

Analisis Perubahan Nada dan Frekuensi Pada Proses Pelarasan Gong Suwukan

Analysis of Changes in Tone and Frequency in the Suwukan Gong Tuning Process

Rahmat Alkausar¹, Hendra Setiawan^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang km 14,5 Yogyakarta
Hendra.setiawan@uii.ac.id*

Abstrak – Penelitian bertujuan untuk mengetahui perubahan nada dan frekuensi pada proses pelarasan gong suwukan. Data diambil pada gong suwukan berdiameter 70 cm pada 4 titik tuning. Kemudian diolah pada kawasan waktu untuk memperoleh informasi perubahan pada frekuensi fundamental, panjang nada, dan jumlah ombak pada setiap titik tuning pada gong. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah FFT untuk dapat mengetahui karakteristik perubahan frekuensi dominan dan penyusun dalam proses pelarasan atau tuning nada. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh informasi bahwa proses tuning tidak mempengaruhi frekuensi fundamental dan dominan akan tetapi mempengaruhi nilai amplitudo dari frekuensi fundamental dan dominan. Panjang nada dan jumlah ombak mengalami perubahan akibat titik tuning. Dalam proses penelitian ini ditemukan adanya 2 frekuensi fundamental berbeda yang membentuk harmonik hal ini mengakibatkan terjadinya peristiwa heterodyning dan superposisi gelombang sehingga perubahan amplitudo pada frekuensi penyusun tidak linear.

Kata Kunci: Frekuensi fundamental, Frekuensi Dominan, Gamelan, Gong, Panjang Nada, Pelarasan.

Abstract – This study aims to determine changes in tone and frequency in the process of tuning the suwukan gong. The data was taken on a suwukan gong with a diameter of 70 cm at 4 tuning points. Then processed in the time zone to obtain information on changes in fundamental frequency, tone length, and the number of waves at each tuning point on the gong. The method used in this research is FFT to be able to determine the characteristics of changes in the dominant and compiler frequencies in the tuning process. From the research conducted, it is found that the tuning process does not affect the fundamental and dominant frequencies but affects the amplitude values of the fundamental and dominant frequencies. The length of the tone and the number of waves change due to the tuning point. In the process of this research, it was found that 2 different fundamental frequencies formed harmonics, this resulted in the occurrence of heterodyning events and wave superposition so that the amplitude changes at the constituent frequencies were not linear.

Keywords: Fundamental frequency, Dominant Frequency, Gamelan, Gong, Tone Length, Tuning.

1. Pendahuluan

Gamelan adalah salah satu kesenian tradisional yang dimiliki oleh Indonesia, kesenian yang menggabungkan tarian, musik dan drama ini sering dijumpai di daerah Jawa dan Bali. Gamelan terdiri berbagai macam jenis instrumen yang dapat dibagi menjadi 4 bagian berdasarkan fungsinya yaitu kelompok instrumen yang berfungsi sebagai pemain irama yaitu gong besar, gong suwukan, kempul, kenong, kethuk, engkuk, dan kempyang. Kelompok instrumen yang berfungsi sebagai pembawa lagu pokok yaitu saron barung, saron demung, dan bonang

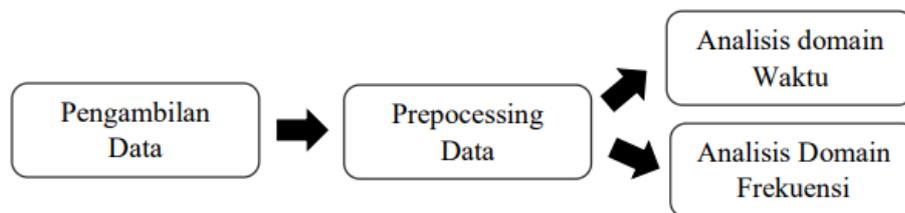
penembung. Kelompok instrumen yang berfungsi sebagai penghias lagu pokok yaitu saron penerus, gender barung, bonang barung, gender penerus, bonang penerus, dan gambang. Kemudian kelompok instrumen yang berfungsi menghias irama yaitu kendang besar dan ketipung, serta batangan[1].

Salah satu instrumen memiliki peran penting dalam ansambel gamelan adalah gong yang menjadi ciri khas dari pulau Jawa dan Bali yang dibuat dengan bentuk yang memiliki bagian tengah pusat yang menonjol[2]. Proses pembuatan dan *tuning* nada pada tiap instrumen gong masih menggunakan cara konvensional, sehingga mengakibatkan proses pembuatan instrumen gong memakan waktu yang cukup lama karena proses *tuning* yang masih dilakukan secara manual dengan memukul bagian muka (*rai*) dan bibir (*recep*) gong untuk membentuk nada dan mengandalkan kepekaan dari pengrajin untuk ketepatan nada[3]. Proses pemasaran yang manual ini tentunya menyebabkan subjektivitas pada ketepatan nada. Sulitnya proses *tuning* gong ini membuat generasi muda kurang tertarik mempelajari proses pembuatan gong hal ini membuat pengrajin gong didominasi oleh empu-empu yang berusia lanjut. Tentunya ini akan mengancam kelestarian instrumen gamelan terutama gong.

Berdasarkan berbagai pengkajian diatas, informasi perubahan nada maupun frekuensi pada saat proses *tuning* nada gong belum banyak dikaji secara ilmiah. Untuk itu melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi perubahan frekuensi pada saat proses *tuning* gong.

2. Metode Penelitian

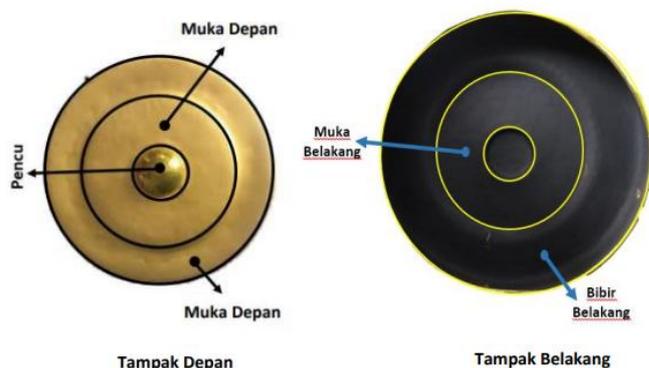
Dalam melakukan ini terdapat empat langkah utama yaitu pengambilan data, *preprocessing*, data, analisis dalam domain waktu dan analisis dalam domain frekuensi sebagaimana yang di tampilkan pada gambar 1.



Gambar 33. Alur Penelitian

2.15. Pengambilan Data

Pengambilan data bertempat di pengrajin gamelan Yogyakarta yaitu Sanggar Wijaya Kusuma yang terletak di kecamatan Sayegan, kabupaten Sleman pada tanggal 3 juni 2020 dengan jenis gong yang digunakan merupakan gong suwukan berdiameter 70 cm. Proses pengambilan data dilakukan dengan merekam suara pada gong menggunakan *high sensitive microphone* merk TASCAM DR-05 dengan *sampling* data (Fs) 48000 Hz dengan sensitivitas -60 dB berdasarkan titik-titik pemukulan saat proses *tuning* yang terdiri dari 4 titik pemukulan yaitu muka depan yang dalam penelitian ini dituliskan sebagai titik *tuning* 1, muka belakang yang dituliskan sebagai titik *tuning* 2, bibir depan yang dituliskan sebagai titik *tuning* 3 dan bibir belakang yang dituliskan sebagai titik *tuning* 4. Titik-titik *tuning* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Perekaman suara gong dilakukan pada jarak 3 meter dengan segaris pada bagian belakang dari gong Teknik pengambilan data dilakukan secara *sequential* di mana setiap nada yang diambil berdasarkan urutan titik *tuning* 1 sampai dengan 4. Pemukulan gong dilakukan oleh pengrajin dengan jarak waktu pemukulan setiap gong berkisaran 15-20 detik untuk memastikan tidak suara lagi dari gong pada gong. Semua proses perekaman data dilakukan secara *one take* atau sekali rekam.



Gambar 34. Titik Tuning Pada Gong

2.16. Preprocessing Data

Setelah memperoleh data sampel suara gong saat proses tuning, tahap berikutnya adalah *preprocessing* data sampel suara dengan membaginya dalam 5 sampel data suara yaitu nada awal yang merupakan nada sebelum proses tuning, nada titik *tuning* 1, nada titik tuning 2, nada titik *tuning* 3, dan nada titik *tuning* 4. Selanjutnya 5 data sampel suara ini diolah dengan *software* MATLAB untuk ditampilkan bentuk sinyalnya dan diubah dalam domain waktu serta dilakukan normalisasi suara agar nilai amplitudo pada sinyal suara dapat bernilai maksimal[4]. Proses normalisasi dilakukan dengan cara membagi tiap nilai data sampel dengan nilai absolut maksimum dari data sampel tersebut, fungsi normalisasi dapat dilihat pada persamaan (1) Dimana X_{norm} merupakan hasil data normalisasi dan X_{in} merupakan data *input* [5].

$$X_{norm} = X_{in} / \max(\text{abs}(X_{in})) \quad (1).$$

2.17. Analisis Domain Waktu

Data *preprocessing* selanjutnya diolah dan dianalisis pada domain waktu untuk mendapatkan nilai dari frekuensi fundamental, panjang nada dan jumlah ombak. Nilai frekuensi fundamental didapat dengan melakukan autokorelasi pada sinyal suara untuk memperoleh nilai periode[6], nilai periode ini kemudian digunakan untuk menemukan frekuensi fundamental[7]. Nilai panjang nada didapat dengan menghitung nilai *power* yang kemudian diubah dalam domain desibel dengan membuat *threshold* sebesar -60 dB nilai *power* yang muncul diatas -60 dB kemudian dihitung panjang data sampelnya, penentuan *threshold* berdasarkan nilai kebisingan pada tempat gaduh yaitu -40 sampai dengan -60 dB[8]. selanjutnya panjang data sampel ini dikalikan dengan $1/F_s$ untuk memperoleh nilai panjang nada. Kemudian untuk jumlah ombak didapat dengan melakukan pengamatan pada bentuk ombak yang ada pada sinyal suara dengan mengamati jumlah ombak tiap sampel suara. Setelah mendapat nilai frekuensi fundamental, panjang nada dan jumlah ombak tiap data sampel suara selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui pengaruh tuning terhadap ketiga nilai tersebut.

