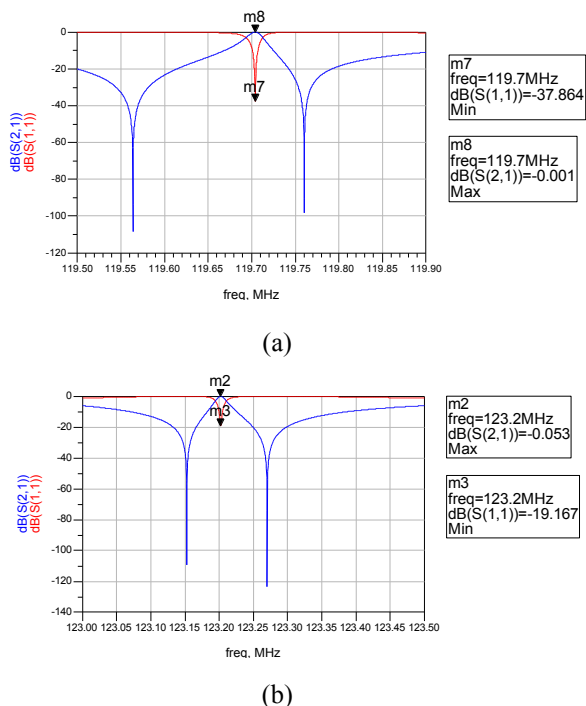
5. Simulasi rangkaian



Pada bagian ini akan dibahas kinerja dari *dual bandpass* filter yang dirancang menggunakan perangkat lunak untuk dianalisa kinerjanya. Perangkat lunak yang digunakan merupakan perangkat lunak yang memiliki fungsi untuk mendesain, simulasi, dan melakukan pengukuran secara akurat, pada perangkat yang menggunakan frekuensi tinggi. Kinerja yang pertama kali akan ditampilkan adalah simulasi *input return loss* ( $S_{11}$ ) yang akan menunjukkan frekuensi dari *dual bandpass* filter. Kemudian akan ditampilkan nilai *insertion loss* ( $S_{21}$ ) untuk mengetahui seberapa besar daya yang hilang akibat penyisipan filter diantara kedua *port*. *VSWR* dan  $Z_{IN}$  juga akan ditampilkan untuk mengetahui sejauh mana *matching impedance* yang dihasilkan. Tahapan yang terakhir adalah mengukur *group delay* dari *dual bandpass* filter tersebut [7][8][9][10].

**a. Hasil Simulasi Frekuensi Kerja**

Berdasarkan hasil simulasi yang terlihat pada Gambar 3. bahwa frekuensi yang ditunjukkan adalah 119,7 MHz dan 123,2 MHz, dimana frekuensi tersebut merupakan frekuensi yang digunakan pada peralatan penerima *tower set* di bandar udara budiarto. Dapat disimpulkan bahwa, *dual bandpass* filter ini telah bekerja pada dua frekuensi yang diinginkan.

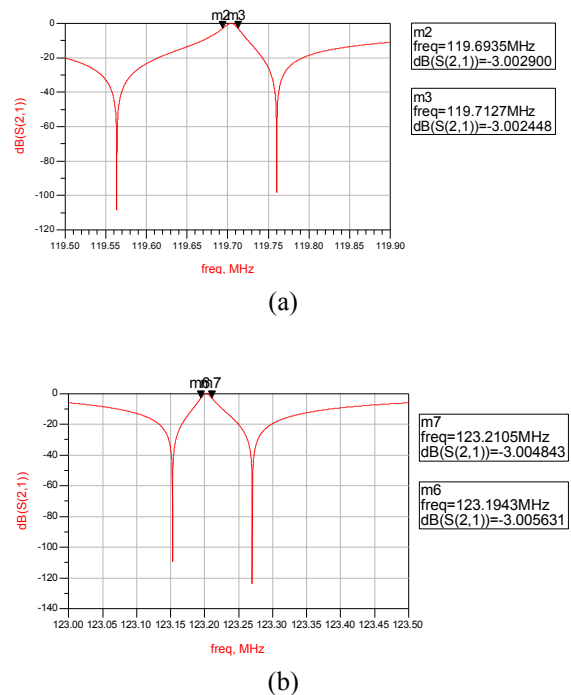


Gambar 3. Hasil simulasi frekuensi kerja pada (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

**b. Hasil Simulasi Bandwidth**

Untuk mempresentasikan *bandwidth* sebuah filter nilai umum yang dipergunakan adalah *bandwidth*  $S_{21}$ . *Bandwidth* pada  $S_{21}$  menunjukkan rentang frekuensi di mana terjadi hilangnya daya yang ditransmisikan tidak lebih dari - 3 dB. Nilai *bandwidth* diperoleh berdasarkan frekuensi atas dari frekuensi 119,7 MHz dan 123,2 MHz pada - 3 dB dikurangi nilai frekuensi bawahnya pada - 3 dB. Nilai *bandwidth* yang diperoleh pada frekuensi 119,7 MHz sebesar 19,2 kHz, dan pada frekuensi 123,2 MHz

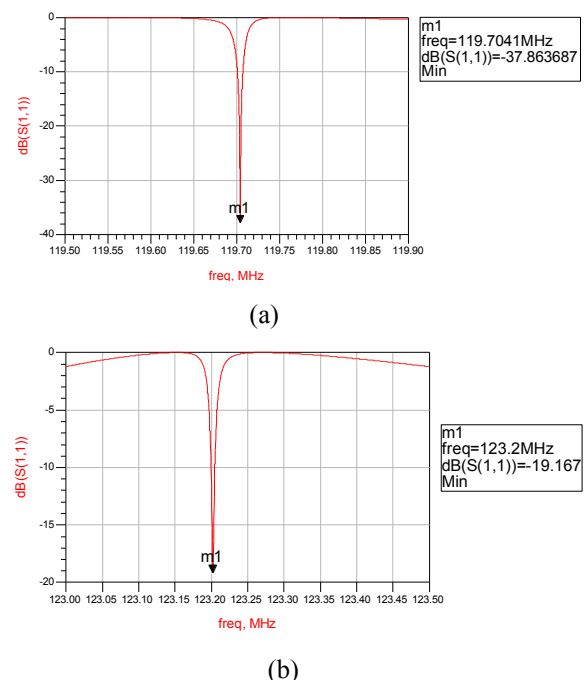
sebesar 16,2 kHz di tunjukkan pada Gambar 4. (a) dan (b).



Gambar 4. Nilai frekuensi batas atas dan batas bawah pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

**c. Hasil Simulasi Return Loss ( $S_{11}$ )**

Nilai *return loss* yang dibutuhkan berdasarkan spesifikasi di Tabel 3.2 adalah kurang dari - 10 dB. Hasil simulasi *return loss* pada kedua frekuensi ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai yang didapat pada frekuensi 119,7 MHz adalah - 37,86 dB dan pada frekuensi 123,2 MHz adalah -19,16 dB, menunjukkan bahwa rangkaian *dual bandpass* filter mampu beroperasi pada dua frekuensi yang berbeda.

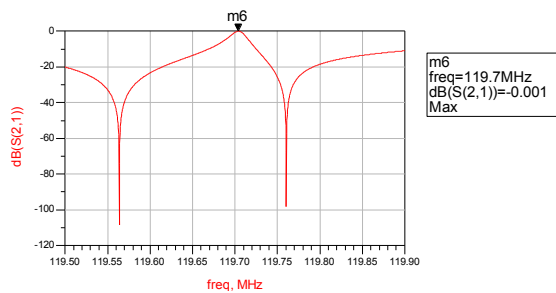


Gambar 5. Hasil simulasi *return loss* pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

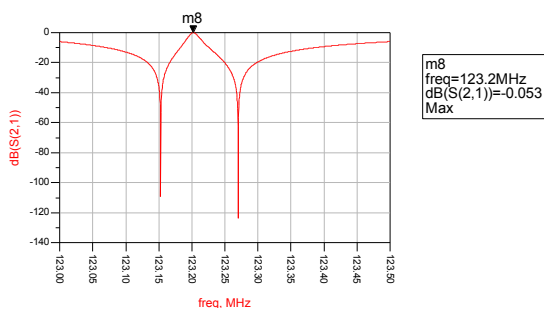
**d. Hasil Simulasi Insertion Loss ( $S_{21}$ )**

Hasil simulasi *insertion loss* ( $S_{21}$ ) rangkaian *dual bandpass* filter diperlihatkan pada Gambar 6. Nilai *insertion loss* yang didapati pada frekuensi 119,7 MHz adalah - 0,001 dB dan frekuensi 123,2 MHz adalah - 0,053 dB, yang mana telah memenuhi nilai spesifikasi minimal yaitu kurang dari - 3 dB.

Nilai *insertion loss* yang mendekati nol menunjukkan semakin kecil daya yang hilang akibat penyisipan filter di antara kedua port. Sehingga, dapat ditarik kesimpulan bahwa *dual bandpass* filter dapat bekerja pada dua frekuensi yang diinginkan.



(a)

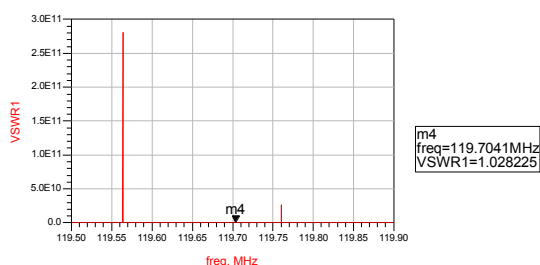


(b)

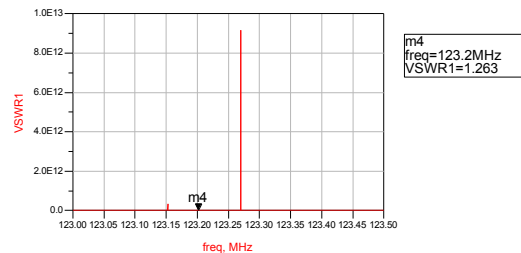
Gambar 6. Hasil simulasi *insertion loss* pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

**e. Hasil Simulasi VSWR**

VSWR pada rangkaian idealnya bernilai satu. Semakin VSWR mendekati nilai 1, rangkaian semakin baik. Nilai VSWR pada masing-masing frekuensi telah mencapai kondisi yang diharapkan, yaitu memiliki nilai antara 1 – 2 pada semua frekuensi kerja *dual bandpass* filter tersebut. Dari Gambar 7. tampak bahwa nilai hasil simulasi pada frekuensi 119,7 MHz adalah 1,02 dan 123,2 MHz adalah 1,26.



(a)



(b)

Gambar 7. Hasil simulasi VSWR pada frekuensi (a) 119,7 MHz dan (b) 123,2 MHz

**C. Pabrikasi Rancangan**

Setelah proses perancangan selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah proses pabrikasi. Hasil pabrikasi tersebut kemudian diukur menggunakan *Network Analyzer* di Balai Teknik Penerbangan Direktorat Jendral Perhubungan Udara.

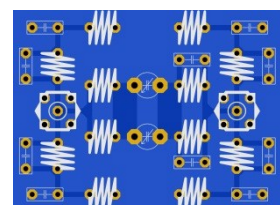
**1. Pabrikasi Dual Bandpass Filter**

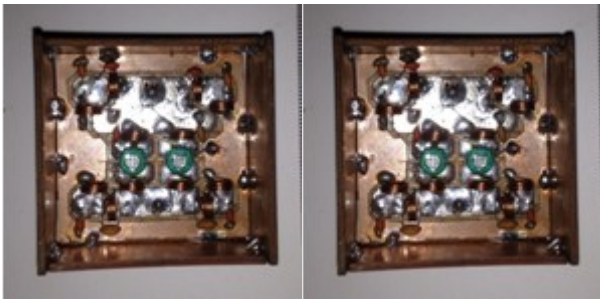
Rangkaian *dual bandpass* filter yang dirancang terbukti memiliki kinerja yang bagus seperti yang diperlihatkan pada hasil simulasinya. Filter tersebut kemudian dipabrikasi ke *Printed Circuit Board* (PCB). Sebelum dilakukannya pabrikasi, terlebih dahulu dibuat *layout* PCB yang diperlihatkan pada Gambar 8a. Hasil pabrikasi *bandpass* filter yang bekerja di dua frekuensi ini diperlihatkan pada Gambar 8b dan Gambar 8c.

Karena keterbatasan nilai komponen yang terdapat di pasaran, maka terdapat perbedaan nilai antara komponen di simulasi dan komponen saat pabrikasi, perbedaan tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan Nilai Komponen saat Simulasi dan Pabrikasi

Nilai Komponen Simulasi		Nilai Komponen Pabrikasi	
C (pF)	L (nH)	C (pF)	L (μH)
42,705	37,28	47	1,96
64,16	29,6867	68	1,94
82,76	84,885	82	1,97
49,755	80,785	56	2
43,66	47,185	47	1,95
28,265	51,55	27	1,95
41,15	37,255	47	2
62,905	28,2	68	1,97
88,55	80,2	82	1,97
50,2	71,2	56	2
40,9	45	39	1,87
29,35	50,2	33	1,90





Gambar 9. *Dual bandpass* filter hasil pabrikasi (a) Layout PCB, (b) tampak depan dan (c) tampak belakang

### III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa kinerja *dual bandpass* filter yang telah disimulasikan dan juga dari hasil pabrikasi maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Telah dilakukan penelitian tentang rancangan *bandpass* filter dual frekuensi yang dirancang, disimulasi, dipabrikasi, dan dianalisa hasil pengukurannya. Penelitian ini bersifat konsep, sehingga belum diaplikasikan langsung pada perangkat penerima *Tower Set*.
- b. Hasil Simulasi *bandpass* filter dual frekuensi menunjukkan performa yang baik dan memenuhi standar spesifikasi. Pada frekuensi 119,7 MHz diperoleh *return loss* ( $S_{11}$ ) sebesar -37,86 dB, *bandwidth* 19 kHz, *insertion loss* ( $S_{21}$ ) -0,001, dan pada frekuensi 123,2 MHz diperoleh *return loss* ( $S_{11}$ ) sebesar -19,167 dB, *bandwidth* 16 kHz, *insertion loss* ( $S_{21}$ ) -0,053. Pada pengukuran hasil pabrikasi terjadi ketidaksesuaian dikarenakan faktor nilai komponen dan proses pabrikasinya.

### IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Simanjuntak, Daniel. 2012. *Perancangan Concurrent Quadband Bandpass Filter dengan Menggunakan Komponen Lumped pada Frekuensi 950 MHz, 1.85 GHz, dan 2.65 GHz*. Depok: Universitas Indonesia.
- [2] Sari, Dewi Puspita. 2013. *Rancang Bangun Quadband BPF Konfigurasi Hairpin Tri-Section Stepped Impedance Resonator*. Depok: Universitas Indonesia.
- [3] Sayre, Cotter W. 2008. *Complete Wireless Design Second Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] Chang, Kai. 2000. *RF and Microwave Wireless Systems*. New York: John Wiley & Son, Inc.
- [5] Goes, Thiago P. R. dan Robson N. de Lima. *A Design Technique for Dual-band RF Bandpass Filter*. Bahia: Federal University of Bahia.
- [6] Blocher, Richard. 2004. "Dasar Elektronika". Yogyakarta: Penerbit Andi.

- [7] Bhargava, Anurag, dkk. 2008. *ADS RF Circuit Design Cook Book Vol. 1 Ver. 1*. India: Agilent Technologies.
- [8] Rusmadi, Dedy. 2007. *Mengenal Teknik Elektronika*. Bandung: CV. Pionir Jaya.
- [9] Nasution, S. 2003. *Metode Penelitian Naturalistik Kualitatif*. Bandung: Tarsito.
- [10] Pozar, David M. 2012. *Microwave Engineering Fourth Edition*. Massachusetts: John Wiley & Sons, Inc.

# Perancangan *Wideband Band Pass Filter (Bpf)* Dengan *Metamaterial* Mikrostrip Frekuensi 1,78 Ghz – 3,38 Ghz

Triprijooetomo<sup>1</sup>, Toto Supriyanto<sup>2</sup>  
 Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425  
 Telepon : 021-7270036, 021-7270044  
<sup>1</sup>triprijooetomo@gmail.com, <sup>3</sup>totosupr@yahoo.com

**Abstrak** –Sifat metamaterial dapat diperoleh dengan membuat sebuah struktur material yang memiliki sifat tidak tersedia di alam. Struktur material adalah sebuah struktur yang memiliki nilai permitivity ( $\epsilon$ ) dan permeability ( $\mu$ ) negatif. Pada penelitian ini bahan metamaterial dipergunakan untuk aplikasi bandpass filter (BPF). Hasil perancangan memperlihatkan nilai bandwidth sebesar 1,6 GHz dengan return loss dibawah - 10 dB. Filter ini bekerja pada frekuensi 1,78 GHz sampai dengan 3,38 GHz dengan nilai retun loss minimal sebesar -42,2 dB serta nilai insertion loss lebih besar dari -3dB. Hasil perancangan ini dapat dipergunakan untuk perangkat komunikasi nirkabel pita lebar.

**Kata kunci:** *Band Pass Filter, Metamaetial, Nirkabel, Wideband .*

**Abstract** – *The nature of metamaterial can be obtained by making a material structure that has properties not available in nature. The structure of the material is a structure that has a value of permitivity ( $\epsilon$ ) and permeability ( $\mu$ ) is negative. In this study, the material used for the application of metamaterial bandpass filter (BPF). The results show the value of the design bandwidth of 1.6 GHz with a return loss of -10 dB below. This filter works at a frequency of 1.78 GHz up to 3.38 GHz with a minimum value of retun loss amounted to -42.2 dB and insertion loss value is greater than -3dB. The result of this design can be used for broadband wireless communication devices.*

**Keywords:** *Band Pass Filter, Metamaterial, Wireless, Wideband.*

## I. PENDAHULUAN

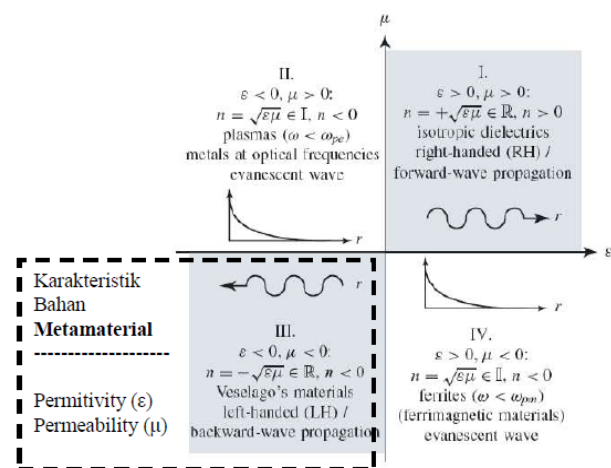
Filter memegang peranan penting pada banyak aplikasi RF/gelombang mikro. Alplikasi penting seperti komunikasi wireless memberikan tantangan untuk kemajuan filter RF/gelombang mikro sehingga lebih baik dari sebelumnya, performa tinggi, ukuran yang lebih kecil, lebih ringan dan harga yang lebih murah.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

Filter mikrostrip untuk aplikasi RF/gelombang mikro menawarkan perawatan yang unik dan komprehensif.

