

Volume 5, No. 2 Desember 2016

p-ISSN : 2301-4652

e-ISSN : 2503-068X

Jurnal Ilmiah

SESTRUM

Sistem - kEndali - Tenaga - elektRonika - telekomUnikasi - koMputer



Jurusan Teknik Elektro
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

DEWAN REDAKSI

Pengarah

Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

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

Penanggung Jawab

Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

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

Editor in Chief

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

Reviewer

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

Kesekretariatan :

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

DATA BIBLIOGRAFI

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

DAFTAR ISI

Maximum Power Point Tracking dengan Algoritma Perturb and Observation untuk Turbin Angin Erik Tridianto, Tio Rizkudianto Widcaksono	53-56
Pembuatan Sistem Pengiriman Data Menggunakan Telemetry Wireless untuk Detektor Getaran Mesin Dengan Sensor Fluxgate Yulkifli, Yohandri, Zurian Affandi	57-61
Impact of Macrocell Size on the Implementation of LTE Femto Integrated with GSM Network M.Yaser	62-66
Bubur Kertas Untuk Perekat Briket Serbuk Gergaji Sebagai Sumber Energi Alternatif Andi Muhammad Ilyas	67-70
Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Menggunakan Kincir Angin Savonius Portabel Yusuf Ismail Nakhoda, Chorul Saleh	71-76
Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular menggunakan metode Array 1x8 untuk Aplikasi Radar Maritim Frekuensi 3,2 GHz Jonifan, Wahyu Supriyatin, Yenniwarti Rafsyam, Teguh Firmansyah, Herudin, Akoh Herudin	77-81
Analisa Kinerja TCM-SM Untuk MIMO Pada Kanal Fading Popy Maria; Gunawan Wibisono	82-89
Analisa Compact Wireless Power Transfer (CWPT) menggunakan Metode Magnetic Resonator Coupling Bambang Sudibya, Wiyono, Siswo Wardoyo, Teguh Firmansyah	90-93
Kinerja Prototipe Sistem Elektronis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 Untuk Pemantauan Analogi Instalasi Listrik Arief Goeritno, Ritzkal, Ayumi Johan	94-99
Desain Cantilever Beam Piezoelectric Untuk Aplikasi Energi Harvesting Roer Eka Pawinanto, Ahmad Shumarudin	109-102

Maximum Power Point Tracking dengan Algoritma Perturb and Observation untuk Turbin Angin

Erik Tridianto, Tio Rizkidiyanto Widcaksono
Sistem Pembangkit Energi
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
erik@pens.ac.id, tsutino@gmail.com

Abstrak – Energi terbarukan adalah salah satu energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar untuk pembangkit listrik. Dari berbagai energi terbarukan, yang ada energi angin adalah yang paling mudah dicari. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan ratusan pantai dan dengan kecepatan angin yang besar dan berfluktuasi 3-5 m / s. Dan solusi dari masalah angin yang berfluktuasi ini adalah dengan menggunakan kontrol MPPT (Maximum Power Point Tracking) dengan lm2596 dc-dc buck converter. Ketika daya yang dihasilkan kurang dari yang diharapkan, maka kontrol MPPT akan menurunkan tegangan untuk mendapatkan daya maksimum. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan lm2596 buck dc-dc converter menggunakan kontrol MPPT dengan tujuan mendapatkan daya maksimum pada kondisi kecepatan angin yang bervariasi, dan jenis MPPT yang digunakan adalah Perturb and Observation (P & O). Untuk membaca daya yang dihasilkan menggunakan Voltage dan Current sensor. Hasil tes menunjukkan bahwa, dengan penambahan kontrol MPPT dapat meningkatkan output daya dari generator sebesar 23%-49%.

Kata kunci : energy, Maximum Power Point Tracking (MPPT), buck converter

Abstract – Renewable energy is one alternative energy as substitute fuel for power plants. From various renewable energy, wind energy is the most easily searchable. Indonesia is an archipelago with hundreds of beaches with large wind speeds and fluctuating 3-5 m / s. And the solution of this problem is using MPPT control (Maximum Power Point Tracking) with lm2596 dc-dc buck converter, when the power generated is less than expected, then MPPT control will lower the voltage to obtain the maximum power at fluctuating wind conditions. This research will be made lm2596 buck dc-dc converter with MPPT control with the aim of getting the maximum power at a given wind speed conditions and MPPT type used is Perturb and Observation (P & O). For reading power that generated used Voltage and Current sensor. Test results showed that, with the addition of MPPT control can increase the power output of the generator by 23%-49%.

Keywords : energy, Maximum Power Point Tracking (MPPT), buck converter

I. PENDAHULUAN

Pada era saat ini dari semua negara berlomba-lomba mengembangkan teknologi di bidang energi baru terbarukan (EBT) sebagai sumber energi alternatif, penyebabnya karena pasokan batu bara dan minyak berkurang. Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki potensi yang sangat tinggi untuk energi terbarukan. Dari berbagai energi terbarukan, energi angin adalah energi yang paling mudah dicari. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki ratusan pantai dengan kecepatan angin yang besar dengan rata-rata 5 m / s.

Kecepatan angin yang tidak dapat diprediksi, membuat tegangan output menjadi stabil dan tidak dapat langsung digunakan. Maximum Power Point Tracking (MPPT), yang menggunakan dc-dc buck converter mampu mengontrol tegangan output sehingga dapat mencari maximum power point untuk daya maksimum dan meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan. MPPT sendiri memiliki beberapa jenis dan salah satunya Perturb and Observation (P & O). Jenis MPPT ini menggunakan

metode hill climbing, karena tergantung pada munculnya kurva kekuatan tegangan di bawah kekuatan titik maksimum. Metode ini paling sering digunakan MPPT karena implementasi yang mudah. Karakteristik Perturb dan Observation (P & O) yaitu memiliki efisiensi terbesar dibandingkan metode lain, karena sebagai penyedia metode bukit Suite mendaki prediktif dan adaptif diadopsi. Kontrol MPPT dapat digunakan dalam konverter dc-dc. Jenis konverter disebutkan dc-dc buck converter adalah salah satu cara termudah untuk tegangan yang lebih rendah daripada menggunakan regulator linear dan memiliki efisiensi sekitar 95%. Oleh karena itu dalam makalah ini akan dibuat P & O MPPT mengontrol buck converter untuk meningkatkan efisiensi output daya yang dihasilkan dan diharapkan untuk menghasilkan output daya maksimum meskipun turbin angin berputar dari kecepatan yang bervariasi.

II. DASAR TEORI

Blok diagram sistem dari "Maximum Power Point Tracking Perturb and Observe (P & O MPPT) untuk

turbin angin dengan menggunakan metode *Hill Climbing* " disajikan pada Gambar 2.1.

A. Prinsip Kerja

Dalam tugas akhir ini akan dirancang suatu pemaksimal daya sistem untuk keluaran turbin angin. Berikut ini cara kerja sistem :

- Sistem ini terdiri dari turbin angin, sensor arus dan tegangan , dan mikrokontroler
- Daya yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dilihat dengan menggunakan sensor arus dan tegangan.
- Mikrokontroler dengan menggunakan metode algoritma Hill Climbing menentukan *slope* dari tegangan konverter input (V_{in}) dan konverter arus (I_{in}).
- *Slope direction* ditentukan oleh rasio ΔP dan ΔV , berikut rumusnya :

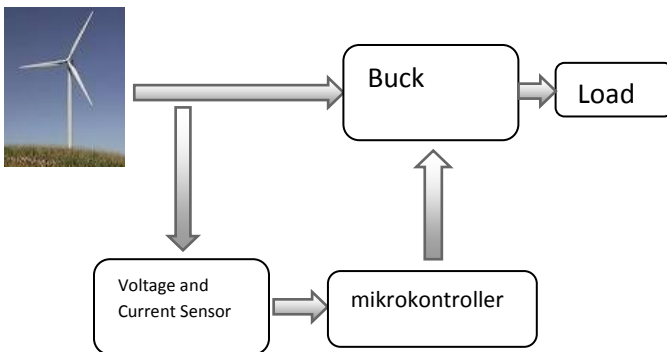
$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \quad P_{in} = V_{in} \times I_{in} \quad (1)$$

$$\Delta V = V_{in}(n) - V_{in}(n-1) \quad (2)$$

$$\Delta P = P_{in}(n) - P_{in}(n-1) \quad (3)$$

$$\Delta P = P_{in}(n) - P_{in}(n-1) \quad (4)$$

- Dengan karakteristik *buck converter* diperoleh *duty cycle*. Bila hasil perbandingan kemiringan(*slope*) bernilai positif dari nilai tegangan tambahan dan menghasilkan nilai negatif, maka nilai tegangan berkurang. Nilai tegangan akan menurun jika nilai *duty cycle* juga mengalami penurunan. Dengan menentukan *slope* maka diperoleh *duty cycle* dengan referensi baru.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

III. METODE PENELITIAN

A. Buck Converter

Pada penelitian ini menggunakan tegangan input 12 volt yang diperoleh dari regulator untuk mensimulasikan output dari generator turbin angin dan dibebani dengan tiga beban berupa 15-watt 15 ohm resistor dan terdiri dari beberapa komponen utama, induktor, kapasitor, dan dioda.

Untuk merancang *buck converter* yang dianjurkan diperlukan perhitungan komponen yang tepat. Karena nilai komponen yang tidak tepat bisa menyebabkan hasil output yang tidak sesuai, seperti tegangan *discharge* dan arus *ripple* yang terlalu besar. Untuk merancang sebuah

buck converter, variabel pertama yang perlu ditetapkan, yaitu:

1. *Input Voltage* (V_{di})= 15 volt
2. *Output Voltage* (V_{out})= 12 volt
3. *Maximum Power* = 50 watt
4. *Switching Frequency (FSW)* = 50 KHz

- *Inductor*

Dari data di atas, nilai komponennya dapat dihitung, yaitu:

$$Duty\ Cycle = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{12}{15} = 0.8 \sim 80\% \quad (5)$$

Inductor calculation

$$L = (V_{in} - V_{out}) \times D \times \frac{1}{F_{sw}} \times \frac{1}{\Delta I} \quad (6)$$

Dimana dari rumus di atas ΔI adalah arus *Ripple*, untuk desain yang dianjurkan *range* dari arus *rippley*nya 30% sampai 40% dari arus output. Asumsikan nilai ΔI adalah 35%.

$$I_{out} = \frac{P}{V_{out}} = \frac{50}{12} = 4.16A \sim 4.2A$$

$$\Delta I = 0.35 \times I_{out} = 0.35 \times 4.2 = 1.47A$$

$$L = (15 - 12) \times 0.8 \times \left(\frac{1}{50k}\right) \times \left(\frac{1}{1.47}\right) = 32.65\mu H$$

Dan *inductor current peak* :

$$I_L = I_{out} + \frac{\Delta I}{2} = 4.2 + \frac{1.47}{2} = 4.935A \sim 5A$$

Dari perhitungan tersebut, kemudian dicari spesifikasi induktor pada tabel spesifikasi induktor. Sehingga diperoleh spesifikasi mendekati daerah L40 ($L = 33\mu H$ dan $I_L = 3.5A$).

- *Capasitor*

Capasitor bahan yang digunakan harus dari aluminium atau *tantalum electrolytic capacitors bypass capacitor* yang menjaga dalam kasus tegangan besar yang transien juga pengoperasiannya harus stabil dan harus memiliki nilai kapasitor ESR (Equivalent Series Resistance) yang rendah. $220\mu F$ *capasitor*, $35v$ aluminium electrolytic cukup untuk melakukan *bypassing* . Dan untuk output *capasitor* dipilih dari tabel spesifikasi kapasitor keluaran yang direkomendasikan dengan spesifikasi, ESR *electrolytic capacitor* rendah antara $220\mu F$ hingga $1500\mu F$.

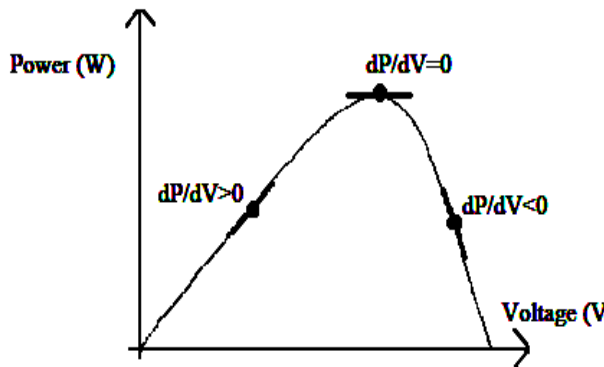
- *Diode*

Diode yang digunakan adalah 20V 1N5834 yang memiliki kapasitas 4 sampai 6 *ampere*, hal ini karena *current rating*nya harus 1.2x dari arus keluaran dan tegangannya harus 1.25x dari tegangan input maksimum.

B. *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

Seperti yang telah diketahui bahwa karakteristik daya keluaran dari turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin, diperlukan suatu algoritma untuk menemukan maksimum power point (MPP) dan menjaga titik kerja. Ada beberapa cara untuk melacak titik daya maksimum seperti *Perturb and Observe*, konduktansi tambahan, Pendekatan Dinamis, Metode Suhu, dll Dalam pembahasan kali ini telah ditetapkan algoritma *Perturb and Observe* dengan metode *Climbing Hill* sebagai algoritma kontrol MPPT karena perhitungannya yang

cepat dan mudah . Seperti pada Gambar 2.1, ada tiga jenis poin dan terletak pada 3 posisi. Di *left peak* $\Delta P / \Delta V > 0$, puncak kurva $\Delta P / \Delta V = 0$, dan *right peak* $\Delta P / \Delta V < 0$.



Gambar 2 Posisi $\Delta P / \Delta V$ Power Curve

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah metode untuk menemukan Maksimum Power Point (MPP) dari kurva karakteristik sebelum kita dapat mengambil nilai nominal pada siklus, sehingga konverter dapat memberikan daya maksimum dari turbin angin ke beban. *P & O* algoritma adalah salah satu metode MPPT yang sangat mudah untuk diterapkan. Desain MPPT ini membutuhkan dua parameter, yaitu untuk menentukan *slope converter* tegangan input (V_{in}) dan *converter* arus masukan (I_{in}).

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \tag{7}$$

Dari kedua parameter tersebut diperoleh daya (P_{in}) dan tegangan (V_{in}), kemudian dibandingkan dengan parameter sebelumnya yaitu data $P_{in}(n-1)$ dan $V_{in}(n-1)$. Perbandingan tersebut diperoleh ΔP dan ΔV .

$$\Delta V = V_{in}(n) - V_{in}(n - 1) \tag{8}$$

$$\Delta P = P_{in}(n) - P_{in}(n - 1) \tag{9}$$

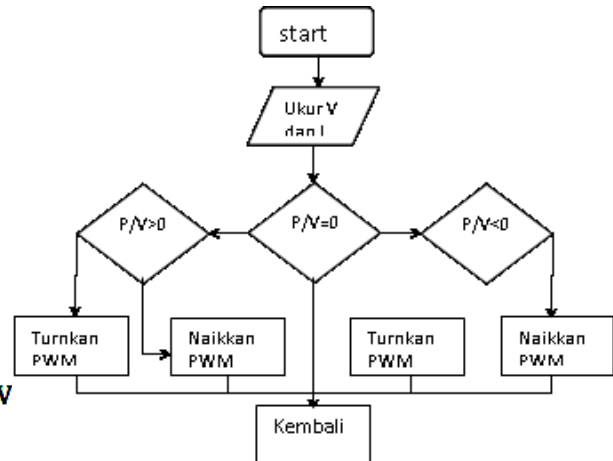
Dan hasil dari ΔF dan ΔV kemudian disebut *slope*.

$$slope = \Delta P / \Delta V$$

Gambar 2 menunjukkan kurva PV yang mewakili dasar metode algoritma *Climbing Hill*. MPP ditunjukkan dengan sinyal nol, yang menunjukkan nilai maksimum yang baru dan sebaliknya, jika nilai sinyal (*slope*) negatif, maka tegangan panel surya akan turun.

Arah *Slope* ditentukan oleh rasio ΔP dan ΔV . Dengan karakteristik dari arah ketetapan *buck converter* diperoleh dari siklus. Bila hasil perbandingan (*slope*) jika nilai positif dari nilai PWM bertambah dan ketika untuk menghasilkan nilai negatif, nilai PWM berkurang. Dalam nilai PWM, jika *duty cycle* berkurang maka tegangan akan meningkat dan jika *duty cycle* berkurang maka tegangan akan berkurang. Dengan menentukan *slope* maka diperoleh *duty cycle* referensi baru.

Cara kerja keseluruhan sistem ini ditentukan oleh perangkat lunak yang diimplementasikan di dalamnya. Perangkat lunak yang digunakan pada tugas akhir ini adalah perangkat lunak untuk mengolah data dan mengontrol kerja *plant* itu sendiri. Flowchart untuk desain perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Flowchart Algoritma

dari flowchart di atas, tegangan dan arus digunakan sebagai referensi. diperoleh dari daya referensi yang akan digunakan sebagai acuan dari algoritma. jika $P / V > 0$, nilai PWM akan diturunkan dan jika $P / V < 0$ maka nilai PWM akan meningkat, sedangkan jika P / V value = 0 PWM akan dihentikan.

IV. PENGAMBILAN DATA DAN ANALISA

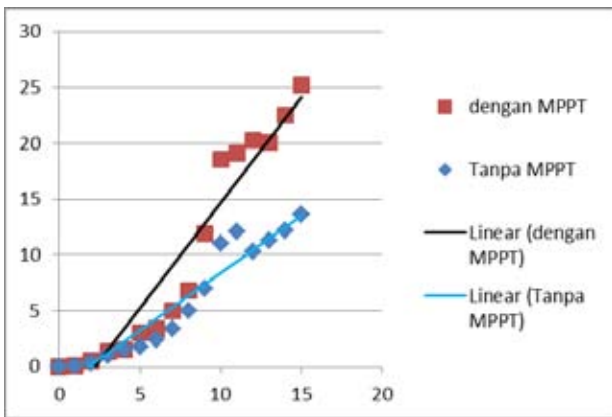
Dalam uji coba ini adalah uji coba dari seluruh sistem prinsip kerja dari *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *P & O* dengan metode *Hill Climbing*, apakah dapat bekerja dengan baik atau tidak. Untuk menguji sistem MPPT dibebani dengan resistor. Dalam pengujian ini, memuat menggunakan 15watt 15ohm resistor sejumlah 5 buah. Dengan mengukur daya output pada turbin angin menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT. Sensor sistem data uji MPPT dan sistem tanpa menggunakan MPPT dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini:

Tabel 1 Hasil Uji Sistem MPPT dan Tanpa MPPT

Beban 3 resistor 15watt 15ohm				
Kecepatan Angin	Vin (volt)	Power dengan MPPT (watt)	Power Tanpa MPPT (watt)	Kenaikan (%)
0	0	0	0	0
1,196	1	0,1	0,1	0
1,507	2	0,5	0,3	40
1,725	3	1.3	1	23,07692
1,899	4	1.5	1.5	0
2,045	5	3	1,8	40
2,174	6	3,4	2,4	29,41176
2,288	7	5	3.4	32
2,392	8	6.8	5	26,47059
2,488	9	11,9	7	41,17647
2,577	10	18.6	11	40,86022
2.66	11	19.1	12.1	36,64921
2,739	12	20,3	10,3	49,26108
2,813	13	20.1	11.3	43,78109

2,883	14	22,5	12,2	45,77778
2.95	15	25.2	13.6	46,03175

Menurut Tabel 4, pengujian ini dilakukan dengan beban konstan hasil (3 15watt 15ohm resistor) diperoleh output daya meningkat dengan peningkatan rata-rata 36%. Dengan meningkatnya tegangan, output daya MPPT juga naik seiring dengan perubahan *duty cycle* dan perubahan *duty cycle* mulai muncul ketika tegangan 10 Volt.



Gambar 4 Grafik Sistem MPPT dan Tanpa MPPT

Tegangan 9 Volt telah dilampaui. Yang membuat garis linear MPPT memiliki awalan yang lebih kecil dan dipotong garis linear tanpa MPPT tegangan 3 Volt. Dari data tersebut juga dapat dilihat perbedaan antara MPPT dan tanpa MPPT. Data ini juga membuktikan bahwa sistem menggunakan MPPT dapat meningkatkan output daya dengan 23-49%.

V. KESIMPULAN

Setelah melalui beberapa proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dari data yang diperoleh dari perencanaan dan pembuatan sistem P & O MPPT untuk turbin angin dengan metode Climbing Hill, dapat disimpulkan sebagai berikut. Dengan melihat hasil pengujian, P & O MPPT dapat berjalan dengan baik. Buck converter dan mikrokontroler dapat digunakan dengan hasil yang baik. Peningkatan daya yang dapat dicapai dengan beban 3 watt 15 ohm resistor 15 sekitar 23 sampai 49%. Nilai ini tidak menutup kemungkinan pada kesempatan berikutnya, peningkatan output daya dari turbin angin dapat untuk mengurangi hilangnya power loss dari setiap komponen.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. Kalaitzakis, E. Koutroulis, "Desain Maximum Power Point Tracking System untuk Energi Angin Konversi Aplikasi" pp. 486-494, April. 2006

[2] E. Irmak, N. Güler, "Penerapan Efisien Peraturan Tegangan Sistem Tinggi Dengan MPPT Algoritma", 9 Agustus 2012 Ogata, Katsuhiko. 2010. "modernControl Engineering FifthEdition". Prentice Hall. New Jersey

[3] R. Cot, M. Rolak, M. Malinowski, "Perbandingan algoritma pelacakan daya puncak maksimum untuk turbin angin kecil" pp. 29-40, 7 Maret 2013

[4] Y. Liu, Li Ming, "Sebuah studi perbandingan metode pelacakan power point maksimum untuk sistem.

Pembuatan Sistem Pengiriman Data Menggunakan Telemetri *Wireless* untuk Detektor Getaran Mesin Dengan Sensor Fluxgate

Yulkifli¹, Yohandri², Zurian Affandi³

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka Airtawar Padang Sumatera Barat

¹yulkifliamir@gmail.com, ²yohandri.unp@gmail.com, ³zurianaffandi7@gmail.com

Abstrak –Pemantauan dan pengiriman data getaran dalam getaran mesin atau bangunan menggunakan sistem telemetri sangat dibutuhkan. Kerusakan sebuah mesin yang sedang beroperasi dapat diketahui dengan melihat pola getaran yang dihasilkan. Untuk mengurangi resiko kerusakan mesin diperlukan sistem deteksi getaran mesin dan proses pengiriman data yang dapat memberikan informasi secepat mungkin ke oprator. Pembuatan sistem terdiri dari perangkat keras, telemetri wireless, dan perangkat lunak. Perangkat keras merupakan perangkat mekanik untuk mendeteksi getaran. Telemetri wireless digunakan sebagai media transmisi data untuk mengirim data sensor ke mikrokontroler secara wireless. Perangkat lunak merupakan software yang digunakan untuk memproses data getaran menggunakan Megunolink. Hasil pengolahan data ditampilkan di layar monitor personal komputer dalam bentuk grafik sebagai fungsi waktu.

Kata kunci : Telemetri wireless, Detektor, Getaran mesin, Megunolink, Mikrokontroler, fluxgate

Abstract – Monitoring and data delivery engine vibrations or vibrations in buildings using telemetry system is needed. Damage to a machine in operation can be seen by looking at the pattern of vibration generated. To reduce the risk of engine damage to engine vibration detection system is required and the data transmission process to provide information as soon as possible to oprator. Making the system consists of hardware, wireless telemetry, and software. The hardware is a mechanical device to detect vibrations. Wireless telemetry is used as a data transmission medium to transmit sensor data wirelessly to the microcontroller. The software is the software used to process data using Megunolink vibration. The results of data processing is displayed on the personal computer screen in graphic form as a function of time.

Keywords: wireless telemetry, Detectors, Vibration machine, Megunolink, Microcontroller, fluxgate

I. PENDAHULUAN

Keberadaan instrumen pengiriman data getaran secara cepat dan *real time* dalam dunia industri mesin sangatlah mendesak untuk diadakan. Pengiriman data secara cepat dan *real time* dapat digunakan sebagai sistem *early warning* oleh seorang operator sebuah mesin untuk mengurangi resiko kerusakan. Sistem pemantuan getaran mesin selama ini diamati oleh operator menggunakan layar monitor dengan sistem terkoneksi secara langsung ke mesin. Sistem koneksi langsung ini memiliki kekurangan karena operator harus selalu berada dekat mesin. Untuk mengatasi kekurangan ini maka diperlukan sistem nirkabel atau telemetri (*wireless*) untuk proses pengiriman data ke tempat operator, sehingga Operator bisa mengamati pola getaran dari jarak jauh.

Telemetri secara *wireless* mempunyai beberapa keunggulan salah satunya adalah tidak membutuhkan biaya besar jika dibandingkan dengan menggunakan kabel. Pengukuran getaran menggunakan sistem *wireless* lebih mudah dan efisien. Jika dilakukan pengukuran getaran menggunakan kabel, seringkali memerlukan penanganan dan perawatan yang tidak mudah dikarenakan kondisi lingkungan yang seringkali tidak bersahabat. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan ini adalah menggunakan sistem *wireless* sebagai transmisi data agar pengukuran dapat dilakukan tanpa menggunakan kabel.

Vibration meter adalah alat ukur getaran yang biasanya digunakan pada mesin yang menghasilkan getaran pada penggunaannya. Dengan analisa getaran dapat diketahui kondisi, problem, dan kerusakan mesin. Dengan melakukan kontrol dan analisa getaran secara berkala, maka sesuatu yang tidak normal pada mesin dapat dideteksi sebelum kerusakan besar terjadi. Dengan pengukuran vibration meter ini, para pelaku industri juga dapat mencegah para pekerjanya mendapat bahaya getaran yang tinggi. Cara yang dilakukan adalah pengukuran getaran dengan Vibration Meter lalu disesuaikan dengan nilai batas yang telah ditentukan. Biasanya dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan oleh Keputusan Menteri Tenaga Kerja.

Artikel ini melporkan tentang sistem pengiriman data getaran menggunakan sitem telemetri *wireless*. Data diolah dengan mikrokontroler serta ditampilkan pada personal komputer secara *real time*.

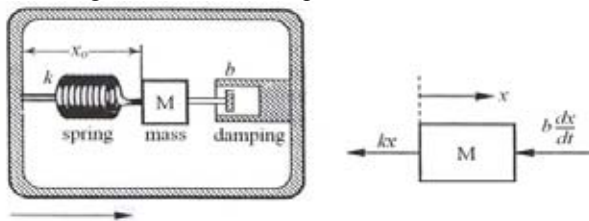
II. LANDASAN TEORI

Getaran adalah gejala mekanika dinamik yang mencakup periode gerak osilator di sekitar posisi referensi atau berupa gerakan bolak-balik yang digambarkan sebagai amplitudo atau simpangan terjauh dari titik setimbang [1]. Untuk mendekteksi getaran dikembangkan berbagai alat berupa sensor getaran

(vibration sensor). Terdapat banyak metode yang dapat dipakai untuk mendeteksi getaran, misalnya dengan mengukur kapasitansi, perubahan muatan listrik dari material *piezoelectric* atau perubahan posisi dalam *Linear Variable Displacement Transformer* (LVDT) [2]

Salah satu cara kerja sensor getaran berdasarkan perubahan posisi dari suatu objek, objek yang bergerak dapat dideteksi dengan perubahan medan magnet yang terjadi padanya. Perubahan medan magnet pada sensor magnet akibat berubahnya posisi dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi suatu benda yang sedang bergetar. *Fluxgate* sebagai sensor mempunyai konsep perubahan medan magnet suatu objek. Berdasarkan kesamaan konsep ini, maka *Fluxgate* dapat dijadikan sebagai sensor getaran [3].

Sensor *fluxgate* bekerja dengan cara membangkitkan medan magnet untuk dirinya sendiri sebagai medan magnet acuan, jika terdapat bahan magnet yang bergetar pada posisi x maka sensor akan mendeteksi perubahan posisi (x) dari getaran tersebut melalui perubahan acuan medan magnetik pada intinya [3]. Perubahan posisi (x) dari benda yang bergetar terhadap sensor disebut dengan simpangan, simpangan maksimum disebut dengan amplitudo (A). Untuk meninjau konsep mekanik sebuah benda bergetar dimodelkan seperti Gambar 1.



Gambar 1: Model Mekanik Sensor Getaran (A) dan Diagram bebas dari massa (B) [4].