2.18. Analisis Domain Frekuensi

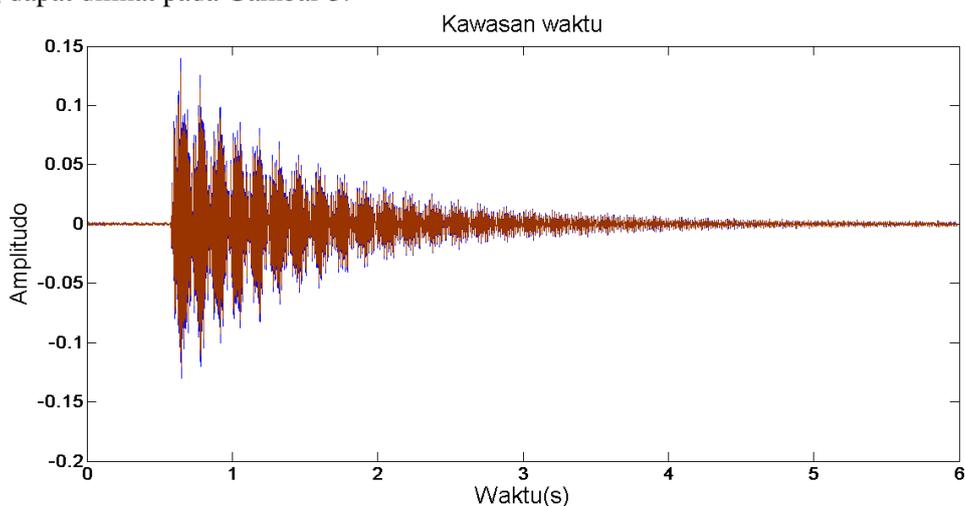
Pada tahap ini data yang sudah dilakukan *preprocessing* ditransformasi ke domain frekuensi dengan menggunakan teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mendapatkan nilai frekuensi penyusun, frekuensi dominan, dan frekuensi harmoniknya[9]. Dalam penentuan frekuensi penyusun digunakan *threshold* yang sama yaitu -60 dB untuk mempermudah penentuan frekuensi utama yang akan diambil sebagai data. Frekuensi dominan didapat dengan melihat nilai frekuensi penyusun dengan amplitudo tertinggi. Frekuensi harmonik didapat dengan memperhatikan nilai frekuensi penyusun yang memiliki kelipatan dari frekuensi

fundamental[10]. Kemudian hasil ini dilakukan analisis untuk mengetahui perubahan karakteristik frekuensi penyusun, frekuensi dominan, dan frekuensi harmonik dalam proses penyetelan gong.

3. Hasil dan Pembahasan

3.5. Hasil Pengambilan Data

Sampel data yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah lima sampel data suara yang diambil di pengrajin gamelan Yogyakarta yaitu Sanggar Wijaya Kusuma yang terletak di kecamatan Sayegan, kabupaten Sleman. Sampel data yang sudah didapatkan kemudian diolah menggunakan *software* MATLAB 2014 untuk dapat menampilkan sinyal dalam domain waktu yang dapat dilihat pada Gambar 3.



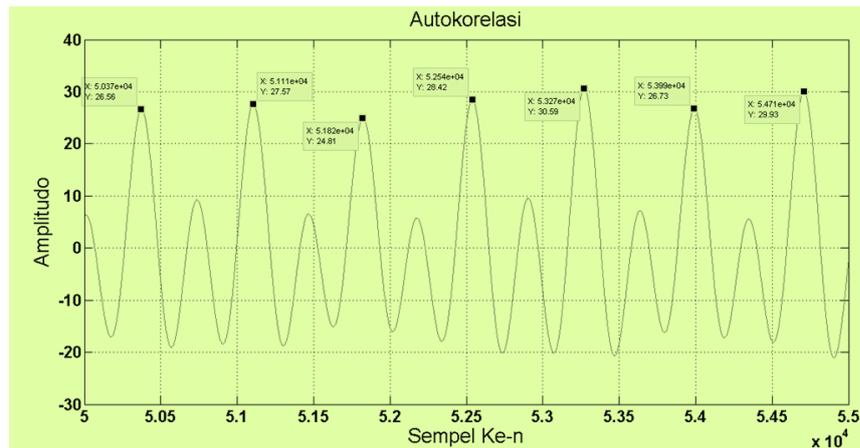
Gambar 35. Bentuk Sinyal Dalam Domain Waktu

3.6. Hasil Analisis Domain Waktu

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis pada domain waktu untuk mendapat nilai frekuensi fundamental, panjang nada, dan jumlah ombak. Berikut merupakan hasil analisis domain waktu:

3.2.1 Analisis Perubahan Frekuensi Fundamental Pada Proses *Tuning* Gong

Nilai frekuensi fundamental didapat melalui proses autokorelasi sinyal suara sehingga didapatkan nilai periode (T) dengan menghitung jarak antar puncak tertinggi yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 36. Hasil Autokorelasi Sinyal Suara

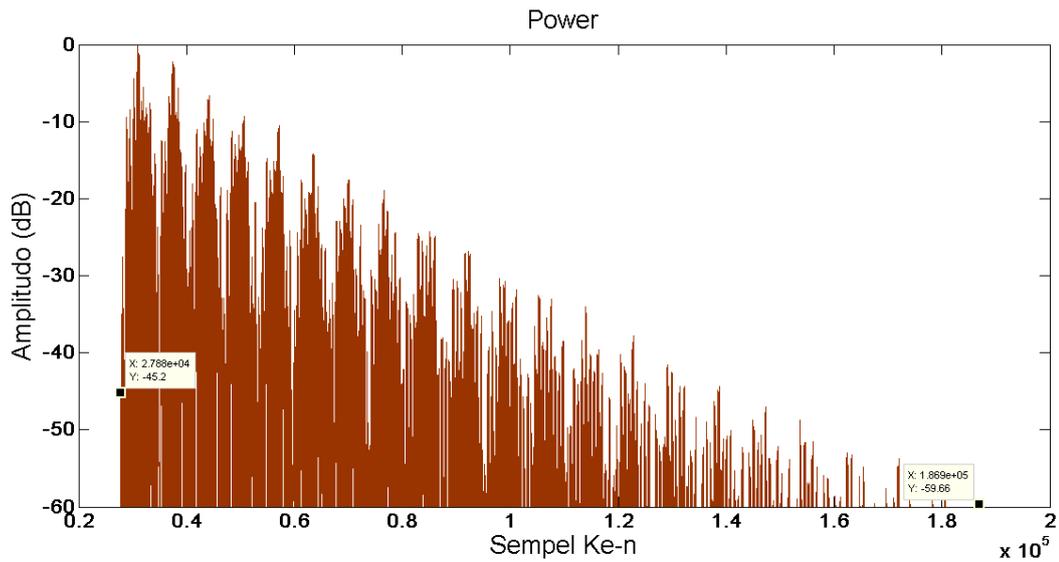
Setelah mendapat nilai periode setiap sampel suara maka dapat diketahui nilai dari frekuensi fundamental dari setiap sampel suara dari menghitung $\frac{1}{T}$ dari nilai periode yang diperoleh. Hasil pendataan frekuensi dasar dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa tidak ada perubahan frekuensi fundamental selama proses *tuning* berlangsung.

Tabel 12 Frekuensi Fundamental Pada Proses Tuning Gong

Data	Fs	T (sekon)	Frekuensi fundamental (Hz)
Nada Awal	48000	0,01	68,57
Titik Tuning 1	48000	0,01	68,57
Titik Tuning 2	48000	0,01	68,57
Titik Tuning 3	48000	0,01	68,57
Titik Tuning 4	48000	0,01	68,57

3.2.2 Analisis Perubahan Panjang Nada Pada Proses Tuning Gong

Penentuan panjang nada dilakukan dengan melihat nilai *power* yang berada di atas *threshold* (-60 dB) kemudian panjang sampel yang muncul diatas *threshold* dikalikan dengan $\frac{1}{F_s}$ dari *sampling* data yang digunakan. Gambar 5 merupakan contoh bentuk data *power* dari data sampel suara dengan *threshold*.