Pada sistem komunikasi nirkabel, RF filter berguna untuk memisahkan sinyal informasi dan *noise*. Agar sinyal informasi dan *noise* dapat terpisah secara baik, maka diperlukan sebuah filter yang memiliki kinerja yang bagus. Penilaian kinerja sebuah filter dapat dilihat nilai parameter yang dihasilkannya. Nilai kinerja sebuah filter

sangat erat kaitannya dengan bahan yang dipergunakan untuk pabrikan filter tersebut.

Pada penelitian ini akan dibuat simulasi sistem pengestimasi kecepatan dengan algoritma dari fase kerja Kalman *filter* yang memanfaatkan umpan balik untuk memprediksi dan mengkoreksi sistem keadaan dalam bentuk program menggunakan MATLAB. Sistem



pengestimasi yang dibuat mendapatkan *input* berupa runtunan citra.

Gambar 1. Permittivity-permeability diagram ( $\epsilon$ - $\mu$ ) dan indeks bias ( $n$ ) [1]

Sebagai *state of the art*, pada penelitian ini diusulkan sebuah rancangan broadband filter menggunakan bahan

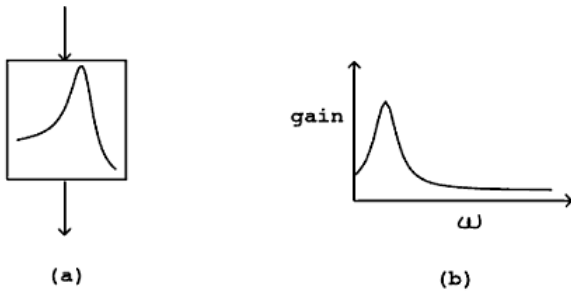
metamaterial yang bekerja pada teknologi WiMAX dan WiFi secara bersamaan (*simultaneous*). Sehingga dapat meningkatkan efisiensi perangkat dan menjadikan perangkat semakin compact. Bahan metamaterial dapat diperoleh dengan membuat sebuah struktur material yang memiliki sifat tidak tersedia di alam. Struktur material adalah sebuah struktur yang memiliki nilai permitivity ( $\epsilon$ ) dan permeability ( $\mu$ ) negatif, terlihat pada Kuadran III pada Gambar 1.1.

II. LANDASAN TEORI

Di dalam perancangan filter, spesifikasi yang penting untuk diperhatikan adalah cakupan frekuensi, *bandwidth*, rugi-rugi penyisipan (*insertion loss*), redaman dan frekuensi *bandstop*, level impedansi masukan dan keluaran, *voltage standing wave ratio* (VSWR), dan *group delay*.

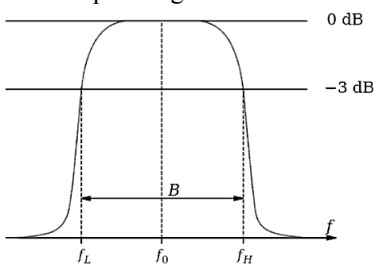
A. Filter Bandpass

Seuah jaringan penunda yang dirancang khusus untuk respon frekuensi atau fasa dikenal dengan Filter, blok diagram filter dapat dilihat seperti pada gambar 2.1. (bagian a)



Gambar 2.1. (a) Blok diagram Filter (b) Grafik Respon Frekuensi [2]

Dalam aplikasinya filter harus sesuai menurut respon frekuensi yang telah ditentukan dan yang tidak kalah pentingnya adalah memperkecil waktu delay dan respon fasa dan prameternya mampu mengatasi perubahan secara cepat dengan waktu.



Gambar 2.2. Diagram magnitudo fungsi transfer vs Frekuensi [3]

Band Pass Filter adalah filter yang hanya melewatkan sinyal-sinyal yang frekuensinya tercantum dalam pita frekuensi atau pass band tertentu. Frekuensi dari sinyal yang berada dibawah pita frekuensi maupun diatas, tidak dapat dilewatkan atau diredam oleh rangkaian band pass filter. Gambar 2.2 memperlihatkan respon dari band pass filter.

B. Magnitude Response

Untuk magnitude response parameter-parameter yang dilakukan pengukuran adalah sebagai berikut :

1. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

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

$$\Gamma = \frac{v_0^-}{v_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{2.1}$$

Di mana  $Z_L$  adalah impedansi beban (*load*) dan  $Z_0$  adalah impedansi saluran *lossless*.

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitude dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari  $\Gamma$  adalah nol, maka :

- $\Gamma = -1$  : refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$  : tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- $\Gamma = +1$  : refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah :

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{2.2}$$

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 pada umumnya nilai standar VSWR yang sering digunakan untuk antena adalah  $VSWR \leq 2$  [17].

2. Insertion Loss

Rugi-rugi sisipan adalah kehilangan daya akibat penyisipan alat/filter di antara sumber dan beban (alat ukur). Rugi-rugi ini diberikan dalam bentuk perbandingan daya rugi-rugi terhadap daya yang datang (*Power Loss Ratio/PLR*). PLR dinyatakan sebagai berikut, jika daya yang datang adalah  $P_i$ , maka daya yang dipantulkan adalah  $P_i|\Gamma|^2$ , dan daya yang diserap beban  $P_i(1-|\Gamma|^2)$ .

$$P_{LR} = \frac{P_i}{(1-|\Gamma|)P_i} = \frac{1}{(1-|\Gamma|^2)} \tag{2.3}$$

dengan  $\Gamma$  adalah koefisien pantul, yaitu perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan yang datang. Jika impedansi karakteristik saluran adalah  $Z_0$  sedangkan impedansi beban adalah  $Z_L$ , maka koefisien refeksi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{2.4}$$

Rugi-rugi sisipan (*insertion loss*) dinyatakan dalam desibel adalah :

$$IL = 10 \text{ Log } P_{LR} \text{ (dB)} \tag{2.5}$$



Pada *passband*, PLR harus berharga 1, sedangkan pada daerah lain harus lebih dari 1. Dengan demikian pada *passband* tidak ada rugi-rugi daya, sedangkan pada frekuensi lain rugi-rugi daya harus ada dan besarnya sesuai dengan respon yang diinginkan. Pada rangkaian pasif, daya yang dipantulkan lebih kecil dari daya yang datang sehingga  $\Gamma \leq 1$ . Jika impedansi masukan pada rangkaian adalah  $Z_{in}$ , maka :

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - 1}{Z_{in} + 1} \quad (2.6)$$

Sementara itu, dari sisi *Power Loss Ratio* yang sering digunakan pada perancangan filter berdasarkan karakteristik respon *passband*-nya, yaitu filter yang memiliki respon frekuensi rata (tanpa *ripple*) yang dikenal dengan respon *butterworth* atau *maximally flat*, dan filter yang responnya mempunyai *ripple* sama (*equal-ripple*) yang disebut respon *Chebyshev*. Bentuk respon frekuensi tergantung dari jumlah elemen atau orde filter. Semakin banyak jumlah elemen filter, maka bentuk respon semakin curam dan sebaliknya apabila jumlah elemen sedikit, bentuk respon menjadi landai.

3. Return Loss

*Low Pass Filter* (LPF) adalah proses *filter* yang mengambil citra dengan gradiasi intensitas yang halus dan perbedaan intensitas yang tinggi akan dikurangi atau dibuang. *Low pass filter* digunakan untuk mengurangi detail dari gambar atau justru membuat gambar menjadi lebih kabur dari sebelumnya. *Filter* ini akan menghilangkan atau mengurangi *noise* berfrekuensi tinggi dari gambar menjadi frekuensi yang lebih rendah.[4] *Return Loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) dibanding dengan gelombang yang dikirim ( $V_0^+$ ). *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi.

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

return loss =  $20 \text{ Log}_{10} |\Gamma|$

Nilai *return loss* yang sering digunakan adalah di bawah -9,54 dB untuk menentukan lebar *bandwidth*, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*[4].

4. Group Delay

Respon frekuensi atau umumnya dikenal dengan fungsi transfer dari filter dapat dirumuskan sebagai :

$$H(j\omega) = |H(j\omega)| e^{j\theta(\omega)}$$

Dimana  $|H(j\omega)|$  dan  $\theta(\omega)$  adalah respon magnitude dan fasa dari filter. Keduanya mendefinisikan seberapa besar fasa dari sinyal sinusoidal bergeser setelah melewati filter. Fungsi group delay adalah ukuran linieritas dari respon fasa. dan didefinisikan sebagai :

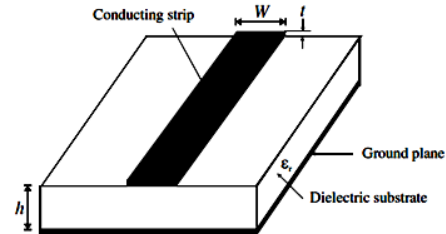
$$\tau(\omega) = -\frac{d\theta(\omega)}{d\omega}$$

pada persamaan diatas, group delay yang konstan ditunjukkan dengan linieritas respon fasa[19]

C. Saluran mikrostrip

1. Struktur saluran mikrostrip

Struktur mikrostrip secara umum seperti pada gambar 2.3.sebuah konduktor strip dengan lebar  $W$  dan ketebalan  $t$  di atas substrat dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik relatif  $\epsilon_r$  dan ketebalan  $h$ , dan bagian bawah substrat, adalah ground plane



Gambar 2.1. Struktur Mikrostrip secara umum [5].

2. Konstanta dielektrik efektif dan Impedansi karakteristik

Dalam pendekatan kuasi-TEM, bahan dielektrik homogen dengan permitivitas dielektrik efektif menggantikan media dielektrik udara yang homogen dari mikrostrip.

Karakteristik transmisi dari mikrostrip dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu konstanta dielektrik efektif  $\epsilon_{re}$  dan impedansi karakteristik  $Z_c$ , yang diperoleh dengan analisis quasistatic. Dalam analisis quasistatic, modus dasar dari propagasi gelombang dalam mikrostrip diasumsikan TEM murni. Dua parameter mikrostrip diatas ditentukan dari nilai-nilai dua kapasitansi sebagai berikut :

$$\epsilon_{re} = \frac{C_a}{C_{a1}} \quad (2.8)$$

$$Z_c = \frac{1}{c\sqrt{C_a C_a}} \quad (2.9)$$

di mana  $C_a$  adalah kapasitansi per satuan panjang dengan dielektrik substrat saat ini,  $C_{a1}$  adalah kapasitansi per satuan panjang dengan substrat dielektrik digantikan oleh udara, dan  $c$  adalah kecepatan gelombang elektromagnetik di ruang bebas ( $c \approx 3.0 \times 10^8$  m/s). Untuk konduktor yang sangat tipis (yaitu,  $t \rightarrow 0$ ).

Untuk  $W/h \leq 1$ :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left\{ \left( 1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5} + 0.04 \left( 1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right\} \quad (2.10)$$

$$Z_c = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left( \frac{8h}{W} + 0.25 \frac{W}{h} \right) \quad (2.11)$$

mana  $\eta = 120\pi$  ohm adalah impedansi gelombang dalam ruang bebas.

Untuk  $W/h \geq 1$ :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5} \quad (2.12)$$

$$Z_c = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \left\{ \frac{W}{h} + 1.393 + 0.677 \ln \left( \frac{W}{h} + 1.444 \right) \right\}^{-1} \quad (2.13)$$

pernyataan yang tepat untuk konstanta dielektrik yang efektif adalah

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10}{u} \right)^{-ab} \quad (2.14)$$

dimana  $u=W/h$ , dan

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left( \frac{u^4 + (\frac{u}{52})^2}{u^4 + 0.432} \right) + \frac{1}{18.7} \ln \left[ 1 + \left( \frac{u}{18.1} \right)^3 \right] \tag{2.15}$$

$$b = 0.564 \left( \frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0.053} \tag{2.16}$$

Keakuratan model ini adalah lebih baik dari 0,2% untuk  $\epsilon_r \leq 128$  dan  $0,01 \leq u \leq 100$ .Eksprei yang lebih akurat untuk impedansi karakteristik

$$Z_c = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left[ \frac{F}{u} + \sqrt{1 + \left( \frac{2}{u} \right)^2} \right] \tag{2.17}$$

dimana  $u = W/h$ ,  $\eta = 120\pi$  ohm, dan

$$F = 6 + (2\pi - 6) \exp \left[ - \left( \frac{30.666}{u} \right)^{0.7528} \right] \tag{2.18}$$

keakuratan untuk  $Z_c = \sqrt{\epsilon_{re}}$  adalah lebih baik dari 0.01% for  $u \leq 1$  and 0.03% for  $u \leq 1000$ .

3. Panjang gelombang, konstanta propagasi, kecepatan fasa, dan panjang listrik

Setelah konstanta dielektrik efektif mikrostrip ditentukan, panjang gelombang dari modus kuasi-TEM mikrostrip diberikan oleh :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \tag{2.19}$$

dimana :

$\lambda_0$  adalah panjang gelombang ruang bebas pada frekuensi kerja  $f$ . frekuensi dalam gigahertz (GHz), sehingga panjang gelombang dalam milimeter sebagai berikut:

$$\lambda_g = \frac{300}{f(GHz)\sqrt{\epsilon_{re}}} \text{ mm} \tag{2.20}$$

Konstanta propagasi ( $\beta$ ) dan kecepatan fasa ( $v_p$ ) dapat ditentukan dengan :

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g} \tag{2.21}$$

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \tag{2.22}$$

dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $c \approx 3.0 \times 10^8$  m / s) di dalam ruang bebas.Panjang listrik ( $\theta$ ) untuk panjang fisik dari mikrostrip ( $\ell$ ) didefinisikan sebagai :

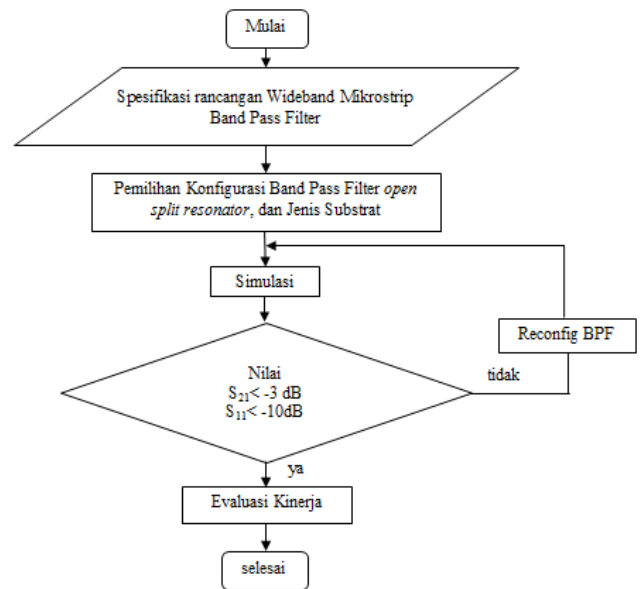
$$\theta = \beta\ell \tag{2.23}$$

Oleh karena itu,  $\theta=\pi/2$  ketika  $\ell=\lambda_g/4$ , dan  $\theta=\pi$  ketika  $\ell=\lambda_g/ 2$ . Ini disebut saluran mikrostrip seperempat panjang gelombang dan setengah panjang gelombang untuk rancangan filter mikrostrip.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Desain Filter

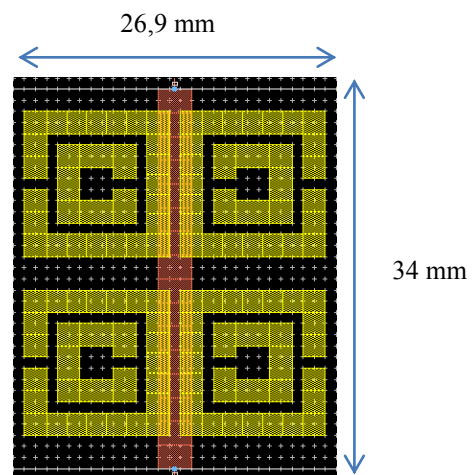
Secara lebih lengkap, proses perancangan *wideband metamaterial mikrostrip* BPF menggunakan *open split resonator* terlihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



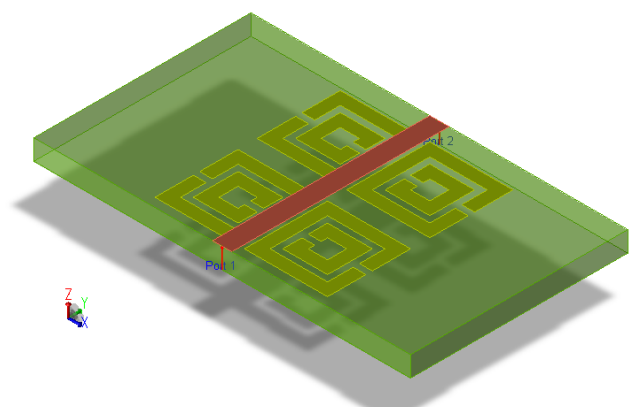
Gambar 3.1 Perancangan Wideband Band Pass Filter Metamaterial

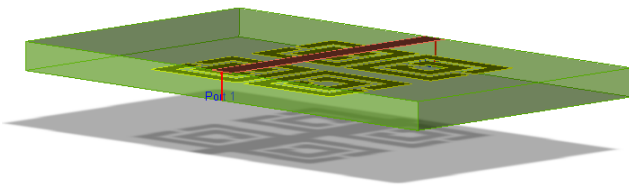
Pada penelitian ini, spesifikasi *metamaterial mikrostrip* BPF rancangan terlihat sebagai berikut.