Sebuah benda dengan beban bermassa M terikat pada sebuah pegas dengan konstanta pegas k dan massa yang bergerak diredam oleh peredam dengan koefisien redaman b seperti gambar (A). Beban bisa bergeser sejauh x dari titik setimbang terhadap sensor dengan arah horizontal. Selama bergerak percepatan beban M

bergetar sebesar $\frac{d^2x}{dt^2}$, dan sinyal keluaran sebanding

dengan defleksi x_0 dari beban M . Berdasarkan tinjauan diagram bebas massa M seperti gambar (B) dan menerapkan Hukum kedua Newton memberikan :

$$Mf = -kx - b \frac{dx}{dt}, \tag{1}$$

dengan f adalah percepatan dari massa relatif dari bumi dan diberikan oleh :

$$f = \frac{d^2x}{dt^2} - \frac{d^2y}{dt^2} \tag{2}$$

Dengan mensubstitusi persamaan 1 ke 2 didapatkan :

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = M \frac{d^2y}{dt^2} \tag{3}$$

Persamaan di atas merupakan persamaan differensial orde dua yang mana artinya keluaran percepatan sinyal merupakan bentuk osilasi. Untuk menyelesaikan

persamaan (3) di atas digunakan Transformasi *Laplace*. Berdasarkan Transformasi *Laplace* didapatkan :

$$Ms^2 X(s) + b s X(s) + k X(s) = M A(s) \tag{4}$$

dimana $X(s)$ dan $A(s)$ adalah Transformasi *Laplace* dari $x(t)$ dan $\frac{d^2y}{dt^2}$. Solusi persamaan (6) untuk $X(s)$ adalah :

$$X(s) = \frac{-MA(s)}{Ms^2 + bs + k} \tag{6}$$

dengan mendefinisikan variabel $\omega_o = \sqrt{k/M}$ dan $2\xi\omega_o = b/M$, persamaan (7) dapat ditulis :

$$X(s) = \frac{-A(s)}{s^2 + 2\xi\omega_o s + \omega_o^2} \tag{6}$$

Nilai ω_o mempresentasikan frekuensi angular alami percepatan dan ξ koefisien normalisasi redaman.

Misalkan $G(s) = \frac{-1}{s^2 + 2\xi\omega_o s + \omega_o^2}$, maka

persamaan (7) dapat dituliskan menjadi : $X(s) = G(s)A(s)$, solusi dapat diungkapkan dalam bentuk operator inverse transformasi *Laplace* sebagai :

$$X(s) = L^{-1}\{G(s)A(s)\} \tag{7}$$

Dengan menggunakan teorema konvolusi transformasi *Laplace* dapat ditulis:

$$x(t) = \int_0^t g(t-\tau)a(\tau)d\tau \tag{8}$$

dimana a adalah impulse bergantung pada percepatan dan $g(t)$ adalah inverse transform $L^{-1}\{G(s)\}$. Jika diambil

$\omega = \omega_o \sqrt{1-\xi^2}$, maka persamaan di atas mempunyai dua solusi, yaitu :

Solusi I, untuk underdamped mode ($\xi < 1$) :

$$x(t) = -\int_0^t \frac{1}{\omega} e^{-\xi\omega_o(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau)a(\tau)d\tau \tag{9}$$

Solusi II, untuk overdamped mode ($\xi > 1$) :

$$x(t) = -\int_0^t \frac{1}{\omega} e^{-\xi\omega_o(t-\tau)} \sinh \omega(t-\tau)a(\tau)d\tau \tag{10}$$

dengan $\omega = \omega_o \sqrt{\xi^2 - 1}$

Persamaan (10) menunjukkan bahwa perubahan jarak atau simpangan benda berosilasi bergantung pada waktu t .

Perubahan posisi atau jarak antara beban M (target) dengan sensor akan menyebabkan perubahan intensitas medan magnet yang diterima oleh sensor. Prinsip kerja pengukuran getaran berdasarkan perubahan posisi ini terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Prinsip Kerja Sensor Fluxgate Sebagai Sensor Getaran [4].

Objek yang bergetar (target) dipilih yang bersifat magnetik. Material magnetik dapat berasal dari magnet permanen atau material ferromagnetik. Material magnetik ditempatkan pada objek yang akan diukur getarannya. Jika objek bergerak mendekati atau menjauhi detektor, maka medan magnetik disekitar titik setimbang akan mengalami perubahan, perubahan ini disebut fluks magnetik (Φ). Perubahan fluks magnetik bergantung pada posisi sensor terhadap objek [4].

B. Sistem Telemetri Wireless dengan Xbee Pro

Telemetri adalah sebuah teknologi pengukuran dilakukan dari jarak jauh dan melaporkan informasi kepada perancang atau operator sistem. Kata telemetri berasal dari bahasa Yunani yaitu *tele* artinya jarak jauh sedangkan *metron* artinya pengukuran [5]. Pada sistem yang dikembangkan menggunakan modul wireless radio frekuensi 2.4 GHz Xbee Pro. *Radio Frequency Transceiver* atau pengirim dan penerima frekuensi radio ini berfungsi untuk komunikasi secara nirkabel (wireless) [6].

Salah satu modul komunikasi wireless dengan frekuensi 2.4GHz adalah Xbee-PRO ZB ZigBee/IEEE 802.15.4 2.4GHz. *Radio frequency transceiver* ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari *RF receiver* dan *RF transmitter* [7]. Modul RF interface Xbee/XBee-PRO ZB ini berhubungan dengan melalui logic-level asynchronous serial port. Melalui serial port ini, modul dapat berkomunikasi dengan logic dan voltage kompatibel *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) atau melalui level translator ke semua serial device contohnya pada RS-232 atau *USB interface board*.

Sistem pemantauan dan pengukuran jarak jauh terdiri dari 2 buah modul *Xbee Pro* yang sama yang sebelumnya telah diprogram sebagai sebuah *receiver-transmitter* maupun *transmitter-receiver*. Ada beberapa bentuk topologi yang biasa digunakan antara lain topologi *mesh, peer, star, dan cluster Tree* [8].

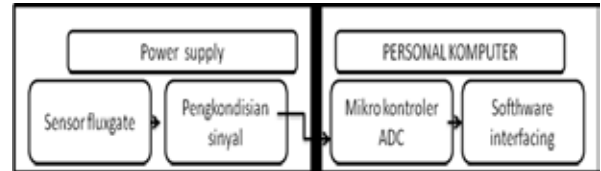
III. METODOLOGI PENELITIAN

Model penelitian yang dilakukan tergolong kedalam penelitian eksperimen laboratorium (*laboratory experimentation*). Pembuatan sistem instrumen pengiriman data getaran dimulai dengan merancang sistem perangkat lunak, perangkat keras, pengambilan data dan menganalisis data.

1. Rancangan Sistem Perangkat Lunak

Perancangan dan pembuatan perangkat lunak terdiri dari dua macam yaitu: pertama perangkat lunak untuk sistem sensor yang terintegrasi dengan mekanik alat ukur getaran yang ada pada sistem sensor. Sistem perangkat

lunak sensor terdiri dari rangkaian power supply, sensor fluxgate, rangkaian pengkondisian signal, rangkaian mikrokontroler PIC 18F4550 dan sebuah PC yang telah dilengkapi oleh program *software interfacing* seperti *software programmer visual C#* serta *software MPLAB X IDE* [9,10]. Blok diagram dari sistem perangkat lunak ini diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram sistem kontrol signal.

Sistem prototipe alat ukur ini terdiri dari rangkaian power supply, sensor fluxgate, rangkaian pengkondisian signal, mikrokontroler Atmega 328 dan sebuah PC yang telah dilengkapi oleh program *software interfacing* seperti *software programmer visual C#* [10]. Blok diagram dari sistem alat ukur diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok diagram sistem

Dari blok diagram pada Gambar 4 Menunjukkan sketsa perangkat keras pendukung sistem. Pada plant alat ukur terdiri sebuah sensor Fluxgate yang berfungsi sebagai sensor getaran. Keluaran sensor kemudian diolah oleh pengolah sinyal. Hasil data yang diolah oleh pengolah sinyal akan dikirim ke mikrokontroler secara wireless. Mikrokontroler akan memproses data yang diterima dari pengolah sinyal. PC digunakan sebagai pengolah data digital yang dikirim dari mikrokontroler. Sinyal digital diolah dan diplot dalam bentuk grafik menggunakan *software* aplikasi yang dibuat dengan menggunakan *software C#* [10].

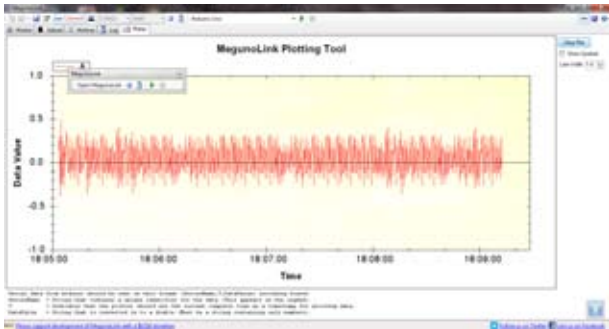
2. Rancangan Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras terdiri dari terdiri atas *transmitter, receiver* dan tampilan grafik. Saat terjadi getaran, Pola getaran yang terjadi diteruskan ke sistem mekanik alat sehingga benda yang terdapat pada sistem ikut bergetar, pergetaran ini sama dengan pergetaran dari magnet yang ada pada alat. Sensor fluxgate akan merespon magnet dari jarak magnet terhadap sensor, respon yang ditangkap akan diproses dengan modul pengolahan sinyal Sistem alat ukur yang dirakit menggunakan prinsip sensor getaran dengan aplikasi pegas dan benda yang memiliki berat, jika terjadi getaran maka alat ini ikut bergetar sehingga merespon sensor fluxgate.[3]

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

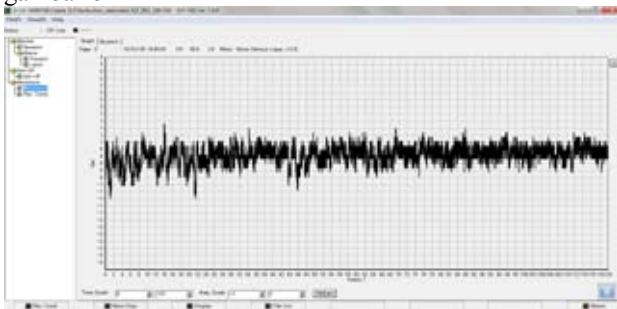
Proses pengambilan data menggunakan *MegunoLink.. Software* ini telah diprogram dapat menyimpan data, menyimpan data saat koneksi USB

terputus dan saat program dihentikan. Data pengukuran getaran tersimpan dalam format *notepad*. Tampilan grafik pengukuran getaran terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengukuran getaran

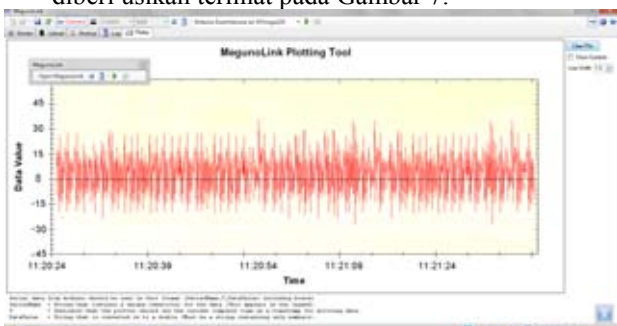
Pola keluaran grafik mempunyai kemiripan dengan keluaran pengukuran menggunakan accelerometer dengan pengukuran tanpa *wireless*, seperti ditunjukkan gambar 6



Gambar 6. Grafik Pengukuran getaran dengan accelerometer

Berdasarkan perbandingan kemiripan grafik keluaran ini maka dilakukan pengukuran getaran dengan sistem *wireless*. Proses pengambilan data dilakukan untuk mengukur getaran mesin Honda dengan menetapkan nilai gas motor dan dilakukan pengukuran pada jarak yang berbeda. Software yang digunakan dalam pengukuran adalah *MegunoLink*. *Software* ini telah diprogram dapat menyimpan data, menyimpan data saat koneksi USB terputus dan saat program dihentikan. Data pengukuran getaran tersimpan dalam format *notepad*. Penentuan pola gelombang sistem pengukuran alat ukur dengan kecepatan gas motor Suzuki FU sebagai sumber getaran. Pengukuran dilakukan dengan variasi jarak 10m, 20 dan 30 m dan sumber getaran dari motor dengan kecepatan 2000r/min, 4000r/min dan 6000r/min.

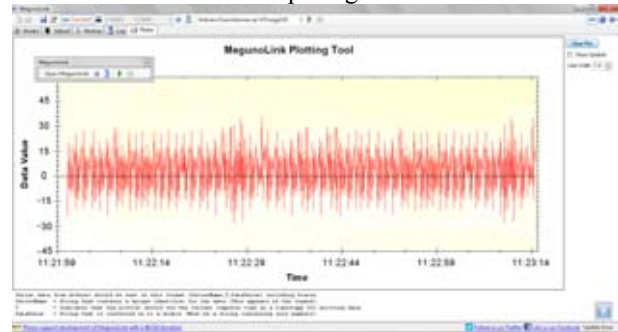
a) Pengukuran di luar ruangan dalam jarak 10 m dan diberi usikan terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pola grafik pada jarak 10 m

Pada Gambar 7 **Error! Reference source not found.** terlihat sebuah pola grafik, pola ini merupakan hasil dari usikan terhadap sensor pada jarak 10 m. Hal ini !gelombang dari hentakan dapat direspon oleh mekanik sensor dan data dapat terkirim melalui sitem telemetri *wireless*. Besarnya rata-rata getaran yang terukur adalah 14.57 Gal. Data ini menunjukkan gelombang dari hentakan dapat direspon oleh mekanik sensor dan data dapat terkirim melalui sistem telemetri weriless.

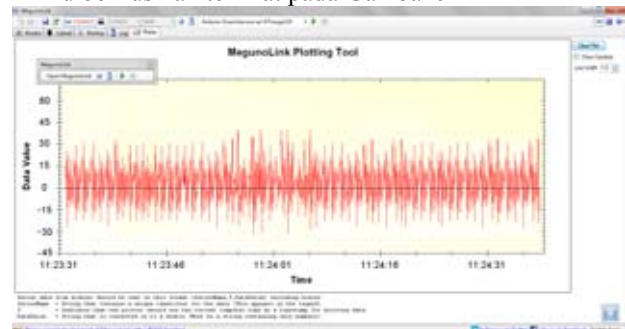
b) Pengukuran di luar ruangan dalam jarak 20 m dan diberi usikan terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Pola grafik pada jarak 100 m

Pada Gambar 8 terlihat sebuah pola grafik, pola ini merupakan hasil dari usikan terhadap sensor pada jarak 20 m. Hal ini menunjukkan gelombang dari hentakan dapat direspon oleh mekanik sensor dan data dapat terkirim melalui sitem telemetri *wireless*. Besarnya rata-rata getaran yang terukur adalah 14.36 Gal.

c) Pengukuran di dalam ruangan dalam jarak 30 m dan diberi usikan terlihat pada Gambar 9



Gambar 9. Pola grafik pada jarak 30 m

Pada gambar 9 terlihat sebuah pola grafik, pola ini merupakan hasil dari usikan terhadap sensor pada jarak 10 m dalam ruangan. Hal ini menunjukkan gelombang dari hentakan dapat direspon oleh mekanik sensor dan data dapat terkirim melalui sitem telemetri *wireless*. Besarnya rata-rata getaran yang terukur adalah 14.91 Gal.

Pengambilan data divariasikan untuk sumber kecepatan putaran dengan variasi 2000r/min, 4000r/min dan 6000r/min. Perbandingan data pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data pengukuran dengan variasi sumber penggetar dan jarak transmisi [11].

	10 m	20 m	30m
2000 r/min	14,57 Gal	14,36 Gal	14,91 Gal
4000 r/min	9,21 Gal	9,34 Gal	9,26 Gal
6000 r/min	3,73 Gal	3,61 Gal	3,49 Gal

Pengujian alat ukur dengan membandingkan pola getaran yang tercatat oleh alat ukur dengan pola getaran yang tercatat oleh *accelerometer*. Dari hasil pengujian dan perbandingan berbagai perlakuan terhadap alat ukur getaran ini, didapatkan bentuk gelombang berupa gelombang permukaan. Besarnya rata-rata getaran alat ukur adalah 0,23 Gal. Sedangkan besarnya rata-rata getaran standar adalah 0,21 Gal. Ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 91,31 %. Kesalahan relatif rata-rata pengukuran adalah 8,69 %.

Pengujian telemetri wireless dengan melakukan pengukuran getaran pada mesin Honda. Dari hasil pengujian dan perbandingan berbagai perlakuan terhadap alat ukur getaran pada jarak yang berbeda. Software yang digunakan dalam pengukuran adalah *MegunoLink*. Software ini telah diprogram dapat menyimpan data, menyimpan data saat koneksi USB terputus dan saat program dihentikan. Data pengukuran getaran tersimpan dalam format *notepad*.

Penentuan pola gelombang sistem pengukuran alat ukur dengan kecepatan gas 2000 r/min, 4000 r/min dan 6000 r/min. berdasarkan hasil pengukuran terlihat bahwa dengan sumber penggetar yang sama dan jarak transmisi yang divariasikan, didapatkan hasil rata-rata yang mendekati sama. Dari hasil pengukuran juga terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan sumber penggetar maka nilai rata-rata pengukuran semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan sumber penggetar maka getaran yang di dapatkan semakin stabil.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengembangan pembuatan alat telemetri *wireless* untuk mengukur getaran menggunakan sensor *Fluxgate* dan analisis data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa alat telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* dapat mengukur getaran dengan baik.

Alat ukur terdiri dari sistem mekanik getaran dan sensor *fluxgate*. Modul pengolahan sinyal meliputi blok *power supply*, sistem pengiriman data secara *wireless* menggunakan modul XBee PRO, pengolahan sinyal sensor *fluxgate*, pengkondisian output tegangan sinyal sensor dan mikrokontroler. Rancangan pada sistem antarmuka pada alat ukur getaran ini menggunakan Arduino untuk memogram mikrokontroler dan Megunolink untuk pembuatan aplikasi grafik. Disarankan pada saat alat ukur digunakan perlu diperhatikan posisi penempatan mekanik sensor. Terutama dari gangguan luar seperti bahan-bahan magnetik karena sensor *fluxgate* sangat

sensitif terhadap material yang memiliki medan magnet.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Hibah Strategis Nasional 2013-2015, nomor 023/SP2H/PL/Dit.Libtabmas/V/2015, dengan judul penelitian “Desain dan Pembuatan Sistem Pendeteksi Gempabumi Berbasis Sensor Fluxgate”, Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si dkk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djamal, M., Yulkifli, A.Setiadi, R.N. Setiadi. (2010). Development of a Low Cost Vibration Sensor Based on Fluxgate Element, *Proceedings International conference of institute for Environment, Engineering, Economics, and Applied Mathematics (IEEEAM) 2010*: Itali.
- [2] Goldman, Steve. (1999). *Vibration Spectrum Analysis* Second Edition. New York : Industrial Press Inc.
- [3] Yulkifli, Zulpadrianto, Yohandri. (2015), Development of 2D Vibration Detector Using Fluxgate Sensor Based on Personal Komputer. *Proceedings ICOMSET 2015*.
- [4] Yulkifli. (2010). Pengembangan Elemen Fluxgate Dan Penggunaannya Untuk Sensor-Sensor Berbasis Magnetik Dan Proksimiti. *Disertasi*, ITB: Bandung.
- [5] Lusiana Utari. (2010). *Telemetri Suhu Berbasis Komputer*. Universitas Respati Yogyakarta.
- [6] Bonanto Eko, (2010). *Perancangan Sistem Monitoring Kecepatan dan Arah Angin Menggunakan Komunikasi Zigbee 2,4 Ghz*. Universitas Diponegoro.
- [7] Luis Sanabria dan Jaume Barcelo. (2014). *A course on Wireless Sensor Networks*
- [8] Heri Susanto, (2011). *Perancangan Sistem Telemetri Wireless Untuk Mengukur Suhu Dan Kelembaban Berbasis Arduino Uno R3 Atmega328p Dan Xbee Pr*. Universitas Maritim Raja Ali Haji
- [9] Zupadrianto, Yulkifli, Yohandri. (2015). Pembuatan Sistem Interface Digital Untuk Display Data Getaran Dua Dimensi Dengan Sensor Fluxgate. *Jurnal Pillar Of Physics*, Vol 5. April 2015, pp. 09-16. ISSN 2337-9030.
- [10] Devi Sidiq, Yulkifli, Syafriani. (2014). Pembuatan Sistem Interface Sinyal Analog ke dalam Bentuk Presentasi Data Digital Untuk Getaran Sensor Fluxgate. *Jurnal Pillar Of Physics*, Vol. 4. pp. 65-72. ISSN 2337-9030.
- [11] Zurian affandi, Yulkifli dan Yohandri. (2015). Desain Awal Pembuatan Sistem Telemetri Wireless Untuk Pengukuran Getaran Satu Dimensi Menggunakan Sensor Fluxgate. *Prosiding SNPF II PPS UNP*, 7 November 2015. Padang. ISBN: 978-602-14657-1-4.

Impact of Macrocell Size on the Implementation of LTE Femto Integrated with GSM Network

M.Yaser¹

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Pancasila
Jalan Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia.
Email : m.yasermt@gmail.com

Abstrak – Pada studi ini diinvestigasi pengaruh ukuran macrocell pada implementasi LTE femto yang terintegrasi dengan jaringan GSM. Karena pada coexistence network ini sangat bergantung pada kondisi sebaran LTE femto diantaranya ukuran macrocell. Pada penelitian sebelumnya mengenai coexistence network, LTE femto tersebar pada GSM macrocell. LTE femto beroperasi pada spektrum GSM dalam suatu skema alokasi frekuensi tertentu yang memfasilitasi transisi dari GSM menuju LTE. Namun demikian, studi sebelumnya belum membahas mengenai pengaruh ukuran macrocell. Studi ini fokus pada GSM Uplink. Kinerja dari kedua sistem yang ditunjukkan dengan SINR dan femtocell throughput dianalisis secara matematis. Simulasi dilakukan untuk menganalisa dampak ukuran macrocell pada kinerja coexistence network. Pada studi ini terlihat bahwa bertambahnya ukuran macrocell Akan berdampak pada penurunan SINR GSM BS dan peningkatan SINR dan throughput LTE femto. Karena itulah implementasi LTE femto yang terintegrasi dengan GSM Network sangat dipengaruhi ukuran GSM macrocell.

Kata kunci : GSM Macro; LTE femto; Macrocell size.

Abstract – In this study we investigate the impact of macrocell size on the implementation LTE femto Integrated with GSM network since the coexistence network strongly depends on deployment condition, for instance, macrocell size. In the previous study related to the coexistence network, LTE femto are deployed in GSM macrocell. The LTE femto itself operates in GSM band under certain frequency allocation scheme as a means of facilitating smooth transition toward LTE on GSM frequency band. Nevertheless, it does not provide a solution about the impact of macrocell size yet. Uplink of GSM is considered in this study. The performance of both systems are analyzed mathematically in terms of SINR and femtocell throughput. Simulation is employed to support analysis which the result shows that macrocell size will give an impact to the performance of the coexistence system. Parallel to this, the expanding of macrocell size will decrease SINR GSM BS, in spite of that, it will increase SINR LTE femto and femtocell throughput as well. For that reason, the implementation of LTE femto integrated with GSM network can be influenced by macrocell size

Keywords : GSM Macro; LTE femto; Macrocell size.

I. INTRODUCTION

Since the growth of multimedia applications, mobile network operator observes rapid growth of data traffic load demand in their networks. Some studies show that total wireless network traffic produced from voice and data service will increase ten-times by 2015 compared to 2009 in develop region [1]. Operator have to find the way to increase system capacity with limited frequency resources, one of the solution is finding incumbent operators called GSM refarming. It refers to reallocating frequency GSM bands to more frequency efficient and optimized technologies, for instance, LTE. In other words, GSM refarming is a strong need. Yet, it is a time consuming since it is not simply to do for mobile operator to shut down their GSM network shortly due to the existing voice demand and global roaming capability as well [2]. The coexistence of LTE system with existing GSM cellular network is proposed to address the challenge of growing data demand and maintain GSM service. In [7] studied that deployment cognitive devices in downlink of cellular network which show that only limited opportunity of frequency sharing exists. Thus, we

are going to concern on uplink GSM system. In the coexistence system studied in [3], LTE femtocell are deployed on GSM cell. In spite of that, the LTE femto itself operates on GSM band under certain frequency allocation scheme as means of facilitating smooth transition toward LTE on GSM frequency band. It has been studied that LTE femtocell know how to set off a destructive interference to LTE macro network when femtocell uses same frequency channel with macro system [5, 6]. On deployment LTE femto to GSM network, one of questions is need to be investigated; how will the impact of macrocell size to the performance of GSM macro and LTE femto. In [3] does not provide a solution clearly, that is why, we are going to investigate the impact of macrocell size in this study. In view of that, it is needed to evaluate the feasibility of the coexistence network in relation to macrocell size.

The paper is organized as follow. In section II, we introduce system model and formulation. Section III gives the detail of performance metrics used in this study, the evaluation and result are presented in section IV. This

section also give discussion of the result. The conclusion and future work plan are outlined in section V.

II. SYSTEM MODEL & FORMULATION

2.1 Coexistence Model

The coexistence network should be acceptable of both GSM and LTE systems. In the meaning that the deployment of LTE femtocells should not degrade the performance of GSM networks, meanwhile provide proper service in the newly deployed LTE femtocell [8]

In the coexistence network, the LTE femtocells operate on orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) technology so they are able to utilize several fractions of radio frequency without interfering with other parts of the frequency lying in between. In the study of frequency allocation between GSM and LTE femtocell, the scheme proposed in [3] is adopted in which LTE femtocell can utilize all the channels except those are used by the GSM macrocell where the femtocells are located.

For example, supposing GSM cell employs reuse cluster f_1 . LTE femtocells located in this GSM cell may not use f_1 in order to prevent severe interference to the GSM BS. Each of them possibly will utilize remain clusters f_2, f_3, f_4 by a means of OFDM as depicted in Fig.1

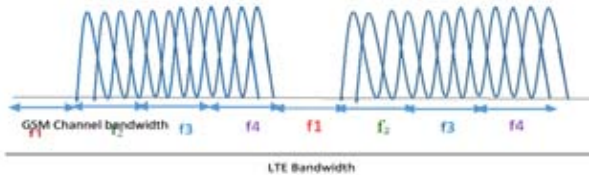


Fig.1 Channel allocation scheme for LTE femtocells located in a GSM cell using reuse cluster f_1 [3]

In this frequency allocation scheme, each LTE femtocell is enabled to operate on all GSM channels except those utilized by its master GSM macrocell.

Uplink interference received by GSM BS and LTE femtocell are illustrated as below.

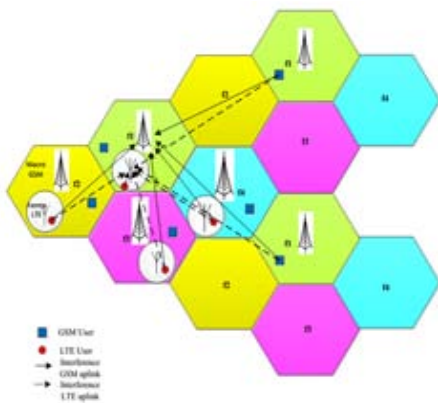


Fig.2 Uplink

k Interference Model

In Fig.2 macrocell GSM base station in f_1 to be the victim inter-cell interference, it receives interference from GSM MS connected to cells $\in \Psi(f_1)$ and interfered by LTE femtocells located in GSM cell $\notin \Psi(f_1)$. Meanwhile for LTE femtocell in f_i , it receives interference from GSM MS connected to $\in \Psi(f_i)$, femtocell in other GSM cells $\notin \Psi(f_i)$ and femtocell in the same cell.

2.2 GSM network model.

GSM operates in various frequency bands, in this study 1.8GHz is considered. As a technology based on time division multiple access (TDMA), GSM employs frequency reuse and cluster formation to utilize the frequency resources. Frequency allocated to an operator can be divided into K groups and shared by each reuse cluster. The K is name as reuse factor. In this study we focus on GSM Uplink. We consider hexagonal cell model having an Omni-directional base station in the center with cell radius R . Mobile stations (MSs) are generated and it moves towards random directions in the system.

If $P^g(r)$ be the transmission power of a GSM MS which distance from the serving BS is r . Also, If Q^g be the received signal power at the BS. Hence [3],

$$Q^g = P^g(r) L(r) = P^g(R) L(R) \quad (1)$$

Which $L(d)$ denotes the propagation loss for the distance d . From (1), we get [3]

$$P^g(r) = \frac{L(R)}{L(r)} P^g(R) \quad (2)$$

Which $P^g(R)$ is considered to be the maximum transmission power of the GSM MS.

For the propagation model, COST231 Hata model with the center frequency of 1.8GHz is adopted, with BS antenna height as 30m, and MS height as 1.5m, $L(d)$ in dB scale is given as follows [3]:

$$L(d) = 136.2 + 35.2 \log_{10}(d[\text{km}]) \quad (3)$$

2.3 LTE Indoor femtocell model

LTE femtocells are assumed to be used in indoor environment, and Motley-Keenan formula is used to the model indoor propagation. We assume that a femtocell where a BS and a MS located in the same floor of a building. Propagation loss at 1.8GHz is described as below [3].

$$L(d) = 37.5 + 20 \log_{10}(d[\text{m}]) \quad (4)$$

Distance between MS and BS in the femtocell is assumed to be 20m. Wall penetration loss 5dB is considered for propagation between indoor and outdoor entities. In time division duplex (TDD) mode of LTE such that the BS and the MS of the femtocell use the same frequency band. If P^f denotes the transmission power of the femtocell BS, the MS is also assumed to have the same transmission power. It occurs because bandwidth of LTE is spread over a number of GSM channels, we define effective transmission power of LTE femtocell which is the portion of transmission power affecting a single GSM frequency channel, denoted by P^{eff} . The received signal power corresponding to P^{eff} is denoted by Q^{eff} [3]

We suppose that the BS and MS of a femtocell are not distinguished by GSM system for the reason that the separation between the femto BS and MS is negligible compared to the size of GSM cell. As a result, it can be believed that a LTE femtocell as a single entity in the calculation of interference.