Gambar 37. Sampel Data Power Dengan Threshold -60 dB

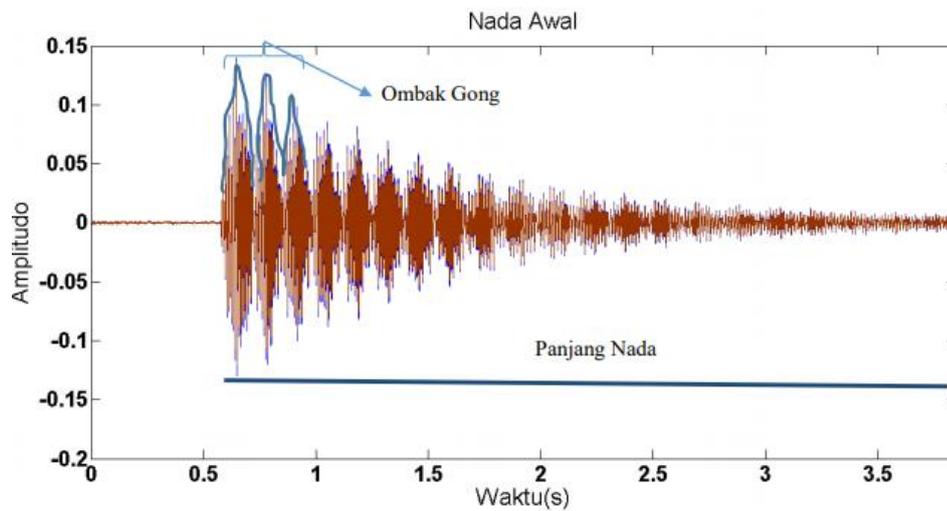
Hasil pendataan panjang nada pada proses *tuning* dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 didapatkan informasi bahwa terjadi perubahan panjang nada pada saat proses *tuning* di mana dapat diklasifikasikan bahwa titik *tuning* 1, 3 dan 4 akan menambah panjang nada pada gong sedangkan titik *tuning* 2 akan mengurangi panjang nada pada gong.

Tabel 13. Perubahan Panjang Nada Pada Proses Tuning Gong

Data	Fs	Panjang Nada (Sekon)
Nada Awal	48000	3,31
Titik <i>Tuning</i> 1	48000	3,71
Titik <i>Tuning</i> 2	48000	3,19
Titik <i>Tuning</i> 3	48000	3,26
Titik <i>Tuning</i> 4	48000	3,65

3.2.3 Analisis Perubahan Jumlah Ombak Pada Proses *Tuning* Gong

Data jumlah ombak didapat dengan melakukan pengamatan untuk dapat menghitung jumlah ombak yang muncul dalam rentang panjang nada. Gambar 6 merupakan contoh ombak yang ada pada sinyal suara.



Gambar 38. Bentuk Ombak Gong

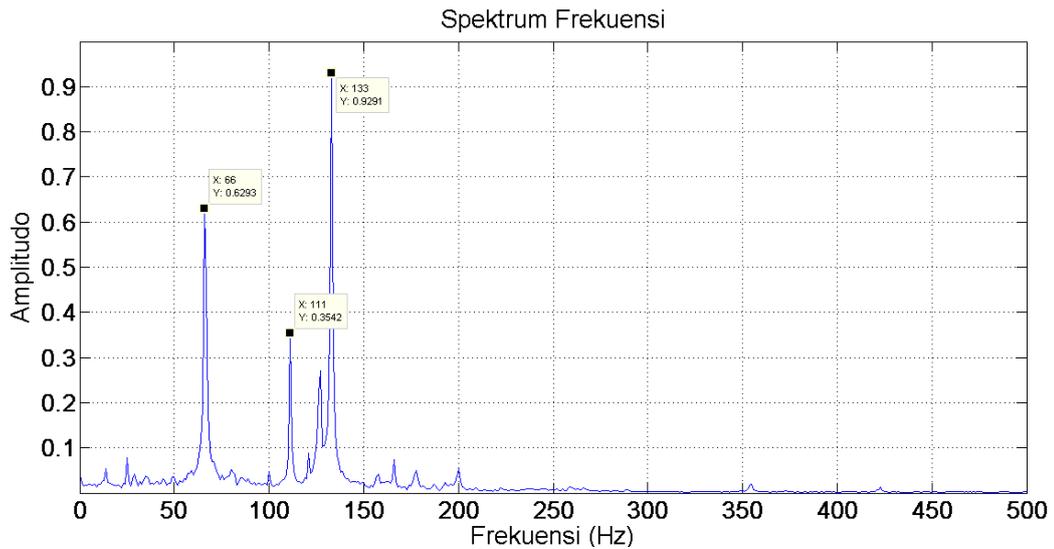
Hasil perhitungan jumlah ombak pada proses *tuning* dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa terjadi perubahan jumlah ombak dalam proses tuning yang dapat diklasifikasikan bahwa titik tuning 1, 3, dan 4 menambahkan jumlah ombak pada gong yang di mana titik tuning 4 menambahkan jumlah ombak yang cukup signifikan yaitu hingga 4 ombak sedangkan titik tuning 1 dan 3 hanya menambahkan 1 ombak, dan titik tuning 2 mengurangi jumlah ombak pada gong yang cukup signifikan yaitu hingga 5 ombak.

Tabel 14. Perubahan Jumlah Ombak Pada Proses Tuning Gong

Data	Jumlah Ombak
Nada Awal	21
Titik Tuning 1	22
Titik Tuning 2	17
Titik Tuning 3	18
Titik Tuning 4	22

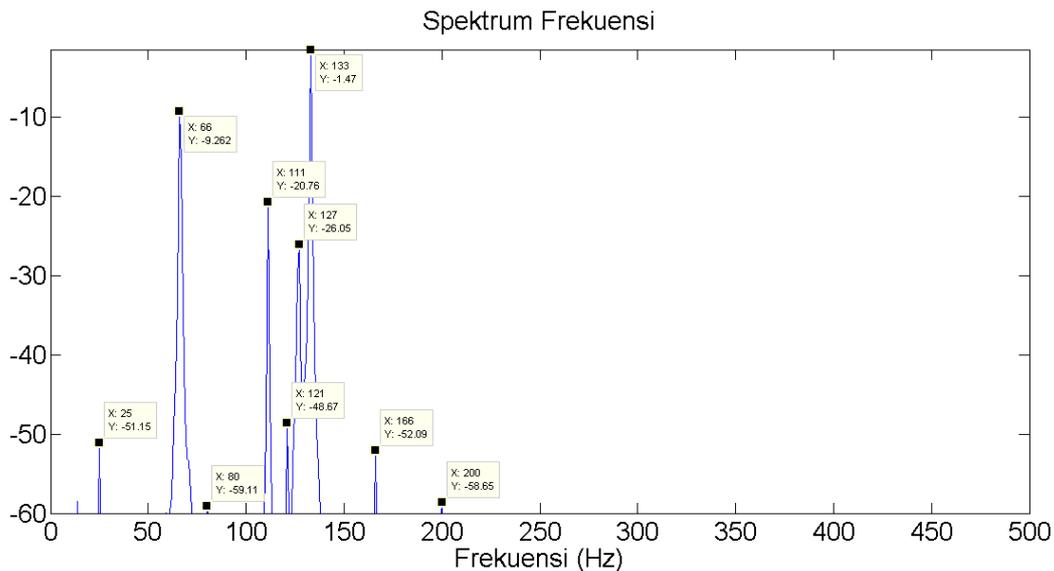
3.7. Hasil Analisis Domain Frekuensi

Setelah melakukan pengolahan data pada domain waktu, tahap selanjutnya adalah pengolahan data pada domain frekuensi untuk mengubah data dari domain waktu menjadi domain frekuensi digunakan fungsi FFT. Fungsi FFT membantu mempermudah penentuan frekuensi dominan dan frekuensi penyusun dari data sampel. Gambar 7 merupakan contoh bentuk *spectrum* Frekuensi dari sinyal suara.



Gambar 39. Spektrum Frekuensi Sinyal Suara

Frekuensi dengan amplitudo yang paling tinggi merupakan frekuensi dominan dari sinyal suara, selanjutnya untuk mendapat frekuensi penyusun domain amplitude diubah dalam dalam satuan dB dan digunakan *threshold* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu -60 dB sehingga dapat diketahui nilai-nilai yang termasuk dalam frekuensi penyusun gong. Gambar 8 merupakan contoh frekuensi penyusun dari sinyal suara.



Gambar 40 Frekuensi Penyusun Sinyal Suara

Pendataan nilai frekuensi dominan dan penyusun pada tiap sampel suara dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 didapatkan informasi frekuensi dominan dari gong tidak mengalami perubahan yang signifikan ini menunjukkan bahwa frekuensi dominan tidak berubah selama proses *tuning* yaitu berada pada nilai 131-133 Hz. Akan tetapi nilai amplitudo pada frekuensi dominan mengalami perubahan pada saat titik *tuning* 1 nilai amplitudo turun sebesar 0,97 dB, pada titik *tuning* 2 turun sebesar 2,72 dB, pada *tuning* 3 naik sebesar 4,26 dB, dan pada *tuning* 4 turun sebesar 2,74.