1. Frekuensi *cutoff highpass filter* adalah 1,78 GHz
2. Frekuensi *cutoff lowpass filter* adalah 3,38 GHz
3. Bandwidth filter 1,6 GHz MHz
4. *Insertion loss* bandwidth < - 3 dB.
5. *Return loss* bandwidth < -10 dB.
6. Matching impedance 50 ohm



Gambar 3.2Desain Metamaterial Mikrostrip

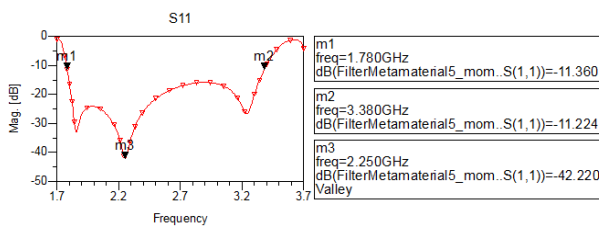




Gambar 3.3 Desain filter terlihat dari samping

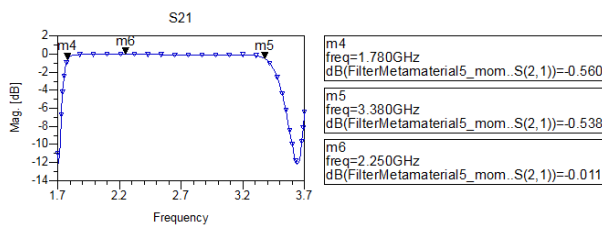
**B. Hasil Perancangan**

Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak Advance Design System (ADS) untuk menilai kinerja filter. Diantaranya adalah bandwidth, return loss (S11), VSWR, insertion loss (S21), dan memperlihatkan phase filter. Pada bab ini akan dibahas hasil simulasi menggunakan perangkat lunak Advance Design System (ADS),



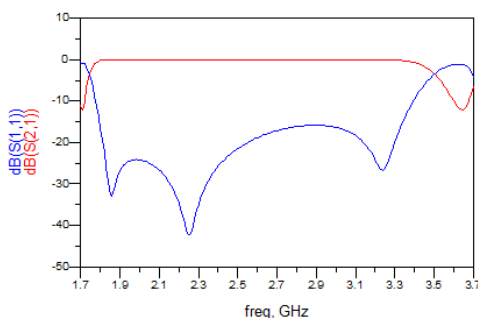
Gambar 3.4. Hasil simulasi return loss (dB)

Nilai return loss (S11) pada frekuensi 1,78 GHz sebesar -11,36 dB, sementara pada frekuensi 3,38 GHz sebesar -11,224 dB. Nilai return loss (S11) paling kecil terlihat pada frekuensi 2,25 GHz yaitu sebesar -42,22 dB. Hasil ini memperlihatkan bahwa filter tersebut memiliki nilai koefisien refleksi yang baik. Sementara itu pada Gambar 3.5 memperlihatkan hasil simulasi insertion loss (S21) dalam dB.



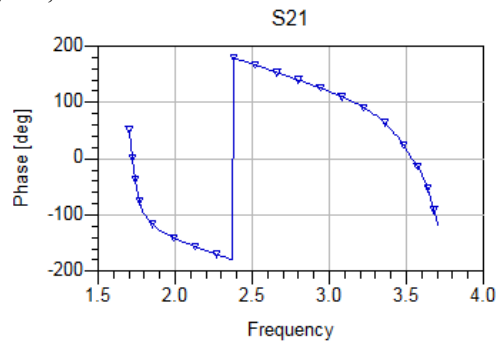
Gambar 3.5. (a) Hasil simulasi insertion loss (dB)

Nilai insertion loss pada frekuensi 1,78 GHz sebesar -0,56 dB, sementara pada frekuensi 3,38 GHz sebesar -0,538 dB. Nilai insertion loss (S21) paling kecil terlihat pada frekuensi 2,25 GHz yaitu sebesar -0,011 dB. Sementara pada gambar 3.6 memperlihatkan repons filter secara keseluruhan.

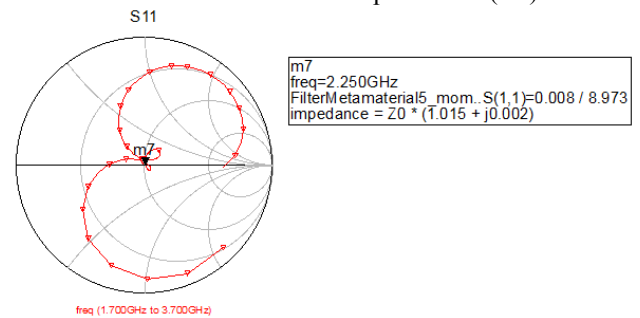


Gambar 3.6 Repons filter

Sementara itu pada Gambar 3.7 memperlihatkan nilai phase dari wideband band pass filter (BPF) dengan metamaterial mikrosrip pada frekuensi 1,78 GHz sampai dengan 3,38 GHz



Gambar 3.7. Hasil simulasi phase S21 (dB)



Gambar 3.8. Hasil Smith Chart

Pada frekuensi 2,25 GHz, filter tersebut telah mencapai kondisi matching yang sangat baik. Dengan nilai impedansi sebesar 50 Ohm (1,005+j0.002)

**IV. PENUTUP**

**A. Kesimpulan**

Hasil penelitian ini menunjukan bahan metamaterial dapat dipergunakan untuk aplikasi bandpass filter (BPF). Hasil perancangan memperlihatkan nilai bandwidth sebesar 1,6 GHz dengan return loss dibawah -10 dB. Filter ini bekerja pada frekuensi 1,78 GHz sampai dengan 3,38 GHz dengan nilai return loss minimal sebesar -42,2 dB serta nilai insertion loss lebih besar dari -3dB. Hasil perancangan ini dapat dipergunakan untuk perangkat komunikasi nirkabel pita lebar.

**V. DAFTAR PUSTAKA**

- [1] T. Itoh, (2006) "Electromagnetic Metamaterials : Transmission Line Theory and Microwave Applications", WILEY-INTERSCIENCE, John-Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ.
- [2] Jung-Woo. (2008). "Compact Ultra-Wideband Bandpass Filter With EBG Structure" *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Volume: 18 , Issue: 10, Page(s): 671 – 673.
- [3] Wai. (2007). "EBG-Embedded Multiple-Mode Resonator for UWB Bandpass Filter With Improved Upper-Stopband Performance". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Page(s): 421 – 423.
- [4] Ching-Her. (2010). "UWB BPF Design Using Modified Tri-Section SIR". *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Page(s): 541 – 544.
- [5] Rowd Ghatak (2011). "A Compact UWB Bandpass Filter With Embedded SIR as Band Notch Structure". *IEEE*

- 
- Microwave and Wireless Components Letters*. Volume: 21 , Issue: 5, Page(s): 261 – 263.
- [6] Min-Hang. (2009). “An Ultra-Wideband Bandpass Filter With an Embedded Open-Circuited Stub Structure to Improve In-Band Performance”. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Volume: 19 , Issue: 3, Page(s): 146 – 148.
- [7] Rui Li. (2007). “Compact UWB Bandpass Filter Using Stub-Loaded Multiple-Mode Resonator”. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Volume: 17 , Issue: 1. Page(s): 40 – 42.
- [8] Qing-Xin. (2010). “Design of UWB Bandpass Filter Using Stepped-Impedance Stub-Loaded Resonator”. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Volume: 20, Issue: 9, Page(s): 501 – 503.

# Pemodelan dan Kendali Fuzzy pada DC Drive

Bobby Fisher Butar Butar<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

<sup>1</sup>[butarbutarb@rocketmail.com](mailto:butarbutarb@rocketmail.com)

**Abstrak** – Makalah ini memaparkan pengembangan model dan fuzzy kontrol pada DC Drive. Pengendalian fuzzy tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil pengendalian dengan memakai persamaan matematis, tetapi menerapkan cara berpikir manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan “jika-maka”. Dengan menggunakan sistem kendali fuzzy maka proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik. Pengendalian fuzzy motor DC pada makalah ini menggunakan 2 buah model matematis. Model pertama dibuat dengan fungsi alih linear untuk konverter dan motor DC, sedangkan model kedua dibuat dengan advance blok yang diambil dari library Power System Blockset (PSB) yang ada di Matlab. Selain itu pengendalian fuzzy lebih akurat dan lebih cepat bila dibandingkan dengan pengendalian PID.

**Kata kunci:** Logika fuzzy, dc drive.

**Abstract** – This paper describes the development of the model and fuzzy control in DC Drive. Fuzzy control is no longer wearing a conventional way to obtain a control result by using mathematical equations, but applying human thinking to control something, namely in the form of rules "if-then". By using fuzzy control system, the control process will follow linguistic approach. Fuzzy control of DC motor in this paper uses two pieces of a mathematical model. The first model was made with linear transfer function of the converter and DC motors, while the second model is made with advance blocks taken from the library Power System blockset (PSB) in Matlab. In addition fuzzy control is more accurate and faster when compared with PID control.

**Keywords:** Logika fuzzy, dc drive.

## I. PENDAHULUAN

Di dalam suatu system control dikenal adanya beberapa macam aksi control, diantaranya yaitu aksi kontrol proportional (P), integral (I) dan derivative (D). Masing-masing aksi kontrol tersebut mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu.

Aksi kontrol proportional mempunyai keunggulan rise time yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil error, dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan dapat meredam overshoot. Untuk itu agar dapat menghasilkan output dengan risetime yang tinggi dan error yang kecil, dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol tersebut menjadi aksi kontrol PID. Pada industri-industri yang membutuhkan suatu sistem kontrol dengan kecepatan dan keakuratan tinggi, maka pemakaian aksi kontrol PID mungkin masih dianggap kurang memuaskan. Sebab jika menggunakan aksi kendali PID, didapatkan jika pengendali di set sangat sensitive maka overshoot yang dihasilkan akan semakin peka sehingga osilasi yang ditimbulkan akan lebih tinggi. Sedangkan bila pengendali di set kurang peka, maka overshoot dapat diperkecil namun waktu yang dibutuhkan akan semakin lama, dan hal tersebut akan menjadi suatu masalah dalam suatu proses industri.

Untuk mengatasi masalah tersebut berkembanglah suatu pengendalian yang dikenal dengan sistem pengendali fuzzy. Pengendali fuzzy tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil pengendalian dengan memakai persamaan matematis, tetapi menerapkan cara berpikir manusia untuk

mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan “jika-maka”. Dengan menggunakan sistem kendali fuzzy maka proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik.

Pengendalian fuzzy motor DC pada tugas makalah ini menggunakan 2 buah model matematis. Model pertama dibuat dengan fungsi alih linear untuk konverter dan motor DC, sedangkan model kedua dibuat dengan menggunakan advance block yang diambil dari library Power System Blockset (PSB) yang ada di Matlab/Simulink. Pengendalian Motor DC dengan menggunakan kedua model matematis ini pernah diujicobakan oleh Bogumila Mrozek dan Zbigniew Mrozek dalam papernya “Modelling and Fuzzy Control of DC Drive”.

Logika Fuzzy adalah peningkatan dari logika Boolean yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Saat logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah biner (0 atau 1), hitam atau putih, ya atau tidak), logika fuzzy menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran.

Logika Fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Logika ini berhubungan dengan set fuzzy dan teori kemungkinan. Logika fuzzy diperkenalkan oleh Dr. Lotfi Zadeh dari Universitas California, Berkeley pada 1965.

Logika fuzzy dan logika probabilitas secara matematis sama - keduanya mempunyai nilai kebenaran yang berkisar antara 0 dan 1, namun secara konsep



berbeda. Logika fuzzy berbicara mengenai "derajat kebenaran", sedangkan logika probabilitas mengenai "probabilitas, kecenderungan". Karena kedua hal itu berbeda, logika fuzzy dan logika probabilitas mempunyai contoh penerapan dalam dunia nyata yang berbeda. Misal, suatu ruangan memiliki temperatur 60 F, dimana 60 F berada diantara dingin dan hangat. Jadi 60 F memiliki kebenaran 0.7 cold dan 0.5 warm. Untuk menentukan dia cold atau warm tergantung dari pemilihan rule-nya, jika AND maka dipilih yang minimum, jika OR maka dipilih yang maksimum.

II. LANDASAN TEORI

A. Motor DC

Motor DC adalah motor yang ideal untuk digunakan dalam pengemudian elektrik (Electric Drive). Umumnya Pengendalian Kecepatan Motor DC tidak membutuhkan konverter.

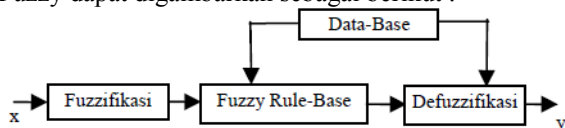
Pengendalian kecepatan motor dc dapat dilakukan dengan cara:

1. Pengaturan arus magnetisasi.
2. Pengaturan tahanan jangkar.
3. Pengaturan Tegangan Jepitan.

Dari hasil survey yang didapat bahwa konsumsi daya pada motor yang didrive dengan kecepatan konstan lebih besar dibandingkan dengan konsumsi daya pada motor yang didrive dengan kecepatan variable, karena itu motor sangat banyak digunakan dengan kecepatan variable. Motor DC dengan ukuran daya besar banyak mendapatkan suplai dari Konverter AC – DC tiga fasa, karena sumber daya dc yang besar sulit didapatkan. Karena itu pengaturan kecepatan motor dc dapat dilakukan dengan mengatur tegangan input converter tersebut. Untuk memperbaiki respon dari sistem secara konvensional dapat dilakukan dengan menggunakan kontroler PI, namun kelemahan dari kontroler PI adalah bila beban berubah maka parameter controller harus selalu ditala (tuned) dalam operasi dengan kecepatan yang variable. Sasaran Penelitian ini adalah kendali kecepatan motor dc shunt dengan mengatur tegangan melalui suatu konverter berupa DC PWMChoper menggunakan kontroler berbasis fuzzy. Seringkali dalam operasionalnya arus bisa membesar melebihi harga nominalnya. Karena itu perlu ditambahkan control pembatas arus.

B. Fuzzy Logic Controller (FLC)

Kontrol Logika Fuzzy (Fuzzy Logic Controller) merupakan salah satu bentuk Kontrol cerdas (intelligent controll). Penggunaan kontrol logika fuzzy dapat menyelesaikan permasalahan pada sistem yang memiliki prilaku komplek. Struktur dasar dari Kontrol Logika Fuzzy dapat digambarkan sebagai berikut :

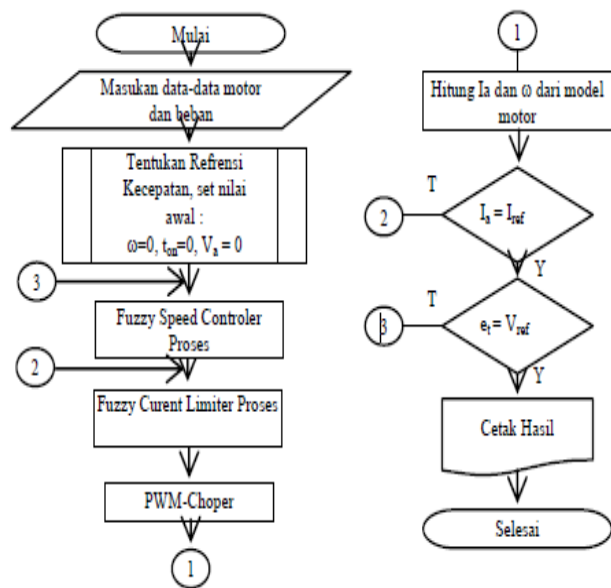


Gambar 1.1 Struktur dasar fuzzy logic kontrol

Simulasi

Model simulasi dibuat dengan menggunakan

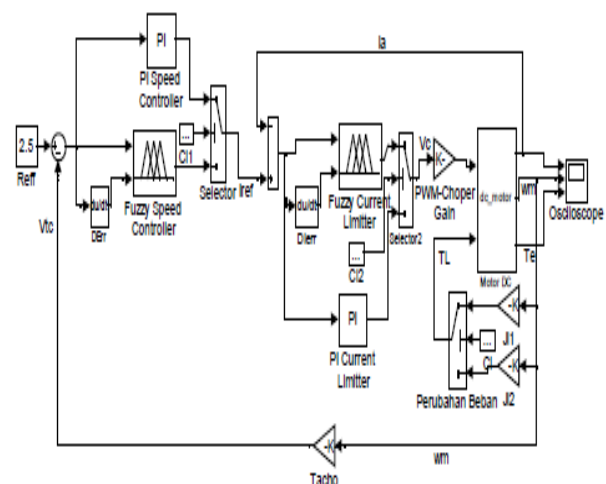
MatLab Simulink. Flowchart proses kontrol dapat dilihat pada gambar :



Gambar 1.2 Flow Chart Simulasi

Model simulasi simulink dibuat denganmembandingkan model kontroler menggunakan kontroler PI dan model kontroler menggunakan kontroler fuzzy.

Model simulasi ini dapat dilihat pada gambar :



Gambar 1.3 Model simulasi dengan MatLab Simulink

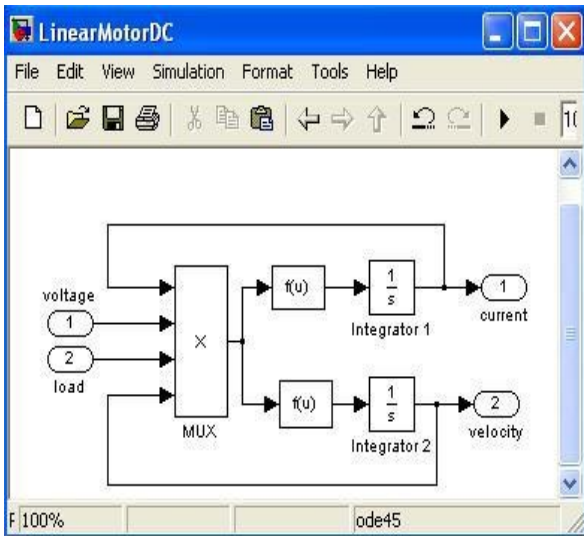
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Linear DC Drive

Model linear DC drive terdiri dari dua bagian: *converter/rectifier* dan motor DC. Model linear motor DC dibuat dengan menggunakan block Simulink. Terdapat dua masukan (tegangan dan beban motor) dan dua keluaran (kecepatan angular motor dan arus).