III. PERFORMANCE METRICS

3.1 SINR GSM BS and LTE Femtocell in uplink

The purpose of our study is to investigate the impact of LTE femtocell to the performance of GSM system. In Fig.2 if $\Psi(f_i)$ denotes a set of GSM cells that use reuse cluster f_i . In the coexistence network, to GSM radio link in a cell that belongs to $\Psi(f_i)$, the interference comes from two groups of sources, i.e other GSM MS connected to cells $\in \Psi(f_i)$ and LTE femtocell locates in the GSM cells $\notin \Psi(f_i)$.

If Q^g denotes received signal power at the BS, I_j^{gg} is the expected value of interference from a GSM MS in cells $\in \Psi(f_i)$ to the considered GSM BS given as [3].

$$I_j^{gg} = \int_0^R \int_0^{2\pi} P^g(r) L(\sqrt{r^2 + D_{js}^2 - 2r_j D_{js} \cos\theta_j}) \frac{r}{\pi R^2} d\theta_j dr_j \quad (5)$$

$I_k^{lg}(x)$ denote the expected value of interference from a LTE femtocell in GSM cells $\notin \Psi(f_i)$ to the considered BS is given as [3];

$$I_k^{lg}(x) = \int_0^{2\pi} P_{eff}^l L(\sqrt{x^2 + D_{ks}^2 - 2xD_{ks} \cos\beta_k}) \frac{1}{2\pi} d\beta_k \quad (6)$$

Background noise at the GSM BS is denoted by N_b^g and equals to $N_0 W^g N_F^g$. Let $\gamma^g(x, M)$ be the expected value of SINR of the GSM BS given that there are M femtocells in each GSM cell with the distance of x from the nearest GSM BS [3]:

$$\gamma^g(x, M) = \frac{Q^g}{\sum_{j \in \Psi(f_i)} I_j^{gg} + M \sum_{k \in \Psi(f_i)} I_k^{lg}(x) + N_b^g} \quad (7)$$

Meanwhile, like shown in Fig.2 SINR of LTE femtocell located in cell $\in \Psi(f_i)$, the interference of the LTE femtocell come from GSM MS that employ f_i , femtocells in other GSM cells $\notin \Psi(f_i)$, and femtocells in the same cell.

If $Q^{l,eff}$ denotes effective received power at GSM channel, $I_j^{gl}(x)$ be the expected value of interference from a GSM MS that employ f_i is given as [3],

$$I_j^{gl}(x) = \frac{\int_0^R \int_0^{2\pi} P^g(r_j) L(\sqrt{(r_j \cos\theta_j - D_{js} - x \cos\beta_s)^2 + (r_j \sin\theta_j - x \sin\beta_s)^2}) \frac{r_j}{2\pi^2 R^2} d\beta_s d\theta_j dr_j \quad (8)$$

$I_k^{ll}(x)$ denotes interference from femtocell in other GSM cells $\notin \Psi(f_i)$ is given by (9),

$$I_k^{ll}(x) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} P_{eff}^l L(\sqrt{(x \cos\beta_k - D_{js} - x \cos\beta_s)^2 + (x \sin\beta_k - x \sin\beta_s)^2}) \frac{1}{4\pi^2} d\beta_s d\beta_k \quad (9)$$

Interference value from another femtocells in the same GSM cell is denoted by $I_s^{ll}(x)$ [3];

$$I_s^{ll}(x) = \int_0^{2\pi} P_{eff}^l L(\sqrt{2x^2(1 - \cos\beta_s)}) \frac{1}{2\pi} d\beta_s \quad (10)$$

N_b^l is back ground noise N_b^g and equals to $N_0 W^g N_F^g$. $\gamma^l(x, M)$, expected value SINR of the femtocell given M and x as follow [3];

$$\gamma^l(x, M) = \frac{Q_{eff}^l}{\sum_{j \in \Psi(f_i)} I_j^{gl} + M \sum_{k \in \Psi(f_i)} I_k^{ll}(x) + (M-1) I_s^{ll}(x) + N_b^g} \quad (11)$$

3.2 Femtocell throughput

To measure throughput capacity on each channel for each LTE femtocell is calculated by using Shannon equation as follow [4];

$$C = B \log_2 (1 + \gamma^l(x, M)) \quad (12)$$

Where B is channel bandwidth of LTE femtocell, $\gamma^l(x, M)$ is SINR of the LTE femtocell system

IV. EVALUATION AND RESULTS

The impact of macrocell size to the performance of GSM network and LTE femto are investigated by numerical experiments. Parameters used in this study is shown in table 1.

Table 1. Parameters used for experiment

Parameter	Value
K	4,7
Macrocell Radius [km]	(0.5, 0.2,...2) km
Number femtocell	6
$P^g(R)$	30 dB
P_{eff}^l	6 dB
N_o	-174 dB
W^g	200 kHz
N_F^g	5dB
N_F^l	5dB

4.1 Impact of macrocell size to the SINR of GSM

Macrocell size will give a great impact to the received signal power and inter-cell interference. Simulation is employed to get relationship between macrocell size and SINR of GSM. The impact of expanding macrocell size to the SINR of GSM as shown below.

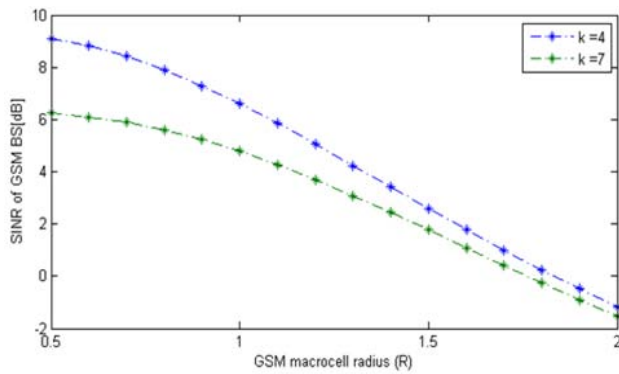


Fig. 3 SINR of GSM versus GSM macrocell size

In Fig.3 shows that SINR of GSM decrease as the increasing macrocell size for two different reuse factors. As long as macrocell size expand from $R = 0.5 \text{ km}$ until $R = 2 \text{ km}$ for the reuse factor $K = 4$, SINR of GSM tends to decrease significantly about 10 dB. For $K = 7$ decreases about 8dB. This trend occurs due to the impact of macrocell size to the received signal power and path loss. The greater macrocell size will increase path loss from GSM MS to GSM BS and reduce received signal power, consequently it decreases SINR of GSM. Besides that we can observe that among the two reuse factors used in our study, reuse factor $K = 4$ gives the highest SINR of GSM when all parameters are same. When macrocell size $R = 0.5 \text{ km}$, SINR GSM reaches 9dB for $K = 4$ and 6 dB for $K = 7$. Afterward, SINR decreases as the increasing macrocell size. The trend that smaller reuse factor has highest SINR can be ascribed to the decrease interference from another femtocell in smaller reuse factor.

4.2 Impact of macrocell size to the SINR of LTE femtocell

Macrocell size gives an impact to inter-cell interference. Simulation is conducted to get relationship between macrocell size and the SINR of LTE femtocell.

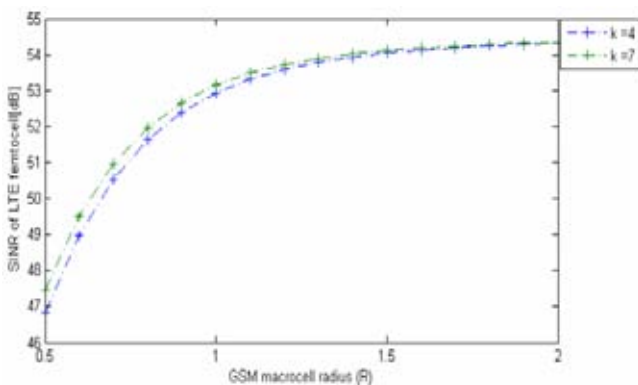


Fig. 4 SINR of LTE femtocell versus GSM Macrocell size

Fig.4 shows that SINR LTE femtocell increase as the increasing of macrocell size for two different reuse factors. As long as expand of macrocell size from $R = 0.5 \text{ km}$ until $R = 2 \text{ km}$ for reuse factor $K = 4$, SINR LTE femtocell tends to increase about 8.5 dB. For $K = 7$ SINR of GSM increase about 8 dB. It possibly occurs since in

network with larger macrocell size, LTE femtocells are deployed in more extensively manner within GSM macrocell and distance among femtocells will be farther. It will reduce inter-femtocell interference, so it increases SINR of LTE femtocell. Meanwhile, we can observe that in the scenario deployment 6 femtocells per GSM cell, SINR LTE femtocell for reuse factor $K = 7$ is higher than $K = 4$. It occurs since before accomodating more LTE femtocell in each GSM cell, network with bigger reuse factor receives less interference from GSM MS in co-channel cell. On the other hand, when deployed femtocell number increasing i.e accomodating 7 or more femtocell per GSM cell, it is possible that SINR for $K = 4$ is higher than SINR for $K = 7$. This trend occurs because inter-interference femtocell for smaller reuse factor is less than bigger reuse factor. Hence, it increases SINR LTE femtocell.

4.3 Impact of macrocell size to the femtocell throughput

Macrocell size gives a great impact to the inter-cell interference and SINR femtocell, thus it affects throughput. Simulation is conducted to get relationship between GSM macrocell size and femtocell throughput.

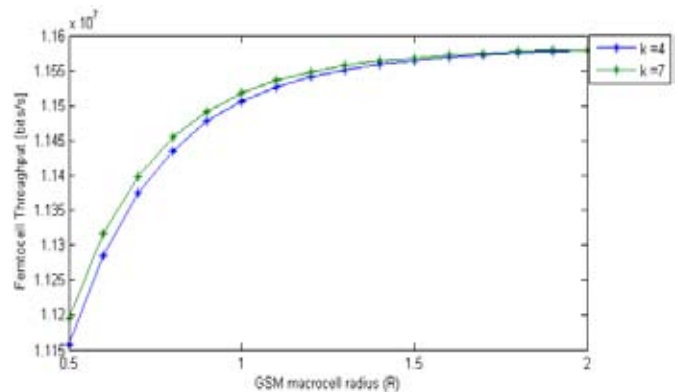


Fig.5 Femtocell throughput versus GSM macrocell size

Fig.5 shows that femtocell throughput increase as the increasing of macrocell size for two different reuse factor. As long as expand of macrocell size from $R = 0.5 \text{ km}$ until $R = 2 \text{ km}$, for reuse factor $K = 4$, femtocell throughput tends to increase about $4.3 \times 10^2 \text{ kbits/s}$, and for $K = 7$ femtocell throughput increase about $3.8 \times 10^2 \text{ kbits/s}$. It occurs since in network with larger macrocell size, LTE femtocell deployed more extensively manner within GSM macrocell and distance among femtocells will be farther. It will reduce inter-femtocell interference, so increases SINR and femtocell throughput. More to the point, it can be seen in the scenario deployment 6 femtocells per GSM cell, femtocell throughput for reuse factor $K = 7$ is higher than $K = 4$. It occurs since before accomodating more LTE femtocell in each GSM cells, network with bigger reuse factor receives less interference from GSM MS in co-channel cell. Conversely, when number deployed femtocell increase i.e accomodating 7 or more femtocell per GSM cell, it is likely that femtocell throughput for $K = 4$ is higher than throughput for $K = 7$. The trend that smaller reuse factor has higher throughput can be ascribed to the

decrease interference from another femtocell in smaller reuse factor.

V. CONCLUSION

In the study of macrocell size impact, we find that SINR GSM tends to decrease due to the increasing of macrocell size. It possibly occurs as the greater macrocell size will increase path loss from GSM MS to GSM BS and reduce received signal power, thus it decreases SINR of GSM. Opposite to GSM case, SINR LTE femtocell tends to increase due to the increasing of macrocell size. This trend occurs as in network with larger macrocell size, LTE femtocells deployed are deployed in more extensively manner within GSM macrocell and distance among femtocell will be farther so it reduces inter-femtocell interference. As well as femtocell throughput will increase if the SINR femtocell increase. Henceforth, it is recommended to deploy LTE femtocell in larger GSM cell when SINR and femtocell throughput are the major concerns. When protection of GSM system we are concern about, it is recommended to deploy LTE femtocell in smaller GSM cell.

As a final point, implementation LTE femto integrated with GSM network highly depends on deployment conditions. In the future research, various deployment condition is required for further study. Additionally, the advance interference management scheme for the coexistence network is similarly an attractive field for future research.

REFERENCES

- [1] T. Norman, “*The Road to LTE for GSM and UMTS Operators*,” Analysis Mason Ltd., White Paper, Jan. 2009.
- [2] Motorola Inc., “*Frequency Analysis for Future LTE Deployments*,” White Paper, 2007
- [3] KW Sung, Lei Shi, J Zander, “*Coexistence of LTE Femtocell with GSM Cellular Network*”, Personal Indoor and mobile radio communication (PIRMC), IEEE 21stInternational symposium, September, 2010.
- [4] Zubin Bharucha and Harald Haas, “*Throughput enhancement through femto-cell deployment*”. Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 41, 2009
- [5] Z. Bharucha, I. Cosovi'c, H. Haas, and G. Auer, “*Throughput Enhancement through Femto-Cell Deployment*,” in Proc of the 7th IEEE International Workshop on Multi-Carrier Systems & Solutions (MC-SS), Hirsching, Germany, May 05–06, 2009, pp. 311–319.
- [6] J. Espino and J. Markendahl, “*Analysis of Macro - Femtocell Interference and Implications for Frequency Allocation*,” in proc. of the 20th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Tokyo, Sep. 13-16 2009.
- [7] E. G. Larsson and M. Skoglund, “*Cognitive Radio in a FrequencyPlanned Environment: Some Basic Limits*,” IEEE Transactions on Wireless

Communications, vol. 7, no. 12, pp. 4800–4806, Dec. 2008

- [8] Jyrki T.J. Penttinen, “*The LTE – Advanced deployment handbook*”, 2016

Bubur Kertas Untuk Perekat Briket Serbuk Gergaji Sebagai Sumber Energi Alternatif

Andi Muhammad Ilyas

Teknik Elektro, Universitas Khairun

Jl. Pertamina, Kelurahan Gambesi, Ternate, Maluku Utara, Indonesia

E-mail: aamilyas@gmail.com

Abstrak – Pemanfaatan serbuk gergaji sebagai bahan dasar pembuatan briket dapat dijadikan sebagai solusi energi untuk rumah tangga. Dewasa ini di sebahagian daerah masih merupakan sampah atau limbah yang belum dimanfaatkan. Dengan mengubah serbuk gergaji menjadi briket memudahkan masyarakat dalam penggunaannya. Selain itu, kualitas panas yang dihasilkan dapat berupa nyala api, sedangkan jika dibakar dalam bentuk serbuk gergaji hanya berupa barah api saja. Kertas bekas dan kardus kemasan merupakan bahan yang mudah terbakar, hal ini dapat dijadikan sebagai indikator bahwa bahan tersebut memiliki energi. Kertas yang direndam dalam jangka waktu tertentu dapat menghasilkan bubur kertas yang dapat didaur ulang menjadi kertas, hal ini memungkinkan untuk dijadikan sebagai bahan perekat dalam pembuatan briket serbuk gergaji. Penelitian dilakukan menggunakan metode experiment. Pengujian tingkat kepadatan briket yang paling tinggi didapatkan pada perbandingan 1:1 dengan tingkat kepadatan sebesar 1,63 Kg. Pengujian panas tertinggi pada perbandingan 2:1 dengan waktu untuk memanaskan air sebanyak tiga liter selama 21,67 menit, akan tetapi asap yang dihasilkan sangat banyak. Pengujian panas yang terbaik diperoleh pada perbandingan 4:1 dengan durasi waktu untuk memanaskan air sebanyak tiga liter selama 24,00 menit, nyala api yang dihasilkan tidak menimbulkan asap.

Kata kunci : renewable energy, bubur kertas, serbuk gergaji

Abstract – Utilization of sawdust as raw material briquettes can be used as energy solutions for households. Today the area is still a sebahagian garbage or waste that has not been utilized. By converting sawdust into briquettes allows people to use. In addition, the quality of heat generated can be either flame, whereas if it is burned in the form of sawdust only in the form of boils fire alone. Waste paper and cardboard packaging is a combustible material, it can be used as an indicator that the material has energy. Paper soaked in a certain period of time can produce pulp that can be recycled into paper, it is possible to be used as an adhesive in the manufacture of sawdust briquettes. The study was conducted using the method of experiment. Testing density briquettes highest obtained at a ratio of 1: 1 with a density of about 1.63 Kg. The highest heat testing at a ratio of 2: 1 with time to heat the water as much as three liters for 21.67 minutes, but the smoke generated very much. Testing of heat are best obtained at a ratio of 4: 1 with a duration of time to heat the water as much as three liters for 24.00 minutes, the resulting flame is smoke.

Keywords : renewable energy, pulp, sawdust

I. PENDAHULUAN

Serbuk gergaji dewasa ini di sebahagian daerah masih merupakan sampah atau limbah yang belum dimanfaatkan. Serbuk gergaji memiliki kandungan energi yang sangat baik untuk dikonversi menjadi bahan bakar alternatif. Pemanfaatan serbuk gergaji sebagai bahan dasar pembuatan briket dapat dijadikan sebagai solusi energi untuk rumah tangga. Dengan mengubah serbuk gergaji menjadi briket memudahkan masyarakat dalam penggunaannya. Selain itu, kualitas panas yang dihasilkan dapat berupa nyala api, sedangkan yang jika dibakar dalam bentuk serbuk gergaji hanya berupa barah api saja.

Kertas bekas dan kardus kemasan merupakan bahan yang mudah terbakar, hal ini dapat dijadikan sebagai indikator bahwa bahan tersebut memiliki energi. Namun jika bahan yang dimaksud tidak dikelola dengan baik, maka dapat dipastikan bahwa akan menjadi sumber

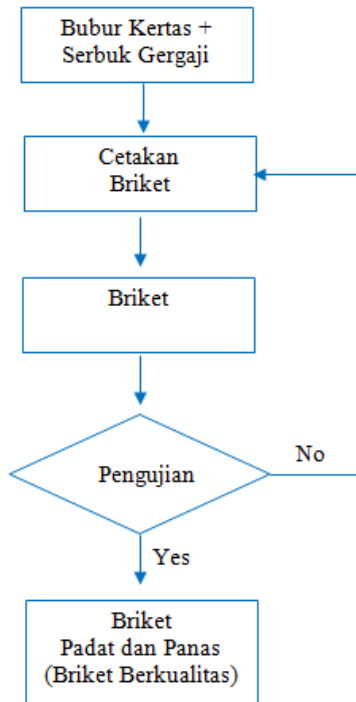
limbah yang dapat mengganggu. Keberadaan kertas bekas ini sama halnya dengan serbuk gergaji pada sebuah daerah, ada yang memiliki nilai jual ada pula yang belum memiliki nilai jual. Kertas yang direndam dalam jangka waktu tertentu dapat menghasilkan bubur kertas yang dapat didaur ulang menjadi kertas, hal ini memungkinkan untuk dijadikan sebagai bahan perekat dalam pembuatan briket serbuk gergaji.

Ada banyak penelitian tentang briket, diantaranya menggunakan bahan baku limbah serbuk gergaji kayu dan kulit kacang tanah dengan perekat yang digunakan pada penelitian berupa tepung sagu. Pada penelitian ini fokus pada pemanfaatan bubur kertas sebagai perekat dengan objek pengamatan atau eksperimen yaitu : Untuk mengetahui perbandingan serbuk gergaji dengan bubur kertas yang menghasilkan briket yang paling padat. Dan untuk mengetahui berapa besar perbandingan serbuk gergaji dengan bubur kertas yang menghasilkan kualitas

panas maksimal. Adapun hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai rekomendasi kepada penentu kebijakan tentang energi baru terbarukan, khususnya memberikan solusi penghematan bahan bakar minyak (fosil) pada rumah tangga.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen untuk mendapatkan jenis briket dengan perekat bubur kertas yang mempunyai kualitas padat dan panas yang terbaik. Alur penelitian yang telah dilaksanakan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 2.1. Flowchart Penelitian

2.1. Tahapan Penelitian

1. Pipa paralon PVC 2” dipotong sepanjang 3 cm untuk cetakan.



2. Kertas bekas direndam selama 24 jam untuk mendapatkan bubur kertas.



3. Serbuk gergaji direndam selama 1 jam agar mudah tercampur.



4. Berat serbuk gergaji diukur/ditimbang.



5. Berat bubur kertas diukur/ditimbang.



6. Kedua bahan tersebut dicampurkan dalam ember/wadah yg telah disiapkan dan diaduk sampai rata/homogen.



7. Berat diukur per satu briket yang sudah di cetak.



8. Briket dijemur sampai kering



III. HASIL EKSPERIMENT

Hasil penelitian telah menjawab permasalahan sebagaimana yang tertera pada bab satu penelitian ini. Dengan menggunakan metode **eksperimen**, didapatkan jenis briket dengan perekat bubuk kertas yang mempunyai kualitas padat dan panas yang terbaik. Gambar 3.1 adalah hasil *experiment* yang telah dilakukan.

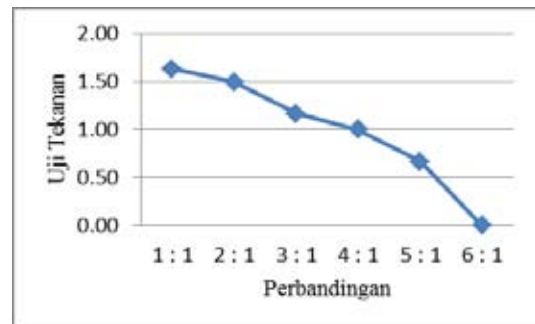


Gambar 3.1. Briket Hasil Penelitian

Pengukuran kepadatan briket menggunakan alat uji tekanan beton. Terjadi kesulitan dalam hal pelaksanaan, hal ini disebabkan oleh ukuran briket yang sangat kecil. Untuk mensiasati, maka alat ukur diberi alas untuk mendapatkan ketebalan briket yang diukur. Permasalahan lain yang didapatkan yaitu pada pengujian tekanan, dimana tekanan beton jauh lebih tinggi dibandingkan dengan briket, jadi harus dilakukan dengan sangat hati-hati. Untuk lebih jelasnya tentang proses dan hasil pengamatan kepadatan briket dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan 3.3 berikut.



Gambar 3.2. Pengukuran Kepadatan Briket



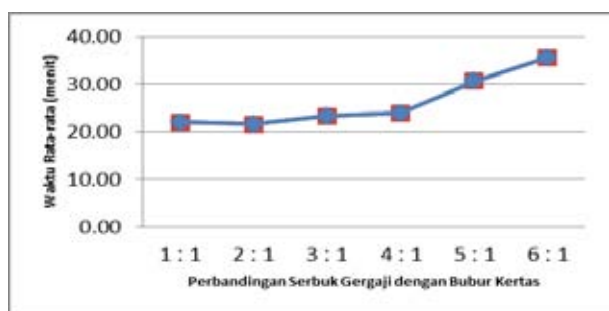
Gambar 3.3. Grafik Hasil Pengujian Kepadatan Briket

Hasil Pengujian tekanan atau kepadatan briket memperlihatkan bahwa perbandingan 1:1 (satu serbuk gergaji berbanding satu bubuk kertas) menghasilkan nilai tekanan yang paling tinggi yaitu 1,63 Kg. Sedangkan pengujian tekanan yang paling rendah adalah perbandingan 5:1 dengan nilai tekanan 0,67 Kg. Perbandingan 6:1 tidak dapat dilakukan pengukuran, hal ini disebabkan oleh kurangnya perekat sehingga briket tidak terbentuk dengan sempurna.

Pengukuran panas dilakukan dengan cara menghitung durasi atau waktu yang dipakai dalam memanaskan air sebanyak 3 liter. Pengukuran ini dilakukan sebanyak enam kali (sesuai jumlah perbandingan campuran briket). Untuk mendapatkan hasil *experiment*/pengamatan yang baik, maka setiap perbandingan diulang sebanyak 3 kali. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5 berikut:



Gambar 3.4. Pengukuran Panas Briket



Gambar 3.5. Grafik Hasil Pengukuran Panas berdasarkan Waktu

Hasil pengamatan/percobaan pengukuran panas briket didapatkan nilai panas rata-rata yang paling tinggi pada perbandingan 2:1 dengan durasi waktu selama 21,67 menit, namun asap yang ditimbulkan sangat banyak. Hasil perbandingan rata-rata yang paling lama yaitu pada perbandingan 6:1 dengan durasi waktu selama 35,67 menit. Perbandingan 4:1 durasi waktu yang digunakan 24,00 menit, hasil percobaan ini menghasilkan nyala api dengan asap yang paling sedikit.

IV. KESIMPULAN

Pengujian tingkat kepadatan briket yang paling tinggi didapatkan pada perbandingan 1:1 dengan tingkat kepadatan sebesar 1,63 Kg. Pengujian panas tertinggi pada perbandingan 2:1 dengan waktu untuk memanaskan air sebanyak tiga liter selama 21,67 menit, akan tetapi asap yang dihasilkan sangat banyak. Pengujian panas yang terbaik diperoleh pada perbandingan 4:1 dengan durasi waktu untuk memanaskan air sebanyak tiga liter selama 24,00 menit, nyala api yang dihasilkan tidak menimbulkan asap.

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, telah didapatkan padat dan panas briket yang dapat menghasilkan kualitas nyala api yang sangat baik. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar meneliti potensi pemanfaatan campuran bubuk kertas dengan serbuk gergaji pada bidang lain seperti pembuatan peredam suara dan lain-lain.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anung Muharini, Nunung Prabaningrum, Imam Sudrajat, 2008. Studi Karakterisasi Briket Sampah Domestik Non-Plastik Dari Tempat Pembuangan Akhir. Penerbit Jurnal Media Teknik
- [2] A Setiawan, O Andrio, P Coniwanti, 2012. Pengaruh Komposisi Pembuatan Briket dari Campuran Kulit Kacang dan Serbuk Gergaji Terhadap Nilai Pembakaran. Jurnal Teknik Kimia, jtk.unsri.ac.id.
- [2] Heruwati, Lia Dwi, 2009. Pengaruh Variasi Tekanan Pada Pembuatan Briket Arang Tempurung Kelapa Dengan Perakat Daun Jambu Mete Muda (*anacardium occidentale* l.) Terhadap Nilai Kalor Yang Dihasilkan. Skripsi Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta Perpustakaan.

- [3] Hazra, Fahrizal; Sari, Novita, 2011. Biomassa Tempurung Buah Nyamplung (*Callophyllum* Spp) Untuk Pembuatan Briket Arang Sebagai Bahan Bakar Alternative. Jurnal sains terapan Vol 1 Nomor 1, 2011.
- [4] Mukh, Mintadi, 2014. Teknologi Tepat Guna Kulit Biji Kopi Sebagai Energi Alternatif Bagi Masyarakat Mulyorejo Kecamatan Silo Jember. Jurnal Universitas Jember.
- [6] Mutasim Billah, 2009. Bahan Bakar Alternatif Padat (BBAP) Serbuk Gergaji Kayu. Penerbit UPN Press. ISBN : 978-602-8915-56-4.
- [7] Nilma Yuliza, Novizar Nazir, Masrul Djalal, 2013. Pengaruh Komposisi Arang Sekam Padi Dan Arang Kulit Biji Jarak Pagar Terhadap Mutu Briket Arang. Jurnal Litbang Industri Baristand Industri Padang, Vol. 3. No.1.
- [8] Untoro Budi Suro, 2010. Peningkatan Kualitas Pembakaran Biomassa Limbah Tongkol Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Karbonisasi dan Pembriketan. Jurnal Rekayasa Proses. Vol. 4 No.1, UGM.
- [9] Reny Nurainy, Sri Sumiyati, Endro Sutrisno, 2013. Pemanfaatan Ampas Bioetanol dari Kulit Pisang (*Musa Sapientum*) Sebagai Briket. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 2 No.2. Universitas Diponegoro, Semarang.
- [10] Siti Jamilatu, 2008. Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu. Jurnal Rekayas Proses, Vol. 2, No.2. UGM.
- [11] Wibowo, Ari Setio 2009. Kajian Pengaruh Komposisi dan Perakat Pada Pembuatan Briket Sekam Padi Terhadap Kalor Yang Dihasilkan. Undergraduate Thesis, Department of Physics, Diponegoro University.
- [12] WB Sediawan, E Erawati, E Budiyati, 2014. [Karakteristik Produk Pirolisis dari Sekam Padi, Tongkol Jagung dan Serbuk Gergaji Kayu dengan Menggunakan Katalis Zeolit.](http://publikasiilmiah.ums.ac.id) publikasiilmiah.ums.ac.id, LPPM UMS.

Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Menggunakan Kincir Angin Savonius Portabel

Yusuf Ismail Nakhoda¹, Chorul Saleh²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang

E-mail: yusuf_nakhoda@lecturer.itn.ac.id

Abstrak – Pemanfaatan energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah namun punya potensi yang sangat besar. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil. Inovasi dalam memodifikasi kincir angin perlu dikembangkan agar pada kondisi kecepatan angin yang rendah dapat menghasilkan energi listrik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan kajian teknis terhadap mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk memanfaatkan sumber energi angin secara optimal dalam menghasilkan energi listrik. Untuk itu, dalam penelitian ini dikembangkan prototipe dengan melakukan rancang bangun generator magnet permanen pembangkit tenaga listrik menggunakan kincir angin sumbu vertikal model Savonius dengan konstruksi dibuat secara portabel, sehingga dapat dirakit dan dipindah-pindah dengan mudah serta dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal dengan memanfaatkan kecepatan angin yang relatif rendah.

Kata kunci : generator magnet permanen, kincir angin Savonius, portabel.

Abstract – The utilization of wind energy in Indonesia is still relatively low but has a huge potential. One reason is because the average wind speed in the region of Indonesia relatively low wind speeds, ranging from 3 m / s to 5 m / s making it difficult to produce electricity on a large scale. Nevertheless, the wind potential in Indonesia available almost all year round, making it possible to develop small-scale power generation systems. Innovation in modifying the windmills need to be developed at low wind speed conditions can produce electrical energy. One effort that can be done is to conduct technical studies on energy conversion engine that can be used to harness wind energy resources optimally to produce electrical energy. Therefore, in this study developed a prototype by design permanent magnet generator power generation using windmills vertical axis models Savonius construction made portable, so it can be assembled and be moved easily and can generate electrical energy by utilizing the maximum speed wind relatively low.

Keywords : permanent magnet generator, windmills Savonius, portable.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan dapat dijadikan unggulan untuk mendampingi atau mensubstitusi penggunaan bahan bakar minyak. Pengkajian energi ini mutlak dilakukan agar tidak terjadi krisis energi. Melalui kajian mesin konversi energi maka energi terbarukan di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk kebutuhan energi di dalam menunjang keberlangsungan pembangunan dan kebutuhan manusia di bidang energi. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan.

Perkembangan energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu

berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil. Salah satu bentuk kincir angin yang relatif mudah dibuat adalah kincir angin dengan sumbu vertikal. Kincir angin jenis ini berputar dengan memanfaatkan kecepatan angin dari berbagai arah dan mudah dikonversi untuk membangkitkan energi listrik.

II. TUNJAUAN PUSTAKA

A. Kincir angin

Kincir angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Kincir angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai

dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik.

Desain dari kincir/turbin angin sangat banyak macam jenisnya, berdasarkan bentuk rotor, kincir angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu Turbin Angin Sumbu Mendatar (Horizontal Axis Wind Turbine) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine) (Daryanto, 2007).

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Turbin angin sumbu vertikal mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan turbin angin sumbu mendatar.

Ada tiga model rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya drag sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya lift. (Mittal, 2001). Turbin Savonius ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922, konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari sudu-sudu setengah silinder (Soelaiman, 2006).

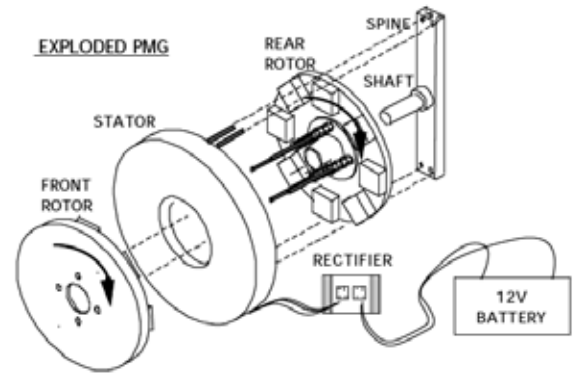


Gambar 1. Kincir angin sumbu vertikal model Savonius

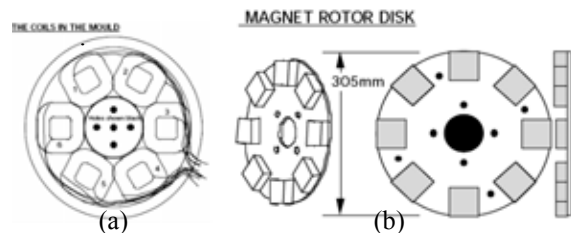
B. Generator Magnet Permanen

Desain dari generator magnet permanen sendiri dirancang secara khusus karena mempertimbangkan energi utama yang dikonversi adalah energi angin. Dibutuhkan rpm rendah untuk memutar generator magnet permanen supaya menghasilkan listrik.

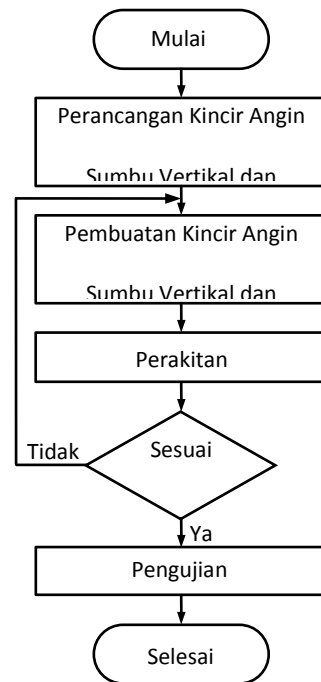
Fluksi magnet yang dibutuhkan untuk pembangkitan energi listrik didapat dari magnet permanen, maka generator tidak memerlukan proses *exitasi* pembangkitan sehingga efisiensi penggunaan energi listrik untuk dimanfaatkan sebagai suplai beban sangat baik.



Gambar 2. Konstruksi dari generator magnet permanen



Gambar 3. Konstruksi (a) stator dan (b) rotor generator magnet permanen

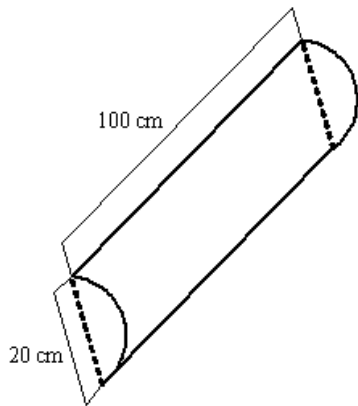


Gambar 4. Diagram alir rancang bangun kincir angin dan generator

III. RANCANG BANGUN KINCIR ANGIN

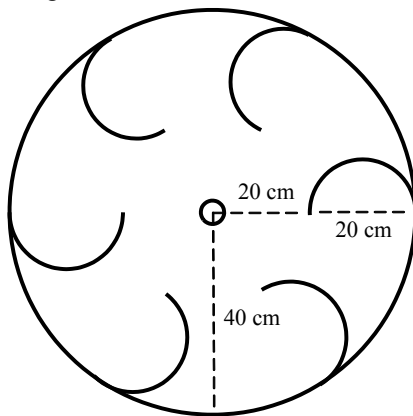
Banyak model atau jenis kincir angin sumbu vertikal, dari beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, salah satunya adalah dapat digunakan pada kecepatan angin yang rendah. Dalam penelitian dikembangkan prototipe kincir angin sumbu vertikal model Savonius. Pada jenis ini, angin yang berhembus salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah di sekitar poros

sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini, akibatnya rotor dapat berputar lebih cepat.

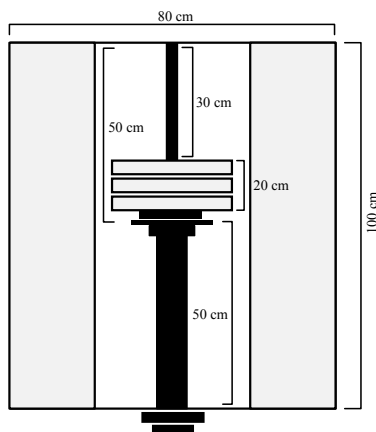


Gambar 5. Desain *blade* kincir angin

Desain kincir angin sumbu vertikal dibuat dengan 6 (enam) buah *blade* yang model konstruksinya dibuat secara portabel, sehingga dapat dirakit dan dipindah-pindah dengan mudah.



Gambar 6. Desain rumah *blade* kincir angin



Gambar 7. Desain kincir angin sumbu vertikal dan generator magnet permanen

A. Pembuatan Kincir Angin

Dalam proses pembuatan *blade* dipilih bahan material dari pipa PVC dengan diameter 20 cm dan

panjang 100 cm, sedangkan untuk rumah *blade* atas dan bawah dari bahan plat besi dengan diameter 80 cm.



Gambar 8. Konstruksi enam buah *blade* kincir angin

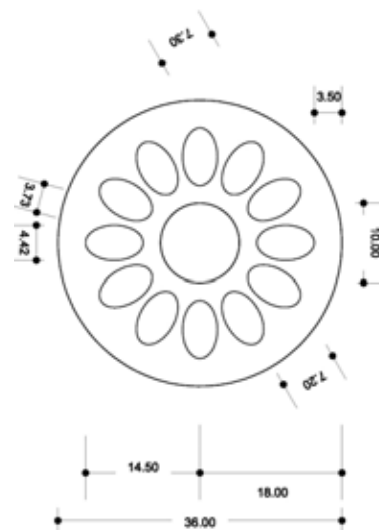


Gambar 9. Komponen kincir angin, rumah blade dan tiang penyangga.

Dalam merancang generator magnet permanen terlebih dahulu dilakukan pembuatan desain stator dan rotor. Beberapa parameter yang dapat menentukan kapasitas daya generator yang diinginkan seperti, kekuatan fluks magnet, jumlah kumparan dan belitannya, jumlah magnet serta ukuran diameter kawat. Tujuan perancangan alat ini adalah untuk mempermudah menentukan jumlah kumparan pada stator dan ukuran diameter kawat tembaga serta jumlah magnet yang akan digunakan.

B. Perancangan Stator

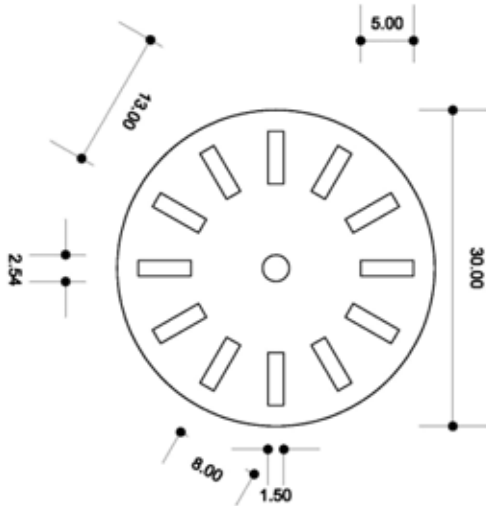
Stator generator memiliki 12 buah lilitan kumparan yang diseri dalam 1 fase. Sedangkan masing-masing lilitan kumparan di buat dengan diameter 3 cm dan 6 cm. Lilitan-lilitan kumparan tersebut dibuat dari kawat email dengan ukuran 1 mm dengan jumlah lilitan sebanyak 150 buah.



Gambar 10. Desain stator generator magnet permanen

C. Perancangan Rotor

Rotor generator yang dirancang memiliki 12 buah pasang kutub 1 fasa. Kutub-kutub disusun dari magnet permanen ND-35 berukuran 50 mm x 15mm x 6 mm. Magnet –magnet ini di susun pada piringan akrilik yang dipasang pada puli untuk membentuk piringan magnet. Kedua piringan magnet ini disusun secara berhadapa-hadapan dengan kutub utara magnet piringan pertama berhadapan dengan kutub selatan piringan magnet ke-2.



Gambar 11. Desain rotor generator magnet permanen

D. Pembuatan Stator dan Rotor

Generator magnet permanen ini dirancang untuk bekerja pada frekuensi 50 Hz dan berputar pada kecepatan 500 rpm. Tegangan keluaran dirancang 41Volt, 1 fasa, kapasitas daya keluaran 615 Watt.



Gambar 12. Konstruksi stator generator dengan 12 lilitan kumparan



Gambar 13. Konstruksi rotor generator dengan 12 kutub magnet permanen



Gambar 14. Konstruksi hasil perakitan generator magnet permanen



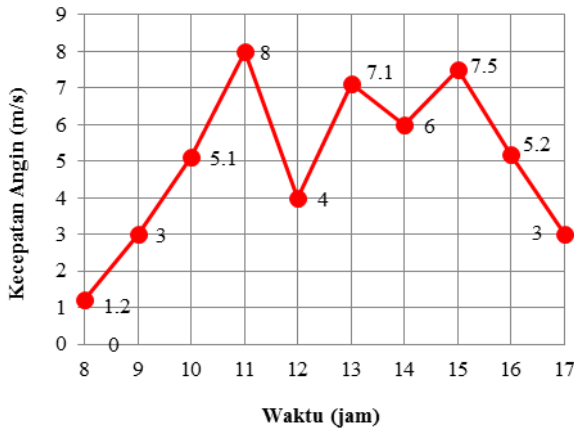
Gambar 15. Konstruksi hasil perakitan kincir angin dan generator magnet permanen dengan tiang penyangga

IV. PENGUJIAN ALAT

Sebelum pengujian alat, dilakukan pengukuran kecepatan angin di sekitar Kampus 2 ITN Malang, selanjutnya pengujian tegangan keluaran tanpa beban generator magnet permanen terhadap putaran rotor generator, pengujian generator magnet permanen berbeban dengan mengukur tegangan keluaran dan besarnya arus terhadap putaran rotor generator.

Pengukuran Kecepatan Angin

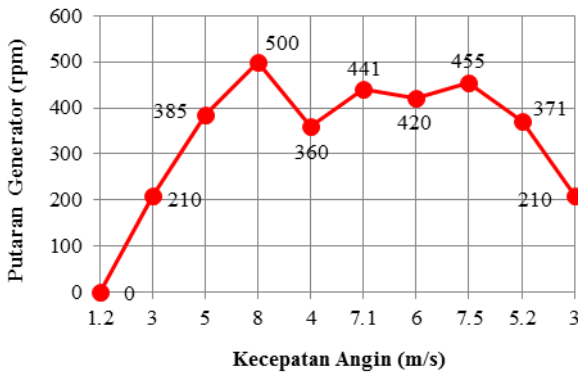
Untuk mengetahui karakteristik angin, dilakukan pengukuran (di area Kampus 2 ITN Malang) mulai tanggal 17 Juni 2016 sampai 23 Juni 2016, pengambilan data kecepatan angin dilakukan selama 9 jam (08.00 - 17.00). Gambar 16 menunjukkan hasil pengukuran kecepatan angin.



Gambar 16. Grafik karakteristik kecepatan angin (di area Kampus 2 ITN Malang)

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diketahui kecepatan angin rata-rata 5 m/s, dengan kecepatan angin minimal 1,2 m/s terjadi pada pagi hari (jam 08.00) dan kecepatan angin maksimal 8 m/s terjadi pada siang hari (jam 11.00).

Pengujian Kincir Angin Tanpa Beban



Gambar 17. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran generator tanpa beban

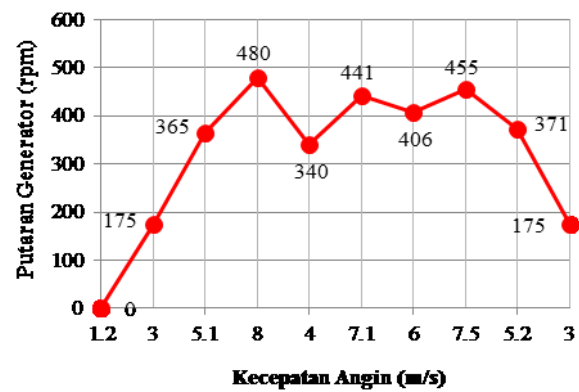
Pada Gambar 17, generator akan berputar pada kecepatan angin minimal 3 m/s menghasilkan putaran generator 210 rpm dan pada kecepatan angin maksimal 8 m/s menghasilkan putaran angin 500 rpm.

Pada Gambar 18, kecepatan angin minimal 3 m/s menghasilkan tegangan 6 Volt dan pada kecepatan angin maksimal 8 m/s menghasilkan tegangan sebesar 14,8 Volt. Besarnya tegangan listrik yang dibutuhkan pada saat melakukan proses pengisian accumulator adalah 12,6 sampai 14,8 volt.



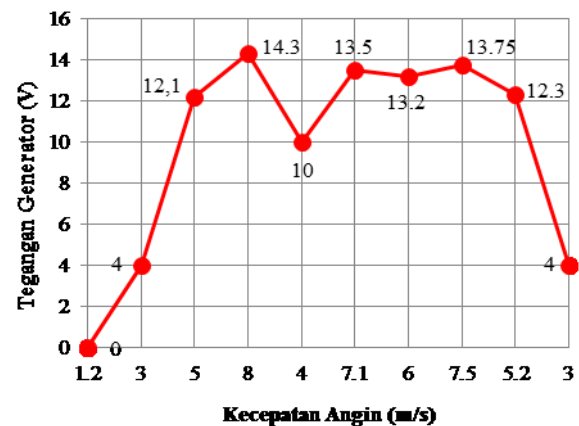
Gambar 18. Grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap tegangan keluaran generator tanpa beban

Pengujian Kincir Angin Berbeban

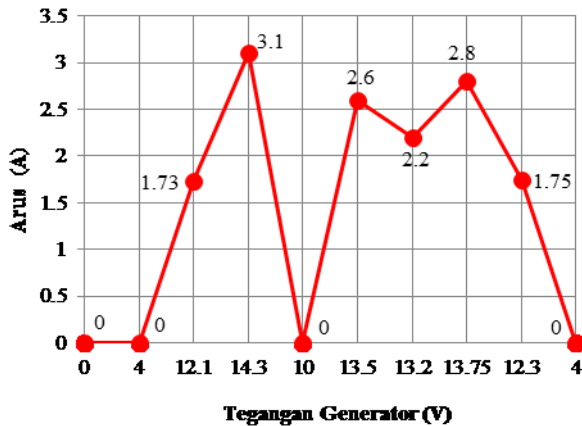


Gambar 19. Grafik hubungan kecepatan angin terhadap putaran generator yang dihubungkan dengan accumulator

Pada Gambar 19, kecepatan angin 5 m/s sampai 8 m/s dapat memutar generator dengan kecepatan 365 rpm sampai 480 rpm, generator telah mampu menghasilkan tegangan listrik melebihi 12 volt. Dari sini dapat diketahui bahwa batas kecepatan angin yang diperlukan agar generator mampu menghasilkan tegangan listrik yang cukup untuk mengisi accumulator adalah mulai dari kecepatan 5 m/s sampai 8 m/s.



Gambar 20. Grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap tegangan keluaran generator yang dihubungkan dengan accumulator



Gambar 20. Grafik hubungan antara tegangan generator terhadap arus keluaran generator yang dihubungkan dengan accumulator

Pada kecepatan angin 5 m/s sampai dengan 8 m/s pengisian accumulator paling efektif dilakukan, pada kecepatan angin 5 m/s tegangan yang dihasilkan adalah 12,10 V dengan arus 1,73 A, sedangkan pada kecepatan angin 8 m/s tegangan yang dihasilkan 14,30 V dengan arus 3,10 A.

V. KESIMPULAN

1. Prototipe kincir angin sumbu vertikal (VAWT) model Savonius ini dirancang bangun dengan menggunakan enam buah *blade* dan generator magnet permanen dengan sebuah stator dan dua buah rotor serta tiang penyangga yang seluruh bagian komponen dengan model konstruksinya dibuat secara portabel, sehingga dapat dirakit dan dipindah-pindah dengan mudah.
2. Pengujian dengan pengukuran tegangan generator tanpa beban pada kecepatan angin 1,2 m/s sampai dengan 8 m/s mulai menghasilkan tegangan keluaran generator pada kecepatan angin 3 m/s sebesar 6 V sampai dengan 14,8 V.
3. Pengujian dengan pengukuran tegangan generator setelah dihubungkan dengan accumulator pada kecepatan angin 3 m/s sampai dengan 8 m/s menghasilkan tegangan keluaran generator 4 V sampai dengan 14,3 V. Pada kecepatan angin 5 m/s sampai dengan 8 m/s dapat memutar generator dengan kecepatan 365 rpm sampai dengan 480 rpm menghasilkan tegangan 12,10 V sampai dengan 14,3 V dapat melakukan proses pengisian accumulator dengan arus 1,73 A sampai dengan 3,1 A.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Culp, Archie W., 1991. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga. Terjemahan: *Principles of Energy Conversion*. 1979. Mc Graw-Hill, Ltd

[2]. Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG - UPT-LAGG

[3]. Dutta, Animesh. 2006. *Basics of Wind Technology*. Asian Institute of Technology Thailand. 6 Juli 2006

[4]. Giles, Ranald V., 1990. *Mekanika Fluida dan Hidraulika (SI-Metrik) Edisi Kedua (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

[5]. Guntoro, W., 2008. *Studi Pengaruh Panjang dan Jumlah Baling-Baling Terhadap Efisiensi Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. Bandung: ITB

[6]. Kamal, Faizul M., 2008. *Aerodynamics Characteristics of A Stationary Five Bladed Vertical Axis Vane Wind Turbine*. Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME39, No. 2, pp. 95-99

[7]. Khan, N.I., Iqbal, M.T., Hinchey, Michael, dan Masek, Vlastimil. 2009. *Performance of Savonius Rotor As A Water Current Turbine*. Journal of Ocean Technology. Vol. 4, No. 2, pp. 71-83

[8]. Mittal, Neeraj. 2001. *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. UK: Departement of Mechanical Engineering University of Strathclyde

[9]. Nakajima, M., Lio, S., dan Ikeda, T., 2008. *Performance of Double-step Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hidroulic Turbine*. Journal of Fluid Science And Technology. Volume 3 No. 3, pp 410-419

[10]. Rosidin, Nanang. 2007. *Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol*. Bandung: ITB

[11]. Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol*; Bandung. ITB

[12]. Hariyotejo Pujowidodo, Jefri Helian, Gatot Eka Pramono, Abrar Ridwan. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen* Departemen Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

[13]. Pudji Irasari, Novrita Idayanti, 2007. *Aplikasi Magnet Permanen BaFe12O19 dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

[14]. Nanang Sudrajat, Tony Kristianto, 2013. *Fabrikasi Magnet Permanen Bonded NdFeB untuk Prototipe Generator*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

[15]. <http://cleangreenenergyzone.com/cardboard-savonius-wind-turbine/>

[16]. <http://www.scoraigwind.com/pmgbooklet/itpmg.pdf>

Perancangan Antena Mikrostrip Patch Circular menggunakan metode Array 1x8 untuk Aplikasi Radar Maritim Frekuensi 3,2 GHz

Jonifan¹⁾, Wahyu Supriyatin²⁾, Yenniwati Rafsyam³⁾, Teguh Firmansyah⁴⁾,
Herudin⁵⁾, Akoh Herudin⁶⁾

^{1,2)}Universitas Gunadarma Jakarta

email: ¹⁾jonifan@staff.gunadarma.ac.id, ²⁾ayu_ws@staff.gunadarma.ac.id

³⁾Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta (PNJ)

email: ³⁾yennirafsyam@gmail.com

^{4,5,6)}Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA)

email: ⁴⁾teguhfirmansyah@untirta.ac.id

Abstrak – Radar merupakan sebuah perangkat yang menggunakan gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak, kecepatan dan memetakan objek bergerak maupun diam. Radar maritim adalah stasiun radar bergerak yang dipakai diatas kapal laut sehingga dapat mencakup daerah yang luas di wilayah perairan Indonesia. Radar maritim digunakan untuk mengawasi perairan laut Indonesia. Salah satu subsistem radar maritim adalah antena, Antena berfungsi memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara bebas. Untuk menghasilkan *coverage area* yang luas diperlukan antena dengan *gain* yang tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut maka pada penelitian ini akan diusulkan penggunaan metode *patch circular* dengan metode *array 1x8*. Metode *patch circular* berguna untuk menghasilkan antena yang bekerja pada frekuensi 3,2 GHz. Metode *array 1x8* berguna untuk meningkatkan *gain* antena tanpa merubah fasa dari sinyal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak elemen banyak, *gain* semakin tinggi dan memenuhi kriteria yang diharapkan.

Kata kunci : Antena, Array 1x8, Bandwidth, Gain, Radar

Abstract – Radar is a device that uses electromagnetic waves that are useful to detect, measure distance, speed and map moving and stationary objects. Radar maritime mobile radar station is used aboard a ship so that it can cover a wide area in the territorial waters of Indonesia. Maritime radar is used to monitor the marine waters of Indonesia. One subsystem is a maritime radar antenna, antenna function emit electromagnetic waves into the air. To produce a wide coverage area that needed an antenna with a high gain. Under these conditions, this research will be proposed the use of a circular patch method with 1x8 array method. Circular patch method is useful for producing an antenna which works at a frequency of 3.2 GHz. 1x8 array method is useful for increasing the antenna gain without changing the phase of the signal. The test results showed that the more elements a lot, gain higher and meet the expected criteria.

Keywords : Antenna, Array 1x8, Bandwidth, Gain, Radar

I. PENDAHULUAN

Saat ini, kapal-kapal pengawas dan pemantau daerah kelautan yang ada di Indonesia sudah dilengkapi dengan radar, akan tetapi lingkup jangkauan dari radar yang dipancarkan oleh kapal milik Indonesia masih kecil dan sedikit. Radar pendukung kapal pengawas dan pemantau daerah kelautan Indonesia juga masih sedikit tergantung dari aplikasi yang digunakan, frekuensi, *bandwidth*, *gain*, *return loss* serta metode perancangannya baik dari *rectangular*, *circular* dan arraynya. Selain masalah radar yang kurang pada kapal di Indonesia masalah lain juga muncul antara lain kurangnya sumber daya manusia pengawas laut sehingga laut Indonesia yang luas tidak terjaga, masalah pencurian ikan yang makin marak oleh kapal-kapal luar negeri, pembajakan serta penyelundupan hasil tangkapan ikan ataupun yang lainnya dan adanya tabrakan yang terjadi antar kapal yang ingin bersandar karena kurangnya radar untuk mendeteksi keberadaan kapal lain yang ada disekitar. Sehingga perlu dibuatkan

prototipe berupa radar maritim yang dilihat dari segi frekuensi serta *bandwidth* serta antena dan *gain* yang dimiliki. Menurut Kemkominfo [1] Radar merupakan sebuah perangkat yang menggunakan gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak, kecepatan dan memetakan objek bergerak maupun diam. Sementara Radar Maritim adalah stasiun radar bergerak yang dipakai diatas kapal laut sehingga dapat mencakup daerah yang luas di wilayah perairan Indonesia. Radar laut terbagi dua yaitu Radar Maritim dan Radar Surveillance.

1. Radar Maritim adalah stasiun radar bergerak yang dipakai di atas kapal laut.
2. Radar Surveillance adalah stasiun radar tetap yang berfungsi untuk pengawasan pantai, selat, sungai, dan eksplorasi lepas pantai atau darat.

Salah satu subsistem dari Radar Maritim adalah antena. Antena berfungsi untuk memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara bebas [2]. Untuk mendapatkan

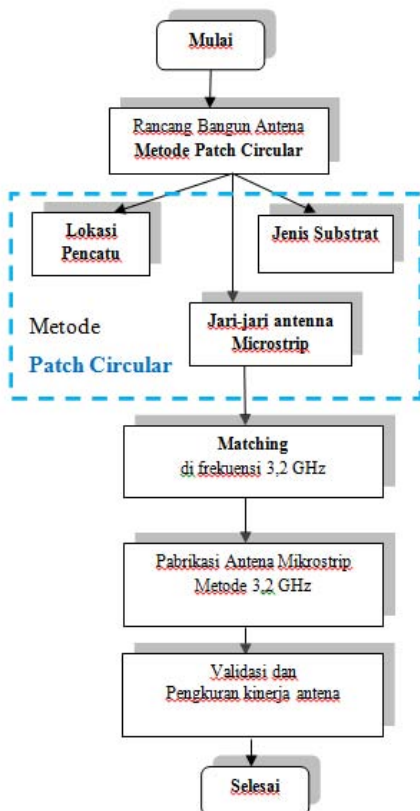
coverage area yang luas maka diperlukan antenna dengan gain yang tinggi. Pemasangan Radar Maritim dengan gain yang tinggi sangat diperlukan, agar dapat mencakup daerah yang luas di wilayah perairan Indonesia [3].

Penelitian sebelumnya [4] membuat sebuah prototipe radar *surveillance long-range* yang bekerja pada frekuensi S-band untuk kebutuhan maritim. Prototipe radar ini bekerja dengan daya pancar sekitar 5 W. Penelitian lainnya [5] merancang antenna yang dapat digunakan untuk mendukung kerja radar pengawas pantai. Antena ini dirancang dengan menggunakan antenna mikrostrip dimana karakteristik antenna ini harus mempunyai *bandwidth* lebar.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Permasalahan yang muncul seperti kurangnya pengawasan laut oleh tentara-tentara maritim laut Indonesia, maraknya pencurian ikan oleh kapal-kapal laut negara asing dengan berbendera Indonesia, pembajakan serta penyelundupan hasil laut Indonesia oleh kapal asing serta tabrakan antara kapal laut yang ingin bersandar. Karena permasalahan tersebut maka dibuatlah Radar Maritim dengan *High Gain Antena* dimana dengan ketentuan subsistem antenna, *high* antenna, frekuensi kerja dan *bandwidth*, antenna array serta jenis antenna patch yang lebih berkembang dari pada yang terdahulu pernah diciptakan. Karena beberapa permasalahan yang muncul serta solusi yang didapat maka dibuatlah Radar Maritim dengan metode patch *circular* dengan metode *array*.