Sedangkan untuk frekuensi harmonik menunjukkan adanya 2 frekuensi fundamental penyusun harmonik yaitu 25 Hz dan 65-66 Hz sehingga terjadi peristiwa *heterodyning* dimana akan muncul

frekuensi baru akibat pencampuran dua atau lebih frekuensi. Frekuensi yang muncul adalah F1, F2, F1-F2, dan F1- F2, dimana F1 merupakan frekuensi fundamental utama yaitu 65-66 Hz. Adanya 2 frekuensi fundamental berbeda pada gong ini juga mengakibatkan adanya peristiwa superposisi gelombang yang mengakibatkan adanya gelombang yang ter destruktif dan konstruktif. Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa selama proses *tuning* terjadi perubahan pada jumlah frekuensi penyusun hal ini diakibatkan adanya perubahan pada kekuatan atau nilai amplitudo pada frekuensi penyusun yang menguat dan melemah sehingga ada yang muncul dan hilang pada batas *threshold* (-60 dB). Perubahan nilai amplitudo tiap frekuensi penyusun pada tiap titik *tuning* juga tidak linier hal ini dapat diindikasikan terjadinya perubahan atau pergeseran *fasa* pada frekuensi penyusun saat proses *tuning* berlangsung.

Tabel 15. Perubahan Frekuensi Penyusun Pada Proses Tuning Gong

Data	Frekuensi (Hz)	Amplitudo(dB)	Frekuensi dominan (Hz)
Nada Awal	25	-51,15	133
	59	-59,96	
	66	-9,62	
	80	-59,11	
	111	-20,67	
	121	-48,67	
	126	-26,05	
	133	-1,47	
	166	-52,09	
	200	-58,65	
Titik Tuning 1	25	-59,25	132
	49	-58,76	
	62	-54,17	
	66	-7,66	
	111	-18,89	
	118	-29,13	
	126	-32,96	
	132	-2,44	
	177	-57,12	
	405	-46,91	
Titik Tuning 2	65	-8,917	131
	110	-32,82	
	121	-57,57	
	126	-30,64	
	131	-5,16	
Titik Tuning 3	59	-59,17	131
	65	-15,92	
	110	-26,53	
	121	-57,59	
	127	-24,8	
	131	-0,9	
	137	-59,53	
Titik tuning 4	66	-3,94	131
	111	-28,24	
	125	-31,18	

131	-3,64
242	-55,46

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap perubahan panjang nada, jumlah ombak, frekuensi fundamental, frekuensi dominan, dan frekuensi penyusun pada proses *tuning* gong suwukan pada pengrajin di Sanggar Wijaya Kusuma yang terletak di kecamatan Sayegan, kabupaten Sleman. Hasil analisis pada domain waktu untuk frekuensi fundamental menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan, akan tetapi untuk panjang nada mengalami perubahan pada panjang nada titik *tuning* 1, 3 dan 4 akan menambah panjang nada pada gong sedangkan titik *tuning* 2 akan mengurangi panjang nada pada gong, dan untuk jumlah ombak juga mengalami perubahan di mana titik *tuning* 4 menambahkan jumlah ombak yang cukup signifikan yaitu hingga 4 ombak sedangkan titik *tuning* 1 dan 3 hanya menambahkan 1 ombak, dan titik *tuning* 2 mengurangi jumlah ombak pada gong yang cukup signifikan yaitu hingga 5 ombak.

Kemudian hasil analisis pada domain frekuensi menunjukkan bahwa Proses *tuning* atau pelarasan nada pada gong suwukan tidak merubah frekuensi dominan yaitu 131-133 Hz tetapi hanya merubah nilai amplitudo dari frekuensi dominan di mana titik *tuning* 1 nilai amplitudo turun sebesar 0,97 dB, pada titik *tuning* 2 turun sebesar 2,72 dB, pada *tuning* 3 naik sebesar 4,26 dB, dan pada *tuning* 4 turun sebesar 2,74. Selain itu diketahui bahwa Gong suwukan memiliki 2 frekuensi fundamental yang membentuk harmonik yaitu 25 Hz dan 65-66 Hz sehingga terjadi peristiwa *heterodyning* dan superposisi gelombang suara yang mengakibatkan perubahan karakteristik pada nilai amplitudo dari frekuensi penyusun yang bersifat tidak linier karena adanya indikasi pergeseran *fasa* dari 2 frekuensi fundamental harmonik.

Secara keseluruhan dapat disimpulkan proses *tuning* berpengaruh pada panjang nada, jumlah ombak, frekuensi penyusun, dan amplitudo dari frekuensi yang ada pada suara gong.

Referensi

- [1] E. Trisnowati, "Analisis Frekuensi Pada Gong Laras Slendro," *Indones. J. Sci. Educ.*, vol. 1, no. 1, pp. 30–35, 2017.
- [2] A. Pesek and T. Bratina, "Gong in Njegov Terapevtski Smisel," *Muzikoloski Zb.*, vol. 52, no. 2, pp. 137–161, 2016.
- [3] Risnandar, "Teknik Pelarasan Gamelan Jawa Pada Instrumen Gender Dan Gong," *J. Pengetahuan, Pemikiran, dan Kaji. Tentang "Bunyi,"* vol. 17, pp. 49–57, 2017.
- [4] A. J. Ade Riyani, Asyhar Nurrochman, Eko Sanjaya, Putri Rizqiyah, "Mengidentifikasi Sinyal Suara Manusia Menggunakan Metode Fast Fourier Transform (Fft) Berbasis Matlab," *J. Informatics, Inf. Syst. Softw. Eng. Appl. Mengidentifikasi*, vol. 1, no. 1, pp. 42–50, 2019.
- [5] Dzulkifli and M. Ahied, "Teknik Pengenalan Sinyal Wicara Dengan Metode Hidden Markov Model - Neural Network (Syaraf Tiruan)," *J. Ilm. Edutic*, vol. 3, no. 1, pp. 10–20, 2016.
- [6] M. Wulandari, Chaelvin, and C. Putri, "Penggunaan Autokorelasi Untuk Klasifikasi Suara Perempuan Dan Suara Laki-Laki Dewasa," in *Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI XII) 2018 Riset*, 2018, pp. 267–270.
- [7] R. J. Schilling and S. L. Harris, *Digital Signal Processing using MATLAB*, 3rd ed. Boston: CENGAGE Learning United States, 2012.
- [8] C. E. Mediastika, *Akustika Bangunan*. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [9] J. W. Cooley, P. A. W. Lewis, and P. D. Welch, "The Fast Fourier Transform and its Applications," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 12, no. 1, pp. 27–34, 1969.
- [10] Firdaus and Eli Trisnowati, "Analisis Pola Perubahan Frekuensi Fundamental Dan Harmonik Saron Barung Laras Pelog," in *Seminar Nasional Pendidikan Fisika FITK UNSIQ*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 152–157.

Prediksi Pemakaian Beban Listrik Menggunakan Metode *Least Mean Square* dan *Compressive Sensing*

Prediction Of Electrical Power Usage Using Least Mean Square and Compressive Sensing

Velia Khaerunnisa^{1*}, Koredianto Usman¹, Muhammad Ary Murti²

¹ Department of Telecommunication Engineering/ Faculty of Engineering Electro

² Department of Electrical Engineering/ Faculty of Engineering Electro

Telkom University, Jl. Telekomunikasi Jl. Terusan Buah Batu phone (022) 7565930

Veliakhrns@student.telkomuniversity.ac.id^{1*}, Korediantousman@telkomuniversity.ac.id¹,

Arymurti@telkomuniversity.ac.id²

Abstrak – Penelitian ini adalah tentang prediksi dari pemakaian beban listrik di suatu gedung dengan teknik prediksi *Least Mean Square (LMS)* dan *Compressive Sensing (CS)*. Penelitian ini penting karena pemakaian energi listrik khususnya pada ruangan dengan jumlah perangkat elektronik berdaya tinggi seperti komputer, AC, dispenser, dapat menyebabkan pemborosan energi serta keterbatasan sumber daya energi yang tidak terbarukan seperti batu bara, minyak bumi dan sebagainya. Oleh karena itu, kemampuan memprediksi pemakaian beban listrik penting artinya untuk melihat trend penggunaan energi ke depan antara lain sebagai langkah antisipasi khususnya pada pihak yang membangkitkan energi tersebut. Pemilihan teknik LMS didasarkan pada kesederhanaan teknik ini untuk prediksi, sedangkan pemilihan teknik CS adalah karena teknik ini belum banyak dipakai pada bidang prediksi, sehingga eksplorasi kapabilitas CS pada bidang prediksi dapat membantu pengayaan pengetahuan khususnya di bidang CS ini. Pada penelitian ini, prediksi dengan LMS dan CS dilakukan dengan tahapan akuisisi data, serta pengolahan data tersebut. Data yang diolah berasal dari pemakaian beban listrik aktual di Gedung P fakultas teknik elektro yang diambil dalam rentang 31 hari dalam periode 16 April 2020-16 Mei 2020 dengan besaran yang diamati adalah *Time Average Energy (TAE)* dengan akuisisi dilakukan pada setiap menit selama 24 jam. Prediksi menggunakan LMS dilakukan dengan beberapa parameter yaitu orde filter serta koefisien adaptasi. Pada CS, pengamatan dilakukan dengan perubahan parameter tingkat sparsitas (k). Kinerja sistem dinilai root mean square error (RMSE) dan waktu komputasi. Hasil simulasi dengan data yang diujikan diperoleh nilai RMSE untuk LMS adalah 5,1 dan waktu komputasi sebesar $1,05 \times 10^{-4}$ detik. Di sisi lain, CS nilai RMSE sebesar 3,51 serta waktu komputasi $2,22 \times 10^{-4}$ detik. Dengan demikian LMS memiliki kinerja yang lebih baik dalam bidang waktu komputasi namun CS memiliki kinerja yang lebih baik dalam bidang akurasi RMSE.