Parameter-parameternya dihitung secara otomatis dari data katalog seperti data daya motor, tegangan, arus, kecepatan, dll. Untuk perhitungan pada simulasi ini hanya digunakan data parameter resistansi dan induktansi

karena kesulitan dalam menemukan parameter internal motor maupun parameter motor DC konstan.



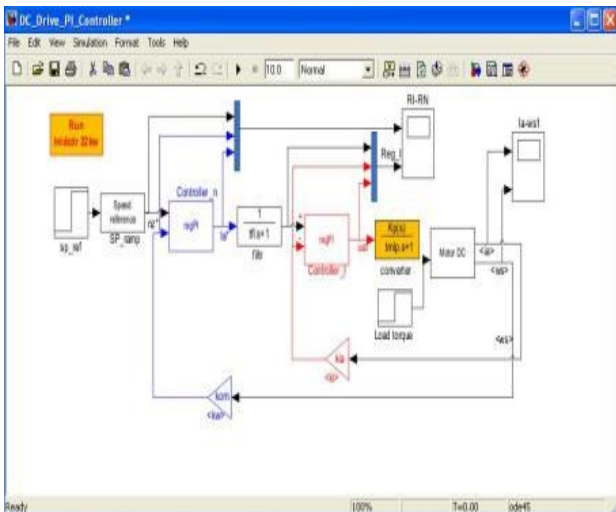
Gambar 2.1 Linear Motor DC

Kecepatan motor DC dihitung dari persamaan :

$$\omega = \frac{V_T - I_a R_a}{k\phi} \tag{1}$$

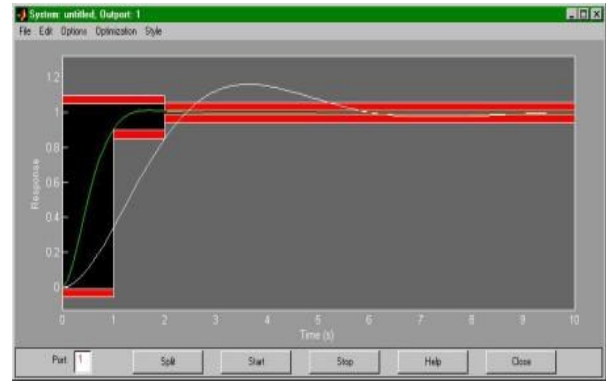
Dimana:

- $\omega$  = kecepatan angular motor
- $V_t$  = tegangan terminal
- $I_a$  = arus jangkar
- $\Phi$  = fluks magnet
- $K$  = merupakan konstanta motor.



Gambar 2.2 Skema kontrol DC drive

Gambar 1.2 menunjukkan DC drive dengan dua pengendali PID. Parameter dari pengendali arus diturunkan dari parameter model dengan menggunakan aturan modul dan kesimetrian. Blockset Nonlinear Control Design dari Matlab/Simulink digunakan untuk *tuning parameter* secara otomatis (Gambar 1.3), sehingga dapat memperkecil transient overshoot.



Gambar 2.3 Grafik respon transient

Konverter/rectifier dideskripsikan sebagai fungsi kelembaman orde pertama:

$$G_{conv} = \frac{Kp(s)}{T_{mp} \cdot s + 1} \tag{2}$$

Dimana :

**Kp** = gain dari konverter/rectifier

**Tmp** = ratan dead time untuk konverter/rectifier.

Dead time **Tmp** nilainya dapat bervariasi mulai dari nol sampai setengah dari periode tegangan sumber AC (0,01 untuk frekuensi 60 Hz). Pada simulasi ini digunakan  $T_{mp}=1,67$  ms, sesuai dengan rata-rata dead time untuk konverter yang menggunakan thyristor 6-phase. Model fungsi alih dari arus dan tegangan motor diberikan oleh persamaan:

$$G_{mot} = \frac{k_{ia}}{T_a s + 1} \tag{3}$$

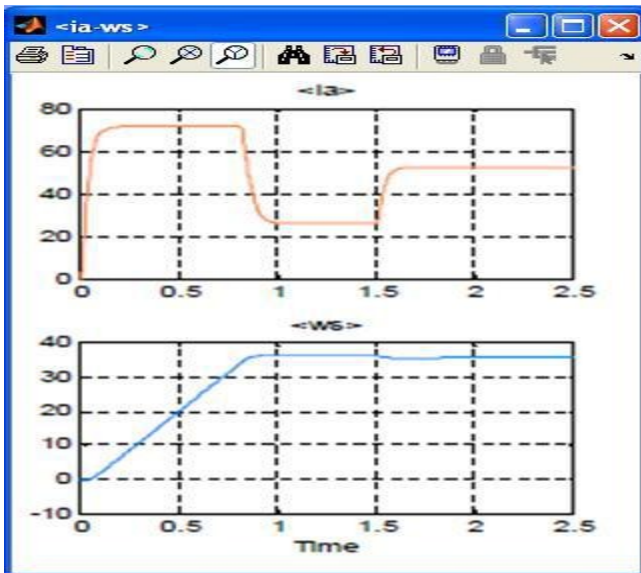
Dimana :

**Kia** = gain dari motor DC

**Ta** = time constant untuk rangkaian jangkar.

Cara yang sama digunakan untuk menemukan parameter pengendali kecepatan. Hasil simulasi (arus dan kecepatan DC motor vs. waktu) ditunjukkan pada gambar 2.4.

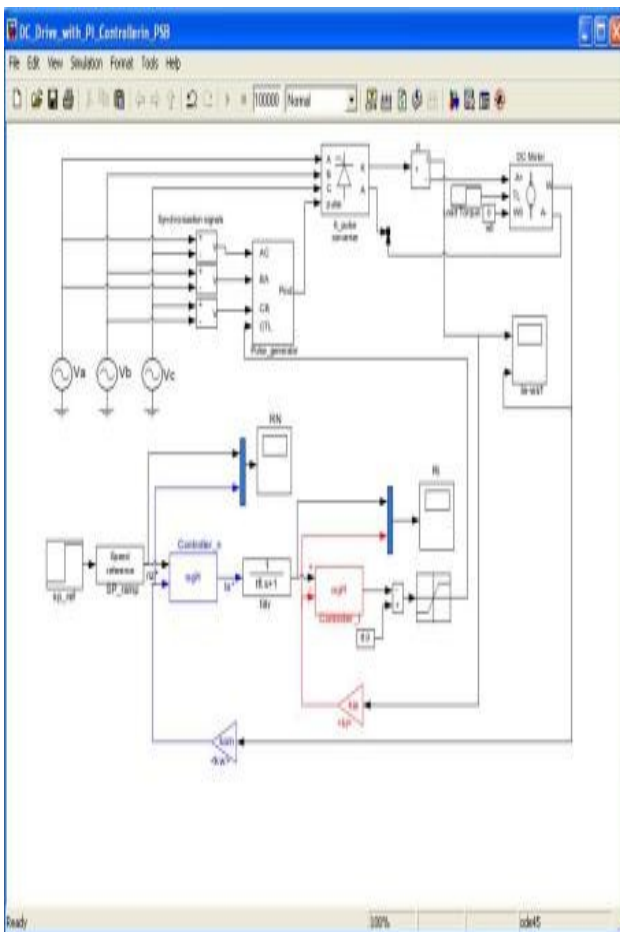
Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sebagai model linear masih kasar dan masih mempunyai beberapa granula. Komponen arus AC dan arus switching pada jembatan thyristor diabaikan. Hanya envelope transient yang dapat dilihat pada output simulasi.



Gambar 2.4 arus dan kecepatan DC motor vs Waktu

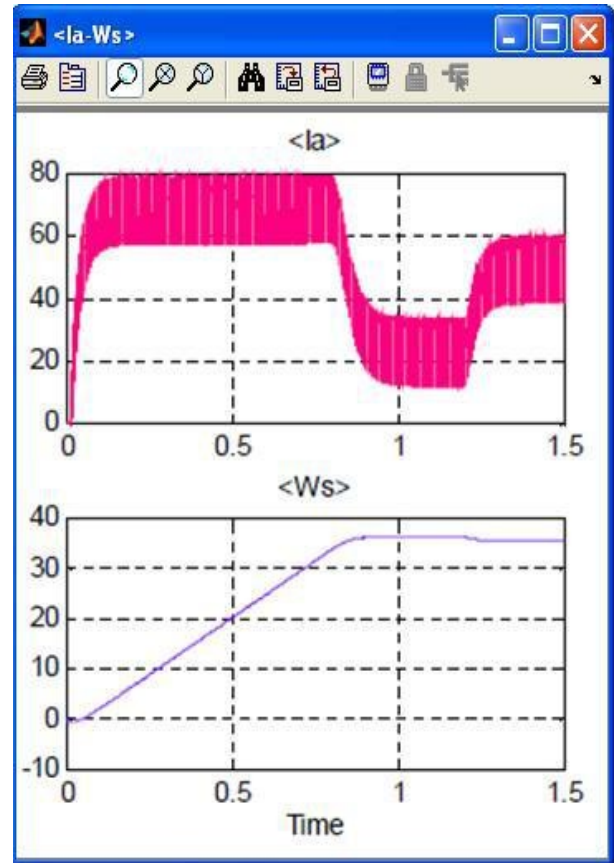
Penggunaan Power system Blockset pada peemodelan DC Drive

Power System Blockset terdiri dari himpunan lanjut untuk block linear dan nonlinear. Terdapat tiga sumber AC, konverter 3-phase 6-pulsa, pulse generator dan motor DC yang diambil dari library. Komponen tersebut digunakan untuk mendapatkan model DC drive dengan kualitas tinggi



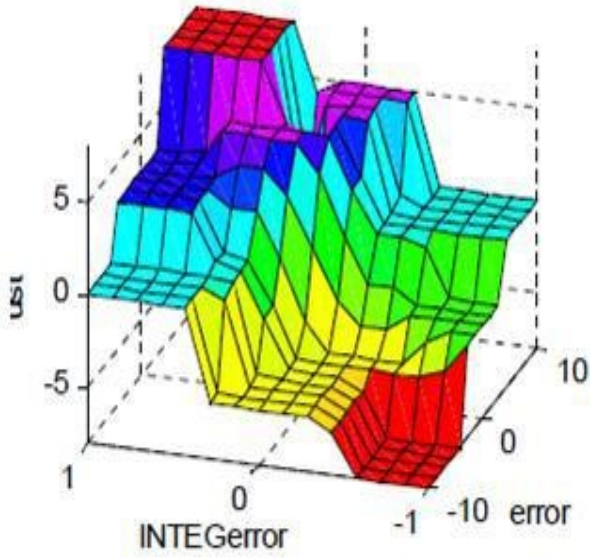
Gambar 2.5 Model DC Drive

Jembatan konverter 3-phase paling banyak digunakan dalam sistem pengendali motor. Dua dari 6 thyristor akan bekerja bersamaan dan *gating* (penggerbangan) dari setiap transistor akan membangkitkan pulsa dari arus beban; dengan demikian 6-pulsa ini akan mengontrol rectifier. Rectifier 3-phase 6-pulsa juga mempunyai kemampuan operasi inverter pada 4 kuadran. Hasil simulasi secara tepat ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Simulasi arus dan tegangan terhadap waktu

Membership function yang digunakan adalah *pimf* dan *gausmf*. Rule didesain dengan menggunakan tool perancangan yang dapat memberikan surface dan property model pengendalian. Pada gambar 2.7 diperlihatkan surface kendali yang diperoleh dari 25 rule yang telah disebutkan.

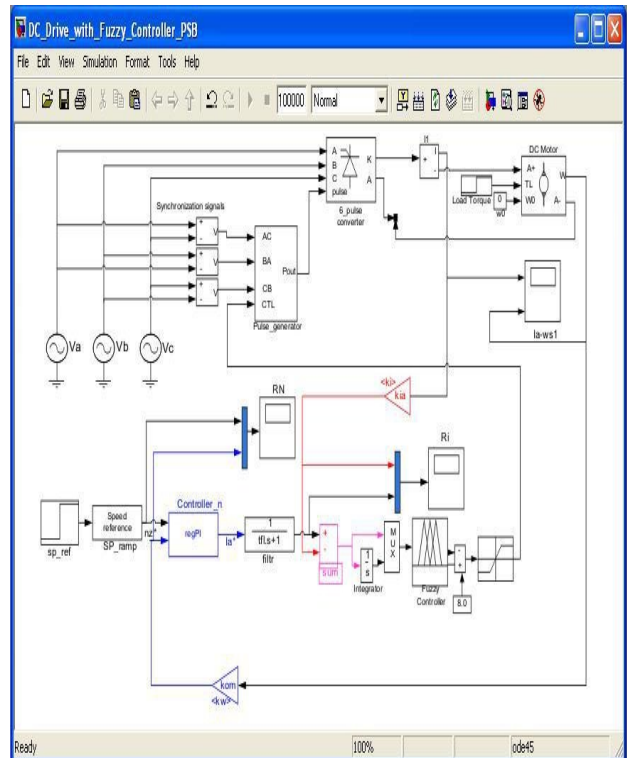


Gambar 2.7 Surface kendali

Pengendali fuzzy yang digunakan dipresentasikan pada gambar 2.8. Pengendali fuzzy ini menggunakan model lanjut dari Power System Blockset. Model fungsi alih juga dapat digunakan untuk tuning awal parameter model. Terdapat dua variabel fuzzy (error dan INTEG error) dan 7 variabel (dari big negative sampai big positif). Attribute dari pengendali fuzzy adalah sebagai berikut:

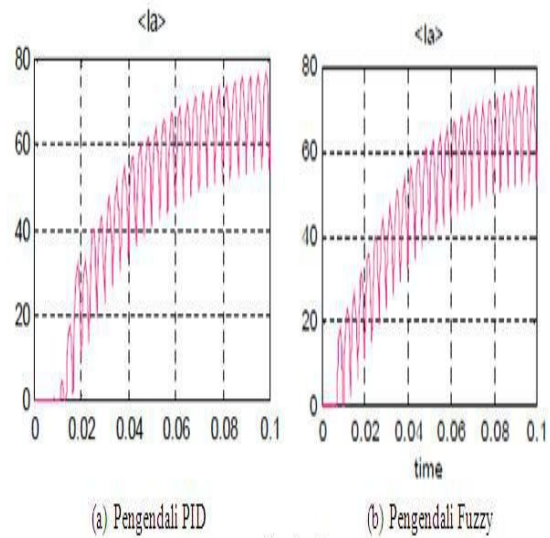
```

type : 'mamdani'
andMethod: 'prod'
orMethod: 'max'
defuzzMethod: 'centroid'
impMethod: 'prod'
aggMethod: 'max'
input: [1x2 struct]
output: [1x1 struct]
rule: [1x25 struct]
    
```



Gambar 2.8 Simulasi DC drive

Hasil pengendalian dengan menggunakan fuzzy kontroler ditunjukkan pada gambar 9. Dengan demikian terlihat bahwa pengendalian DC drive dengan menggunakan pengendali fuzzy memiliki performansi yang lebih cepat.



(a) Pengendali PID (b) Pengendali Fuzzy

Gambar 9 Hasil Pengendalian DC Drive

Gambar 2.9 Grafik Pengendali PID dan Fuzzy

#### IV. PENUTUP

##### A.

##### Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil penelitian estimasi kecepatan kendaraan menggunakan Kalman *filter* diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Keluaran simulasi pengendali fuzzy memiliki performansi yang lebih



baik dibandingkan dengan pengendali PID seperti yang terlihat pada gambar 2.9.

2. Pengendali fuzzy lebih tahan terhadap gangguan luar.
3. Pengendali fuzzy lebih akurat dan lebih cepat bila dibandingkan dengan pengendali PID.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bogumila Mrozek, Zbigniew Mrozek, "Modelling and Fuzzy Control of DC Drive", Cracow University of Technology: Krakow:2000
- [2] Sivanandam S.N, S. Sumanthi, S.N Deepa,"Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB", Springer: Heidelberg.2007
- [3] "Fuzzy Logic." Online posting. 1-11-2015. <<https://tanotocentre.wordpress.com/2009/06/07/dc-drive-fuzzy-controller/>>
- [4] "Fuzzy Logic." Online postin. 1-11-2015. <<http://astaripramuwardhani.blogspot.co.id/2014/01/Fuzzy-Logic-Menggunakan-Matlab.html>.>
- [5] "Fuzzy Logic." Online posting. 1-11-2015. <<http://techno.ump.ac.id/index.php/Vol13No1/article/view/57/51>>
- [6] Fahmizal\_note "Fuzzy Logic." Online posting. 1-11-2015. <<https://fahmizaleits.wordpress.com/tag/logika-fuzzy-adalah-suatu-proses/>>



# Parameter Identifikasi Transfer Fungsi Menggunakan MATLAB

Evan Ramdani<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

[evan.ramdani1993@gmail.com](mailto:evan.ramdani1993@gmail.com)

**Abstrak** – Makalah ini menjelaskan prosedur untuk mengidentifikasi parameter fungsi transfer dengan menggunakan Matlab System Identification Toolbox (SIT). Prosedur ini dijelaskan untuk memperoleh data numerik menggunakan osiloskop digital dalam format yang sesuai untuk memuat data ke dalam Matlab dan pengolahan dalam SIT tersebut. Pengukuran data seri dikoneksikan dengan rangkaian RLC, dan juga menggunakan respon kecepatan motor DC secara terpisah dengan dan tanpa smoothing coil diukur, dan fungsi pengalihan yang diperoleh.

**Kata kunci:** -

**Abstract** – This paper describes the procedure to identify the parameters of the transfer function using Matlab System Identification Toolbox (SIT). This procedure is described to obtain numerical data using a digital oscilloscope in a format suitable for loading data into Matlab and processing of data in SIT tersebut. Pengukuran connected with a series RLC circuit, and also use the response speed DC motor separately with and without smoothing coil is measured, and the transfer function obtained.

**Keywords:** -

## I. PENDAHULUAN

Terkadang, dalam analisis proses, ada kemungkinan untuk mengakses bagian-bagian tertentu dari sistem yang diperiksa, apakah struktur sistem tersebut tidak diketahui, atau pengetahuan tentang model matematika yang diperlukan untuk analisis sistem tidak cukup. Dalam hal ini, proses tersebut perlu diuji dengan fungsi yang diketahui, dan waktu respon perlu diperoleh dan ditangani dengan teknik konvensional yang baik atau modern.