Gambar 1 adalah metode *circular* yang digunakan didalam penelitian ini. Metode *circular* bekerja pada frekuensi 3,2 GHz.



Gambar 1. Metode *Circular*

III. PERANCANGAN ANTENA

Penelitian ini akan merancang antenna mikrostrip *Array* 8 elemen menggunakan simulator CST Microwave Studio 2011. Jenis antenna mikrostrip yang dirancang adalah antenna mikrostrip dengan bentuk *patch* lingkaran dan teknik pencatutan menggunakan saluran mikrostrip (*mikrostrip line feed*).

Proses perancangan antenna mikrostrip pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Secara umum tahap pertama yaitu membuat perancangan antenna mikrostrip elemen tunggal, tahap selanjutnya adalah membuat perancangan antenna *array* dua elemen, dan selanjutnya membuat perancangan antenna *array* empat elemen, dan tahap akhir membuat perancangan antenna mikrostrip *array* 1x8. Hasil dari rancangan akhir akan difabrikasi dan dilakukan pengukuran, sehingga hasil dari simulasi dan fabrikasi dapat dibandingkan.

A. Penentuan Spesifikasi Antena

Tahapan pertama dalam melakukan perancangan antenna mikrostrip adalah menentukan spesifikasi antenna yang ingin dicapai. Spesifikasi antenna yang dimaksud yaitu frekuensi kerja, VSWR, *gain*, *bandwidth* dan impedansi masukan. Spesifikasi antenna yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Frekuensi kerja : 3,2 GHz (2,19 – 3,23 GHz)
2. VSWR : ≤ 2
3. *Gain* : ≥ 8 dBi
4. *Bandwidth* : 60 MHz
5. Impedansi masukan : 50 Ω

B. Penentuan Substrat

Tahap selanjutnya yaitu menentukan jenis substrat yang akan digunakan. Dalam pemilihan jenis substrat sangat diperlukan pengetahuan tentang spesifikasi umum dari substrat tersebut, kualitasnya, ketersediaannya serta yang tidak kalah penting adalah harga atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkannya, karena akan mempengaruhi nilai jual ketika akan difabrikasi secara massal untuk dipasarkan. Jenis substrat yang digunakan pada perancangan antenna dalam penelitian ini adalah Epoxy FR4 dengan parameter seperti ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1. Tabel Parameter Substrat yang Digunakan

No	Parameter Sustrat Epoxy FR4	Keterangan
1.	Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
2.	Dielektrik Loss Tangent (tan Q)	0,02
3.	Ketebalan substrat (h)	0,16 cm

C. Perancangan Dimensi Patch

Langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan dimensi *patch* antenna mikrostrip. Bentuk *patch* dari antenna mikrostrip yang akan dirancang yaitu dengan bentuk *patch* lingkaran, sehingga yang perlu dicari adalah panjang jari-jari lingkaran (*a*). Untuk mendapatkan panjang jari-jari lingkaran digunakan persamaan berikut :

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

Dengan F :

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

$$= \frac{8,791 \times 10^9}{3,2 \times 10^9 \sqrt{4,4}}$$

$$= 1,31$$

h dalam cm dan *f_r* dalam Hz.

Sehingga didapat nilai *a* adalah:

$$a = \frac{1,31}{\left(1 + \frac{2 \times 0,16}{\pi \cdot 4,4 \cdot 1,31} \left[\ln \left(\frac{\pi \cdot 1,31}{2 \times 0,16} \right) + 1,7726 \right] \right)^{\frac{1}{2}}}$$

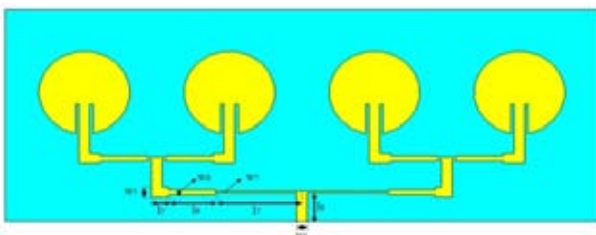
$$a = 1,26 \text{ cm}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai jari-jari (*a*) *patch* lingkaran sepanjang 12,6 mm.

D. Perancangan Dimensi Pencatu

Saluran pencatu yang digunakan pada perancangan antenna mikrostrip adalah saluran pencatu 50 Ω, 70,71 Ω, dan 100 Ω pemilihan saluran pencatu ini mengacu pada bentuk antenna *array*.

E. Perancangan Antena Mikrostrip Antena Mikrostrip *Array* Empat Elemen

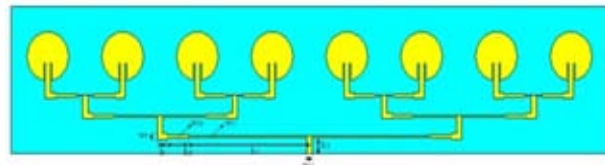


Gambar 2. Hasil Rancangan Antena Mikrostrip *Array* Empat Elemen

Tabel 2. Tabel Nilai Parameter Antena Mikrostrip *Array* Empat Elemen

Dimensi	Nilai (mm)
l5	6
l6	13,2
l7	d + w1/2 – (l5 + l6)
l4 = l8	8,8
w5 = w8	3
w6	1,6
w7	0,6

Antena Mikrostrip *Array* Delapan Elemen



Gambar 3. Hasil Rancangan Antena Mikrostrip *Array* Delapan Elemen

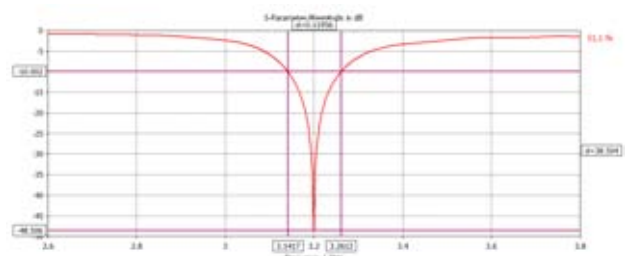
Tabel 3. Tabel Nilai Parameter Antena Mikrostrip *Array* Delapan Elemen

Dimensi	Nilai (mm)
lg	9,1
l9	6
l10	13,2
l11	2d + w1/2 – (l9 + l10)
l4 = l12	10,9
w5 = w8	3
w6	1,6
w7	0,6

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

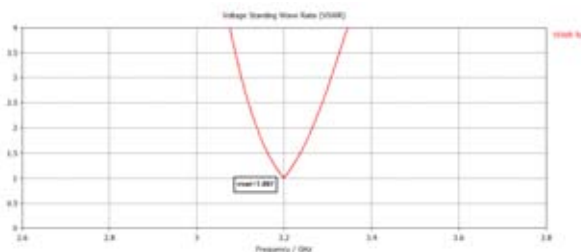
A. Hasil Simulasi Antena Mikrostrip *Array* Empat Elemen

Hasil simulasi yang dilakukan pada gambar 4 menjelaskan hasil simulasi *S₁₁* yang memiliki skala frekuensi 2,6 GHz sampai dengan 3,8 GHz dengan sumbu y adalah *S₁₁*. Hasil simulasi menyatakan bahwa *bandwidth* –10 dB diperoleh saat *f₁* = 3,14 GHz dan *f₂* = 3,26 GHz dengan *bandwidth* 119 MHz dan frekuensi tengah (*f_c*) = 3,2 GHz dengan nilai *s₁₁* = –48 dB.



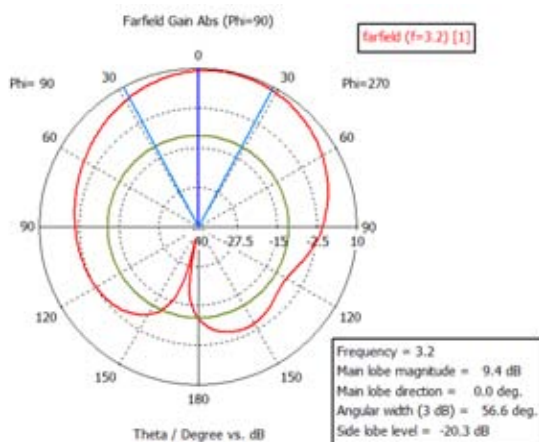
Gambar 4. Hasil Simulasi *S₁₁* Empat Elemen

Gambar 5 menjelaskan hasil simulasi VSWR yang memiliki skala frekuensi 2,6 GHz sampai 3,8 GHz dengan sumbu y adalah VSWR. Hasil simulasi menyatakan bahwa VSWR yang diperoleh adalah 1,007.



Gambar 5. Hasil Simulasi VSWR Empat Elemen

Gambar 6 menjelaskan hasil simulasi Farfield Gain dengan main lobe magnitude diperoleh sebesar 9,4 dB



Gambar 6. Hasil Simulasi Farfield Gain Empat Elemen

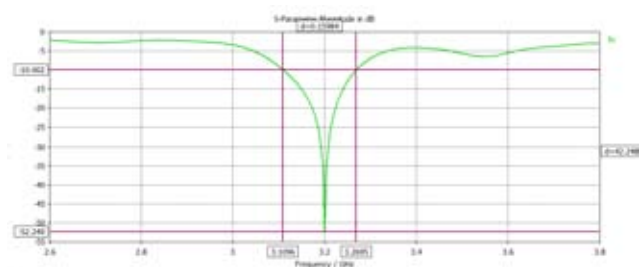
Tabel 4 adalah table simulasi karakteristik antenna array empat elemen.

Table 4. Karakteristik Antena Array Empat Elemen

Karakteristik	Nilai
Bandwidth	-10 dB
F _{atas}	3,26 GHz
F _{batas}	3,14 GHz
VSWR	1,007
Gain	9,4 dB

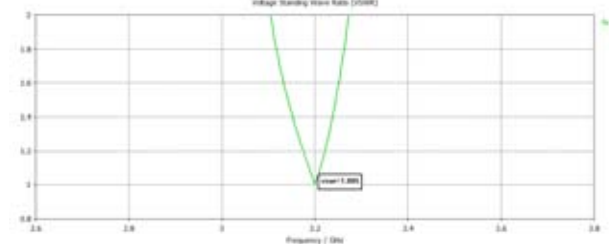
B. Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Array Delapan Elemen

Hasil simulasi yang dilakukan pada gambar 7 menjelaskan hasil simulasi S₁₁ yang memiliki skala frekuensi 2,6 GHz sampai dengan 3,8 GHz dengan sumbu y adalah S₁₁. Hasil simulasi menyatakan bahwa bandwidth -10 dB diperoleh saat f₁ = 3,1 GHz dan f₂ = 3,3 GHz dengan bandwidth 159 MHz dan frekuensi tengah (f_c) = 3,2 GHz dengan nilai s₁₁ = -52 dB.



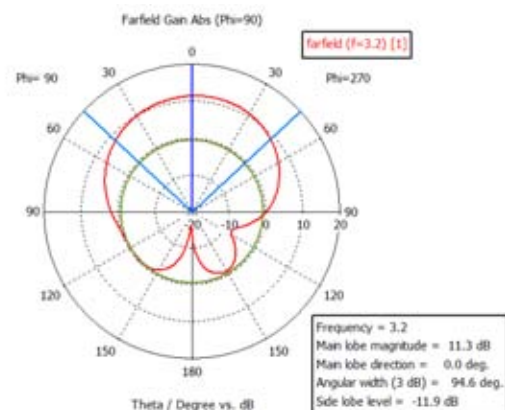
Gambar 7. Hasil Simulasi S₁₁ Delapan Elemen

Gambar 8 menjelaskan hasil simulasi VSWR yang memiliki skala frekuensi 2,6 GHz sampai 3,8 GHz dengan sumbu y adalah VSWR. Hasil simulasi menyatakan bahwa VSWR yang diperoleh adalah 1,005.



Gambar 8. Hasil Simulasi VSWR Delapan Elemen

Gambar 9 menjelaskan hasil simulasi Farfield Gain dengan main lobe magnitude diperoleh sebesar 11,3 dB



Gambar 9. Hasil Simulasi Farfield Gain Delapan Elemen

Tabel 5 adalah table simulasi karakteristik antenna array delapan elemen.

Table 5. Karakteristik Antena Array Delapan Elemen

Karakteristik	Nilai
Bandwidth	159 MHz
F _{atas}	3,3 GHz
F _{batas}	3,1 GHz
VSWR	1,005
Gain	11,3 dB

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang empat buah antenna dan mensimulasikannya. Empat buah antenna tersebut adalah antenna elemen tunggal, antenna array dua elemen, antenna array empat elemen dan antenna array delapan elemen. Antenna elemen tunggal memiliki return loss = -45 dB, VSWR = 1,01, gain = 4 dB. Antenna array

dua elemen memiliki *return loss* = -47 dB, VSWR = 1,01, *gain* = 6,3 dB. Antena *array* empat elemen memiliki *return loss* = -48 dB, VSWR = 1,007, *gain* = 9,8 dB. Antena *array* delapan elemen memiliki *return loss* = -52 dB, VSWR = 1,005, *gain* = 11,3 dB. Secara keseluruhan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak elemen banyak, *gain* semakin tinggi dan memenuhi kriteria yang diharapkan. Tetapi dalam hal ini nilai *gain* masih harus ditingkatkan untuk pengaplikasian pada Radar Maritim.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Komunikasi dan Informatika. Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 31 Tahun 2013. Tentang “Persyaratan Teknik Alat dan Perangkat Radar Maritim dan Radar Surveilance”.
- [2] Balanis, Constantine A. Antena Theory : Analysis and Design. John Wiley and Sons, Inc. Canada. 1997.
- [3] Bharata, Endon, Achmad Mun. ”Perancangan secara numerik modul pembagi daya untuk pencatuan antena susun 2-4GHz pada aplikasi sistem radar,” *Prosiding Seminar Radar Nasional 2011*, Jakarta, April 2011.
- [4] Lestari, Andaya. “Indera MS-1 : Radar S-Band Pertama Karya Anak Bangsa” *Prosiding InSINas 2012*. HK-80-84. 2012.
- [5] Sugiarto, Yoga. “Design and Realization Array of Eight Rectangular Element mikrostrip Antena at Frequency 3GHz for Coastal Surveillance Radar Application”. *Journal Institut Teknologi Telkom*. 2012.

Analisa Kinerja TCM-SM Untuk MIMO Pada Kanal Fading

Popy Maria¹; Gunawan Wibisono²

¹Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang
Padang, Indonesia.

Email: popy.pnp@gmail.com

²Teknik Elektro, Universitas Indonesia
Depok, 16424, Indonesia.

Email: gunawan@ee.ui.ac.id

Abstrak – Spasial Modulation (SM) adalah sebuah konsep modulasi baru dalam sistem MIMO diusulkan untuk mengurangi kompleksitas dan ICI tanpa memburuk kinerja sistem. Di SM, hanya satu pancar antenna diaktifkan untuk transmisi data setiap saat signaling. Informasi bit yang ditransmisikan mengandung dua informasi, simbol yang dipilih dari kompleks diagram konstelasi sinyal dan indeks mengirimkan antenna aktif yang dipilih dari set antenna pemancar. TCM - SM diusulkan dalam penelitian ini untuk menerapkan konsep TCM untuk sinyal poin konstelasi SM. Kode sinyal di SM (TCM-SM) bertujuan untuk meningkatkan kinerja SM di Rayleigh saluran flat fading dan saluran memudar Rician. analisis kinerja diungkapkan oleh probabilitas bit error.

Kata kunci : MIMO, SM, TCM, TCSM

Abstract – *Spatial Modulation (SM) is a new modulation concept in MIMO system was proposed to reduced complexity and ICI without deteriorating the end to end system performance. In SM, just one transmit antenna is activated for data transmission at any signaling time instance. Information bits that was transmitted are contains two information, symbol that is chosen from a complex signal constellation diagram and index transmit antenna active that is chosen from set of transmit antennas. TCM – SM was proposed in this research is to apply TCM concept to signal constellation points of SM. Have transmit coded signal in SM (TCM-SM) to aim for enhance SM performance in Rayleigh flat fading channel and Rician fading channel. Performance analysis was expressed by bit error probability.*

Keywords : MIMO, SM, TCM, TCSM

I. PENDAHULUAN

Tuntutan peningkatan *data rate* dan kualitas layanan suatu sistem komunikasi *wireless* memicu lahirnya teknik baru untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan multi antenna pada sisi pengirim dan penerima, teknik ini dikenal dengan *Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Ada dua hal yang sebenarnya diberikan oleh sistem MIMO yaitu *diversity gain* dan *mutiplexing gain*. *Diversity gain* dapat dicapai dengan menerapkan teknik *spatial diversity*. Prinsipnya, diversitas mengirimkan beberapa replika sinyal informasi pada kanal *independent fading*, sehingga di *receiver* minimal ada satu sinyal yang tidak mengalami *fading* terburuk contohnya adalah teknik *Space Time Block Code* (STBC) yang diperkenalkan oleh Alamouti[1]. *Multiplexing gain* dapat dicapai dengan menggunakan *spatial multiplexing* atau *space division multiplexing* (SDM) pada sinyal yang akan dikirim. Prinsip dasar SDM yaitu *symbol stream* yang akan dikirim dipecah menjadi beberapa paralel *symbol stream* yang kemudian ditransmisikan secara simultan dengan *bandwidth* yang sama pada masing-masing antenna, Teknik yang umum digunakan yaitu dengan *Vertical Bell Labs Layered Space-Time Architecture* (VBLAST) [2]. Namun demikian *spatial multiplexing* dan *spatial diversity* belum cukup handal

untuk mengatasi *inter channel interference* (ICI) dan sistem deteksi dipenerima yang masih kompleks.

Pada sistem MIMO STBC dan VBLAST semua antenna digunakan pada satu waktu secara simultan untuk mengirimkan data dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi daya ataupun menaikkan *data rate*. Namun demikian dipenerima ini dapat meningkatkan kompleksitas pendeteksian. *Spatial Modulation* (SM) [3] merupakan suatu konsep teknik modulasi yang baru pada sistem MIMO dengan tujuan untuk mengurangi kompleksitas pada skema *multiple antenna* tanpa mengurangi performansi *end to end system*. Konsep dasar dari SM adalah hanya satu antenna pengirim yang aktif untuk mentransmisikan sinyal pada satu waktu. Bit informasi yang dikirim mengandung unit sinyal yang dipilih dari *complex signal-constelation* diagram dan index antenna pengirim yang dipilih dari set antenna pengirim.

R. Mesleh, Harald Haas dkk [3] memaparkan bahwa SM dapat meningkatkan efisiensi *spectrum* dan juga dapat menghindari menghindari korelasi antara antenna transmit dengan kompleksitas lebih rendah dari teknik STBC dan VBLAST. Deteksi optimum kemudian diusulkan oleh Jeyadeepan Jeganathan dkk [5] yang memamparkan bahwa deteksi optimum dengan menggunakan prinsip *maximum likelihood* (ML) memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan

dengan deteksi sub-optimal yang menggunakan MRC. Pada [6] menggabungkan teknik *trellis coded modulation* (TCM) pada SM untuk meningkatkan performansi SM pada *correlated channel*. Teknik ini yang kemudian dikenal dengan *Trellis Code Spatial Modulation* (TCSM).

Pada [8] dipaparkan bahwa teknik pengkodean dapat digunakan untuk memperbaiki performansi kesalahan tanpa mengorbankan data rate dan tanpa membutuhkan tambahan bandwidth. Untuk mendapatkan *coding gain* maka *channel encoder* digabungkan dengan *mapping* menggunakan *set partitioning*. Ini juga akan lebih mengoptimalkan system karena dibagian deteksi digunakan algoritma Viterbi. TCM menggunakan *convolutional encoder* dengan rate $R = m/m + 1$ kemudian dimappingkan pada $(m + 1)$ PSK.

Salah satu teknik untuk meningkatkan kinerja sistem adalah dengan menggunakan teknik pengkodean [8]. Pada [3-6] sinyal yang dikirimkan adalah sinyal modulasi *uncoded*. Pada penelitian ini diusulkan untuk konstelasi sinyal yang dikirimkan pada SM adalah sinyal modulasi *coded*. Dengan mengirimkan sinyal modulasi yang telah dikodekan sebelumnya dapat meningkatkan kinerja dari sistem. Dengan mengambil kelebihan dari [8], maka untuk penelitian ini diaplikasikan teknik TCM untuk konstelasi sinyal yang dikirimkan pada SM (TCM-SM). Analisa performansi TCM pada teknik SM akan dinyatakan dengan probabilitas kesalahan bit sistem.

Untuk membedakan antara SM, TCSM dan TCM-SM dapat dilihat dari mapping bit yang digunakan untuk konstelasi sinyal dan konstelasi antenna. Sebagai contoh, jika 4 bit informasi akan dikirimkan pada MIMO 4x4, untuk teknik SM konvensional 2 bit *most significant bit* (MSB) digunakan untuk konstelasi antenna dan 2 digunakan untuk konstelasi sinyal. Artinya dengan SM dapat dikirim sinyal dengan modulasi QPSK/QAM *uncoded* untuk 4 antenna pengirim. Pada TCSM [6], 1 bit MSB digunakan untuk menentukan konstelasi antenna dengan TCM 1/2 dan 3 bit berikutnya untuk konstelasi sinyal. Sehingga TCSM dapat mentransmisikan sinyal termulasi 8PSK *uncoded* untuk 4 antenna pengirim. Pada TCM-SM, 2 bit MSB digunakan untuk konstelasi antenna dan 2 bit berikutnya untuk konstelasi sinyal. Sehingga untuk TCM-SM dapat mengirimkan sinyal TCM 2/3 (8PSK *coded*) melalui 4 antenna pengirim.

II. PERMODELAN SISTEM TCM – SM

TCM-SM merupakan pengimplementasian teknik TCM pada teknik modulasi SM MIMO untuk menentukan konstelasi sinyal. Gambar 1 merupakan blok diagram untuk TCM-SM dimana secara umum terdiri dari:

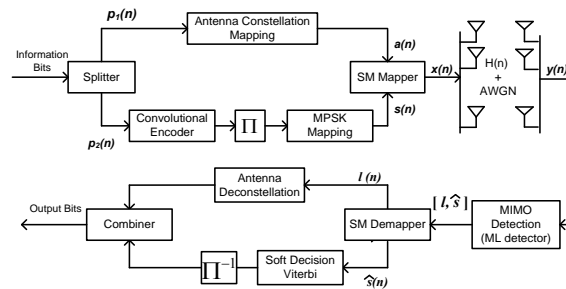
1. *Splitter*

Splitter berfungsi untuk mengelompokkan bit informasi sesuai dengan jumlah bit yang akan ditransmisikan yaitu $\log_2 N_t + \log_2 M - 1$ bit. N_t menunjukkan jumlah antenna pengirim dan M adalah orde modulasi yang digunakan.

2. TCM

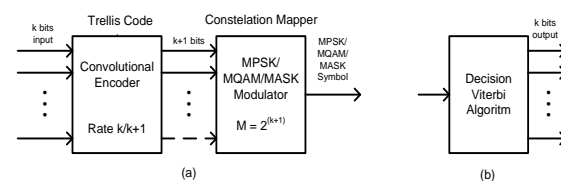
TCM merupakan skema kombinasi dari pengkodean dan modulasi untuk meningkatkan ketahanan dari sistem transmisi digital. Dalam lingkungan yang *bandwidth-limited*, penaikkan efisiensi dalam pemakaian frekuensi

dapat diperoleh dengan memilih orde yang lebih tinggi dari skema modulasi, tetapi daya sinyal yang lebih besar akan dibutuhkan untuk mempertahankan pemisahan sinyal yang sama dan untuk menyebabkan *error probability* yang sama. Representasi TCM seperti pada Gambar 2 terdiri atas:



Gambar 1. Blok Diagram TCM-SM

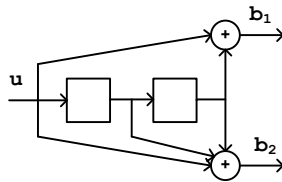
1. *Binary convolution code*, dimana mempunyai k biner input $b_i^{(1)}, b_i^{(2)}, \dots, b_i^{(k)}$ dan n biner output $c_i^{(1)}, c_i^{(2)}, \dots, c_i^{(n)}$. Jumlah memori (v) dari *encoder* menentukan jumlah *state*, dimana jumlah *state* adalah 2^v .
2. Bagian modulator, dimana bersifat *memoryless* dan terhubung dengan biner n *output convolution encoder*. k bit input dikodekan dengan convolutional encoder dengan rate $k/(k + 1)$, sehingga $(k+1)$ codeword dimappingkan pada konstelasi symbol MPSK, MQAM atau MASK dengan nilai $M = 2^{(k+1)}$. Jika $k = 1$ maka laju pengkodean adalah $1/2$ dan codeword akan disimbolkan dengan menggunakan mapping QPSK atau QAM.
3. Di penerima deteksi untuk TCM menggunakan algoritma *soft decision viterbi* yang berdasarkan minimum *euglidean distance*



Gambar 2. Blok Diagram TCM

Convolutional Encoder

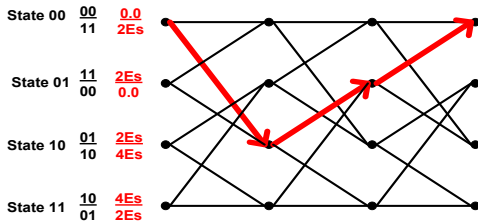
Kode konvolusional dibangkitkan dengan cara melewati deret bit informasi pada sebuah shift register. Data masukan enkoder diasumsikan berupa digit biner, dan diumpankan ke *shift register* sebanyak k bit dalam satu waktu. Jumlah bit keluaran untuk setiap k -bit masukan adalah n -bit. Dengan demikian berarti laju kode adalah $R_c = k/n$. Gambar 3 menunjukkan kode konvolusional dengan $R = 1/2$ dengan generator $[5,7]_{\text{octal}}$ atau $[101\ 111]$.



Gambar 3. Kode konvolusional dengan R = 1/2

Coding Gain TCM [8]

Gambar 4 merupakan diagram trellis untuk generator convolutional encoder pada Gambar 3 yang kemudian dimappingkan pada QPSK. Nilai d_{free}^2 TCM ditentukan dengan memilih jarak minimum dari perubahan state 00 kembali ke 00 yang berdasarkan pada Gambar 4. Untuk Gambar 4 nilai d_{free}^2 -nya yaitu dengan menjumlahkan nilai bobot dari state 00 ke state 10 lalu ke state 01 dan kembali ke state 00. Sehingga diperoleh nilai d_{free}^2 sebesar $6E_s$.



Gambar 4. Diagram trellis untuk TCM 1/2

Untuk menentukan nilai coding gain yang dapat diberikan oleh TCM dapat ditentukan berdasarkan pers (1). $d_{free}^2/coded$ merupakan nilai d_{free}^2 TCM dan $d_{min}^2/uncoded$ merupakan nilai minimum dari konstelasi uncoded, dimana untuk TCM 1/2 dibandingkan terhadap kuadrat jarak minimum dari konstelasi BPSK.

$$\gamma = \frac{d_{free}^2/coded}{d_{min}^2/uncoded} \frac{E_s/coded}{E_s/uncoded} \tag{1}$$

Berdasarkan pers (1) maka untuk 4 state TCM 1/2 diperoleh coding gain 1.76 dB, artinya sistem TCM dapat memberikan perbaikan kinerja 1.76 dB lebih baik dibandingkan dengan modulasi tanpa pengkodean pada kanal AWGN.

Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan generator polinomial yang diusulkan Knud J.Larsen [9] untuk TCM 1/2 dan oleh Ungerboeck [8] untuk generator pada TCM 2/3.

Tabel.1 Generator dan d_{free}^2 untuk TCM 1/2 [7]

V	Generator Polinomial	d_{free}^2	Coding Gain
2	$G(D) = \begin{bmatrix} D^2 + 1 \\ D^2 + D + 1 \end{bmatrix}$	6	1.76 dB
3	$G(D) = \begin{bmatrix} D^3 + D + 1 \\ D^3 + D^2 + D + 1 \end{bmatrix}$	8	3 dB
4	$G(D) = \begin{bmatrix} D^4 + D + 1 \\ D^4 + D^3 + D^2 + 1 \end{bmatrix}$	12	4.77 dB
5	$G(D) = \begin{bmatrix} D^5 + D^3 + D^2 + D + 1 \\ D^5 + D^4 + D^3 + D^2 + 1 \end{bmatrix}$	14	5.44 dB

Tabel.2 Generator dan d_{free}^2 untuk TCM 2/3 [8]

v	Generator Polinomial	d_{free}^2	Coding Gain
2	$G(D) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & D^2 + 1 & D \end{bmatrix}$	4	3 dB
3	$G(D) = \begin{bmatrix} D & 1 & 0 \\ 1 & D^2 & D \end{bmatrix}$	4.58	3.6 dB
4	$G(D) = \begin{bmatrix} D^2 + D & 1 & 0 \\ 1 & D^2 & D \end{bmatrix}$	5.17	4.1 dB

3. Konstelasi Antena

Pada SM informasi antena pengirim sangat penting karena posisi antena mengandung nilai bit informasi. Pada TCM-SM konstelasi antena dipilih berdasarkan indexes yang telah ditetapkan pada awal perancangan. Misalkan untuk MIMO dengan jumlah antena pengirim 4 dimappingkan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Indexes Antenna

$p_1 = [a_1 \ a_2]$	Antena	Index
[0 0]	1	[1 0 0 0]
[0 1]	2	[0 1 0 0]
[1 0]	3	[0 0 1 0]
[1 1]	4	[0 0 0 1]

4. SM Mapper dan SM Demapper

SM mapper berfungsi untuk memasang antara konstelasi antena yang telah ditentukan untuk mengirimkan sinyal dengan konstelasi sinyal yang akan dikirimkan. Sedangkan SM demapper berfungsi kebalikan, dimana SM demapper memisahkan hasil deteksi detector ML yang berupa prediksi informasi antena pengirim dan prediksi informasi sinyal yang dikirimkan.