Kata Kunci: Energi listrik, Prediksi, LMS, CS.

Abstract – This research is about the prediction of the use of electrical loads in a building with the *Least Mean Square (LMS)* and *Compressive Sensing (CS)* prediction techniques. This research is important because the use of electrical energy, especially in rooms with several high-power electronic devices such as computers, air conditioners, water dispensers, can cause energy waste and limitation to non-renewable energy resources such as coal, petroleum, and so on. Therefore, the ability to predict the use of electricity loads is important to see future trends in energy usage as a precautionary step, especially for those who generate energy. LMS technique was chosen based on its simplicity for prediction, while the CS technique was chosen because it has not been widely used in the field of prediction, so that the exploration of CS capabilities in the field of prediction can help enrich knowledge, especially in this CS field. In this research, prediction using LMS and CS was carried out through stages of data acquisition and data processing. The data processed came from the actual use of electrical loads in the P Building of the Faculty of Electrical Engineering taken within a span of 31 days in the period 16 April 2020–16 May 2020 with the observed magnitude is *Time Average Energy (TAE)* with acquisitions carried out every minute for 24 hours. Prediction using LMS was done with several parameters, which were filter order as

well as the adaptation coefficient. For CS, the observation was done by changing the sparsity level parameter (k). System performance was assessed with Root Mean Square Error (RMSE) and computation time. The simulation results with the tested data show that the RMSE value for LMS is 5.1 and the computation time is $1,05 \times 10^{-4}$ seconds. On the other hand, the RMSE value for the CS is 3.51 and the computation time is $2,22 \times 10^{-4}$ seconds. Thus, LMS has better performance in the computation time, but CS has better performance in the RMSE accuracy.

Keywords: Electrical energy, Prediction, LMS, CS.

1. Pendahuluan

Salah satu energi yang memiliki banyak digunakan untuk kehidupan manusia adalah energi listrik. Kehidupan manusia banyak bergantung dengan listrik sebagai sumber energi seperti televisi, mesin cuci, dispenser, setrika, pendingin ruangan dan sebagainya. Tidak dapat menghitung secara pasti besarnya konsumsi listrik pada waktu tertentu [1]. Jumlah konsumsi beban listrik yang tidak pasti tanpa perkiraan terlebih dahulu dapat berpengaruh pada tagihan listrik kepada konsumen. Oleh karena itu, perlu sistem prediksi pemakaian beban listrik pada suatu gedung yang dapat membantu perencanaan yang efektif dan efisien.

Penelitian terhadap prediksi beban listrik telah banyak dilakukan. Saat ini, metode prediksi terus dikembangkan, diantaranya seperti Prediksi Beban Listrik Pada PT.PLN (PERSERO) Menggunakan Regresi Interval Dengan Neural Fuzzy [1], metode *Neural Fuzzy* menggunakan regresi interval menghasilkan dua nilai keluaran berupa hasil prediksi nilai interval yang dapat diperkirakan antara nilai maksimum sebagai batas atas dan nilai minimum sebagai batas bawah prediksi. Selain itu, telah diterapkan metode *Support Vector Machines* (SVM) menghasilkan prediksi beban listrik jangka pendek sehingga SVM hanya dilakukan sekali *training* untuk mendapatkan solusi optimal dapat berupa regresi ataupun klasifikasi untuk prediksi [2].

Sistem prediksi membutuhkan metode prediksi yang memiliki performa tinggi. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara metode *Least Mean Square* (LMS) dan *Compressive Sensing* (CS) untuk memprediksi pemakaian beban listrik. LMS merupakan algoritma yang cepat dalam mengolah data dan struktur sederhana biasa digunakan dalam aplikasi pemrosesan sinyal adaptif [3]. Permasalahan yang dapat ditangani oleh sistem adaptif salah satunya yaitu memprediksi besaran sinyal di masa depan. LMS untuk prediksi karena algoritma dengan strukturnya *Finite Impulse Response* (FIR) tidak mengeksplorasi struktur data namun memperbarui bobot baru dari bobot awal untuk prediksi, sehingga LMS memiliki kinerja yang kurang baik.

CS merupakan teknik kompresi untuk merepresentasikan data yang jarang ke dalam data yang sangat kecil melalui proses kompresi serta pengembaliannya ke data semula dengan sempurna melalui proses yang disebut dengan rekonstruksi [4]. CS mengambil informasi terkait dengan struktur data sinyal yakni kejarangannya sehingga jika asumsi ini dipenuhi maka teknik rekonstruksi CS dapat memberikan kinerja baik. Dengan kelebihan ini, CS pada umumnya memiliki kelemahan yaitu waktu komputasi yang lama. Penggunaan CS telah dilakukan pada berbagai bidang, antara lain untuk kompresi citra microwave oleh Fatwasauri dan Rizkina [5]. Penggunaan metode CS untuk keperluan prediksi belum banyak dieksplorasi oleh para peneliti, oleh karena itu, pada penelitian ini kami menyelidiki kinerja CS untuk keperluan prediksi khususnya pada beban daya listrik dan membandingkannya dengan teknik prediksi LMS yang standar pada bidang pengolahan sinyal. Kinerja keduanya dibandingkan dari sisi akurasi dengan nilai RMSE dan waktu komputasi relatif pada komputer yang penulis gunakan.

2. Metode Penelitian

2.19. Prediksi Beban Listrik

Peramalan adalah memprediksi keadaan yang akan datang atas dasar pola-pola keadaan di masa yang lalu. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan data di masa lalu sehingga memperkirakan keadaan yang terjadi di masa yang akan datang dengan menggunakan model matematis[6]. Terdapat 3 kelompok prediksi beban listrik[7]:

1. **Prediksi Beban Jangka Panjang**
Prediksi jangka panjang adalah memprediksi permintaan beban dengan jangka waktu lebih dari satu tahun.
2. **Prediksi Beban Jangka Menengah**
Prediksi jangka menengah adalah memprediksi permintaan beban dengan jangka waktu satu bulan sampai satu tahun.
3. **Prediksi Beban Jangka Pendek**
Prediksi beban jangka pendek adalah memprediksi permintaan beban dengan jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu. Besarnya beban untuk setiap jam bahkan setiap hari ditentukan dengan memerhatikan pola-pola keadaan beban di waktu lalu dengan memerhatikan berbagai informasi yang dapat mempengaruhi besarnya pemakaian beban.

2.20. *Least Mean Square (LMS)*

Algoritma LMS adalah algoritma adaptif yang sederhana dan sering digunakan untuk prediksi *time-series* [8]. Sistem adaptif merupakan sistem yang dapat mengatasi gangguan yang bersifat tidak tetap atau berubah-ubah dan menyesuaikan diri terhadap perubahan tersebut. Pada algoritma LMS, vektor observasi \mathbf{b} diperbarui dari n setiap langkah waktu dalam (1) [9]:

$$b_{n+1} = b(n) + \mu e(n). x(n) \quad (1)$$

dengan $x(n)$ dan $b(n)$ merupakan *vector observasi* serta μ merupakan faktor konvergen parameter tingkat pembelajaran penentu kondisi kestabilan. Sinyal kesalahan dinyatakan seperti Persamaan (2),

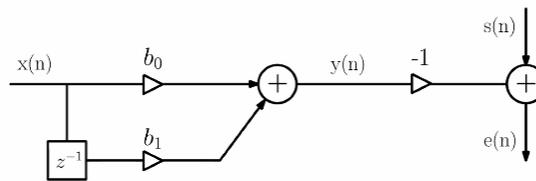
$$e(n) = s(n) - y(n) \quad (2)$$

dengan $s(n)$ merupakan sinyal yang diinginkan. Selama proses pemfilteran diperlukan $s(n)$ untuk mendapatkan nilai kesalahan $e(n)$. Nilai kesalahan didefinisikan sebagai selisih antara sinyal yang diinginkan $s(n)$ dengan keluaran dari filter $y(n)$. Pemilihan μ dipilih seperti Persamaan (3)

$$0 < \mu < 2/(PR_x[0]) \quad (3)$$

dengan P adalah urutan filter dan $R_x [0]$ adalah variansi dari sinyal pengamatan. Tingkat pembelajaran bergantung pada pemilihan μ . Jika μ terlalu kecil tingkat pembelajarannya akan lambat namun jika μ terlalu besar tingkat pembelajaran akan cepat tetapi kurang stabil. Oleh karena itu, pemilihan nilai μ harus tepat [10].