Artikel ini mendeskripsikan tentang penggunaan Matlab® dan Microsoft Excell®. Pengukuran dilakukan dengan osiloskop digital. Input dan output sinyal pengolahan diperiksa sebelum pengujian dan parameter identifikasi fungsi transfer sistem dihitung melalui Matlab System Identification Toolbox. Satu set contoh termasuk respon tegangan pada rangkaian RLC dan respon kecepatan motor DC yang digunakan secara terpisah.

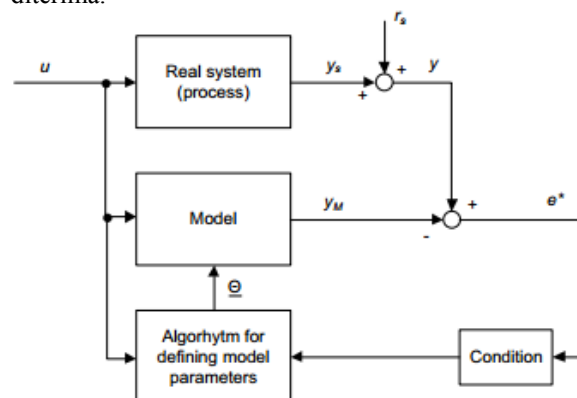
## II. LANDASAN TEORI

Analisis proses didefinisikan sebagai prosedur iteratif yang menggabungkan analisis teoritis dan pemeriksaan eksperimental.

Model matematis dari proses diperoleh melalui sinyal-sinyal input-output proses. Keuntungan dalam menggunakan eksperimen ini adalah bahwa mereka tidak memerlukan pengetahuan khusus dari sistem yang diteliti, dan model matematika sederhana yang menggambarkan sistem dapat diberikan sebagai hasilnya. Kerugian dari analisis ini adalah bahwa sistem penelitian sebelumnya harus ada fakta bahwa hasilnya aplikasi terbatas untuk sistem yang sama.

Sinyal input dipilih berdasarkan pengetahuan proses apriori. Bila menggunakan prosedur parameter

(struktur model tidak diketahui), perhitungan iteratif digunakan untuk mendapatkan urutan elemen dan waktu yang mati (transportasi lag). Estimasi parameter diulang sampai proses dan model yang berhasil cocok. Untuk identifikasi proses yang terus menerus sinyal harus discretized, sehingga dapat diproses melalui berbagai metode numerik. Bila menggunakan sinyal diskrit, kita harus mempertimbangkan unsur-unsur pertimbangan seperti frekuensi sampling, jumlah bit untuk pengkodean sinyal dan quantization kebisingan yang diterima.



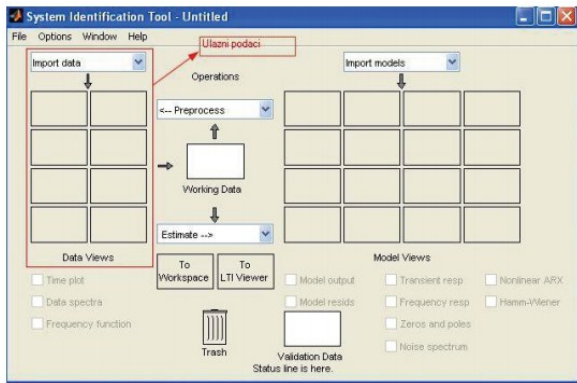
Gambar.1 Identifikasi berdasarkan parameter estimasi

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Identifikasi Parameter dapat dihitung dengan menggunakan Sistem Identifikasi toolbox (SIT) tool yang ada pada Matlab sejak versi 6.5. SIT adalah alat untuk membuat model matematika, dan didasarkan pada pengumpulan data input / output dari sistem. Memiliki GUI yang user friendly dalam pembentukan model. Pengetahuan tertentu dalam pemodelan sistem yang

dibutuhkan ketika memilih model di SIT, karena model matematika memproses data yang diukur.

Model dapat didefinisikan dengan menyesuaikan pengaturan model proses diasumsikan, sampai model memuaskan, akurat sesuai dengan input data dalam paket SIT.



Gambar.2 Sistem identification toolbox

Gambar.2 menunjukkan antar-muka grafis. Di sisi kiri antarmuka ada ruang untuk memasukkan data impor yang perlu dimasukkan dalam jendela terkait. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan perintah berikut:

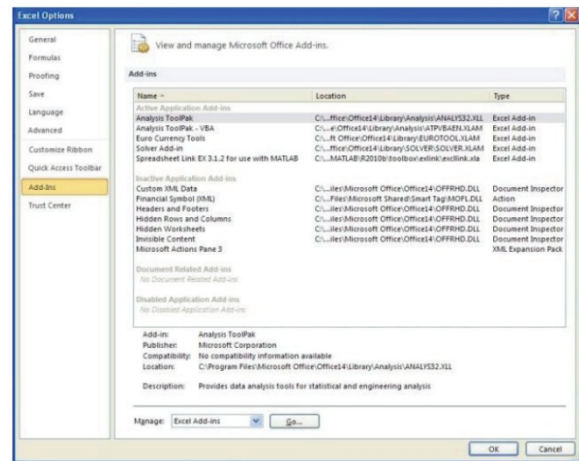
$$data = iddata (output,input,Ts)$$

Disini disebutkan data kasus impor atas (Gbr. 9) akan sama dengan data, dan iddata adalah perintah yang memasukkan data di Sistem Identifikasi Toolbox. Dalam kurung, keluaran mendefinisikan output data diukur, inputdefines diukur input data, sedangkan Ts mendefinisikan waktu sampling (basis waktu untuk mengumpulkan sampel dengan cara alat ukur yang digunakan). Satu harus mempertimbangkan bahwa matriks yang berisi data input dan output harus memiliki jumlah yang tepat dari baris. Ini berarti bahwa jumlah output data harus sama dengan jumlah input data. Hal ini tidak perlu bahwa satu set input data memberikan satu set data output, tapi perlu bahwa matriks memiliki bentuk berikut:

$$\begin{aligned} [output] &= [n]x[k] \\ [input] &= [n]x[1] \end{aligned}$$

A. Menghubungkan Antara Matlab Dan Microsoft Excell

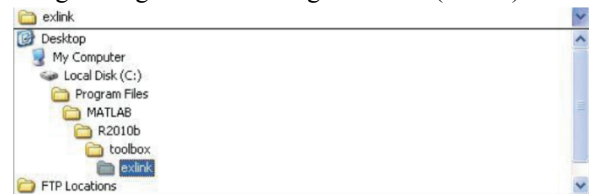
Menghubungkan dari dua paket yang disebutkan di atas terjadi ketika data yang diukur diperoleh dalam format yang tidak kompatibel dengan proses berbasis Matlab. Kebanyakan osiloskop digital memiliki kemampuan untuk menyimpan data diukur sebagai dokumen dalam format seperti teks atau CSV (comma separated values).Format ini kompatibel dengan Microsoft Excell, dan Microsoft Excell memiliki kemampuan (dalam bentuk add-in) untuk meneruskan data ini untuk Matlab. Dalam Excel, ketika "pilihan Excell" jendela dibuka, disebutkan add di dipilih dan kemudian tombol "Go ..." perlu diklik (Gbr. 3).



Gambar.3 Menghubungkan Excell dengan Matlab

Kemudian, pada jendela berikutnya klik "Browse ..." dan menemukan direktori yang berisi diinstal paket Matlab.

Di dalam direktori tersebut ada "toolbox" direktori yang berisi "exlink" direktori. Di dalam "exlink" direktori ada file bernama "exlink.xla" dan file ini adalah ekspansi perangkat lunak yang digunakan untuk menghubungkan Excell dengan Matlab (Gbr. 4).



Gambar.4 Path to „exlink.xla“

Ketika add-in diinstal, di Excel opsi jendela, di bawah "Add-Ins" pilihan, paket untuk menghubungkan dengan Matlab akan muncul, yang memberikan kemungkinan untuk mengkonversi matriks dari format Excel ke format Matlab dan sebaliknya (Gambar. 5) .



Gambar.5 Akses toolbar di Excell untuk exlink add-in

Selanjutnya, penjelasan untuk memuat data dari Excel ke ruang kerja Matlab akan diberikan, berdasarkan contoh dari data yang diukur pada sistem nyata (sirkuit RLC)

B. Parameter Identifikasi Berdasarkan Sistem Nyata (Rlc Circuit)

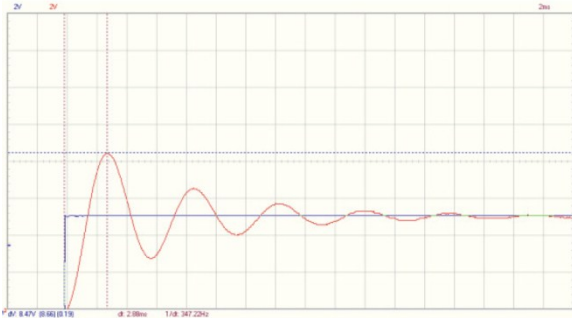
Input dan output data untuk RLC seri sirkuit telah diakuisisi dengan menggunakan osiloskop digital, dimana data keluaran diamati sebagai tegangan pada kapasitor. Data numerik yang disimpan dalam format txt. Atas dasar respon waktu drop tegangan pada parameter kapasitor telah ditetapkan dengan menggunakan metode konvensional, dan kemudian diberikan sebagai data untuk Sistem Identifikasi Toolbox. Hasilnya telah dibandingkan. Fungsi transfer dari rangkaian seri RLC adalah sebagai berikut:

$$G_{RLC}(s) = \frac{K}{1 + 2\zeta T_w s + T_w^2 s^2} = \frac{K}{1 + \frac{2\zeta}{\omega_n} s + \frac{s^2}{\omega_n^2}}$$

$$= \frac{K \omega_n^2}{\omega_n^2 + 2\zeta \omega_n s + s^2} \quad (1)$$

Dimana :

$$\omega_n = 1/T_w = 1/\sqrt{LC} \quad , \quad 2\zeta\omega_n = R/L$$



Gambar.6 Respon waktu dari tegangan drop

Gambar.6 menunjukkan bahwa parameter fungsi transfer urutan kedua adalah:

- K = 1 (gain),
- tp = 3 ms (saat puncak overshoot),
- ym = 8,5 V (puncak overshoot),
- yst = 5 V (nilai steady state).

Dari nilai-nilai ini parameter fungsi transfer urutan kedua dapat didefinisikan oleh rumus ini:

$$\sigma_m = \frac{y_m - y_{st}}{y_{st}} = e^{-\frac{\pi \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad ; \quad \zeta = 0,1128;$$

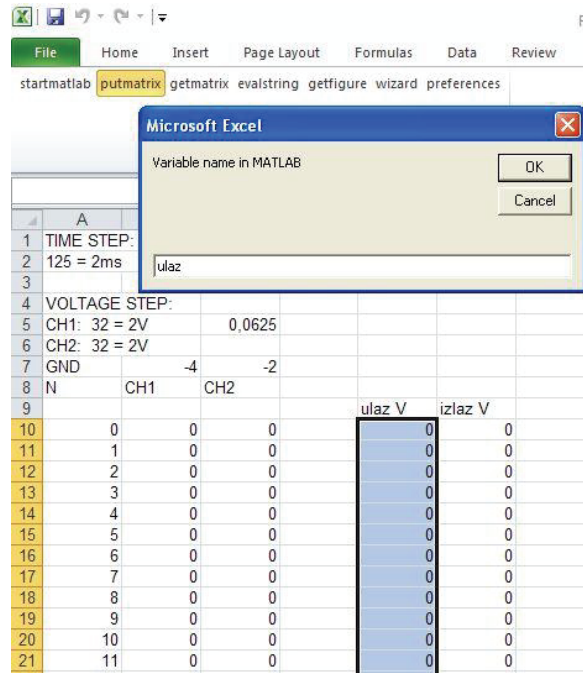
$$\omega_n = \frac{\pi}{t_p \sqrt{1 + \zeta^2}} = 1074 \frac{rad}{s} \quad (2)$$

Fungsi transfer urutan kedua adalah sebagai berikut:

$$G_{RLC} = \frac{1074}{1074^2 + 2 \cdot 0,1128 \cdot 1074 \cdot s + s^2}$$

$$= \frac{1}{1 + 21 \cdot 10^{-3} s + 86,7 \cdot 10^{-6} s^2} \quad (3)$$

Dengan menggunakan SIT untuk mendapatkan fungsi transfer, prosedur ini lebih cepat dan lebih sederhana daripada menggunakan metode konvensional. Prosedur ini dijelaskan dalam beberapa langkah berikutnya. Pertama, semua data yang ditransfer dari Excel ke ruang kerja Matlab. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih matriks data yang akan ditransfer dari Excell, dan dengan mengklik "putmatrix" tombol. Perintah ini menjalankan aksi mentransfer matriks data ke Matlab, setelah mengetik nama yang diinginkan untuk variabel Matlab (Gbr. 5,7).

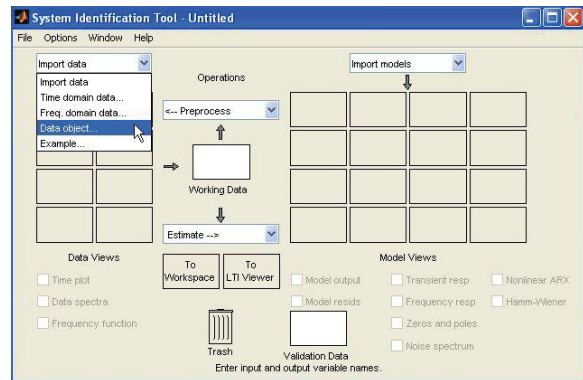


Gambar.7 Transfer data matrix dari Excell ke Matlab

Output data harus ditransfer setelah mentransfer data input. Pada Gambar. 9 jendela menunjukkan bahwa diperlukan untuk menentukan frekuensi sampling (periode sampling) dalam paket SIT. Selain itu, di dalam baris perintah pada ruang kerja Matlab perintah untuk data yang masuk kebutuhan untuk mengetik, sebagai berikut:

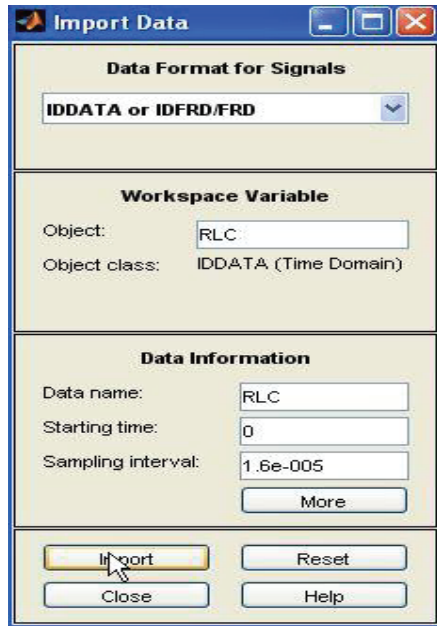
$$RLC = iddata(izlaz,ulaz,0.002/125)$$

Ketiga variabel (RLC, ulaz, izlaz) ditahan sebagai data dalam ruang kerja Matlab. Di dalam ruang kerja, dengan perintah ident, antarmuka grafis dapat dibuka. Data yang dibuat dan disesuaikan perlu dimasukkan dalam interface ini.



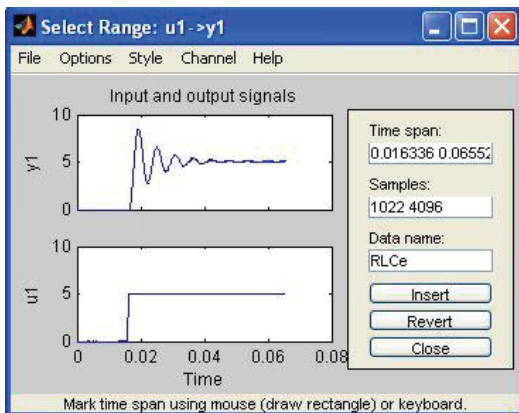
Gambar.8 Entering data pada SIT

Setelah menekan "objek data" dalam dropdown menu, jendela akan muncul, di mana nama data ditetapkan untuk SIT perlu dimasukkan. Dalam variabel ruang kerja nama variabel untuk pengolahan data lebih lanjut perlu diketik dalam. Jika variabel secara akurat terstruktur, SIT otomatis akan mengatur "sampling interval", sedangkan untuk "waktu Mulai" nilai 0 lebih disukai untuk RLC seri sirkuit (Gbr. 9).



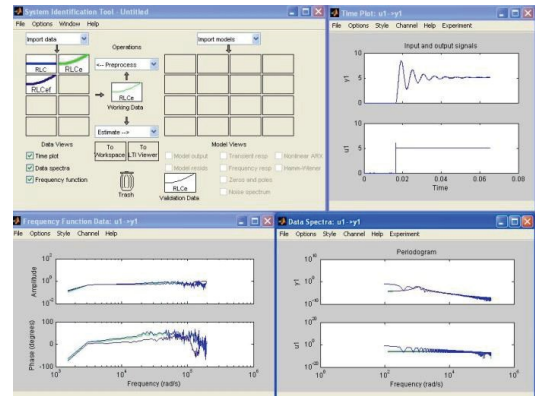
Gambar.9 Entering data pada SIT

Sekarang, di dalam menu utama SIT, variabel RLC dimasukkan. RLC juga ditemukan di dalam "Bekerja data" dan "Data Validation" jendela. Namun, tidak mungkin dengan osiloskop untuk menyimpan hanya sebagian yang berguna dari respon, salah satu kebutuhan untuk menyesuaikan interval pengolahan data dengan menggunakan melakukan proses.



Gambar.10 Definisi interval untuk pengolahan data

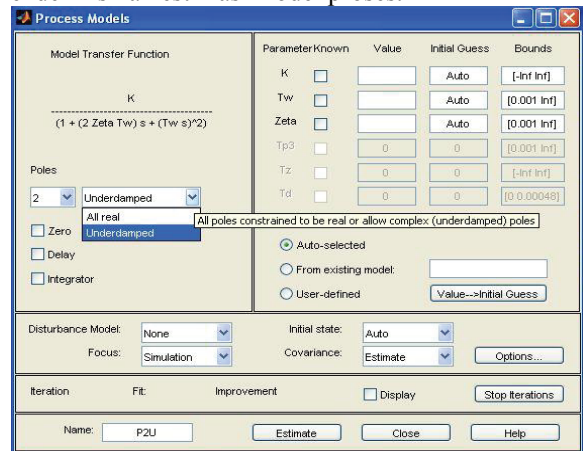
Setelah preprocessing, data masukan untuk SIT dapat saling dibandingkan dalam tiga kategori: "Waktu plot", "Data spektra" dan "fungsi Frekuensi". Dari grafik ini satu set yang paling cocok dari input data dapat dipilih untuk memproses.