5. Detektor MIMO

Untuk deteksi digunakan detector MIMO maximum likelihood [5].

$$[j_{ML}, \hat{q}_{ML}] = \underset{j,q}{\operatorname{argmax}} pY(y|x_j, H) = \underset{j,q}{\operatorname{argmin}} \sqrt{\rho} \|g_{jq}\|_F^2 - 2 \operatorname{Re}\{y^H g_{jq}\} \tag{2}$$

Dimana j menunjukkan antena pengirim, q adalah sinyal yang dikirimkan dan H adalah kanal wireless MIMO sehingga $g_{jq} = h_j x_q$, $1 \leq j \leq N_t$, $1 \leq q \leq M$ dan $pY(y|x_{jq}, H) = \pi^{-N_r} \exp(-\|y - \sqrt{\rho} H x_{jq}\|_F^2)$ merupakan PDF dari y pada kondisi x_{jq} dan H .

6. Kanal Propagasi Wireless MIMO

a. Kanal Flat Fading

Kanal Rayleigh menggambarkan penerimaan sinyal yang berfluktuasi akibat diterimanya beberapa sinyal dengan selubung atau fasa yang berbeda. Bila jalur-jalur sinyal yang diterima begitu banyak, maka dapat digunakan teorema limit sentral di mana sinyal yang diterima bisa dimodelkan sebagai proses acak Gaussian.

Jika dianggap proses acak Gaussian dengan mean nol, maka selubung sinyal yang diterima pada waktu tertentu akan terdistribusi secara Rayleigh. Pemodelan kanal ini disebut kanal Rayleigh. Pada [11] kanal Rayleigh dengan delay sama dengan nol disebut juga dengan kanal flat fading.

$$H(t) = \alpha_I(t) + \alpha_Q(t) \tag{3}$$

dimana :

$$\alpha_I(t) = \sum_i \alpha_i(t) \cos \theta_i(t)$$

$$\alpha_Q(t) = \sum_i \alpha_i(t) \sin \theta_i(t)$$

dimana :

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c \tau_i(t)$$

Dimana $H(t)$ merupakan matrik kanal wireless, τ merupakan waktu delay dan α_i merupakan factor redaman. Untuk perhitungan secara statistical maka $\alpha_I(t)$ dan $\alpha_Q(t)$ diasumsikan terdistribusi random independent dan identically distributed (iid) [10].

b. Kanal Fading Rician

Rician fading termasuk ke dalam *small scale fading*. *Small scale fading* disebabkan oleh daya yang sampai ke penerima terdiri dari beberapa gelombang pantul yang masing-masing memiliki amplitud dan fasa yang saling independent. Distribusi Rician terjadi jika terdapat komponen sinyal dominant dalam pengiriman informasi, dengan kata lain, antara pengirim dan penerima terdapat sinyal *line of sight* (LOS).

$$H_{Rician} = \sqrt{\frac{K}{1+K}} \bar{H} + \sqrt{\frac{K}{1+K}} H \tag{4}$$

Dimana \bar{H} merupakan komponen LOS, H komponen fading dan K adalah faktor Rician yang merupakan perbandingan energy komponen LOS terhadap energi komponen multipath.

7. Soft Decision Viterbi

Viterbi decoding algorithm ditemukan dan dianalisis oleh Viterbi. Proses dekoding dilakukan dengan menghitung jarak *metric hamming* (*hamming distance*) untuk *hard decision decoding*, dan dapat berupa *metric euclidean* (*euclidean distance*) untuk *decoding* secara *soft decision*.

Dekoder *viterbi* bekerja berdasarkan prinsip *maximum likelihood decoding* dan pengetahuan akan diagram *trellis* enkoder di pengirim. Proses deteksi disusun dari tiga sub sistem yaitu *transition metric unit* (TMU), *add compare*

and select unit (ACSU) dan *survivor memory unit* (SMU). Pada TMU setiap simbol yang diterima dilakukan proses penghitungan nilai *branch metric*. Pada tahap ACSU setiap state pada setiap t melalui melewati *forward pass* dan akan melakukan proses: *Add* menghitung nilai *metric* untuk setiap percabangan dengan menjumlahkan nilai *metric* disetiap percabangan dengan nilai *metric* darimana path tersebut berasal; *Compare* : Menandai nilai *metric* percabangan yang terkecil untuk setiap nilai t ; *Select* : menyimpan nilai *metric* terkecil sebagai *survivor*. SMU akan menyimpan nilai *survivor* yang dihasilkan oleh ACSU untuk digunakan pada saat rekonstruksi bit informasi hasil proses dekoding.

III. PROBABILITAS KESALAHAN TCM-SM

3.1 Probabilitas Kesalahan pada TCM

Untuk kesalahan pendeteksian sinyal dapat didasarkan pada propabilitas kesalahan bit untuk transmisi TCM. Pers (5) merupakan probabilitas kesalahan untuk transmisi TCM pada kanal AWGN dan pers (6) merupakan *tighter bound* untuk probabilitas kesalahan bit TCM yang diturunkan dari Bhattacharyya bound [9]

$$P_b \leq \frac{1}{m} \cdot \frac{\partial T(D, I)}{\partial I} \Big|_{I=1, D=e^{-\frac{1}{4N_0}}} \tag{5}$$

$$P_b \leq \frac{1}{2m} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{d_{free}^2}{4N_0}} \right) \cdot e^{\frac{d_{free}^2}{4N_0}} \cdot \frac{\partial T(D, I)}{\partial I} \Big|_{I=1, D=e^{-\frac{1}{4N_0}}} \tag{6}$$

$T(D, I)$ merupakan fungsi transfer dari generator convolutional yang digunakan dan m menunjukkan jumlah bit input pada TCM. Untuk menentukan fungsi transfer maka terlebih dulu ditentukan nilai *error weight profile* berdasarkan pers (7).

$$\mathcal{F}(\mathbf{e}_i, D) = \frac{1}{2^m} \sum_{\mathbf{c}_i = \mathbf{c}_i^{(k)}} D^{d_E^2[\mathcal{M}(\mathbf{c}_i), \mathcal{M}(\mathbf{c}_i \oplus \mathbf{e}_i)]} \tag{7}$$

$d_E^2[\mathcal{M}(\mathbf{c}_i), \mathcal{M}(\mathbf{c}_i \oplus \mathbf{e}_i)]$ merupakan jarak yang didapatkan dengan mapping *one by one* yang berdasarkan pada *set partitioning* sesuai dengan *mapping* yang digunakan. Untuk transmisi pada kanal fading maka nilai *error weight profile* disesuaikan sesuai dengan kanal fading yang digunakan. Pers (8) adalah *error weight profile* untuk kanal Rayleigh. Jika kanal diketahui dengan sempurna di penerima maka digunakan yang *channel state information* (CSI) dan jika informasi kanal tidak diketahui maka dipilih non CSI.

$$f(\delta_i^2) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \delta_i^2 / 4N_0} & , \text{CSI} \\ e^{-\frac{\delta_i^2}{4N_0}} \left[1 - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc} \left(\frac{\lambda \delta_i^2}{2N_0} \right) e^{\frac{\lambda \delta_i^2}{2N_0}} \cdot \frac{\lambda \delta_i^2}{2N_0} \right] & , \text{non CSI} \end{cases} \tag{8}$$

Jika kanal yang digunakan adalah kanal Rician maka nilai *error weight profile* adalah

$$f(\delta_i^2) = \frac{1+K}{1+K + \delta_i^2 / 4N_0} \exp \left(-\frac{K \delta_i^2 / 4N_0}{1+K + \delta_i^2 / 4N_0} \right) \quad , \text{CSI}$$

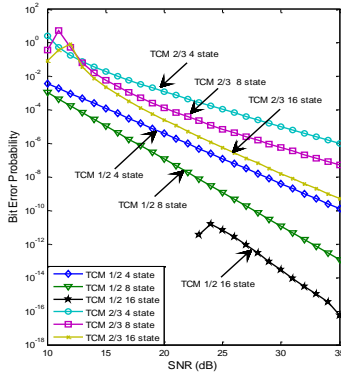
$$f(\delta_i^2) = \frac{e^{-K + \lambda^2 \delta_i^2 / 4N_0}}{\pi} \int_0^\pi (1 - \sqrt{\pi} \operatorname{erfc}(v) e^{\lambda^2 v}) d\theta \quad , \text{non CSI} \tag{9}$$

Dimana K merupakan factor Rician dan nilai

$$v = \frac{\lambda \delta_t^2 / 4N_0}{\sqrt{1+K}} - \sqrt{K} \cos \theta \quad (10)$$

Untuk kanal fading probabilitas kesalahan bit TCM dapat ditentukan dengan [9]:

$$\frac{P_{e,TCM}}{1 - \frac{\partial T(D,I)}{\partial I}} \leq \quad (11)$$



Gambar 5. Kinerja TCM pada kanal Rayleigh

3.2 Probabilitas Kesalahan pada TCM -SM

Seperti pada SM [6], detektor MIMO yang digunakan pada TCM-SM adalah deteksi dengan menggunakan Maximum Likelihood sesuai dengan pers (2). Dengan menggunakan *union bound* diturunkan persamaan probabilitas kesalahan bit untuk TCM-SM pada kanal flat fading [5]:

$$P_{e,bit} \leq \sum_{j=1}^{N_t} \sum_{q=1}^M \sum_{j=1}^{N_t} \sum_{\hat{q}=1}^M \frac{N(q, \hat{q}) P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}})}{N_t M} \quad (12)$$

$$\leq \sum_{j=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} \frac{1}{N_t} \sum_{q=1}^M \sum_{\hat{q}=1}^M \frac{N(q, \hat{q})}{M} P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}}) \quad (13)$$

Dimana $N(q, \hat{q})$ merupakan jumlah bit yang salah antara symbol x_q dan $x_{\hat{q}}$ dan $P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}})$ menunjukkan *pairwise error probability* (PEP) untuk konstelasi vector $x_{j\hat{q}}$ yang diterima pada saat x_{jq} yang dikirim.

Pers (13) menunjukkan probabilitas kesalahan bit dipengaruhi oleh jumlah antena pengirim, orde modulasi yang digunakan dan *pairwise* kesalahan untuk konstelasi jq . Probabilitas kesalahan pada TCM seperti pada pers (11) sudah mengandung nilai kesalahan pada kanal fading yang digunakan, sehingga:

$$\sum_{q=1}^M \sum_{\hat{q}=1}^M \frac{N(q, \hat{q})}{M} \approx \frac{1}{M} \frac{P_{e-TCM}}{\mu_\alpha} \quad (14)$$

Dengan mensubstitusikan pers (14) terhadap pers (13) maka probabilitas kesalahan

$$P_{e,TCM-SM} \leq \sum_{j=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_t} \frac{1}{N_t} \cdot \frac{1}{M} \frac{P_{e-TCM}}{\mu_\alpha} \cdot P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}})$$

$$\leq \frac{1}{\mu_\alpha M} N_t P_{e-TCM} P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}}) \quad (15)$$

Pairwise error probability dihitung dengan :

$$P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}}|H) = P(d_{jq} > d_{j\hat{q}}|H) = Q(\kappa) \quad (16)$$

Dimana $d_{jq} = (\sqrt{\rho} \|g_{jq}\|_F^2 - 2Re\{y^H g_{jq}\})$ dan

$$Q(x) = \int_x^\infty \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \text{ dan } \kappa \triangleq \frac{\rho}{2} \|g_{jq} - g_{j\hat{q}}\|_F^2 = \sum_{n=1}^{N_r} |A(n) + B(n)|^2 \quad (17)$$

Dimana $i = \sqrt{-1}$ dan

$$A(n) = \sqrt{\frac{\rho}{2}} (h_{n_j}^R x_q^R - h_{n_j}^I x_q^I - h_{n_j}^R x_{\hat{q}}^R + h_{n_j}^I x_{\hat{q}}^I)$$

$$B(n) = \sqrt{\frac{\rho}{2}} (h_{n_j}^R x_q^I + h_{n_j}^I x_q^R - h_{n_j}^R x_{\hat{q}}^I - h_{n_j}^I x_{\hat{q}}^R) \quad (18)$$

Sehingga untuk PEP didapatkan :

$$P(x_{jq} \rightarrow x_{j\hat{q}}) = \mu_\alpha^{N_r} \sum_{k=0}^{N_r-1} \binom{N_r-1+k}{k} [1 - \mu_\alpha]^k \quad (19)$$

Dimana :

$$\mu_\alpha = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\sigma_a^2}{1 + \sigma_a^2}} \right) \quad (20)$$

Sehingga probabilitas kesalahan TCM-SM dapat dihitung dengan mensubstitusikan pers (2) pada (19) dan mensubstitusikannya pada pers (15).

IV. HASIL SIMULASI

3.1 Parameter Simulasi

Kinerja TCM-SM dilihat dengan membandingkan terhadap kinerja SM dan TCSM [6]. Jumlah bit yang ditransmisikan adalah 3, 4 dan 5 dengan mapping bit untuk setiap sistem sesuai dengan Tabel.4. Untuk permodelan kanal Rician dimodelkan berdasarkan [20]. Faktor K pada kanal Rician digunakan adalah 3 dB sesuai dengan nilai K yang diusulkan untuk lingkungan indoor [22]. Index antena untuk MIMO 4x4 berdasarkan tabel 3.

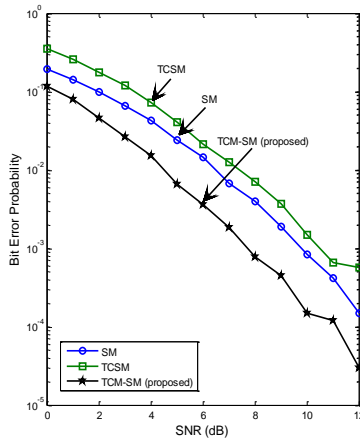
Sistem	3 bit		4 bit		5 bit	
	An-tena	Sinyal	An-tena	Sinyal	An-tena	Sinyal
TCM-SM	2 bit	1 bit (TCM 1/2)	2 bit	2 bit (TCM 2/3)	3 bit	2 bit (TCM 2/3)
TCSM	1 bit (TCM 1/2)	2 bit (TCM 1/2) QPS K	1 bit (TCM 1/2)	3 bit (TCM 2/3) 8PS K	2 bit (TCM 2/3)	3 bit (TCM 2/3) 8PS K
SM	2 bit	1 bit BPS K	2 bit	2 bit QPS K	3 bit	2 bit QPS K

3.2 Hasil dan Analisa

Gambar 6 merupakan perbandingan kinerja TCM-SM terhadap SM dan TCSM pada kanal flat fading. TCM-SM dapat memberikan perbaikan kinerja 2 dB terhadap SM

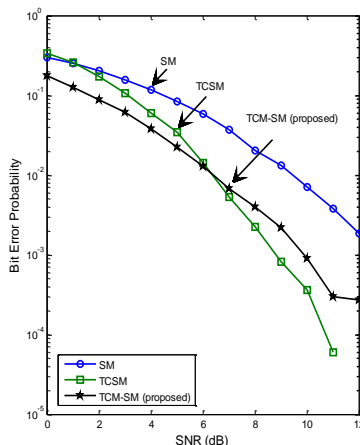
dan 2.5 dB terhadap TCSM untuk pentransmisi 3 bit perwaktu transmisi untuk probabilitas kesalahan bit SM 10^{-3} .

Gambar 7 merupakan perbandingan kinerja SM, TCSM dan TCM-SM pada kanal Rician. Untuk SNR kecil (< 6 dB) kinerja TCM-SM lebih baik dibandingkan TCSM maupun SM, namun untuk SNR lebih besar (> 6 dB) TCSM dapat menunjukkan perbaikan kinerja. TCSM memberikan perbaikan kinerja 1 dB terhadap TCM-SM dan sekitar 3 dB terhadap SM untuk probabilitas kesalahan bit SM 10^{-3} .



Gambar 6. Perbandingan kinerja untuk 3 bit pada kanal flat fading Rayleigh

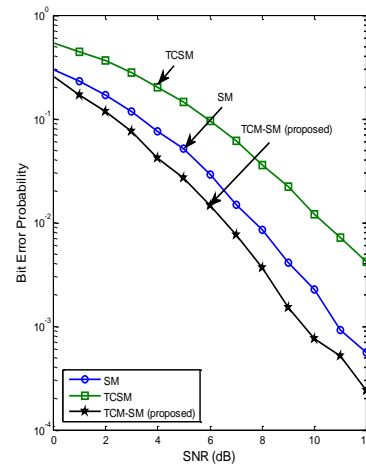
Secara umum kinerja SM pada kanal Rician (*strong correlated channel*) akan mengalami penurunan dibandingkan pada kanal flat fading Rayleigh [6]. Untuk mengatasinya diperkenalkan TCSM dengan menggunakan TCM untuk konstelasi antenna sehingga sistem SM lebih compatible di kanal Rician. Dengan membandingkan Gambar 6 dan Gambar 7, dapat dilihat bahwa SM pada kanal Rician mengalami penurunan kinerja dan TCSM sebaliknya di kanal Rician mengalami perbaikan kinerja.



Gambar 7. Perbandingan kinerja untuk 3 bit pada kanal fading Rician

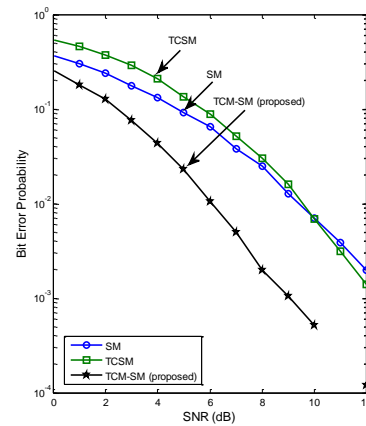
Gambar 8 menunjukkan perbandingan kinerja terhadap TCSM dan SM pada kanal flat fading Rayleigh. TCM-SM dapat memberikan perbaikan kinerja 1.5 dB terhadap SM dan lebih besar dari 3 dB terhadap TCSM untuk

pentransmisi 4 bit perwaktu transmisi untuk probabilitas kesalahan bit SM 10^{-3} .

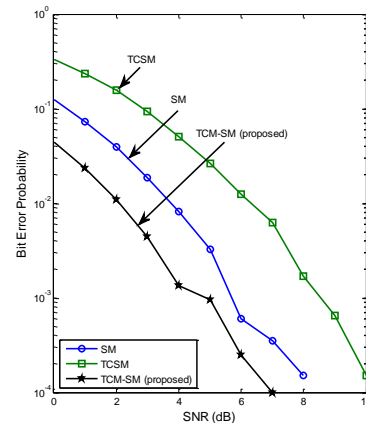


Gambar 8. Perbandingan kinerja untuk 4 bit pada kanal flat fading Rayleigh

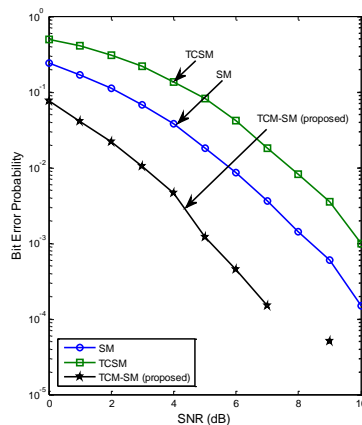
Gambar 9 menunjukkan perbandingan kinerja TCM-SM terhadap TCSM dan SM pada kanal Rician. Untuk transmisi 4 bit pada kanal Rician TCM-SM dapat memperbaiki kinerja SM dengan memberikan perbaikan kinerja lebih besar dari 3 dB terhadap SM dan dan 3 dB terhadap TCSM untuk probabilitas kesalahan bit SM 10^{-3} pada kanal Rician.



Gambar 9. Perbandingan kinerja untuk 4 bit pada kanal fading Rician



Gambar 10. Perbandingan kinerja untuk 5 bit pada kanal flat fading Rayleigh



Gambar 11. Perbandingan kinerja untuk 5 bit pada kanal fading Rician

Gambar dan Gambar 10 merupakan perbandingan kinerja TCM-SM pada kanal flat fading Rayleigh dan kanal fading Rician dengan jumlah bit yang ditransmisikan adalah 5 bit tiap waktu transmisi. Dari Gambar 6 – 11 TCM-SM menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan TCSM dan SM baik pada kanal flat fading Rayleigh maupun kanal fading Rician.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan, simulasi, dan analisa TCM-SM untuk MIMO pada kanal flat fading Rayleigh dan kanal fading Rician,

1. Simulasi dilakukan berdasarkan perancangan dan disimulasikan dengan
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja TCM-SM pada kanal flat fading Rayleigh maupun pada kanal fading Rician memberikan memiliki kinerja yang lebih baik terhadap SM maupun TCSM[6]. Untuk transmisi 4 bit perwaktu transmisi pada kanal flat fading, TCM-SM dapat memberikan perbaikan kinerja 1.5 dB terhadap SM dan lebih besar dari 3 dB terhadap TCSM pada probabilitas kesalahan bit 10^{-3} dan untuk kanal Rician TCM-SM dapat memperbaiki kinerja SM dengan memberikan perbaikan kinerja lebih besar dari 3 dB terhadap SM dan dan 3 dB terhadap TCSM untuk probabilitas kesalahan bit 10^{-3} .
3. Untuk pentransmisi dengan jumlah bit yang sama maka kinerja TCM-SM akan lebih baik untuk orde modulasi sinyal yang lebih kecil. Demikian juga dengan pentransmisi sinyal pada konstelasi antena yang sama, maka kinerja lebih baik dicapai untuk orde modulasi yang lebih kecil.
4. Jika SM mengalami penurunan kinerja pada *correlated channel* seperti pada kanal Rician dan diatasi dengan TCSM sehingga di kanal Rician SM memiliki kinerja lebih baik, maka TCM-SM dengan menggunakan konstelasi sinyal *coded* dapat

memberikan solusi SM untuk kanal flat fading Rayleigh maupun kanal fading Rician.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siavash M. Alamouti, Vahid Tarokh dan Patrick Poon, “Trellis Coded Modulation and Transmit Diversity : Design Criteria and Performance Evaluation”, IEEE, 1998.
- [2] André Neubauer, Jürgen Freudenberger, dan Volker Kühn, “Coding Theory”, John Wiley&Sons,LTd, 2007
- [3] R. Mesleh, H. Haas, C. W. Ahn, and S. Yun, “Spatial modulation—a new low complexity spectral efficiency enhancing technique,” in *Proc. Conf. Comm. and Networking in China*, Oct. 2006.
- [4] R. Mesleh, H. Haas, Sinan Sinanovic, and Chang Wook Ahn, “Spatial Modulation”,IEEE Trans Vehicular Tech, vol. 57, No. 4, July 2008.
- [5] Jeyadeepan Jeganathan, Ali Ghayeb, dan Leszek Szczecinski, “ Spatial Modulation : Optimal Detection and Performance Analysis”, IEEE Comm., vol. 12, no 8, August 2008.
- [6] R. Mesleh, Marco Di Renzo, Harald Haas and Peter M. Grant, “Trellis Coded Spatial Modulation”, IEEE Trans Wireless Com, Vol. 9, No. 7, July 2010.
- [7] Abdelhamid Younis, Marco Di Renzo, R.Mesleh, dan Harald Haas, “Sphere Decoding for Spatial Modulation”, IEEE,2011
- [8] Gottfried Ungerboeck, “Channel Coding with Multilevel/Phase Signals”, IEEE Transaction on Information Theory, Januari 1982.
- [9] Knud J. Larsen, “Short Convolutional Codes With Maximal Free Distance for rates 1/2, 1/3, and 1/4”, IEEE Trans on Inf Theory, May 1973 .
- [10] S. H. Jamali, T. Le-Ngoc, “Coded-Modulation Technique for Fading Channels”, Boston, U. S. A., Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [11] Gunawan Wibisono, “Studies on Performance of Trellis Coded MPSK Modulations on Fading Channels”, Dissertation, Keio University, Japan, 1998.
- [12] Marco Di Renzo, Harald Haas, Peter M. Grant, “Spatial Modulation for Multiple-Antenna Wireless Systems”, IEEE Communications Magazine, December 2011.
- [13] Jacob Sharony, “Introduction to Wireless MIMO – Theory and Applications”, IEEE LI, November, 2006.
- [14] Gunawan Wibisono, dan Lydia Sari, “Teknik pengkodean Sistem komunikasi Dijital”, Rekayasa Sains Bandung, 2011.
- [15] Dariush Divsalar, Marvin K. Simon, dan Joseph H. Yuen, “Trellis Coding with Asymmetric

- Modulation”, IEEE Trans on Communication Vol. 35 No. 2, Februari 1987.
- [16] Abdelhamid Younis, R. Mesleh, Harald Haas, and Petere M. Grant, “Reduced Complexity Sphere Decoder for Spatial Modulation Detection Receivers”, IEEE, 2010.
- [17] KarenSu, “Efficient Maximum Likelihood Detection for Communication Over Multiple Input Multiple Output Channels”, Cambridge University Engineering Department, 2005.
- [18] Rodger E.Ziemer, Roger L.Peterson, “Introduction Digital Communication”, Prentice Hall International, 2001.
- [19] Proakis, “Digital Communication”, McGraw-Hill Inc, 1995.
- [20] Chengshan Xiao, Yahong R. Zheng, Norman C. Beaulieu, “Statistical Simulation Models for Rayleigh and Rician Fading”, IEEE, 2003.
- [21] Mohamed-Slim Alouini, Andrea J. Goldsmith, “ A Unified Approach for Calculating Error Rates of Linearly Modulated Signals over Generalized Fading Channels”, IEEE Trans vol. 47, no. 9, September 1999.
- [22] M. Carroll and T. Wysocki, “Fading characteristics for indoor wireless channels at 5GHz unlicensed bands,” in *Proc. IEEE Joint First Workshop on Mobile Future and Symposium on Trends in Communications (SympoTIC'03)*, Bratislava, Slovakia, Oct. 2003,

Analisa Compact Wireless Power Transfer (CWPT) menggunakan Metode Magnetic Resonator Coupling

Bambang Sudibya¹, Wiyono², Siswo Wardoyo³, Teguh Firmansyah⁴

¹Sekolah Tinggi Teknologi Adisucipto. Yogyakarta. Indonesia.

²Akademi Teknologi Warga Surakarta. Indonesia.

^{3,4}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon, Indonesia.

¹Email: sudibyo_martono@yahoo.co.id

Abstrak –Magnetic Resonator Coupling banyak dipergunakan untuk berbagai aplikasi Wireless Power Transfer (WPT). Pada penelitian ini berhasil dirancang WPT dengan tegangan sebesar 5 V. Jika Tx dan Rx diposisikan saling berhadapan, tegangan maksimum 4,7 volt pada jarak 1 cm. Sementara itu, jika Tx dan Rx diposisikan berdampingan, tegangan yang dihasilkan dari 3.5V.

Kata kunci : WPT, Tx, Rx

Abstract – *Magnetically coupled coils have been widely used for a variety of applications requiring contactless or wireless power transfer (WPT). In this paper, the wireless power transfer (WPT) using Magnetic Resonator Coupling. In this study successfully designed WPT with a voltage to 5 volts. To be able to transmit power is wireless resonator coupling methods used. If the Tx and Rx is positioned to face each other, a maximum voltage of 4.7 volts at a distance of 1 cm. Meanwhile, if the Tx and Rx positioned side by side, the resulting voltage of 3.5V.*

Keywords : WPT, Tx, Rx

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama manusia. Semakin kompleksnya kebutuhan manusia terhadap berbagai jenis perangkat listrik, mulai dari *smart-phone* sampai dengan perangkat rumah tangga, mengakibatkan kebutuhan kabel listrik (*wire*) untuk penghubung catu daya meningkat. Menurut (Meyer : 2010), kabel listrik (*wire*) adalah sebuah media yang digunakan menyalurkan daya listrik ke berbagai tempat. Kabel listrik terdiri dari pembungkus kabel (*isolator*) berbahan karet dan penghantar listrik (*konduktor*) yang terbuat dari bahan tembaga.