Filter LMS merupakan salah satu filter optimal. Disebut optimal karena filter LMS akan meminimalisasi rata-rata kesalahan kuadrat (*Mean Square Error*, MSE) antara sinyal keluaran filter LMS dengan sinyal target. Filter LMS bekerja mengupdate bobot dari sampel ke sampel. Merealisasikan filter LMS yaitu menggunakan realisasi FIR (*Finite Impulse Response*) karena filter FIR memiliki kelebihan yaitu kestabilan filter terjamin. Filter FIR bersifat lebih mudah direalisasikan karena secara prinsip filter FIR adalah kombinasi linier dari sinyal saat ini dengan sinyal sebelumnya. Prediksi yang dihasilkan dengan realisasi FIR adalah prediksi yang bersifat linier. Realisasi filter FIR dapat dilakukan menggunakan orde 1, orde 2, dan seterusnya bergantung kepada tingkat akurasi yang dikehendaki serta sifat sinyal yang ingin diprediksi atau difilter. Dengan alasan kestabilan maka pada penelitian ini akan digunakan realisasi LMS dengan FIR. Orde filter optimal untuk data beban listrik yang disimulasikan dipilih berdasarkan nilai RMSE yang paling kecil. Secara umum struktur filter LMS dengan realisasi FIR orde 1 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 41. Struktur LMS dengan realisasi FIR orde 1.

Pada struktur di Gambar 1, sinyal $s(n)$ merupakan sinyal referensi, sedangkan $x(n)$ adalah sinyal *input* filter. Sinyal $y(n)$ adalah sinyal keluaran filter yang diharapkan sama dengan atau mirip dengan sinyal referensi $s(n)$. Perbedaan antara sinyal $s(n)$ dengan sinyal $y(n)$ adalah sinyal *error* yang dinotasikan dengan $e(n)$. Nilai sinyal $e(n)$ akan diumpan balik ke filter LMS untuk memperbaiki bobot koefisien filter untuk membuat nilai *error* berikutnya lebih kecil. Proses untuk memperbaiki bobot diberikan pada Persamaan (1).

2.21. Compressive Sensing (CS)

CS merupakan metode baru untuk melakukan kompresi. Teknik kompresi dengan CS dilakukan dengan cara mengalikan vektor sinyal sepanjang N , dengan matriks A , dimensi $M \times N$ dengan $M < N$. Berdasarkan dua kondisi yang memungkinkan sinyal dapat dicuplikan dan direkonstruksi kembali sinyal aslinya seperti semula dengan sempurna menggunakan teknik CS [11]. Syarat pertama sinyal yang dicuplik bersifat *sparse* (jarang) dan syarat kedua dilakukan dengan suatu matrik untuk pencuplikan sinyal dengan memenuhi sifat *Restricted Isometric Property* (RIP). CS berupaya untuk prediksi atau memberikan perkiraan data dalam domain terkompresi.

2.3.1. Sinyal Jarang

Sinyal jarang merupakan asumsi utama dalam CS. Sinyal jarang didefinisikan sebagai sinyal sinyal diskrit yang memiliki banyak nol dan sedikit nilai tak nol[11]. Jumlah elemen tak nol pada sinyal jarang disebut dengan sparsitas yang dinotasikan dengan K . Nilai sparsitas minimum adalah sama dengan satu [12]. Konsep sparsitas dapat diperluas sebagai sinyal dengan nilai tak nol sedikit pada basis apapun, seperti basis seperti Fourier, DCT, Hadamard, dan sebagainya.

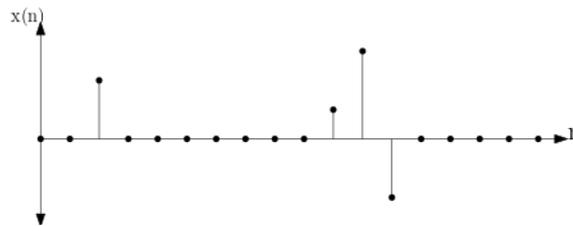
Jika suatu sinyal bersifat jarang pada suatu basis, maka pada umumnya CS memerlukan dua basis untuk proses pencuplikan yaitu basis transformasi *sparsity* Ψ untuk mencari komponen *sparse* dan basis pencuplikan Φ [13]. Misalkan suatu sinyal b merupakan sinyal waktu diskrit yang dinyatakan sebagai *vector* dengan ukuran $N \times 1$. Sinyal x adalah *sparse* pada basis *orthonormal* yang diperoleh dari sinyal b dengan basis transformasi Ψ . Dalam hal ini, hubungan antara x dan b dapat dinyatakan seperti Persamaan (4) [9].

$$b = \Psi x \tag{4}$$

Sinyal b disebut *sparse* dalam basis Ψ . Selanjutnya teknik CS dapat dilakukan dengan mengkompresi sinyal b dengan basis pencuplikan Φ seperti Persamaan (5)

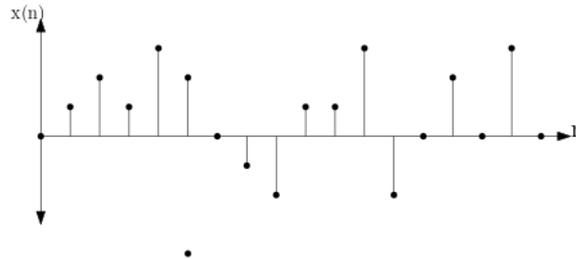
$$D_x = \Phi b = \Phi \Psi x = Ax \tag{5}$$

dengan $A = \Phi \Psi$ dalam matrik kompresi CS. Gambar 2 memperlihatkan contoh sinyal jarang dengan nilai sparsitas $k=4$.



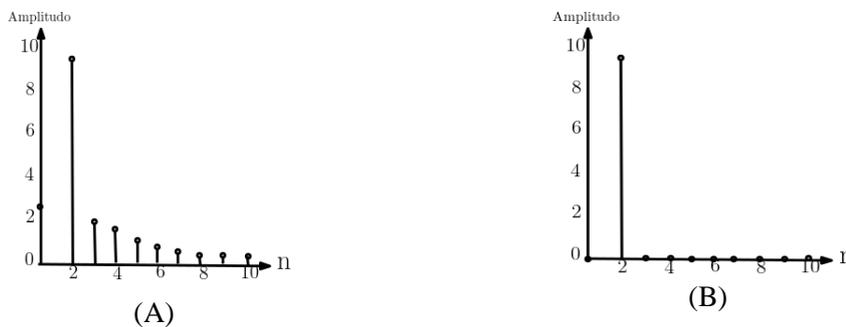
Gambar 42. Sinyal jarang.

Gambar 3 memperlihatkan sinyal tak jarang pada ranah waktu, karena nilai sinyal pada umumnya adalah tak-nol.



Gambar 43. Bukan sinyal jarang.

Sinyal tak jarang pada Gambar 3 dapat diubah ke sinyal jarang dengan mencari basis transformasi yang tepat. Jika kita menggunakan tranformasi Fourier misalnya, maka hasil transformasi sinyal pada Gambar 3 diberikan seperti hasil pada Gambar 4(A). Selanjutnya jika kita terapkan teknik *thresholding*, sebagai contoh, amplitudo sinyal yang kurang dari 2 dijadikan nol, maka hasil *thresholding* adalah sinyal jarang yang tampak pada Gambar 4(B).



Gambar 44. (A) Amplitudo hasil transformasi Fourier dari sinyal pada Gambar 3. (B) Sinyal jarang dengan menerapkan *thresholding* sebesar 2 pada sinyal (A).

2.3.2. Kompresi

Suatu sinyal sudah dibuktikan *sparse*, maka selanjutnya sinyal tersebut dapat dilakukan proses pecuplikan di bawah dari batas nilai Shannon-Nyquist. Proses tersebut secara matematis sinyal asli diproyeksikan ke dalam suatu matriks pengukuran Φ dengan ukuran $M \times N$ dengan $M < N$ [11]. Dengan demikian proses kompresi dinyatakan pada Persamaan (6)

$$y = \Phi b = A x \tag{6}$$

dengan y merupakan sinyal terkompresi dengan panjang M ($M \ll N$), x sinyal jarang atau vektor dengan panjang N dan $A = \Phi \Psi$ adalah matriks kompresi atau matriks pengukuran dengan dimensi $M \times N$.

2.3.3. Rekonstruksi

Rekonstruksi ketika ingin mendapatkan sinyal asli x dari y sinyal terkompresi dan A matriks kompresi. Rekonstruksi CS bukan permasalahan sederhana, karena mempunyai solusi yang banyak dan CS harus memilih dengan tepat salah satu solusi dari sekian banyak solusi tersebut. Algoritma rekontruksi harus membantu untuk memperbaiki dari banyak solusi agar mendapatkan solusi yang tepat.

Syarat kedua Teknik CS dikatakan berhasil adalah terkait pemilihan matriks penginderaan A . Syarat ini merupakan bahwa matriks penginderaan A harus memenuhi sifat *restricted isometric property* RIP [11]. Prinsip RIP menyatakan bahwa norma orde 2 sinyal semuladan hasil rekonstruksi memiliki panjang *euclidean* (norma l_2) tidak berubah [11]. Batasan untuk matriks A yang bersifat RIP dapat dinyatakan pada Persamaan (7)

$$(1 - \delta_x) \|s\|_2 \leq \|As\|_2 \leq (1 + \delta_x) \|s\|_2 \tag{7}$$

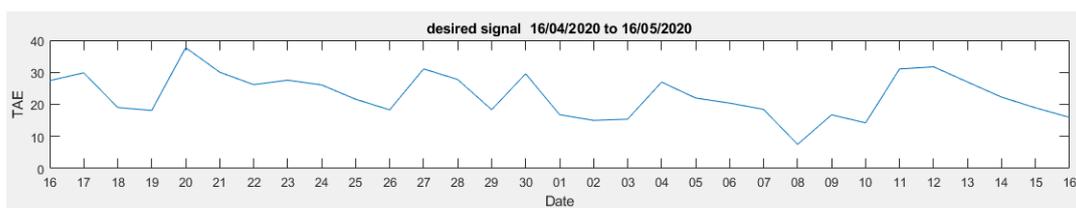
dengan parameter δ_x merupakan suatu bilangan positif kecil.