Gambar.11 Kemungkinan menggunakan analisis preprocess data masukan dalam SIT

Gambar. 11 menunjukkan bahwa set yang paling cocok dari data pola hijau - RLCE. Sampel pertama, bernama RLC, tidak cocok karena memiliki sejumlah nada tinggi, itu tidak dimulai dengan fungsi tangga dan memiliki lag transportasi. Pada dia mulai RLCE memiliki overshoot tinggi dalam fungsi step. Karena kriteria ini sinyal yang paling cocok untuk pengamatan adalah RLCE. Selain itu, dapat disimpulkan bahwa tidak selalu diinginkan untuk pergi ke panjang besar ketika menyesuaikan sinyal untuk diproses.

Pengolahan sendiri, di SIT, dimulai pada dropdown menu, ketika memilih "Bekerja data" di mana seseorang dapat memilih model-model proses. Sebuah jendela akan muncul, yang digunakan untuk mendefinisikan estimasi model proses.

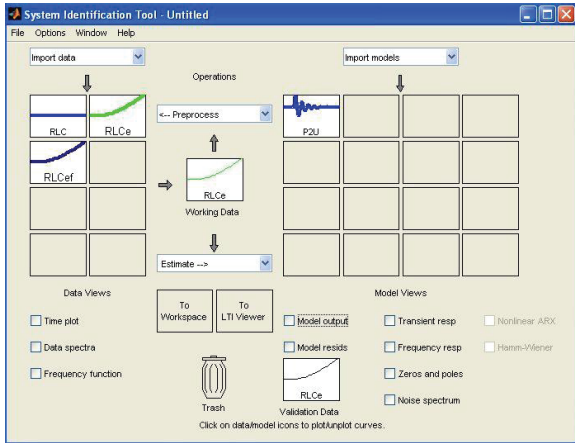


Gambar.12 Proses pemodelan

Gambar. 12 menunjukkan model proses yang digunakan untuk perhitungan parameter fungsi transfer. Sebelum menggunakan model proses ini, pengetahuan model itu sendiri diperlukan. Gambar.6 menunjukkan model yang mirip dengan unsur urutan kedua dengan respon eksponensial teredam. Hal ini diketahui bahwa unsur ini memiliki sepasang akar terkonjugasi yang kompleks, dan parameter yang ditetapkan, seperti ditunjukkan pada Gambar. 12. Perhatian harus diambil dengan hati-hati mengatur "Bounds". Hal ini dapat terjadi bahwa SIT menghitung koefisien yang ditetapkan pada batas. Ini berarti bahwa baik model tidak dipilih dengan benar, atau batas perlu diperluas. Setelah parameter ini ditetapkan, dengan menekan "Perkiraan" SIT menghitung mentransfer parameter fungsi untuk model didefinisikan. Gambar.13 menunjukkan unsur-unsur yang

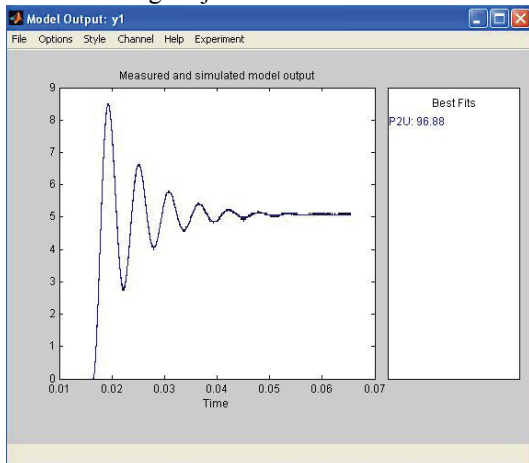


muncul di jendela atas. Jendela ini sekarang berisi sistem identifikasi setelah pengolahan Model.



Gambar.13 Jendela SIT setelah memperhitungkan proses model

Di sisi kanan jendela, jelas bahwa model dianalisis sebelumnya masih ada. Dengan menekan "Output Model", perbandingan antara data dihitung dan diukur akan ditampilkan, dan di sudut kanan jendela akurasi model dihitung karena data yang diukur akan muncul. Jika akurasi memuaskan, grafik dapat dihitung dengan menggunakan LTI Viewer, atau model itu sendiri dapat ditransfer ke ruang kerja Matlab.



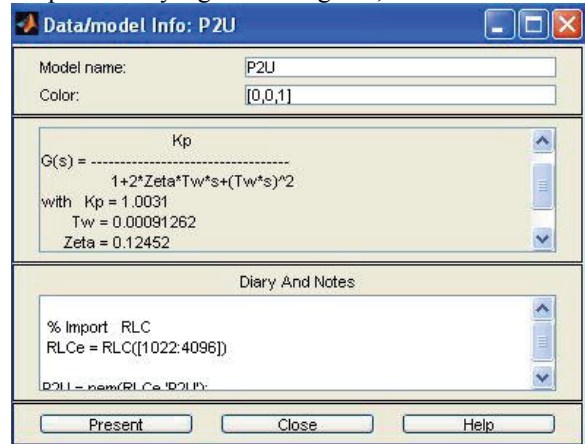
Gambar.14 Perbandingan antara input data dan model yang dihitung

Akurasi diukur dengan perbedaan relatif antara data yang diukur dan dihitung, dan sama dengan 96,88%. Dengan mengklik ganda "P2U" ikon, jendela yang berisi parameter Kp, Tw, ζ dan fungsi transfer model akan muncul (Gambar. 15).

Dengan membandingkan parameter yang diperoleh dari metode konvensional dan parameter dihitung dengan SIT, dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara mereka ada. Fungsi transfer akhir adalah sebagai berikut:

$$G_{RLC} = \frac{1,0031}{1 + \frac{2 \cdot 0,12452}{1095} s + \frac{s^2}{1095^2}} = \frac{1,0031}{1 + 2,27 \cdot 10^{-4} s + 8,34 \cdot 10^{-7} s^2} \quad (4)$$

Perbedaan kecil dalam data ada karena perhitungan didasarkan pada membaca grafik tidak sepenuhnya akurat, suara kuantisasi ada, dan kebisingan hadir pada probe osiloskop saat pengukuran juga ada. Gambar. 7 menunjukkan perbedaan tegangan minimum antara dua sampel akibat yang sama dengan 0,0625 V.



Gambar.15 Parameter Model

Karena model laboratorium sederhana digunakan, tegangan kapasitor tidak menunjukkan distorsi yang signifikan (noise). Namun, model yang lebih besar dan lebih kompleks lebih tunduk pada ketidakakuratan pengukuran unsur-unsur dan distorsi yang dihasilkan dari gangguan elektromagnetik di kabel sinyal.

### C. Parameter Identifikasi Berdasarkan Sistem Nyata (Separately Excited Dc Motor)

Sebagai contoh kedua untuk pengolahan data, model terpisah bersemangat motor DC dipilih. Jenis motor hanya diatur dan memiliki karakteristik statis linear, oleh karena itu cocok untuk mendidik tujuan sebagai elemen urutan kedua dengan waktu respon redaman. Fungsi transfer adalah:

$$G_{ml}(s) = \frac{\omega(s)}{U_a(s)} = \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{1 + T_m s + T_a T_m s^2}, (uz M_t(s) = 0) \quad (5)$$

where:

- Ta= La/Ra – armature time constant,
- Tm= JRa/K2 – electromechanic time constant,
- K – motor constant.

The following relations are also applied:

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{T_a \cdot T_m}}, \quad \zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_m}{T_a}} \quad (6)$$

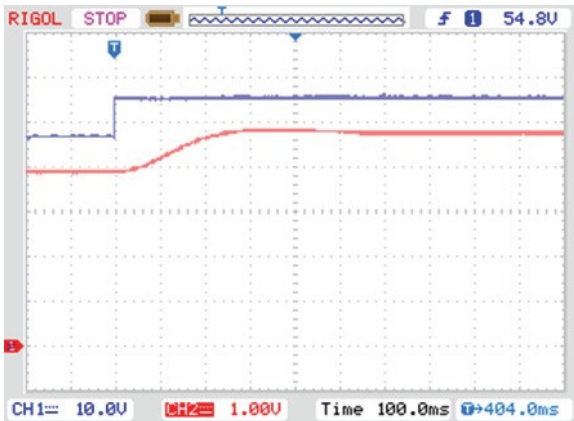
Ketika metode eksperimental yang digunakan, motor dengan karakteristik sebagai berikut dipertimbangkan:

- Pn = 750 W,
- iu = 0,3 A,
- Uan = 90 V,
- Ian = 10,7 A,
- nn = 1750 min-1.



Mengukur perubahan kecepatan karena armature tegangan langkah dari UA1 = 46 V untuk UA2 = 56 V. DC tacho- generator digunakan untuk pengukuran kecepatan. Ketika melangkah tegangan dari UA1 ke UA2, kecepatan meningkat dari 1 = 1200min<sup>-1</sup> sampai 2 = 1480 min<sup>-1</sup>.

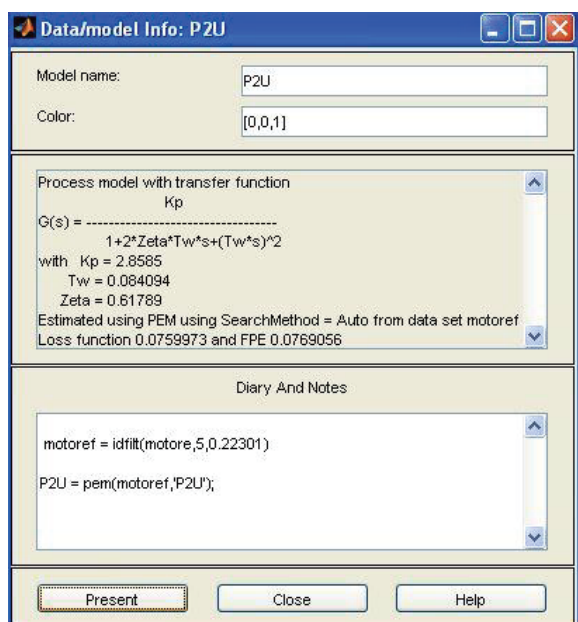
Respon waktu perubahan kecepatan diamati dengan RIGOL DS1052D osiloskop dan ditunjukkan pada Gambar. 16.



Gambar.16 Respon Kecepatan karena armature voltage step

Gambar.16 menunjukkan kecepatan respon urutan kedua dengan redaman yang kuat. Ketika menghitung di SIT, penting untuk memilih model proses yang benar, yang sesuai dengan jenis respon. Jika tidak, hasil yang salah akan muncul. Data harus diatur untuk diproses dari saat pertama ketika tegangan langkah berlangsung, sampai nilai steady state kecepatan respon yang diberikan (pengaturan preproses). Ada juga frekuensi suara tinggi dari DC tacho-generator, sehingga perlu untuk menyaring input data, dan dengan hati-hati bahwa bentuk tegangan langkah tetap otentik.

Setelah menganalisis data input, parameter yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar. 17.

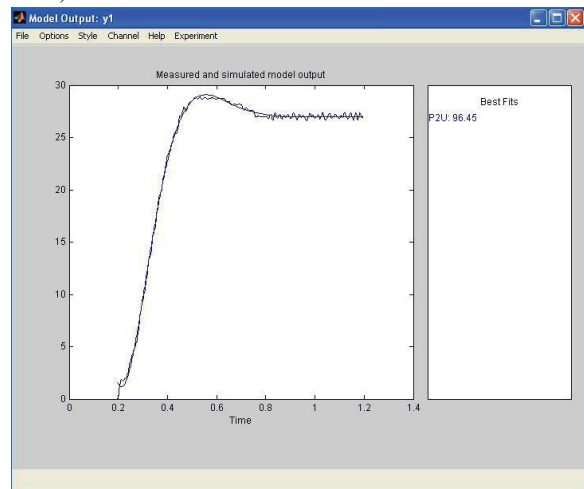


Gambar.17 Parameter dari sebuah motor DC dengan beban

Fungsi transfer (6) parameter mengakibatkan perhitungan SIT adalah sebagai berikut:

$$K = \frac{1}{K_p} = 0,34983 \approx 0,35 \text{ Vs}; T_m = 2\zeta T_w = 0,104s; T_a = \frac{T_w^2}{T_m} = 0,068s$$

Hasil ini konsisten dengan hasil data dari metode konvensional (T<sub>a</sub> - dari respon terhadap tegangan langkah dengan rotor terkunci, T<sub>m</sub> - menentukan momen inersia dari menghentikan prosedur, K - persamaan statis).



Gambar.18 Waktu respon kecepatan yang diperoleh oleh SIT perhitungan dan masukan data yang diamati motor DC

Ketika mengamati "Model output" jendela, jelas bahwa perhitungan SIT konsisten dengan hasil sistem nyata dengan deviasi kecil - tingkat akurasi 96,45%. Karena tidak mungkin untuk menyaring suara frekuensi tinggi sekali, sehingga lebih banyak hasil yang akurat tidak dapat diperoleh (Gbr. 18).

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Artikel ini menjelaskan pendekatan dalam identifikasi parameter proses linear dengan input dan satu output (SISO) dengan menggunakan Sistem Identifikasi Toolbox dari paket perangkat lunak Matlab. Dalam rangka untuk mengidentifikasi model dengan benar, maka perlu untuk merekam hasil dalam bentuk digital secara akurat dan tepat. Data diukur dapat disimpan sebagai teks atau dalam format CSV. Kebisingan kuantisasi dari A / D konversi dan kebisingan dari peralatan pengukuran juga perlu diperhitungkan.

Setelah memuat data ke dalam paket Matlab, itu harus terbatas pada jumlah sampel yang dibutuhkan untuk observasi waktu respon, dan suara frekuensi tinggi perlu disaring setelah itu. Frekuensi sampling harus cukup tinggi, tetapi tidak boleh melebihi batas-batasnya. Ini berarti bahwa dua sampel konsekuen harus cukup berbeda dengan quant. Jika tidak, masalah dengan

identifikasi parameter terjadi. Seluruh algoritma identifikasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan kartu DAQ, karena mereka memiliki pilihan untuk sinyal penyangkapan, sehingga memberikan lebih akurat.

Bounds perlu diperhitungkan dalam "Proses model". Itu bisa terjadi bahwa SIT menghitung koefisien yang ada di perbatasan, sehingga berarti bahwa model yang salah dipilih atau batas perlu diperluas.

Bandungkan dengan metode konvensional, proses identifikasi ini lebih cepat dan lebih akurat. Untuk identifikasi dengan paket SIT, jenis yang tepat dari fungsi transfer harus dipilih sesuai dengan respon. Akurasi memilih perhitungan fungsi transfer harus dibandingkan dengan data masukan yang diberikan kepada Matlab. Juga, atas dasar fungsi transfer, Matlab dapat memberikan hasil grafis dalam bentuk respon output, respon impuls dan diagram Bode.

"Proses Model" memberikan kesempatan untuk memilih 44 jenis fungsi transfer.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Ljung; System identification toolbox, Mathworks 1997.
- [2] <http://www.mathworks.com/help/toolbox/ident/>, 10. 6. 2012.
- [3] N. Perić, I. Petrović; Identifikacija procesa, predavanja, FER, Zagreb, 2005.

## Penyelesaian Masalah 8-Queen Dengan *Depth First Search* Menggunakan Algoritma *Backtracking*

Muhammad Khoirussolih<sup>1</sup>, Galang Wicaksono<sup>2</sup>, Muhammad Prayogi<sup>3</sup>, Rezky Nurrohman<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>khoirus99@gmail.com, <sup>2</sup>legendaarydark999@gmail.com, <sup>3</sup>mprayogi91@gmail.com,

<sup>4</sup>rezkynurrohmanx4@gmail.com

**Abstrak** – *Artificial Intelligence (A.I.)* atau kecerdasan buatan dapat membantu suatu program untuk bekerja dengan pemikiran program itu sendiri, sehingga meminimalisir campur tangan pengguna. Kecerdasan buatan saat ini umum digunakan dalam permainan-permainan komputer yang memungkinkan mode player atau versus computer, seperti permainan catur yang dapat berjalan dengan sendirinya. 8-Queen merupakan suatu bentuk masalah kombinatorial klasik yang menempatkan 8 bidak pada papan catur berukuran 8x8. Penyelesaian 8-Queen dengan menggunakan algoritma Brute Force dilakukan dengan mencoba keseluruhan kemungkinan penempatan 8 bidak pada papan catur yang berukuran  $8 \times 8$  pada kolom, baris, dan diagonal yang berbeda. Namun, kompleksitas waktu yang dihasilkan sangatlah besar (lebih besar dari eksponensial). Sehingga dibutuhkan algoritma lain yang mampu menyelesaikan permasalahan 8-Queen dengan kompleksitas waktu yang lebih kecil dibandingkan dengan algoritma Brute Force.

**Kata kunci** : Kecerdasan Buatan, Algoritma, Backtracking, Brute Force, Catur, Kompleksitas, 8-Ratu

**Abstract** – *Artificial intelligence* may help a program to work with thought the program itself, thereby minimizing user intervention. Artificial intelligence is now commonly used in computer games that allow the player mode or versus the computer, like a game of chess that can run by itself. 8-Queen is a form of classical combinatorial problems that put 8 pawns on 8x8 chess board. 8-Queen completion using Brute Force algorithm is done by trying all possible placements 8 pawns on a chess board measuring  $8 \times 8$  column, row, and diagonal different. However, the complexity of the resulting time is very large (greater than exponential). And so we need another algorithm that is able to solve the problems of the 8-Queen with smaller time complexity compared with Brute Force algorithm.