Meningkatnya penggunaan kabel listrik (*wire*) dapat meningkatkan biaya pengeluaran. Selain itu, yang paling berbahaya, penggunaan kabel listrik (*wire*) sebagai penghubung catu daya secara berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya hubungan arus-pendek (*short-circuit*) yang dapat menyebabkan kebakaran. Ketergantungan manusia terhadap penggunaan kabel listrik sebagai penghubung perangkat listrik terhadap catu daya, mendorong penelitian ini untuk mencari solusi agar dapat mentransmisikan power secara nirkabel (*wireless*), sehingga dapat lebih efisien dan efektif.

Di dunia penelitian, sebuah perangkat yang mampu memiliki kemampuan mentransmisikan daya listrik nirkabel dinamakan *wireless power transfer* (WPT). Secara istilah WPT didefinisikan sebagai suatu sistem pengiriman daya listrik, dimana daya listrik tersebut ditransmisikan dari suatu sumber listrik menuju ke beban listrik tanpa melalui suatu konduktor (biasanya berupa kabel) melainkan secara nirkabel (*wireless*). Fokus utama penelitian yaitu meniadakan keberadaan kabel sebagai konduktor, sehingga sistem yang baru ini dapat lebih praktis dan efisien dimana keberadaan kabel yang

terkadang menyulitkan dalam instalasi dan memiliki harga yang cukup mahal dapat diminimalisasi bahkan dihilangkan.

Keunggulan yang akan diperoleh dari penggunaan WPT diantaranya menjadikan sebuah perangkat listrik lebih sederhana, mudah dipergunakan (tidak memerlukan pertukaran baterai), ramah lingkungan, sangat aman, dan lebih murah. Metode transmisi power secara nirkabel (*wireless*), terdiri dari 2 jenis yaitu menggunakan gelombang radio dan menggunakan prinsip *coupling* magnetik :

a. Gelombang radio (*Mirowave*)

Seperti dikemukakan (Meyer : 2010), gelombang radio dikenal efektif dalam mentransmisikan informasi (berupa suara/data) tetapi akan sangat buruk jika digunakan untuk mentransmisikan daya listrik secara nirkabel (*wireless*). Hal ini karena radiasi yang dihasilkan oleh gelombang radio menyebar ke segala arah sehingga akan banyak daya yang terbuang percuma ke udara daripada daya yang sampai ke penerima.

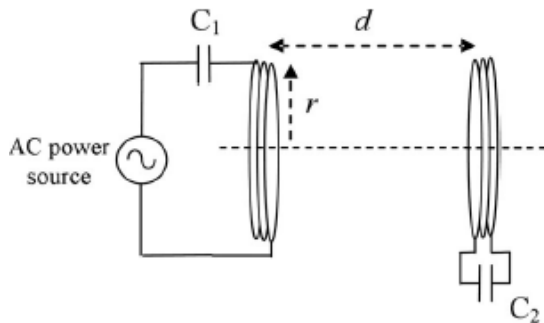
b. Prinsip *coupling* magnetik

Menurut (Meyer : 2010), prinsip *coupling* magnetik dilakukan dengan merubah daya listrik menjadi gelombang magnet. Melalui gelombang magnet inilah power dari catu daya ke perangkat penerima dikirimkan secara nirkabel (*wireless*). Setelah sampai pada sisi penerima, gelombang magnet tersebut kemudian dirubah kembali menjadi daya listrik. Penggunaan prinsip ini memungkinkan terjadinya transfer daya listrik secara nirkabel (*wireless*) meskipun terdapat penghalang antara pemancar dan penerima, sehingga mudah diterapkan dimanapun dan sangat efektif serta efisien.

II. KAJIAN LITERATUR

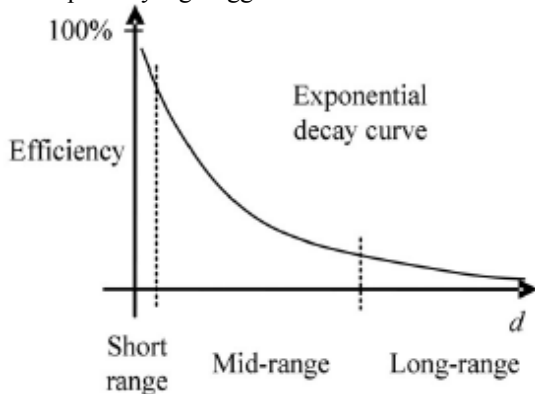
Magnetic resonators merupakan salah satu metode *Wireless Power Transfer* (WPT) atau transfer daya

nirkabel. Sebuah resonator magnetis dapat diperoleh dengan menggabungkan sebuah kumparan dan sebuah kapasitor. Menurut (Ki Young Kim : 2009), resonator ini pertama kali dipergunakan oleh Nikola Tesla untuk transfer daya nirkabel. Percobaan Nikola Tesla tersebut mempergunakan dua buah resonator magnetis yang digabungkan dan dijadikan sebagai unit pengirim (*transmitter*) dan unit penerima (*receiver*) seperti terlihat pada Gambar 1. Melalui percobaan ini, Nikola Tesla menunjukkan bahwa transfer daya nirkabel yang optimum terjadi saat resonator berada pada frekuensi resonansinya.



Gambar 1. Percobaan Nikola Tesla untuk transfer daya nirkabel (Ki Young Kim : 2009)

Sementara itu, (Chi Kwan : 2012) telah berhasil menunjukkan kurva karakteristik efisiensi transfer daya nirkabel terhadap jarak, terlihat pada Gambar 2.2. Semakin jauh jarak antara unit pengirim (*transmitter*) dan unit penerima (*receiver*), maka nilai efisiensi akan berkurang secara eksponensial, atau dengan kata lain terjadi loss power yang tinggi.



Gambar 2. Kurva karakteristik efisiensi transfer daya nirkabel (Chi Kwan : 2012)

Penelitian (Seung-Hwan Lee : 2011) berhasil membuat model matematik nilai efisiensi transfer daya nirkabel (*wireless*), seperti terlihat pada pers. (2.1) dibawah ini.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R_L}{\omega_0^2 M^2 (1 + \omega_0^2 C_2^2 R_L^2)} R_1 + \frac{R_L}{\omega_0^2 R_2^2} R_2} \tag{2.1}$$

Dari persamaan terlihat bahwa :

R = Resistansi (Ω), C = Kapasistansi (F),

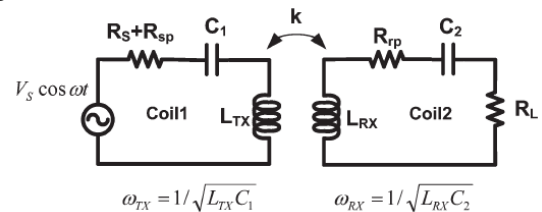
L = Induktansi (H), M = *Mutual coupling* antara

dua buah *magnetic resonator*.

Terlihat dari persamaan yang diusulkan (Seung-Hwan Lee : 2011) bahwa secara tidak langsung nilai efisiensi transfer daya nirkabel berhubungan dengan mutual

coupling (M) dari *magnetic resonator*. Untuk itu, pada penelitian ini diusulkan penggunaan *Multi-Magnetic Resonator*, berfungsi sebagai repeater yang dapat menurunkan *loss magnetik* sehingga meningkatkan efisiensi transmisi. Kemudian ditambahkan penguat yang berguna untuk memperluas jangkauan (*coverage*) area. Salah satu fokus penelitian WPT ini adalah peningkatan efisiensi dengan peningkatan jarak. Penelitian mengenai peningkatan efisiensi WPT ini dilakukan oleh (B. Choi, 2008). Selain itu, beberapa penelitian WPT mulai banyak diterapkan, khususnya pada perangkat dengan aplikasi *low-power*, diantaranya *portable mobile phone charging* (Y. Jang, 2008)-(Y. Hori, 2010) dan *mobile laptop charging* (Dukju Ahn, 2013). Sebagai *state of the art*, pada penelitian ini diusulkan perancangan WPT dengan antenna *loop* yang berbahan aluminium. Penggunaan antenna *loop* ini diharapkan meningkatkan efisiensi transmisi. Sebagai analisa, penelitian ini memaparkan perubahan nilai efisiensi terhadap jarak antara Tx dan Rx

Induksi resonansi magnetik menggunakan *magnetic coupling* merupakan fenomena yang terjadi pada kopling induksi yaitu peristiwa perpindahan energi listrik dari suatu tempat ke tempat lain yang memiliki frekuensi resonansi alami yang sama. Frekuensi resonansi alami dalam hal ini merupakan rangkaian resonator LC yang terdiri dari komponen kapasitif dan induktif. Gambar 3. merupakan sistem umum dari sistem transfer daya listrik tanpa kabel berdasarkan prinsip induksi resonansi magnetik.



Gambar 3. Rangkaian ganti induksi resonansi magnetik (Dukju Ahn, 2013).

Sebagai penghasil sinyal frekuensi resonansi, komponen kapasitif dan induktif saling mengisi energi secara bergantian sehingga menghasilkan sinyal osilasi berfrekuensi tertentu. Sementara itu, rangkaian LC juga berfungsi sebagai penangkap energi dari pemancar berupa sinyal frekuensi resonansi, rangkaian ini terdiri dari rangkaian kombinasi komponen induktif (L) dan kapasitif (C) antara *transmitter* dan *receiver* yang memiliki nilai frekuensi resonansi yang sama sehingga disebut rangkaian resonansi.

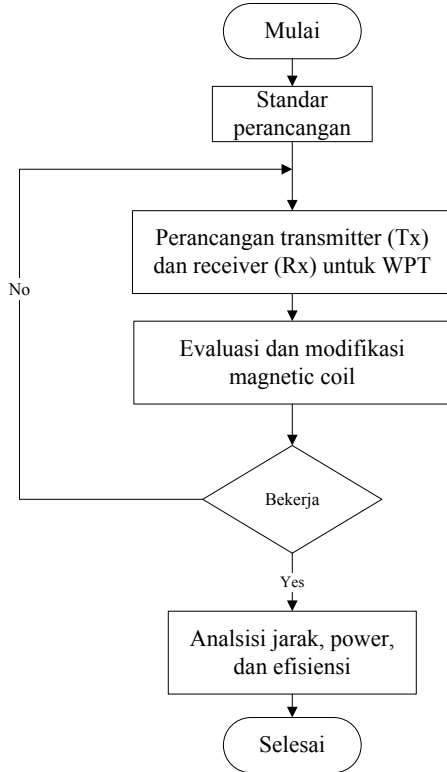
III. METODE PENELITIAN

Metodologi perancangan WPT menggunakan metode *magnetic coupling* dengan antenna *loop* berbahan aluminium ini terlihat pada Gambar 4 dibawah ini.

Berdasarkan teori resonansi gelombang, jika gelombang bergetar diterapkan didekat sistem LC penerima dengan frekuensi getaran yang sama frekuensi resonansi sistem LC penerima tersebut, maka sistem LC penerima tersebut akan ikut bergetar dan menghasilkan energi dalam bentuk gelombang listrik sinusoidal berfrekuensi sama dengan frekuensi resonansi sistem LC

itu dengan amplitude gelombang yang dihasilkan akan mencapai titik maksimum.

Pada saat transmitter dari alat transfer daya tanpa kabel menghasilkan getaran elektromagnetik berfrekuensi tertentu dan terpancar ke ruang sekitar melalui antena transmitter maka beberapa penerima terhubung ke beban yang memiliki frekuensi resonansi yang sama dengan frekuensi dari getaran gelombang magnetik yang dihasilkan oleh transmiter akan terinduksi pada jarak tertentu dan menghasilkan arus ke beban.



Gambar 4. Metode penelitian WPT

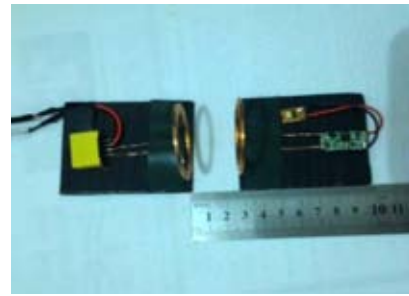
Nilai efisiensi antara *transmitter* dan *receiver* memenuhi persamaan (Dukju Ahn, 2013) :

$$\eta = \frac{R_L |I_2|^2}{(R_S + R_{SP}) |I_1|^2 + (R_L + R_{RP}) |I_2|^2} \tag{1}$$

Selain itu, (Dukju Ahn, 2013) menyebutkan bahwa nilai efisiensi ini akan maksimum saat terjadi frekuensi osilasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip dasar induksi elektromagnetik adalah pada saat arus bolak balik melewati suatu kumparan, disekitar kumparan tersebut akan menghasilkan suatu medan magnet. Jika pada kondisi ini diletakkan suatu kumparan lain di dekat kumparan tersebut, maka medan magnet dari kumparan yang pertama akan timbul juga di sekitar kumparan yang kedua. Ini merupakan alasan kenapa pengiriman energi tanpa kabel dapat terjadi diantara kedua kumparan tersebut. Sama seperti yang telah diuraikan sebelumnya, resonansi bersama adalah suatu keadaan khusus dari pengiriman energi tanpa kabel. Letak dari kekhususannya adalah semua kumparan yang digunakan untuk beresonansi bersama beroperasi pada kondisi resonansi. Hasil perancangan terlihat pada Gambar 5.



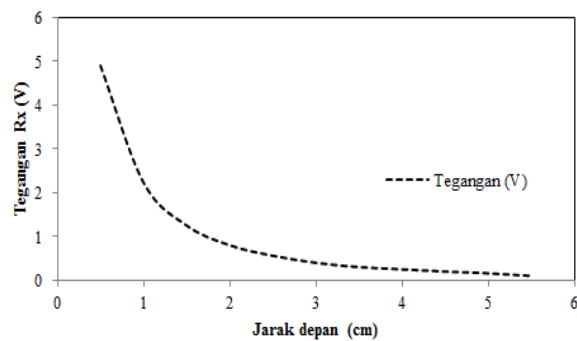
Gambar 5. WPT yang diposisikan berhadapan

Hasil pengukuran terlihat pada Tabel 1. Dibawah ini, semakin jauh maka nilai tegangan akan semakin berkurang bahkan mendekati nilai nol.

Tabel 1. Nilai tegangan terhadap jarak

Jarak (cm)	Tegangan (V)
0.5	4.9
1	2.23
1.5	1.25
2	0.8
2.5	0.56
3	0.4
3.5	0.3
4	0.25
4.5	0.2
5	0.16
5.5	0.1

Pada gambar 6 memperlihatkan nilai tegangan terhadap jarak. Terihat bahwa grafik menunjukan perbandingan terbalik antara jarak dan tegangan.



Gambar 6. Nilai tegangan dan Jarak

Sementara itu pada Gambar 7 memperlihatkan, WPT yang diposisikan bersampingan.



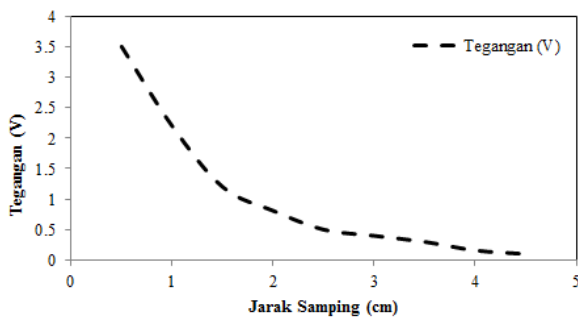
Gambar 6. WPT yang diposisikan bersampingan

Hasil pengukuran terlihat pada Tabel 1. Dibawah ini, semakin jauh maka nilai tegangan akan semakin berkurang bahkan mendekati nilai nol.

Tabel 1. Nilai tegangan terhadap jarak

Jarak (cm)	Tegangan (V)
0.5	3.5
1	2.2
1.5	1.2
2	0.81
2.5	0.5
3	0.4
3.5	0.3
4	0.16
4.5	0.1

Pada gambar 7 memperlihatkan nilai tegangan terhadap jarak. Terlihat bahwa grafik menunjukan perbandingan terbalik antara jarak dan tegangan.



Gambar 7. Nilai tegangan dan Jarak

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa, maka dapat diambil kesimpulan,

1. Rancang bangun rangkaian penerima dalam sistem pengiriman daya listrik tanpa kabel telah berhasil menunjukkan suatu perbaikan dalam hal jarak dan tegangan keluaran.
2. Rangkaian LC pada sisi penerima tidak harus sama dengan atau identik dengan sisi pemancar, akan tetapi harus memiliki nilai frekuensi resonansi yang sama.
3. Frekuensi resonansi pada rangkaian penerima harus didesain agar memiliki besar yang sedikit lebih tinggi dari sisi pemancar.
4. Pada penelitian ini berhasil dirancang WPT dengan tegangan mencapai 5 volt. Untuk dapat mentransmisikan power secara wireless dipergunakan metode resonator coupling. Jika Tx dan Rx diposisikan saling berhadapan, tegangan maksimal sebesar 4.7 volt pada jarak 1 cm. Sedangkan jika Tx dan Rx di posisikan bersampingan, tegangan yang dihasilkan sebesar 3.5v.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Liu and S.Y. R. Hui, "Simulation study and experimental verification of a contactless battery charging platform with localized charging features," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 6, pp. 2202–2210, Nov. 2007.
- [2] Y. Hori, "Future vehicle society based on electric motor, capacitor and wireless power supply," in *Proc. 2010 Int. Power Electron. Conf. (IPEC)*, Sapporo, Japan, Jun. 21–24, pp. 2930–2934.
- [3] K. Sugimori and H. Nishimura, "A novel contactless battery charger for electric vehicles," in *Proc. 29th Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, May. 1998, vol. 1, pp. 559–564.
- [4] Chi Kwan Lee, W. X. Zhong, and S. Y. R. Hui. "Effects of Magnetic Coupling of Nonadjacent Resonators on Wireless Power Domino-Resonator Systems". *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 4, pp. 1905-1916, April 2012.

Kinerja Prototipe Sistem Elektronis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 Untuk Pemantauan Analogi Instalasi Listrik

Arief Goeritno*¹, Ritzkal², Ayumi Johan³

¹ Dosen Tetap (NIDN: 0430016301), Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Otomasi Jurusan/Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

³ Alumni Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

E-mail: arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id

Abstrak –Pada penelitian ini dirancang prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler untuk pemantauan analogi instalasi listrik, berupa sistem terintegrasi dalam satu paket modul berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3. Sistem terintegrasi terdiri atas (1) analogi instalasi listrik; (2) sistem elektronis berupa (i) subsistem sensor-transduser, (ii) subsistem mikrokontroler, dan (iii) subsistem Liquid Crystal Display (LCD); dan (3) catu daya. Setiap fase dipasang sensor untuk pemantauan keberadaan tegangan melalui pengubahan parameter tegangan bolak-balik (alternating current, ac) ke parameter tegangan arus searah (direct current, dc) melalui sistem sensor-transduser. Keluaran sistem sensor-transduser diproses pada mikrokontroler dan hasil pemantauan ditampilkan pada LCD. Pengukuran kinerja sistem dilakukan terhadap lima kondisi akibat pemberian asumsi perubahan pada MCB dan pemantauan jalur instalasi untuk ruang khusus.

Kata kunci : analogi instalasi listrik; berbasis mikrokontroler; kinerja prototipe sistem elektronis.

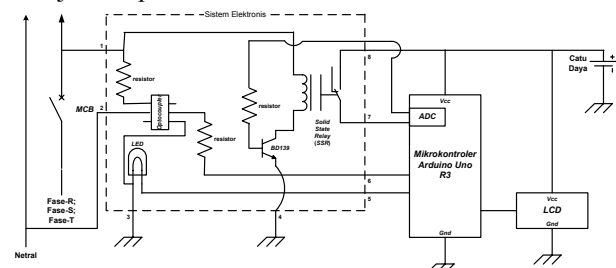
Abstract – In this study, a prototype designed a microcontroller based electronic system for monitoring the analogy of electrical installations, such as an integrated system in a single package module-based microcontroller Arduino Uno R3. Integrated system consisting of (1) the analogy of electrical installations; (2) The electronic system in the form of (i) the sensor subsystem-transducers, (ii) a microcontroller subsystem, and (iii) subsystem Liquid Crystal Display (LCD); and (3) the power supply. Each phase is installed sensor for sensing the presence of voltage by changing the parameters of an alternating voltage (alternating current, AC) to direct current voltage parameters (direct current, dc) through a sensor-transducer system. Sensor-transducer system output is processed in the microcontroller and the results displayed on the LCD monitor. The performance measurement system is carried out on five conditions due to changes in assumptions Award MCB and monitoring of the installation path for a specific room..

Keywords : analogy of electrical installations; based microcontroller; the performance of the prototype electronic system.

I. PENDAHULUAN

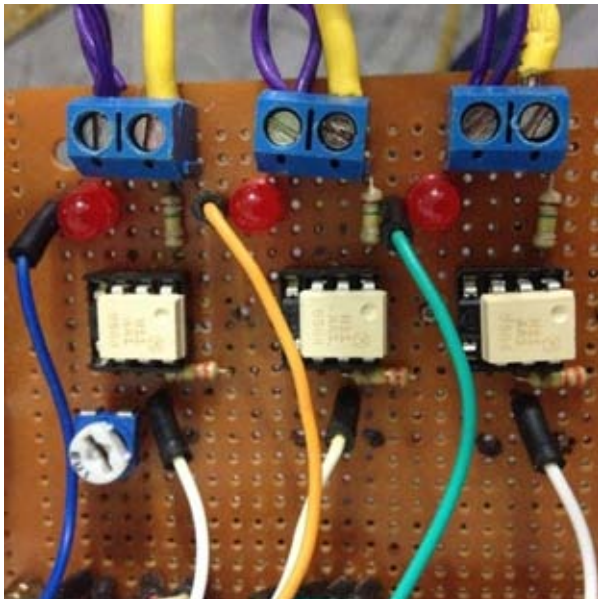
Keberadaan sistem elektronis (Tooley, 2006d) berbasis sejumlah komponen elektronika (Tooley, 2006a) atau pengontrol mikro atau mikrokontroler (Tooley, 2006c), maupun berbantuan komputer personal telah dimanfaatkan untuk pemantauan instalasi listrik (Kitcher, 2008) melalui *miniature circuit breaker* atau *MCBs* (Warne, 2005; Bayliss, 2007; Smeet, 2014). Tahapan uji verifikasi terhadap prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler untuk pemantauan instalasi listrik (Johan, 2016) sebagai upaya perolehan bentuk fisis rangkaian elektronika terintegrasi. Uji verifikasi dilakukan melalui simulasi rangkaian (Tooley, 2006b) berbantuan program aplikasi *Proteus* (Proteus2010, 1998). Penyempurnaan terhadap subsistem sensor-transduser (Bishop, 2003b) pada prototipe sistem elektronis (Johan, 2016), berupa pemanfaatan terhadap sejumlah komponen elektronika, yaitu *optocoupler* (Boylestad, 2013d), resistor (Linsley, 2005), transistor BD139 (Baskhi, 2009; Boylestad, 2013b), *Light Emitting Diode* (Tooley, 2006a; Boylestad, 2013a), dan *solid state*

relay (Bergsman, 1994). Subsistem sensor-transduser hasil penyempurnaan tersebut diintegrasikan terhadap subsistem mikrokontroler (Tooley, 2006c) dan *LCD* (Boylestad, 2013c) untuk pembentukan prototipe sistem elektronis. Diagram skematis prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk pemantauan analogi instalasi listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



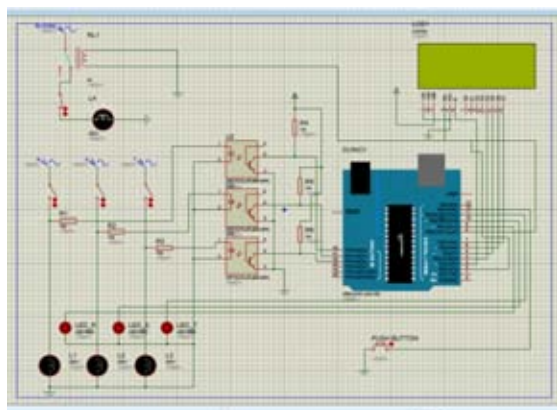
Gambar 1 Diagram skematis sistem elektronis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 untuk pemantauan analogi instalasi listrik

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan, bahwa integrasi sistem terdiri atas a) sistem analogi instalasi listrik, b) prototipe sistem elektronis berupa integrasi dari (i) subsistem sensor-transduser, (ii) subsistem mikrokontroler, (iii) subsistem *Liquid Crystal Display (LCD)*, dan c) sistem catu daya. Setiap fase pada sistem analogi instalasi dipasang sensor-transduser (Bishop, 2003b) untuk pemantauan keberadaan tegangan melalui pengubahan parameter tegangan bolak-balik (*alternating current, ac*) ke parameter tegangan arus searah (*direct current, dc*) seperti proses penyearahan (Bishop, 2003a). Bentuk fisis sensor-transduser, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk fisis sensor-transduser

Keluaran subsistem sensor-transduser sebagai masukan (*input*) dan diproses pada mikrokontroler (Tooley, 2006c), sedangkan olahan hasil pemantauan ditampilkan pada *LCD* (Boylestad, 2013c). Diagram pengawatan integrasi sistem berbantuan program aplikasi *Proteus* (Proteus2000, 1998), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram pengawatan integrasi sistem berbantuan program aplikasi *Proteus*

Sensor pendeteksi kondisi difungsikan untuk setiap perubahan yang terjadi di *miniature circuit breaker*

(*MCB*) satu *pole* (Warne, 2005; Bayliss, 2007; Smeets, 2014) sebagai analogi masing-masing fase pada sistem instalasi listrik fase-tiga (Wadhwa, 2007; Maxfield, 2008, Kitcher, 2008). Indikator pada subsistem sensor-transduser berupa *LED*, dimana saat menyala (*ON*) untuk kondisi *MCB* dalam keadaan tidak terhubung (*OFF*) atau saat tidak menyala (*OFF*) untuk kondisi *MCB* dalam keadaan terhubung (*ON*). Keluaran sensor-transduser (Bishop, 2003b) untuk masing-masing fase-tunggal pada analogi instalasi listrik sebagai masukan yang tersambung ke sistem mikrokontroler Arduino UNO R3 (Durfee, 2011; Margolis, 2011) dan ditampilkan pada *LCD* (Boylestad, 2013c). Pemantauan terhadap sistem tersebut merupakan hasil dari keberadaan algoritma yang telah dibuat untuk pemrograman mikrokontroler Arduino UNO R3 (Durfee, 2011; Margolis, 2011), dimana dalam algoritma tersebut meliputi tiga hal utama, yaitu tampilkan indikasi sensor-transduser, ambil dan kirim data, dan keluaran (Johan, 2016).

Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan pabrikan terhadap prototipe sistem elektronis dalam bentuk fisis sistem terintegrasi secara elektronis dan pemrograman terhadap mikrokontroler Arduino UNO R3 (Durfee, 2011), sehingga dapat dilakukan pengukuran kinerja prototipe sistem untuk pemantauan kondisi pada analogi instalasi listrik dan pengukuran nilai tegangan. Pengukuran kinerja terhadap prototipe didasarkan kepada 5 (lima) kondisi, yaitu (i) *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T dalam kondisi *OFF*, (ii) *MCB* fase-S saja dalam kondisi *ON*, (iii) *MCB* fase-R dan fase-T dalam kondisi *ON*, (iv) *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T dalam kondisi *ON*, dan (v) kondisi pemantauan terhadap jalur ke ruangan khusus.

II. BAHAN-ALAT DAN METODE PENELITIAN

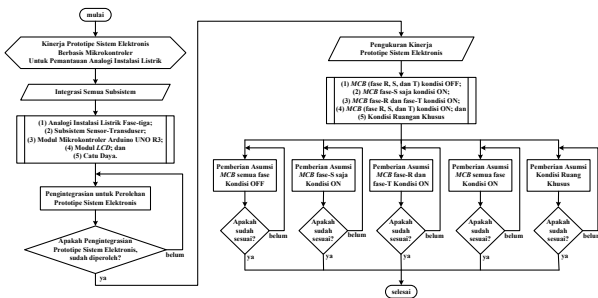
Bahan penelitian berupa analogi instalasi listrik fase-tiga dan beban listrik berupa lampu pendar, seperangkat prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler Arduino UNO R3 yang telah ditanamkan program aplikasi berbasis bahasa *BasCom* (The MCS Electronics Team, 2008), dan catu daya. Alat penelitian berupa multimeter yang diposisikan pada skala tegangan 500 volt *ac*, sehingga batas maksimum tegangan ukur sebesar 500 volt. Tampilan pada multimeter, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tampilan pada multimeter

Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan tahapan-tahapan untuk pencapaian dan sesuai dengan tujuan penelitaian. Terdapat dua tahapan, yaitu: (a) pengintegrasian semua subsistem dan (b) pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis. Pengintegrasian merupakan tahapan yang disesuaikan terhadap hasil uji verifikasi yang telah diperoleh (Johan, 2016), sedangkan pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis berupa pemberian kondisi berbeda terhadap sistem sensor-transduser melalui pemberian kondisi buatan berupa perubahan posisi *MCB* masing-masing fase. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram alir metode penelitian

III. HASIL DAN BAHASAN

Pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis berbantuan mikrokontroler Arduino UNO R3 dilakukan melalui pengintegrasian semua subsistem dan pemberian kondisi berbeda terhadap sensor-transduser melalui perubahan posisi *MCB* masing-masing fase, yaitu: (1) pengkondisian OFF terhadap *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T, (2) pengkondisian ON terhadap *MCB* fase-S, (3) pengkondisian ON terhadap *MCB* fase-R dan fase-T, (4) pengkondisian ON terhadap *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T, dan (5) pengkondisian terhadap jalur ke ruang khusus.