Terdapat banyak algoritma rekonstruksi CS dan pada penelitian ini digunakan algoritma rekonstruksi Orthogonal Matching Pursuit (*OMP*) oleh karena algoritma OMP memiliki komputasi yang cepat. OMP berfokus pada prinsip *orthogonalization*, untuk memastikan bahwa koefisien sebelumnya tidak dihitung untuk iterasi berikutnya. Rincian lengkap dari algoritma OMP dapat dilihat pada referensi [12]. Kelebihan dari algoritma OMP adalah cepat dan akurat. Selain itu, OMP dapat digunakan untuk sinyal riil maupun kompleks. Algoritma OMP membutuhkan *input* matriks penginderaan A yang berdimensi $M \times N$ serta sinyal kompresi y dengan panjang M untuk memperoleh sinyal rekonstruksi x vektor dengan panjang N .

3. Hasil dan Pembahasan

3.8. Karakteristik Perilaku Penggunaan Energi Listrik Harian Gedung P Fakultas Teknik Elektro di Telkom University

Data dari penelitian ini diperoleh dari pengukuran penggunaan beban pada gedung P di Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. Pengambilan data dilakukan dalam periode 31 hari dengan interval pengambilan dilakukan setiap 1 menit. Untuk setiap hari, beban penggunaan listrik diakumulasikan untuk diperoleh beban pemakaian listrik sebesar satu hari. Data harian ini ditampilkan sebagaimana Gambar 5 Sumbu datar adalah hari sedangkan sumbu tegak adalah nilai *Time Average Energy* (TAE) dalam satuan kilowatt.



Gambar 45. Pola pemakaian beban energi dalam 31 hari.

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan pada pola beban pemakaian energi listrik harian yang sangat signifikan. Penyebabnya yaitu perbedaan konsumsi energi listrik setiap harinya. Pada saat hari libur akhir pekan dan hari libur nasional, konsumsi energi listrik tidak sebesar dengan konsumsi listrik pada hari kerja karena pada hari kerja terdapat aktifitas yang jauh lebih banyak menggunakan energi listrik untuk suatu gedung.

Salah satu parameter untuk menghitung akurasi hasil rekonstruksi adalah dengan menggunakan nilai *Root Mean Squared Error* (RMSE). RMSE dinyatakan seperti pada Persamaan (8)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - s)^2} \tag{8}$$

Pada persamaan tersebut s menyatakan sinyal asli, sedangkan y menyatakan sinyal rekonstruksi dan N menyatakan panjang sinyal. Nilai RMSE yang kecil menyatakan bahwa sinyal prediksi yang semakin mirip dengan sinyal asli, atau dengan kata lain kinerja algoritma berjalan baik. Di sisi lain, nilai RMSE yang tinggi menyatakan sinyal hasil prediksi yang berbeda jauh dengan sinyal asli, atau dengan kata lain, kinerja algoritma adalah buruk.

Parameter kinerja berikutnya adalah waktu komputasi. Waktu komputasi dirumuskan seperti Persamaan (9)

$$t_c = t_2 - t_1 \tag{9}$$

dengan t_c adalah waktu komputasi, t_2 adalah waktu akhir komputasi dan t_1 adalah waktu awal.

Waktu komputasi pada penelitian ini diukur secara relatif pada simulasi menggunakan spesifikasi komputer yang penulis gunakan. Ada pun prosesor yang digunakan adalah Intel(R) Core(TM) i5-7200U dengan kecepatan prosesor 2,5 GHz, serta RAM 8 GB dan sistem operasi Windows 10 Pro 64 bit dengan perangkat lunak pengolah adalah MATLAB.

3.9. Analisis LMS untuk Prediksi

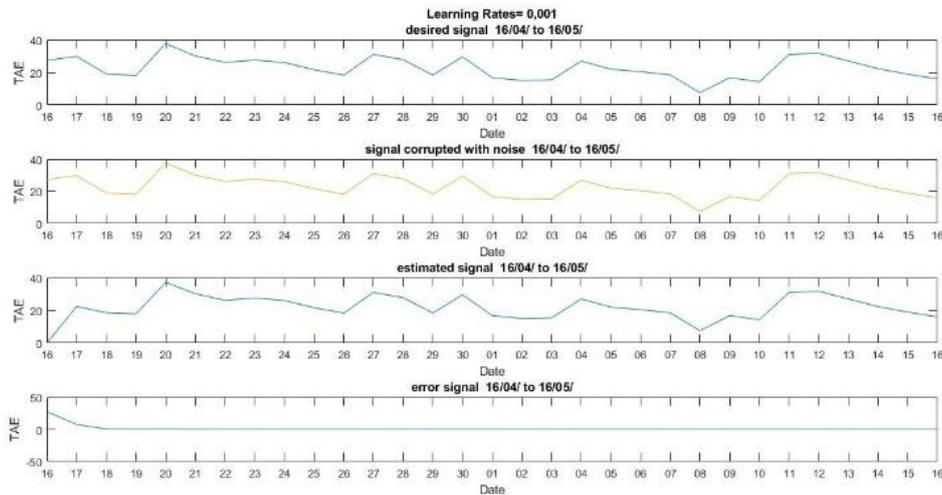
Pada simulasi ini, dilakukan pengujian dengan menggunakan data seperti pada Gambar 6. Untuk setiap simulasi, dilakukan perubahan parameter pada LMS yaitu nilai kecepatan pembelajaran atau *learning rate* (μ), serta orde filter. Nilai μ dipilih dari rentang 0,00001 sampai dengan 0,02. Orde filter dipilih dari 1 sampai 5. Hasil nilai RMSE untuk pengaturan ini adalah seperti pada Tabel 1.

Tabel 16. Uji RMSE untuk tingkat pembelajaran dan orde filter yang berbeda.

μ	Orde				
	1	2	3	4	5
0.00001	21.935	20.134	18.18.618	17.622	16.827
0.00005	16.558	13.274	11.617	10.926	10.633
0.0001	12.805	10.151	9.1855	9.0225	9.1823
0.0005	6.3602	6.8219	7.0348	7.0959	15.522
0.0006	5.9405	6.9097	7.3785	7.4043	63.78
0.0008	5.403	7.5229	12.086	12.376	9938.2
0.001	5.1011	8.8565	56.478	1576.2	4039456.23
0.002	5.7998	10947.94629	25789226.78	3.21×10^{12}	4.36×10^{16}

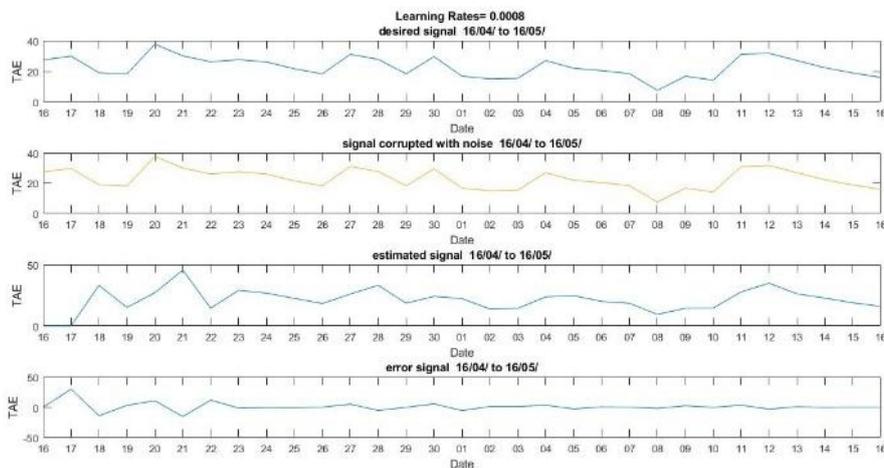
Terlihat pada Tabel 1. bahwa RMSE minimum dicapai dengan menggunakan nilai *learning rate* 0,001 dan orde 1 filter FIR dengan hasil RMSE 5,1.

Hasil tampilan simulasi untuk pengaturan learning rate 0,001 dan FIR orde 1 diperlihatkan pada Gambar 6, gambar pertama yang atas adalah sinyal asli atau sinyal referensi. Gambar kedua adalah sinyal yang telah terkena derau, dalam kasus transmisi. Dengan asumsi bahwa transmisi bersifat sempurna, maka nilai derau dianggap sebagai nol, sehingga sinyal terkena derau adalah sama dengan sinyal asli. Gambar ketiga menunjukkan hasil rekonstruksi LMS dengan perbedaan dengan sinyal asli berupa sinyal *error*, dan sinyal *error* ini ditampilkan pada gambar keempat atau gambar yang paling bawah. Terlihat pada sinyal *error*, bahwa algoritma dapat menyesuaikan dengan cepat menggunakan learning rate 0,001 tersebut, ditandai dengan adanya nilai *error* pada bagian awal sinyal sampai dengan data ke 3 yaitu tanggal 18 April 2020, sedangkan bagian tengah dan akhir, nilai *error* telah mendekati nol, dengan kata lain, LMS sudah dapat memprediksi sinyal dengan baik.