**Keywords** : Artificial Intelligent, Algorithm, Backtracking, Brute Force, Chess, Complexity, 8-Queen

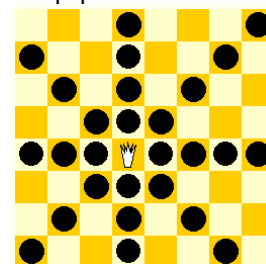
### I. PENDAHULUAN

Jurnal SETRUM adalah jurnal ilmiah untuk publikasi penelitian dan pengembangan di bidang : Sistem Kendali, Sistem Tenaga Listrik, Elektronika dan Instrumentasi, Telekomunikasi, Komputer.

Kecerdasan Buatan atau Intelejensi Artifisial didefinisikan sebagai kecerdasan entitas ilmiah. Sistem seperti ini umumnya dianggap komputer. Kecerdasan diciptakan dan dimasukkan ke dalam suatu mesin (komputer) agar dapat melakukan pekerjaan seperti yang dapat dilakukan manusia. Secara garis besar, AI terbagi ke dalam dua paham pemikiran yaitu AI Konvensional dan Kecerdasan Komputasional (CI, *Computational Intelligence*). AI konvensional kebanyakan melibatkan metode-metode yang sekarang di klasifikasikan sebagai pembelajaran mesin, yang ditandai dengan formalisme dan analisis statistik. Dikenal juga sebagai AI simbolis, AI logis, AI murni dan AI cara lama (GOFAI, *Good Old Fashioned Artificial Intelligence*). Metode-metodenya meliputi sistem pertimbangan berdasar kasus, jaringan Bayesian, dan AI berdasarkan tingkah laku. Sedangkan kecerdasan komputasional melibatkan pengembangan

atau pembelajaran iteratif (misalnya penalaan parameter seperti dalam sistem koneksionis. Pembelajaran ini berdasarkan pada data empiris dan diasosiasikan dengan AI non-simbolis, AI yang tak teratur dan perhitungan lunak. Metode-metode pokoknya meliputi jaringan syaraf, sistem *fuzzy*, dan komputasi evolusioner.

Dalam permainan catur, ratu adalah buah catur yang dapat bergerak dengan bebas ke segala arah ortogonal atau diagonal. Tapi tidak biasa melewati tempat yang dihalangi oleh buah sendiri. Gerakan ortogonal melewati deretan ruang yang ter-hubung di dekatnya berturut-turut dengan sisi yang sama. Gerakan diagonal melewati sudut-sudut ruang, yang menghubungkan ruang dengan warna yang sama di papan sesuai kotak-kotak.



Gambar 1. Diagram pergerakan ratu.

8-Queen merupakan salah satu bentuk permainan puzzle dengan persoalan menempatkan 8 ratu pada papan catur berukuran 8×8 sehingga tidak ada ratu yang mengancam satu sama lain. Dengan demikian, solusi meng-haruskan bahwa tidak boleh ada ratu yang berbagi baris, kolom, ataupun diagonal yang sama. 8-Queen puzzle adalah contoh yang lebih umum dari N-Queen dengan persoalan menempatkan N ratu pada papan catur berukuran N×N, di mana solusi yang ada untuk semua bilangan n dengan pengecualian dari n = 2 dan n = 3.

Permainan puzzle ini pertama kali dibentuk pada tahun 1848 oleh seorang pemain catur Max Bezzel. Dari tahun ke tahun, banyak matematikawan termasuk Gauss dan George Cantor telah bekerja keras untuk dapat menyelesaikan masalah N-Queen ini. Solusi pertama kali dibentuk oleh Franz Nauck pada tahun 1850. Nauck juga memperluas puzzle ke bentuk N-Queen. Pada tahun 1874, S. Gunter mengusulkan suatu metode dengan menggunakan metode determinan dan J.W.L. Glaisher menyaring pendekatan tersebut.

II. METODE

A. Problem Solving

Menyelesaikan masalah, dapat dilakukan secara langsung dari problem statement dan definisi konsep yang melibatkan atau dikenal dengan algoritma Brute Force. Algoritma Brute Force tersebut memecahkan masalah dengan sangat sederhana, langsung, dan dengan cara yang jelas. Namun algoritma Brute Force membutuhkan jumlah langkah yang besar dalam penyelesaiannya, sehingga menyebabkan kompleksitas waktu maupun memori yang besar pula. Hal ini berbeda dengan algoritma *Backtracking*, di mana pada algoritma *Backtracking* merupakan algoritma yang berbasis pada algoritma DFS (*Depth First Search*) yang juga merupakan perbaikan dari algoritma Brute Force yang secara sistematis mencari solusi persoalan di antara semua kemungkinan yang ada. Karena menggunakan DFS, maka proses pencarian tidak memerlukan banyak waktu. Secara umum, algoritma ini digunakan antara lain untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berkembang secara dinamis (*dynamic problem solving*).

Ruang solusi *Backtracking* merupakan semua permutasi dari banyaknya bidak yang ingin ditempatkan pada papan catur sehingga menghasilkan kompleksitas waktu yang jauh lebih kecil. Algoritma ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan jawaban yang sama dengan metode yang digunakan pada *Brute Force* yang menggunakan metode percobaan. Ide dasarnya adalah membangun satu komponen dengan vektor yang sama dan menggunakan kriteria modifikasi fungsi  $P(x_1, \dots, x_n)$ , kadang disebut *bounding function*, untuk menguji apakah vektor yang dibentuk mempunyai harapan untuk berhasil.

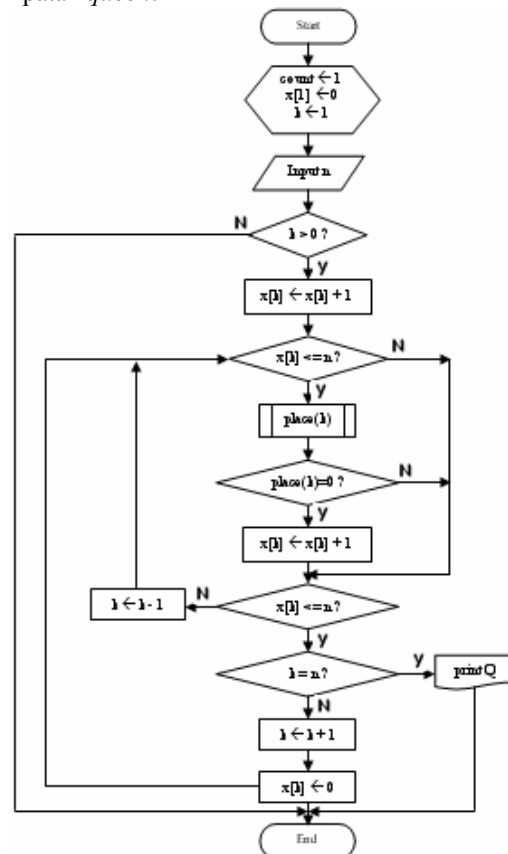
B. Program

Pada makalah ini untuk menyelesaikan permasalahan 8-Queen akan digunakan algoritma sebagai berikut :

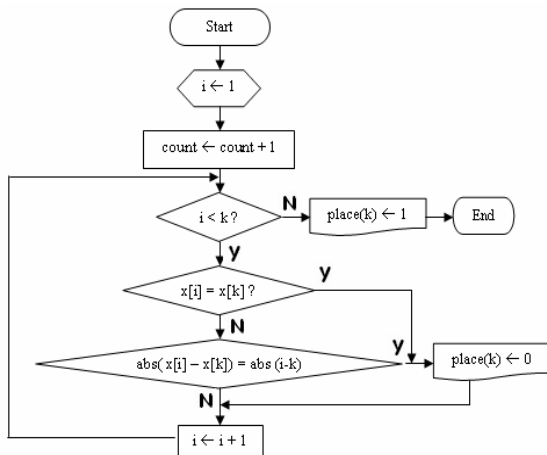
1. Inisialisasi nilai awal untuk kolom nol dan baris pertama.

2. Input bilangan integer untuk menentukan ukuran papan catur.
3. Periksa apakah posisi baris lebih besar dari nol:
  - a. Jika posisi baris lebih besar dari nol, maka pindah ke kolom berikutnya dan lanjutkan langkah 4.
  - b. Jika posisi baris lebih kecil dari nol, maka kondisi tidak terpenuhi dan akan keluar dari perulangan sehingga algoritma selesai.
4. Periksa apakah posisi kolom lebih kecil atau sama dengan ukuran papan dan periksa juga apakah posisi kolom dan diagonal yang sama dari *queen* sudah terisi oleh *queen* yang lain:
  - a. Jika salah satu kondisi tidak terpenuhi maka kembali ke langkah 5.
  - b. Jika kedua kondisi terpenuhi, maka pindah ke kolom selanjutnya dan lakukan kembali ke langkah 4.
5. Periksa apakah posisi kolom kurang dari atau sama dengan ukuran papan:
  - a. Jika memenuhi, cek apakah *queen* telah ditempatkan pada seluruh baris. Jika ya, maka cetak *queen* dan algoritma selesai. Jika tidak, maka pindah ke baris selanjutnya pada kolom awal.
  - b. Jika tidak memenuhi kondisi, maka kembali ke baris sebelumnya.
6. Ulangi langkah 3.

Algoritma di atas dapat dituangkan ke dalam bentuk *flowchart*. *Flowchart* pada program ini terdiri dari dua bagian, yaitu algoritma utama dan algoritma pemeriksaan penempatan *queen*.



Gambar 2. Flowchart Algoritma Utama.



Gambar 3. Flowchart Algoritma Pemeriksaan Penempatan Queen

Berikut program yang di tuangkan pada *pseudocode* untuk menyelesaikan masalah *8-queens* menggunakan *backtracking*:

```

SolveQueens (Integer boardSize, Queen
queen[boardSize]);
i ← 0 //Begin by placing
the queen number 0
while i < boardSize
    queen[i].row ← queen[i].row + 1
    //Place queen[i] to next row
    /* If queen[i] exceeds the row count,
    reset the queen and
    re-place queen[i-1]
    /*
    if(queen[i].row >= boardSize)
        queen[i] ← -1;
        i ← i - 1;
    else
        //While the queen[i] is under
        attack move it down the row
        while(isUnderAttack(queen[i])
            queen[i].row ← queen[i]
+ 1;
        //if queen[i] exceeds the row
        count, reset it, re-place queen[i-1]
        if(queen[i].row >= boardSize)
            queen[i].row ← -1
            i ← i - 1;
        else
            i++;
    end while
    
```

III. HASIL & PEMBAHASAN

Permasalahan pada *8-Queen* akan membutuhkan perhitungan yang kompleks jika menggunakan *Brute Force* karena ada 4.426.165.368 susunan yang mungkin dari delapan ratu pada papan catur berukuran 8×8. Namun dari banyaknya susunan tersebut hanya ada 92 solusi. Tabel berikut memberikan jumlah solusi untuk menempatkan N ratu pada papan catur berukuran N×N, baik secara fundamental maupun keseluruhan, untuk N = 1-8.

Tabel 1. Solusi *N-Queen* untuk n = 1 - 8.

n:	1	2	3	4	5	6	7	8
fundamental:	1	0	0	1	2	1	6	12
all:	1	0	0	2	10	4	40	92

Dengan menggunakan teknik *backtracking* dimungkinkan untuk melakukannya jauh lebih baik. Salah satu algoritma menghasilkan permutasi dari angka 1 sampai 8 (dimana ada 8! = 40320), menggunakan unsur-unsur setiap permutasi sebagai indeks untuk menempatkan ratu pada setiap baris, menjamin tidak ada yang saling serang secara vertikal dan horizontal. Lalu menolak posisi papan yang mendapat serangan diagonal. Program *backtracking* dengan DFS berikut, mengalami sedikit perbaikan pada metode permutasi, mengkonstruksi pohon pencarian dengan mempertimbangkan satu baris dari papan pada suatu waktu, menghilangkan sebagian posisi papan non-solusi pada tahap yang sangat awal dalam konstruksi mereka. Karena menolak serangan diagonal bahkan pada papan yang tidak lengkap, yang diperiksanya hanya 15.720 kemungkinan penempatan *queen*.

IV. KESIMPULAN

Program *8-Queens Problem* termasuk ke dalam *Artificial Intelligence* (A.I.) yang memiliki kemampuan untuk menentukan jalan keluar dari suatu permasalahan. Dalam program ini, didapat hasil bahwa penyelesaian masalah *8-Queen* dengan penggunaan algoritma *Backtracking* sangat tepat daripada menggunakan algoritma *Brute-force*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Suhartono, "SEARCHING: UNINFORMED & INFORMED," 23 April 2013. [Online]. Tersedia di: <http://socs.binus.ac.id/2013/04/23/uninformed-search-dan-informed-search/>. [Diakses pada 18 Mei 2015].
- [2] F. Duniho dan H. Bodlaender, "Piececlopedia: Queen," 11 September 1998. [Online]. Tersedia di: <http://www.chessvariants.org/piececlopedia.dir/queen.html>. [Diakses pada 13 Mei 2015].
- [3] Hoffman. et all, "Construction for the Solutions of the m Queens Problem," Mathematics Magazine Vol. XX, 1969.
- [4] M. Richards, *Backtracking Algorithms in MCPL using Bit Patterns and Recursion*, Cambridge University Computer Laboratory, 2009.
- [5] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, 2009.
- [6] W. W. R. Ball, *The Eight Queens Problem, in Mathematical Recreations and Essays*, New York: Macmillan, 1960.



## Penyelesaian Masalah 8-Puzzle dengan Algoritma Steepest-Ascent Hill Climbing

David Abraham<sup>1</sup>, Indra W. Permana<sup>2</sup>, Rangga Adi Nugraha<sup>3</sup>, Moch. Alvian<sup>4</sup>, Hanif<sup>5</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

<sup>1</sup>daavidabraham@yahoo.com, <sup>2</sup>ns1fans@gmail.com, <sup>3</sup>ragota\_23@yahoo.co.id,

<sup>4</sup>mochammadalvian@gmail.com, <sup>5</sup>albaproperti@gmail.com

**Abstrak** – 8 puzzle merupakan salah satu implementasi dari Artificial Intelligence. Dalam proses penyelesaiannya banyak terdapat algoritma-algoritma pencarian yang dapat diterapkan. Solusi 8 puzzle akan lebih cepat diperoleh jika digunakan prinsip array dengan variasi algoritma Steepest-Ascent Hill Climbing (Hill Climbing dengan memilih kemiringan yang paling tajam / curam) dengan parameter heuristik posisi yang benar dan heuristik jarak serta dikombinasikan dengan LogList sebagai penyimpanan state state yang pernah dilalui untuk menanggulangi permasalahan pada algoritma hill climbing itu sendiri dan terhindar dari looping state yang pernah dilalui. Metode-metode yang termasuk ke dalam teknik pencarian yang berdasarkan pada fungsi heuristik salah satu diantaranya adalah Hill Climbing, Best First Search, A\* (A Bintang). Loglist merupakan tempat penyimpanan setiap kunjungan dari state-state puzzle yang telah dilakukan untuk menghindari looping atau pengulangan terhadap state yang pernah dilalui. Untuk menanggulangi permasalahan pada SteepestAscent Hill Climbing.

**Kata kunci:** 8Puzzle, heuristik, hill climbing, Steepest-Ascent Hill Climbing , loglist

**Abstract** – 8 puzzle is one of Artificial Intelligence implementation. In the process of its completion, there are search algorithms can be applied. 8 Puzzle solution will be obtained more quickly if used array principle with a variety of algorithms Steepest Ascent Hill-Climbing (Hill Climbing by selecting the sharpest tilt / steep) with parameters of position heuristic correct and distance heuristic combined with LogList as storage of states is ever passed for tackling problems at hill climbing algorithm itself and avoid looping state that once passed. The methods included in search techniques based on heuristic functions, one of them is the Hill Climbing, Best First Search, A \* (A-star). Loglist is a storage place of every visit from states of puzzle that has been done to avoid looping or repetition to state that once passed. To cope with the problem on SteepestAscent Hill Climbing.

**Keywords:** 8Puzzle, heuristik, hill climbing, Steepest-Ascent Hill Climbing , loglist.

### I. PENDAHULUAN

#### 1.1 Konsep AI

AI (*Artificial Intelligence*) atau Kecerdasan Buatan merupakan salah satu cabang ilmu komputer yang mempelajari bagaimana cara membuat sebuah mesin cerdas, yaitu mesin yang mempunyai kemampuan untuk belajar dan beradaptasi terhadap sesuatu.

Jika diartikan tiap kata, *artificial* artinya buatan, sedangkan *intelligence* adalah kata sifat yang berarti cerdas. Jadi *artificial intelligence* maksudnya adalah sesuatu buatan atau suatu tiruan yang cerdas. Cerdas di sini kemungkinan maksudnya adalah kepandaian atau ketajaman dalam berpikir, seperti halnya otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah.

Tujuan dari riset-riset *Artificial Intelligence* (AI) / Kecerdasan Buatan adalah bagaimana membuat sebuah mesin bisa berfikir sama halnya dengan manusia yang bisa berfikir. AI digunakan untuk menjawab *problem* yang tidak dapat diprediksi dan tidak bersifat algoritmik atau prosedural. Sampai saat ini, para peneliti di bidang AI masih banyak menyimpan pekerjaan rumah mereka disebabkan kompleksitas penelitian di bidang *Artificial Intelligence* (AI) /

Kecerdasan Buatan serta faktor dukungan teknologi untuk merealisasikannya. Karena area cakupan yang luas, *Artificial Intelligence* (AI) / Kecerdasan Buatan dibagi lagi menjadi subsub bagian di mana sub-sub bagian tersebut dapat berdiri sendiri dan juga dapat saling melengkapi satu dengan lainnya.

AI membuat mesin agar dapat berpikir dan bertindak seperti manusia serta berpikir dan bertindak rasional.

#### 1. *Acting Humanly*

*Acting humanly* ialah sistem yang melakukan pendekatan dengan menirukan tingkah laku seperti manusia yang dikenalkan pada tahun 1950 dengan cara kerja pengujian melalui teletype yaitu jika penguji (integrator) tidak dapat membedakan yang mengintrogasi antara manusia dan computer maka computer tersebut dikatakan lolos (menjadi kecerdasan buatan).

#### 2. *Thinking Humanly*

Yaitu sistem yang dilakukan dengan cara intropeksi yaitu penangkapan pemikiran psikologis manusia pada computer, hal ini sering diujikan dengan neuron ke neuron lainnya atau sel otak

dengan sel otak lainnya cara pembelajarannya yaitu melalui eksperimen-eksperimen.