Integrasi Sistem Elektronis

Integrasi sistem terdiri atas: a) analogi instalasi listrik dan b) prototipe sistem elektronis dengan tiga subsistem, yaitu: (i) subsistem sensor-transduser, subsistem mikrokontroler, dan subsistem *LCD*. Integrasi fisis subsistem-subsistem untuk keberadaan prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler ATmega32, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



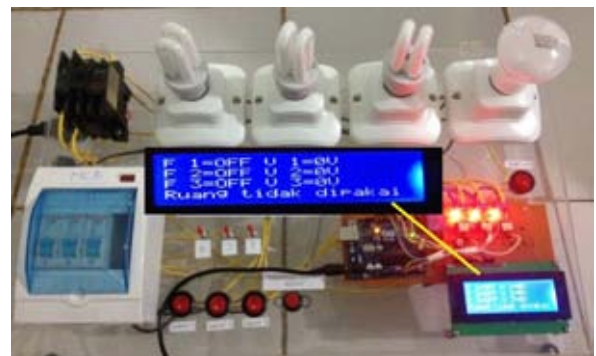
Gambar 6 Integrasi fisis subsistem-subsistem untuk keberadaan prototipe sistem elektronis berbasis mikrokontroler ATmega32

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa integrasi fisis susbsistem-subsistem, agar dapat

dilakukan pengukuran kinerja prototipe sistem elektronis. Analogi instalasi listrik fase-tiga diwakili oleh tiga buah *MCB* kutub-tunggal (*single-pole*) sebagai analogi fase-R, fase-S, dan fase-T. Saklar ON-OFF digunakan untuk penghubungan tegangan listrik ke lampu pendar (*TL*) sebagai beban listrik per fase. Setiap fase dipasang sensor-transduser untuk pemantauan kondisi instalasi listrik masing-masing fase. Perubahan kondisi pada jalur instalasi listrik ditampilkan pada *LCD*. Jalur ruang khusus dipantau melalui perubahan posisi saklar yang terdapat ruang khusus tersebut dan dapat dikendalikan dari ruang kontrol.

A. Pengkondisian OFF terhadap *MCB* untuk fase-R, fase-S, dan fase-T

Tampilan hasil pada pengkondisian OFF terhadap *MCB* untuk fase-R, fase-S, dan fase-T, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Tampilan hasil pengkondisian OFF terhadap *MCB* fase R, fase-S, dan fase-T

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian OFF (tidak diberi sumber tegangan) terhadap *MCB* fase-R, fase-S, dan fase-T, maka ketiga lampu pendar (*Tubelar Lamp, TL*) dalam keadaan tidak berpendar dan tampilan pada *LCD* berupa kondisi OFF untuk fase-R (F 1), fase-S (F 2), dan fase-T (F 3), tegangan tertampilkan 0 volt, dan untuk pemantauan ruangan khusus ditunjukkan “ruang tidak dipakai”. Nilai 0 volt tersebut bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya penunjukan indikasi sistem tidak bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada jalur *MCB* untuk fase-R, fase-S, dan fase-T tidak diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi dan nilai tegangan pada jalur *MCB* untuk fase-R, fase-S, dan fase-T tidak diberi tegangan

<i>MCB</i>	Lampu Pendar (<i>TL</i>)		Tampilan pada Alat Ukur
	Kondisi	Nilai Tegangan (volt)	
Fase-R	OFF	0	
Fase-S	OFF	0	
Fase-T	OFF	0	

Pengkondisian ON terhadap *MCB* untuk fase-S Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap *MCB* untuk fase-S, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-S

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-S berupa pemberian sumber tegangan 220 volt, maka lampu untuk fase-S menyala dan tampilan pada layar LCD ditunjukkan bahwa fase-S (F 2) kondisi ON. Untuk fase-R dan fase-T kondisi OFF dan lampu tidak menyala karena tidak terdapat tegangan dan untuk pemantauan ruang khusus ditunjukkan “ruang tidak dipakai”. Nilai tegangan 220 volt pada LCD tersebut bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya berupa penunjukan indikasi sistem bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase R diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Kondisi dan nilai tegangan pada jalur MCB untuk fase-S diberi tegangan

MCB	Lampu Pendar (TL)		Tampilan pada Alat Ukur
	Kondisi	Nilai Tegangan (volt)	
Fase-R	OFF	0	
Fase-S	ON	214	
Fase-T	OFF	0	

Pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase R dan fase-T

Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R dan fase-T, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase R dan fase-T

Berdasarkan Gambar 9 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian ON terhadap MCB fase-R dan fase-T dengan pemberian tegangan, maka lampu pada fase-R dan fase-T menyala dan tampilan pada layar LCD ditunjukkan fase-R (F 1) dan fase-T (F 3) kondisi ON, tegangan ditampilkan 220 volt. Untuk fase-S kondisi OFF lampu tidak menyala, karena tidak terdapat tegangan dan untuk pemantauan ruang khusus ditunjukkan ruang tidak dipakai. Nilai tegangan 220 volt tersebut bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya penunjukan indikasi sistem bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase-R dan fase-T diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kondisi dan nilai tegangan pada fase-R dan fase-T diberi tegangan

MCB	Lampu Pendar (TL)		Tampilan pada Alat Ukur
	Kondisi	Nilai Tegangan (volt)	
Fase - R	ON	213	
Fase -S	OFF	0	
Fase -T	ON	218	

Pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T

Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Tampilan hasil pengkondisian ON terhadap MCB untuk fase-R, fase-S, dan fase-T

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, bahwa hasil pengkondisian ON terhadap ketiga MCB fase-R, fase-S, dan fase-T berupa pemberian tegangan, maka ketiga lampu pendar menyala dan tampilan pada layar LCD ditunjukkan, bahwa fase-R (F 1), fase-S (F 2), dan fase-T (F 3) kondisi ON, tegangan ditampilkan 220 volt dan untuk pemantauan ruang khusus ditunjukkan “ruang tidak dipakai”. Nilai tegangan 220 volt pada LCD bukan nilai hasil pengukuran, tetapi hanya indikasi sistem bertegangan. Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase-R, fase-S, dan fase-T diberi tegangan, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kondisi dan nilai tegangan pada MCB fase-R, fase-S, dan fase-T diberi tegangan

MCB	Lampu Pendar (TL)		Tampilan pada Alat Uku
	Kondisi	Nilai Tegangan (volt)	
Fase-R	ON	220	220
Fase-S	ON	221	221
Fase-T	ON	219	219

Pengondisian terhadap Ruang Khusus

Tampilan hasil pengondisian terhadap ruang khusus saat “ruang dipakai”, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Tampilan hasil pengondisian ruang khusus dipakai

Berdasarkan Gambar 11 ditunjukkan, bahwa hasil pengondisian terhadap ruang khusus dengan tampilan pada LCD “ruang dipakai” dan lampu pada ruang khusus menyala, semua MCB pada fase-R, fase-S, dan fase-T pada kondisi ON, tetapi lampu pada jalur ketiga fase tersebut tidak dinyalakan. Jalur ke ruang khusus dianalogikan dapat diputushubungkan dari saklar pada ruang kontrol melalui saklar. Untuk kondisi dimana dikehendaki lampu pada ruang khusus menyala, dapat dilakukan perubahan posisi saklar pada ruang khusus dengan syarat saklar pada ruang kontrol dalam kondisi ON. Kondisi dan nilai tegangan pada ruang khusus saat “ruang dipakai”, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kondisi dan nilai tegangan pada ruang khusus saat “ruang dipakai”

Push Buttom	Lampu Pijar		Tampilan pada Alat Ukur
	Kondisi	Nilai Tegangan (volt)	
Ruang Khusus	Ruang Dipakai	227	227

Tampilan hasil pengondisian terhadap ruang khusus saat “ruang tidak dipakai”, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Tampilan hasil pengondisian ruang khusus saat “ruang tidak dipakai”

Berdasarkan Gambar 12 ditunjukkan, bahwa hasil pengondisian terhadap ruang khusus dengan tampilan pada LCD “ruang tidak dipakai” dan lampu pada ruang khusus tidak menyala, semua MCB pada fase-R, fase-S, dan fase-T pada kondisi ON, tetapi lampu pendar pada jalur ketiga fase tersebut tidak dinyalakan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian. Integrasi keberadaan sistem berupa analogi instalasi listrik fase-tiga diwakili oleh 3 (tiga) buah MCB kutub-tunggal (single-pole) sebagai analogi fase-R, fase-S, dan fase-T. Saklar digunakan untuk perubahan posisi (ON-OFF) untuk penghubungan lampu pendar (TL) sebagai beban listrik ke sumber tegangan listrik per fase. Setiap fase dipasang sensor-transduser untuk pemantauan kondisi instalasi listrik masing-masing fase. Perubahan kondisi pada MCB diasumsikan untuk ketiga fase OFF, fase-S ON, fase-R dan fase-T ON, dan ketiga fase ON, sedangkan perubahan posisi saklar yang terdapat ruang khusus tersebut dan dapat dikendalikan dari ruang control. Semua perubahan kondisi ditampilkan pada LCD dan dilakukan pengukuran nilai tegangan pada jalur-jalur yang dipantau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bakshi, U.A., A.P Godse, (2009), “Analog and Digital Electronics”, Technical Publication Pune, pp. 1.40-1.41.
- [2] Bayliss, Colin R. and Brian J. Hardy (editor), (2007), “Fuse and Miniature Circuit Breakers”, in *Transmission and Distribution Electrical Engineering*, Elsevier Inc., pp. 363-373.
- [3] Bishop, Owen, (2003a), “Understand Electronics”, Newnes, pp. 103-109.
- [4] Bishop, Owen, (2003b), “Understand Electronics”, Newnes, pp. 114-130.
- [5] Bergsman, Paul, (1994), “Controlling the World with Your PC”, Elsevier Inc., pp. 37
- [6] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013a), “Electronic Devices and Circuit Theory”, Pearson Education, Inc., pp. 38-42.
- [7] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013b), “Electronic Devices and Circuit Theory”, Pearson Education, Inc., pp. 113-115.
- [8] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013c), “Electronic Devices and Circuit Theory”, Pearson Education, Inc., pp. 831-833.

-
- [9] Boylestad, Robert L., Louis Nashelsky, (2013d), “*Electronic Devices and Circuit Theory*”, Pearson Education, Inc., pp. 873-875.
- [10] Durfee, William, (2011), “*Arduino Microcontroller Guide*”, Course Material, University of Minnesota, pp. 1-27.
- [11] Johan, Ayumi, Arief Goeritno, Ritzkal, (2016), “Prototipe Sistem Elektronis Berbasis Mikrokontroler Untuk Pemantauan Instalasi Listrik”, *Prosiding SNTI FTI-Usakti V-2016*, hal. 324-330.
- [12] Kitcher, Christopher, (2008), “*Practical Guide to Inspection, Testing and Certification of Electrical Installations*”, Elsevier Ltd., pp. 149-156.
- [13] Linsley, Trevor, (2005), “*Basic Electrical Installation Work*”, Elsevier Ltd., pp. 45-49.
- [14] Margolis, Michael, (2011) “*Arduino Cookbook*”, O’Reilly Media Inc., pp. 15-18.
- [15] Maxfield, Clive, et.al., (2008), “*Electrical Engineering*”, Elsevier Inc., pp. 160-162
- [16] Proteus2000, (1998), “*Proteus 2000 Operations Manual*”, E-MU Systems, Inc., pp. 131-164.
- [17] Smeets, Rene, et.el. (2014), “*Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems*”, Wiley, pp. 8.
- [18] The MCS Electronics Team, (2008), “*BASCOM-AVR User Manual Introduction*”, MCS Electronics, pp. 222-252.
- [19] Tooley, Mike, (2006a), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 287-292.
- [20] Tooley, Mike, (2006b), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 303-309.
- [21] Tooley, Mike, (2006c), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 313-324.
- [22] Tooley, Mike, (2006d), *Electronic Circuits: Fundamentals and Applications*, Elsevier Ltd., pp. 327-335.
- [23] Wadhwa, C.L., (2007), “*Basic Electrical Engineering*”, New Age International (P) Limited, pp. 160-163.
- [24] Warne, D.F., (2005), *Newnes Electrical Power Engineer's Handbook*, Elsevier Inc. - Newnes, pp. 180-189.

Desain Cantilever Beam Piezoelectric Untuk Aplikasi Energi Harvesting

Roer Eka Pawinanto, Ahmad Shumarudin
Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Indramayu, Indonesia
Email: shumaru@polindra.ac.id

Abstrak – Material piezoelektrik sudah mulai diaplikasikan dalam beberapa aplikasi seperti sebagai transduser untuk energi harvesting. Dalam studi ini kami menggunakan metode FEA untuk mengoptimasi beam piezoelektrik. Defleksi yang diperoleh pada studi ini yaitu sebesar 83 nm manakala frekuensi resonansi nya diperoleh di 13.4 Hz. Material piezoelektrik ini dapat menghasilkan defleksi yang besar ketika bergetar pada frekuensi resonansinya. Hasil optimisasi juga menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan mengindikasikan resistansi yang besar juga dan berkaitan dengan panjang material PZT serta dapat mempengaruhi defleksi dari cantilever beam.

Kata kunci : Cantilever, piezoelectric, energi harvesting, finite element method

Abstract – Piezoelectric has come out to be applied in a number of applications such as energy harvesting transducers. In this study, we applied finite element method (FEM) to optimize the piezoelectric cantilever beam. The deflection of 83 nm is obtained while the resonant frequency at 13.4 Hz. The large deflection of piezoelectric (PZT) material can be achieved when it vibrates at its resonance frequency. The result also showed that optimization of electrical power generated indicate large resistance and relates to the length of the PZT material can affect deflection of the cantilever beam.

Keywords: Cantilever, piezoelectric, energi harvesting, finite element method.

I. PENDAHULUAN

Cantilever sekarang ini menjadi hal menarik untuk dipelajari dan dikembangkan. Hal ini dikarenakan banyaknya aplikasi yang dapat diterapkan dengan menggunakan cantilever seperti aktuator, sensor dan energi harvesting. Dalam hal energi harvesting, sekarang ini masih bertumpu pada device yang bisa portable dan kedepannya akan menjadi kecil tetapi ukuran baterai masih sama yaitu masih dalam skala centimeter tetapi dengan power yang kecil. Diharapkan kedepan ukuran baterai dapat menjadi lebih kecil tetapi memiliki power yang besar sehingga memungkinkan digunakan oleh device yang bergerak/portable.

Alternatif dari penyelesaian masalah di atas adalah dengan merancang baterai atau divais energi harvesting dari material piezoelektrik (PZT). Material ini banyak digunakan sebagai transduser untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak [1].

Umeda [2] merupakan salah satu diantara peneliti awal yang menggagas generator PZT dan mengusulkan model persamaan elektrik yang dikonversi dari energi mekanik ke energi listrik. Roundt [3-5] menggunakan sedikit pendekatan pada persamaan rangkaian listrik untuk menjabarkan PZT dan diikuti oleh hasil yang juga dapat diterima dan logis. Namun, analisisnya hanya mendapat hasil 1 hingga 10 m/s^2 kondisi vibrasi.

Eggborn [6] membangun model analitik untuk memprediksi energi harvesting dari cantilever beam menggunakan teori beam-Bernoulli dan dibandingkan dengan hasil eksperimen nya.

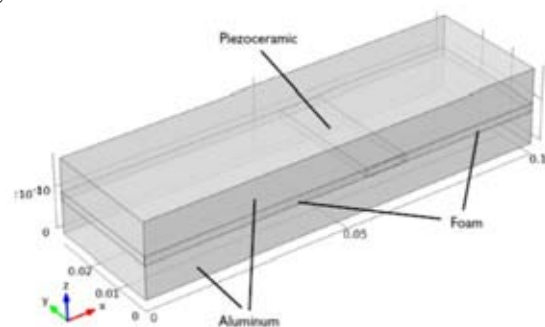
II. DESAIN BEAM CANTILEVER

Persamaan linier untuk material piezoelektrik [7] sudah pernah dijelaskan termasuk ada di dalamnya variable koefisien e_{31} , konstanta dielektrik ϵ_{33} dan medan listrik yang dipengaruhi oleh tebal lapisan E_z , seperti persamaan 1.

$$D_z = e_{31}e_x + \epsilon_{33}E_z \quad (1)$$

Tegangan σ pada arah z diasumsikan nol. Hal ini terjadi ketika tebal lapisan piezoelektrik berbanding dengan panjang beam yang sangat tipis.

Untuk merancang beam cantilever dan menganalisisnya kami menggunakan metoda finite element analysis (FEA). Pada gambar 1 terlihat desain 3 dimensi beam piezoelektrik yang terdiri dari bagian foam, aluminium dan piezoceramic. Bagian fixed constraint merupakan bagian statis dari beam tersebut.



Gambar 1. Desain 3 dimensi beam piezoelektrik

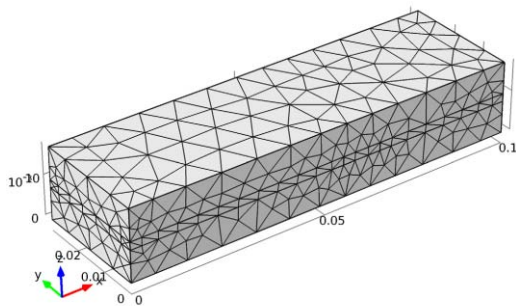
Kondisi batas (boundary condition) pada desain ini yaitu di modul “structural mechanics”, beam cantilever dibuat static di $x=0$ sedangkan sisi lainnya dibuat bebas. Selain itu, untuk komponen elektrostatisnya yaitu dibatasi dengan mengalirkan tegangan 20 V beda potensial diantara bagian atas dan bawah lapisan pada domain piezoceramic. Hal ini dapat membangkitkan medan listrik yang tegak lurus dengan arah x .

Material properties yang digunakan pada studi ini terlihat pada Tabel 1. Aluminium ada pada menu “predefined material”, sedangkan untuk material foam harus diinput secara manual karena belum tersedianya data pada perangkat ini. Material piezoceramic PZT-5H ada pada modul MEMS. Sedangkan untuk nilai variable lain yang diperlukan dalam studi ini seperti elastisitas matrix, matriks kopling piezoelektrik, e , atau permitivitas matrix relative.

TABEL 1. PROPERTIES MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Property	Aluminium	Foam	Piezoceramic
E	70 GPa	35.3 MPa	-
ν	0.35	0.383	-
ρ	2700 kg/m ³	32 kg/m ³	7500 kg/m ³

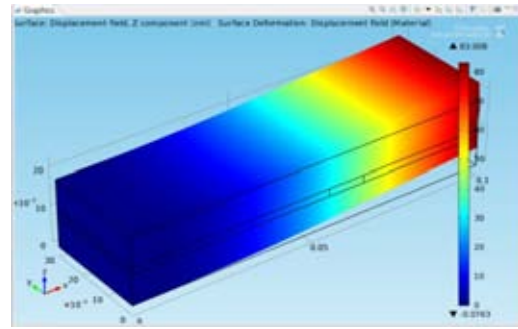
Untuk bagian meshing pada studi ini digunakan bentuk *free tetrahedral* seperti ditunjukkan pada gambar 2. Meshing ini sangat penting dalam FEA karena dalam step ini, model yang kita optimasi akan dibagi-bagikan dalam banyak komponen, sehingga dalam proses FEA ini nantinya akan di”combine” hasil dari komoponen satu dengan yang lain dan mendapat hasil akhir. Dalam studi ini digunakan mesh dengan ukuran “predefined normal” untuk mengurangi waktu kalkulasi dan keterbatasan spesifikasi komputer yang digunakan.



Gambar 2. Bentuk meshing pada beam cantilever

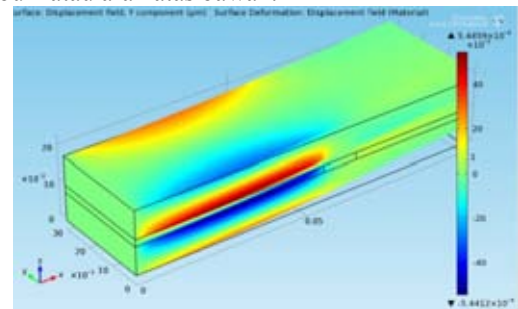
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deformasi atau lengkungan (bending) lapisan piezoceramic dan lapisan fleksibel foam pada sumbu z ditunjukkan pada Gambar 3. Pada studi ini, defleksi yang diperoleh adalah sebesar 83 nm. Untuk menghasilkan daya listrik yang optimum, element piezoelektrik harus bergetar pada frekuensi naturalnya di mana jika terjadi maka akan menghasilkan defleksi yang besar. Dalam studi ini, beam cantilever frekuensi nya terdapat pada 13.4 Hz.

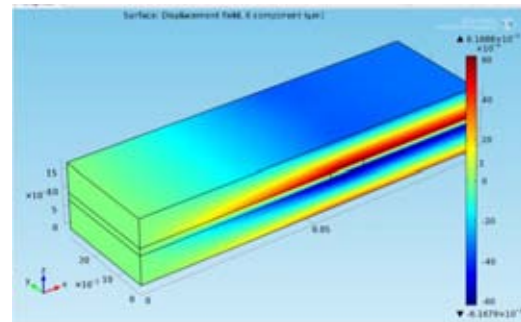


Gambar 3. Defleksi beam cantilever pada $x=60 \mu\text{m}$

Walaupun ketika fase defleksi yang berpengaruh besar adalah arah z , namun pada prinsipnya divais bergerak ke segala arah. Terlihat pada gambar 4 dan 5 yang masing-masing hasil dari defleksi cantilever beam material piezoelektrik. Defleksi pada sumbu x dihasilkan sebesar 6.17 nm sedangkan defleksi pada sumbu y adalah 0.55 nm. Oleh karena itu, dapat dibuktikan secara simulasi bahwa cantilever beam pada saat defleksi bergetar ke segala arah. Namun, arah defleksi terbesar tetap pada sumbu z atau arah atas bawah.

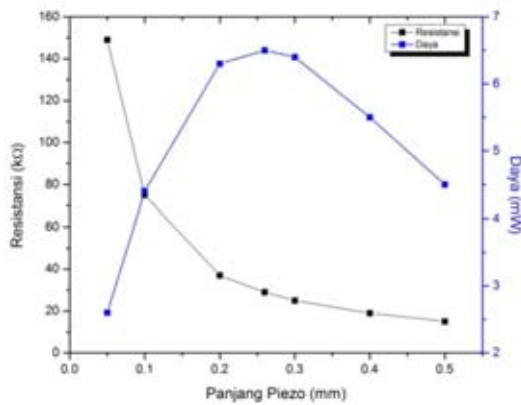


Gambar 4. Defleksi cantilever beam pada sumbu y



Gambar 5. Defleksi cantilever beam pada sumbu x

Hasil beda potensial pada studi ini terlihat pada gambar 6. Beda potensial maksimum yang dihasilkan adalah 20 Volt. Setelah dioptimasi dengan FEA, maksimum daya yang didapat adalah 6.5 mW dengan panjang PZT $L_p=0.26$ m sedangkan resistansi pada studi ini cenderung menurun ketika panjang material piezoelectrics bertambah. Pada gambar 4 terlihat hasil dari optimasi beam cantilever.



Gambar 6. Hasil optimasi dan relasi panjang material PZT, resistansi dan daya

Untuk hasil optimum didapat ketika panjang material piezoelektrik yaitu 0.26 mm dan didapat resistansi sebesar 29 kΩ. Namun hal ini tidak mudah untuk mengimplementasikan panjang material piezoelektrik sebesar ini karena akan merubah karakteristik beam cantilever secara keseluruhan termasuk efek kepada cross section, modulus Young's dan frekuensi. Maka dari itu akan berdampak dan berpengaruh pada menurunnya defleksi beam cantilever, ketegangan (strain) material piezo dan daya [6].

IV. KESIMPULAN

Desain dan pemodelan beam piezoelektrik telah dilakukan dengan menggunakan metoda FEM. Dari hasil

yang didapat data disimpulkan bahwa material piezoelektrik ini dapat menghasilkan defleksi yang besar ketika bergetar pada frekuensi resonansinya. Hasil optimisasi juga menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan mengindikasikan resistansi yang besar juga dan berkaitan dengan panjang material PZT serta dapat mempengaruhi defleksi dari beam cantilever.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Ajitsaria, S.Y. Choe, D. Shen, D.J. Kim, "Modeling and analysis of a bimorph piezoelectric cantilever beam for voltage generation," *Smart Materials and Structures*, Vol.16, pp.447-454, 2007.
- [2] M. Umeda, K. Nakamura, and S. Ueha, "Analysis of the transformation of mechanical impact energy to electric energy using piezoelectric vibrator," *Japan J. Appl. Phys.*, Vol. 35, pp. 3267-3273, 1996.
- [3] S. Roundy, P. K. Wright, "A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics," *Smart Mater. Struct.*, Vol.13, pp.1131-1142, 2004.
- [4] S. Roundy, "On the effectiveness of vibration-based energy harvesting," *J. Intell. Mater. Syst. Struct.*, Vol. 16, pp.809-823, 2005.
- [5] S. Roundy, E. S. Leland, J. Baker, E. Carleton, E. Reilly, E. Lai, B. Otis, J. M. Rabaey, P. K. Wright, and V. Sundararajan, "Improving power output for vibrationbased energy scavengers," *IEEE Trans. Pervasive Comput.*, Vol. 4, pp. 28-36, 2005.
- [6] T. Eggeborn, "Analytical models to predict power harvesting with piezoelectric materials," *Dissertação de Mestrado - Virginia Polytechnic Institute and State University*, 2003.
- [7] F. Lu, H. P. Lee, S. P. Lim, "Modeling and analysis of micro piezoelectric power generators for microelectromechanical-systems applications," *Smart Materials and Structures*, Vol.13, pp. 57-63, 2004.

PEDOMAN BAGI PENULIS JURNAL SETRUM

Jurnal SETRUM adalah jurnal ilmiah untuk publikasi penelitian dan pengembangan di bidang :

1. Sistem Kendali
2. Sistem Tenaga Listrik
3. Elektronika dan Instrumentasi
4. Telekomunikasi
5. Komputer

Sistematika Penulisan

1. Naskah pada kertas ukuran A4 dengan batas atas, batas kanan, batas bawah, dan batas kiri masing-masing 2 cm. Naskah terdiri atas bagian judul, bagian abstrak, dan bagian isi makalah.
2. Bagian judul berisi judul yang ringkas tidak lebih dari 12 kata tanpa singkatan jika menggunakan bahasa Indonesia dan 10 kata tanpa singkatan jika menggunakan bahasa Inggris. Bagian judul disertai nama (para) penulis tanpa gelar, instansi/ perguruan tinggi, dan email penulis utama dan/atau penulis lainnya. Bagian Judul diketik dengan huruf Times New Roman ukuran 16, cetak tebal, dan rata tengah. Bagian Judul disajikan dalam satu kolom.
3. Bagian abstrak ditulis dengan font Times New Roman ukuran 10, cetak miring, dan rata kanan-kiri. Abstrak disajikan dalam dua bahasa, yaitu bahasa Indonesia dan bahasa Inggris. Abstrak disertakan dengan kata kunci. Bagian abstrak disajikan dalam satu kolom. Bagian abstrak harus memuat inti permasalahan yang dikemukakan, metode pemecahannya, dan hasil-hasil yang diperoleh serta kesimpulan dan tidak lebih dari 200 kata.
4. Bagian isi diketik dengan huruf Times New Roman ukuran 10, rata kanan-kiri, dan disajikan dalam dua kolom. Bagian isi terdiri atas bab Pendahuluan, Metode, Hasil & Pembahasan, Kesimpulan, dan Daftar Pustaka. Tiap bab diawali dengan penomoran romawi kapital dan tiap sub bab diawali dengan penomoran numerik. Kata-kata atau istilah asing ditulis dengan huruf miring
5. Gambar atau foto harus dapat dicetak dengan tajam dan jelas. Gambar atau foto warna hanya tersedia pada edisi elektronik. Gambar dan tabel dapat dimasukkan ke dalam bagian isi atau terpisah dalam lampiran tersendiri. Untuk kejelasan penempatan dalam jurnal, gambar dan tabel harus diberi nomor sesuai dengan nomor urut gambar pada tulisan tersebut, misalnya Gambar 1 atau Tabel 1. Gambar dan tabel harus disertakan judul. Penulisan nomor dan judul gambar diletakkan setelah gambar dan penulisan nomor dan judul tabel diletakkan sebelum tabel.
6. Persamaan diketik dan diberi nomor disebelah kanan, misalnya (1). Satuan yang digunakan adalah satuan internasional (EGS atau MKS) atau yang lazim ada cabang ilmunya. Angka desimal pada data numerik harus mengacu kepada sistem internasional yaitu dengan menggunakan titik.
7. Rujukan dan daftar pustaka ditulis dengan menggunakan metode Vancouver.
8. Naskah dikirim ke redaksi melalui email.

p-ISSN : 2301-4652



e-ISSN : 2503-068X



Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman km. 3 Kota Cilegon, Banten
Phone: 0254-395502 ext. 15 Fax: 0254-395440