3. *Thinking Rationally*

Ini merupakan system yang sangat sulit ,karena sering terjadi kesalah dala, prinsip dan prakteknya,system ini dikenal dengan penalaran komputasi.

4. *Actng Rationally*

Yaitu system yang melakukan aksi dengan cara menciptakan suatu robotika cerdas yang menggantikan tugas manusia.

Berikut ini beberapa cabang ilmu sub bagian dari

AI :

1. *Natural Languange Processing (NLP)*

*Natural Languange Processing (NLP)* atau Pemrosesan Bahasa Alami, merupakan salah satu cabang AI yang mempelajari pembuatan sistem untuk menerima masukan bahasa alami manusia. Dalam perkembangannya, NLP berusaha untuk mengubah bahasa alami komputer (bit dan byte) menjadi bahasa alami manusia yang dapat kita mengerti. NLP merupakan ilmu dasar yang dapat dijadikan jembatan untuk membuat komunikasi antara mesin dengan manusia.

2. *Expert System (ES)*

*Expert System (ES)* atau Sistem Pakar, merupakan salah satu cabang AI yang mempelajari pembuatan sebuah sistem yang dapat bekerja layaknya seorang pakar. ES dapat menyimpan pengetahuan seorang pakar dan memberikan solusi berdasarkan pengetahuan yang dimilikinya tadi. ES juga merupakan salah satu cabang AI yang sering melakukan kerja sama dengan disiplin ilmu lain karena sifatnya yang dapat menyimpan pengetahuan.

3. *Pattern Recognition (PR)*

*Pattern Recognition (PR)* atau Pengenalan Pola, merupakan salah satu cabang AI yang mempelajari pembuatan sebuah sistem untuk dapat mengenali suatu pola tertentu. Misalnya sistem PR untuk mengenali huruf dari tulisan tangan, walaupun terdapat perbedaan penulisan huruf A dari masing-masing orang tetapi PR dapat mengenali bahwa huruf tersebut adalah huruf A. Beberapa aplikasi dari PR antara lain : *voice recognition, Fingerprint Identification, Face Identification, Handwriting Identification, Optical Character Recognition, Biological Slide Analysis, Robot Vision* dan lainnya.

4. *Robotic*

*Robotic* atau Robotika, merupakan salah satu cabang AI yang menggabungkan cabang-cabang AI yang lain termasuk ketiga cabang di atas untuk membentuk sebuah sistem robotik.

Keempat cabang AI di atas merupakan cabang umum yang banyak dipelajari, masih banyak cabang-cabang AI yang lainnya. Seiring perkembangan riset dalam AI, dapat dimungkinkan akan muncul cabang-cabang baru yang melengkapi unsur AI sehingga AI menjadi sebuah sistem lengkap dan akan mencapai goal-nya yang sampai sekarang masih belum sempurna.

1.2 *Intelligent Agent*

Berikut merupakan jenis-jenis *intelligent agent* :

1. *Reflect Agents*

*Reflect agents* merupakan agen yang langsung memberikan reaksi terhadap lingkungan tanpa berpikir panjang. Reflect Agents memiliki 2 pilihan yaitu kiri atau kanan. *Reflect Agents* bermanfaat pada lingkungan yang sederhana.

2. *Model-Based Agents*

*Model-Based agents* memiliki memori. Berfungsi untuk memodelkan lingkungan. *Model-based agents* tidak memiliki goal.

3. *Goal-Based Agents*

*Goal-Based agents* hanya memikirkan bagaimana mencapai goal saja, tidak memperdulikan jarak yang ditempuh. Agen ini efektif tetapi tidak efisien.

4. *Utility-Based Agents*

*Utility-Based agents* hampir sama seperti *Goal-Based Agents* tetapi agen ini memikirkan jarak yang ditempuh. Agen ini akan memilih jalan yang lebih cepat untuk mencapai tujuan. *Utulity-Based Agents* merupakan agen yang efektif dan efisien.

5. *Learning Agents*

*Learning agents* akan belajar dari pengalaman. Sehingga agen ini akan terus memperbaiki diri agar tidak terjadi kesalahan lagi. Agen ini tidak akan melakukan kesalahan yang sama. Agen ini biasanya digunakan untuk mengetes suatu masalah.

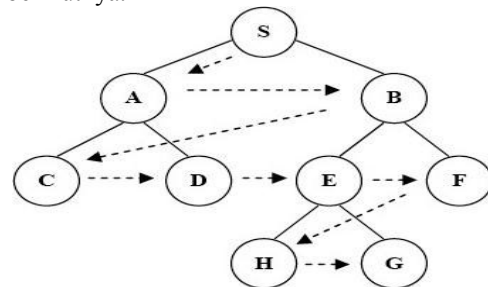
II. LANDASAN TEORI

2.1 *Blind Searching*

Terdapat 3 metode dalam search algoritma, yaitu

1. *Breadth-First Search*

Merupakan pencarian kesamping dimulai dari yang paling kiri. Pencarian akan dimulai pada level yang sama terlebih dahulu kemudia ke level berikutnya.



Gambar 1. *Breadth-First Search*

Keuntungan :

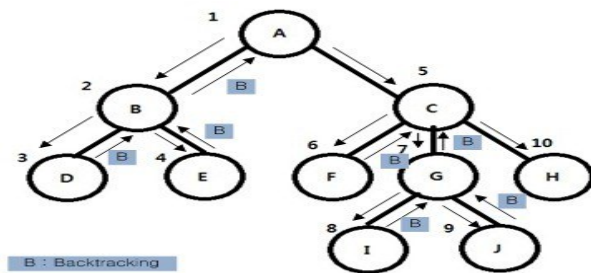
1. Tidak akan menemui jalan buntu
2. Jika ada satu solusi, maka breadth-first search akan menemukannya. Dan, jika ada lebih dari satu solusi, maka solusi minimum akan ditemukan.

Kelemahan :

1. Membutuhkan memori yang cukup banyak, karena menyimpan semua node dalam satu pohon
2. Membutuhkan waktu yang cukup lama, karena akan menguji n level untuk mendapatkan solusi pada level yang ke-(n+1).

2. *Depth-First Search*

Merupakan pencarian kedalam dari atas kebawah mulai dari yang paling kiri setelah itu baru kekanan.



Gambar 2. Depth-First Search

Keuntungan :

1. Membutuhkan memori yang relative kecil, karena hanya node-node pada lintasan yang aktif saja yang disimpan.
2. Secara kebetulan, metode depth-first search akan menemukan solusi tanpa harus menguji lebih banyak lagi dalam ruang keadaan.

Kelemahan :

1. Memungkinkan tidak ditemukannya tujuan yang diharapkan
2. Hanya akan menemukan 1 solusi pada setiap pencarian

### 3. Uniform-Cost Search

Merupakan pencarian yang gabungan dari Breadth-First Search dan Depth-First Search. Metode ini akan memilih jalan yang singkat. Metode merupakan metode yang paling optimal dalam mencari solusi.

#### 2.2 Heuristic Search

Heuristic search merupakan metode pencarian yang memperhatikan nilai heuristik(nilai perkiraan). heuristik memperkirakan jarak ke Goal (yang disebut dengan fungsi heuristik)

salah satu contoh huristi search adalah Best First Search yang di bagi 2

1. Greddy Best
2. A\* (baca A star)

kedua teknik ini memiliki persamaan dan perbedaan, persamaannya adalah sama-sama menggunakan nilai heuristic (perkiraan) perbedaannya pada greddy best

$$f(n) = h(n) \tag{1}$$

Dimana (\* h(n) fungsi heuristik itu sendiri)

Pada A\*

$$f(n) = h(n) + g(n) \tag{2}$$

Dimana (\*g(n) merupakan aktual cost atau total jarak menuju ke n node).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

8 puzzle merupakan salah satu implementasi dari Artificial Intelgence. Dalam proses penyelesaiannya banyak terdapat algoritmaalgoritma pencarian yang dapat diterapkan. Dalam hal ini penulis memilih algoritma Steepest-Ascent Hill Climbing (Hill Climbing dengan memilih kemiringan yang paling tajam / curam) yang divariasikan dengan fungsi heuristik jarak dan posisi.

Heuristic dalam konteks yang luas dapat didefinisikan sebagai suatu nilai informasi yang “dianggap” mendekati nilai solusi dari suatu permasalahan. Sebagai contoh, jika kita misalkan ada seseorang yang berada di Bandung hendak menuju Surabaya, lalu orang tersebut ingin mencari rute jalan darat terpendek yang dapat dilalui dari Bandung menuju Surabaya. Maka nilai heuristicnya bisa kita tentukan dari, misal jarak estimasi dari setiap titik keberangkatan menuju Surabaya berdasarkan jarak yang tertulis pada peta. Atau bisa saja nilai heuristicnya didasarkan pada jarak setiap titik keberangkatan terhadap stasiun kereta api terdekat. Yang jelas, nilai heuristic ini dapat sangat relatif berdasar penilaian masing-masing pembuat keputusan. Tapi perlu diingat, nilai heuristic ini digunakan dalam proses evaluasi setiap periode tertentu atau setiap titik evaluasi tertentu. Jadi sebisa mungkin nilai heuristic yang kita tentukan bersifat admissible atau dapat diterima secara semantik, baik karena kedekatannya dengan solusi maupun “masuk akal” dari sisi logika. Jika tidak demikian, maka bisa jadi bahwa proses pencarian yang kita lakukan malah akan menjauhkan kita dari solusi.

Pada 8-Puzzle Problem, kita juga dapat menentukan nilai heuristicnya. Namun agak berbeda dengan permasalahan bertipikal pencarian jarak terpendek, nilai heuristic pada 8-Puzzle langsung ditentukan berdasar kondisi kedekatannya dengan goal, karena kita tidak pernah tahu jarak atau langkah yang kira-kira dapat ditempuh dari state sekarang ke goalnya.

Pada berbagai referensi, ada beberapa nilai heuristic yang dapat dijadikan acuan untuk permasalahan 8-Puzzle. Salah satu yang cukup terkenal adalah Manhattan Distance. Manhattan Distance didefinisikan sebagai penjumlahan jarak masing-masing kotak 8-Puzzle terhadap posisinya yang benar pada kondisi goal. Sehingga, pada kondisi goal, heuristic pasti akan bernilai 0, karena semua kotak sudah pada posisinya masing-masing (jarak dengan posisinya yang benar = 0). Cara pendekatan seperti ini telah cukup dianggapadmissible atau masuk akal.

Berikut adalah contoh perhitungan Manhattan Distance untuk suatu state terhadap kondisi goalnya.

**Current State**



$$\begin{aligned}
 h(4) &= |0-0| + |0-1| = 1 \\
 h(8) &= |2-2| + |0-2| = 2 \\
 h(2) &= |0-1| + |1-0| = 2 \\
 h(3) &= |1-2| + |1-0| = 2 \\
 h(1) &= |2-0| + |1-0| = 3 \\
 h(7) &= |0-0| + |2-2| = 0 \\
 h(6) &= |1-2| + |2-1| = 2 \\
 h(5) &= |2-1| + |2-1| = 2
 \end{aligned}$$

**Goal State**



Sehingga didapatkan nilai *heuristic* untuk *current state* terhadap *goal state* adalah:

$$\begin{aligned}
 h(n) &= h(4) + h(8) + h(2) + h(3) + h(1) + h(7) \\
 &+ h(6) + h(5) \\
 &= 1 + 2 + 2 + 2 + 3 + 0 + 2 + 2 \\
 &= 14
 \end{aligned}$$

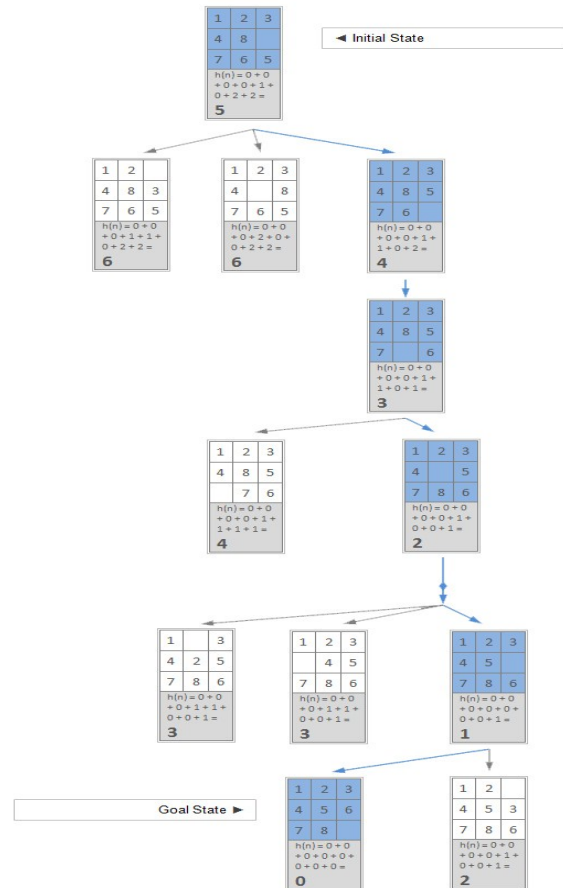
Seperti telah dikatakan sebelumnya, bahwa penilaian *heuristic* ini sangat relatif berdasar cara penalaran si pembuat keputusan. Jadi, sebenarnya penilaian ini juga dapat disebut sebagai penerapan strategi untuk permasalahan 8-Puzzle. Semakin bagus strateginya, maka akan semakin mangkus jalur pencarian yang dihasilkan.

Berikutnya, yang kita lakukan adalah menentukan metodologi atau algoritma pencariannya. Dengan menentukan metodologi pencarian, berarti kita menentukan bagaimana proses evaluasi yang dilakukan, tentunya menggunakan penilaian *heuristic* yang telah kita tentukan. Ada banyak metodologi yang dapat diterapkan untuk permasalahan 8-Puzzle. Berikut ini akan saya bahas beberapa algoritma populer yang dapat diterapkan untuk mencari jalur langkah penyelesaian 8-Puzzle.

Algoritma Hill Climbing merupakan salah satu teknik optimasi matematis yang termasuk ke dalam kategori *local search*. Disebut *local search* karena hanya melakukan evaluasi terhadap kemungkinan-kemungkinan *state* yang saat ini sedang dihadapi. Ketika telah memilih salah satu *state* yang dianggap terbaik, maka Hill Climbing akan melanjutkan pencarian hanya berdasar *state* yang telah dipilih tersebut, hingga mencapai kondisi goalnya. Jadi, ketika telah dipilih satu jalur, maka jalur yang lain akan diabaikan. Itulah mengapa Hill Climbing sering dianggap sebagai cara pencarian *heuristic* yang tercepat, karena hanya melakukan *simple evaluation* terhadap beberapa kemungkinan *state* yang dianggap terbaik, lalu memilihnya, dan melupakan kemungkinan lain yang berada di luar kondisi evaluatifnya.

Pada 8-puzzle, satu kali proses evaluasi menggunakan Hill Climbing hanya akan melibatkan maksimal 4 *state* untuk kondisi *initial state*, dan maksimal 3 *state* untuk kondisi *state* selain *initial state*. Sehingga *state space* untuk algoritma ini dapat dikatakan relatif sangat kecil. Berikut adalah contoh

bagaimana algoritma Hill Climbing dijalankan untuk suatu kasus *state* tertentu. Perlu diingat bahwa proses evaluasi yang dilakukan akan selalu mengambil nilai *heuristic* yang paling kecil.



Tetapi, Hill Climbing mempunyai dua (2) kelemahan:

1. *Plateau*, kondisi ketika ada dua (2) atau lebih *evaluation state* yang mempunyai nilai *heuristic* sama besar dan juga merupakan nilai terbaik.
2. *Local Maxima*, yaitu solusi lokal yang ditemukan dengan fungsi evaluasi. Tetapi solusi ini bukan kondisigoal yang diharapkan, dan jika dilakukan evaluasi secara terus menerus, maka akan kembali lagi ke kondisi solusi lokal itu sendiri. Karena memang fungsi evaluasi yang dilakukan menemui batasan pencarian lokal.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, ada strategi yang dapat diterapkan pada Hill Climbing agar solusi dapat ditemukan dengan baik. Strategi tersebut adalah:

1. Untuk *plateau* cukup dapat diatasi dengan menerapkan aturan prioritas pergerakan kotak kosong. Misal, pergerakan kotak kosong ke atas adalah lebih diprioritaskan daripada pergerakan ke kiri, pergerakan kotak ke kiri lebih diprioritaskan daripada pergerakan ke kanan, dst.
2. Sedangkan untuk *local maxima*, diperlukan lompatan besar (**big jump**) dengan memilih *evaluation state* yang lain ketika dalam kondisi *local maxima*. *Big jump* dapat diartikan dengan memilih *state* lain yang memiliki

3. kedekatan *heuristic* dengan *state* terbaik, atau dengan cara melakukan pemilihan acak (*random*) terhadap *state* lainnya yang bukan terbaik

#### IV. PENUTUP

##### A. Kesimpulan

Kesimpulan pada makalah ini yaitu:

1. Persoalan 8 puzzle dapat diselesaikan dengan menggunakan prinsip array serta algoritma Steepest-Ascent Hill Climbing yang telah divariasikan.
2. Solusi 8 puzzle akan lebih cepat diperoleh jika digunakan prinsip array dengan variasi algoritma Steepest-Ascent Hill Climbing (Hill Climbing dengan memilih kemiringan yang paling tajam / curam) dengan parameter heuristik posisi yang benar dan heuristik jarak serta dikombinasikan dengan LogList sebagai penyimpanan state state yang pernah dilalui untuk menanggulangi permasalahan pada algoritma hill climbing itu sendiri.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusumadewi, Sri. Pengantar Kecerdasan Buatan (AK045218):
- [2] Teknik Pencarian Heuristik. Taufiq, Andik. 2010. 8-Puzzle Problem Bagian
- [3] <http://andiktaufiq.wordpress.com/2010/05/02/8-puzzle-problem-bagian-2/>. (Diakses tanggal 25 September 2014)
- [4] Boylestad, Robert. 1992. Electronic Devices and Circuit Theory. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- [5] Microcontroller Databook. 1995. San Jose: Atmel Corporation.
- [6] Nist Sematech, 2007. e-Handbook of Statistical Methods: Single Response Case. <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri531.htm>>
- [7] Rich, Elaine. 1991. Artificial Intelligence. New York: McGraw-Hill.



## **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