Gambar 46. Sinyal prediksi dan sinyal kesalahan pada orde 1.

Sebagai perbandingan, Gambar 7 memperlihatkan hasil simulasi untuk orde filter 2 dan nilai *learning rate* 0,0008. Pada kurva dari Gambar 7, terlihat bahwa filter orde 2 memerlukan waktu belajar yang lebih panjang dibandingkan dengan orde 1. Hal ini terlihat dari nilai *error* yang masih tinggi untuk nilai data sampai dengan data ke 7 yaitu tanggal 22 April 2020 sedangkan orde 1 telah mencapai nilai *error* yang rendah untuk data ke 3 yaitu 18 April 2020. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sinyal beban listrik yang digunakan bersifat dinamis dengan filter LMS orde 1 yang cocok untuk memprediksinya.



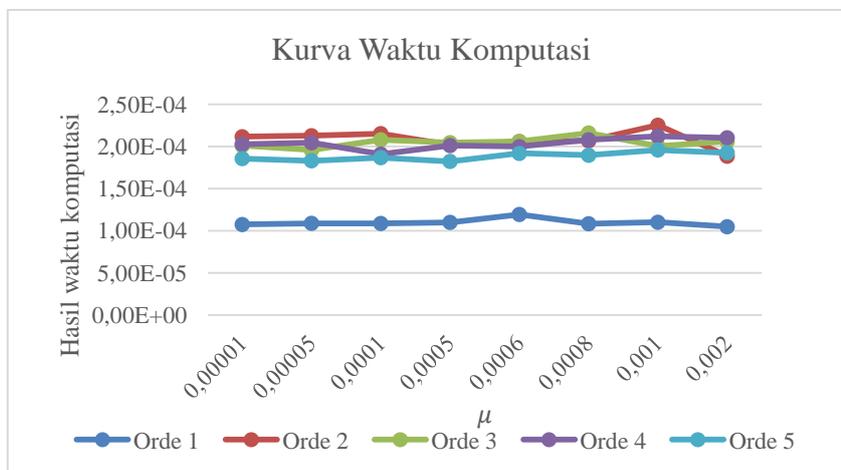
Gambar 47. Sinyal prediksi dan sinyal kesalahan pada orde 2.

Terkait dengan waktu komputasi, pengukuran dilakukan untuk setiap parameter *learning rate* dan orde filter yang sama seperti simulasi sebelumnya. Hasil simulasi pengukuran waktu komputasi adalah seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 17. Waktu komputasi untuk tingkat pembelajaran dan orde filter yang berbeda (dalam detik).

μ	orde				
	1	2	3	4	5
0.00001	$1,07 \times 10^{-4}$	$2,11 \times 10^{-4}$	$2,01 \times 10^{-4}$	$2,03 \times 10^{-4}$	$1,86 \times 10^{-4}$
0.00005	$1,09 \times 10^{-4}$	$2,13 \times 10^{-4}$	$1,95 \times 10^{-4}$	$2,04 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-4}$
0.0001	$1,09 \times 10^{-4}$	$2,15 \times 10^{-4}$	$2,08 \times 10^{-4}$	$1,91 \times 10^{-4}$	$1,87 \times 10^{-4}$
0.0005	$1,10 \times 10^{-4}$	$2,01 \times 10^{-4}$	$2,04 \times 10^{-4}$	$2,01 \times 10^{-4}$	$1,82 \times 10^{-4}$
0.0006	$1,19 \times 10^{-4}$	$2,06 \times 10^{-4}$	$2,06 \times 10^{-4}$	2×10^{-4}	$1,92 \times 10^{-4}$
0.0008	$1,08 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-4}$	$2,16 \times 10^{-4}$	$2,08 \times 10^{-4}$	$1,89 \times 10^{-4}$
0.001	$1,1 \times 10^{-4}$	$2,25 \times 10^{-4}$	2×10^{-4}	$2,12 \times 10^{-4}$	$1,96 \times 10^{-4}$
0.002	$1,05 \times 10^{-4}$	$1,88 \times 10^{-4}$	$2,06 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$

Hasil kurva dari waktu komputasi sebagaimana yang diberikan dari Tabel 2 ditampilkan dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 8.



Gambar 48. Waktu komputasi untuk tingkat pembelajaran dan orde filter yang berbeda.

Terlihat pada Gambar 8, bahwa waktu komputasi minimum dicapai dengan menggunakan nilai kecepatan pembelajaran 0,002 dan orde 1 filter FIR dengan hasil waktu komputasi $1,05 \times 10^{-4}$ detik.

3.10. Analisis CS untuk Prediksi

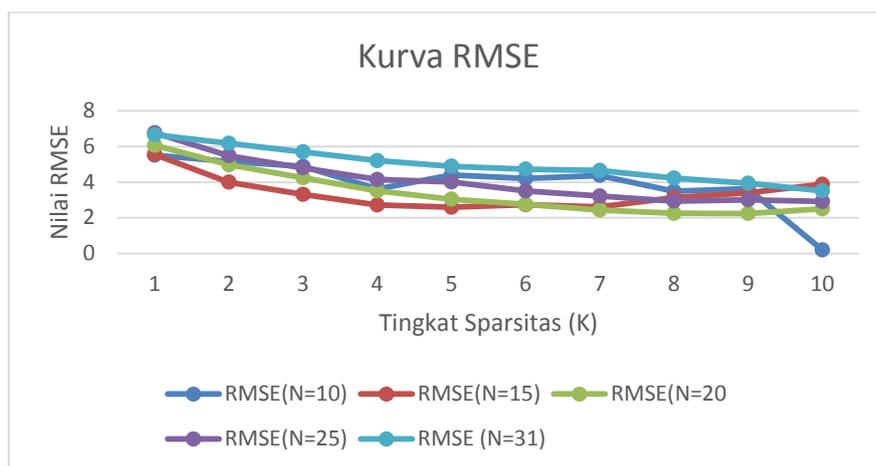
Pada simulasi ini, dilakukan pengujian dengan menggunakan data seperti pada Gambar 6. Untuk setiap simulasi, dilakukan perubahan parameter pada LMS yaitu nilai tingkat sparsitas (K), serta panjang data yang berbeda. Nilai K dipilih dari rentang 1 sampai dengan 10. Panjang data dipilih 10, 15, 20, 25 dan 31. Hasil nilai RMSE untuk pengaturan ini adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 18. Uji RMSE untuk tingkat sparsitas dan panjang sinyal yang berbeda.

Tingkat Sparsitas (K)	Panjang Data (N)				
	10	15	20	25	31
1	5.5144	5.5574	6.0636	6.7665	6.6557
2	5.1555	4	4.9686	5.4821	6.1779
3	4.8788	3.3139	4.2439	4.8061	5.6997
4	3.6198	2.7185	3.5105	4.1472	5.2041
5	4.4071	2.5931	3.0461	4.0109	4.8948
6	4.2087	2.734	2.7526	3.5038	4.7279

7	4.3751	2.6103	2.4424	3.2217	4.6521
8	3.4893	3.1376	2.2507	2.9401	4.2262
9	3.6429	3.3995	2.2446	3.0107	3.934
10	0.1982	3.8772	2.5031	2.9143	3.5101

Hasil kurva dari nilai RMSE sebagaimana yang diberikan dari Tabel 3 ditampilkan dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 9.

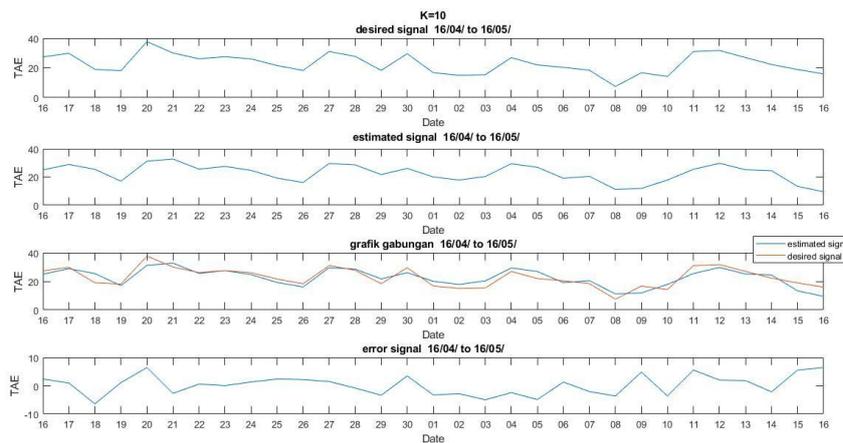


Gambar 49. Nilai RMSE untuk tingkat sparsitas dan panjang sinyal yang berbeda.

Terlihat pada gambar 9 bahwa RMSE minimum dicapai pada algoritma CS dengan menggunakan nilai tingkat sparsitas 10 dengan panjang data 10 dengan nilai RMSE 0,01982.

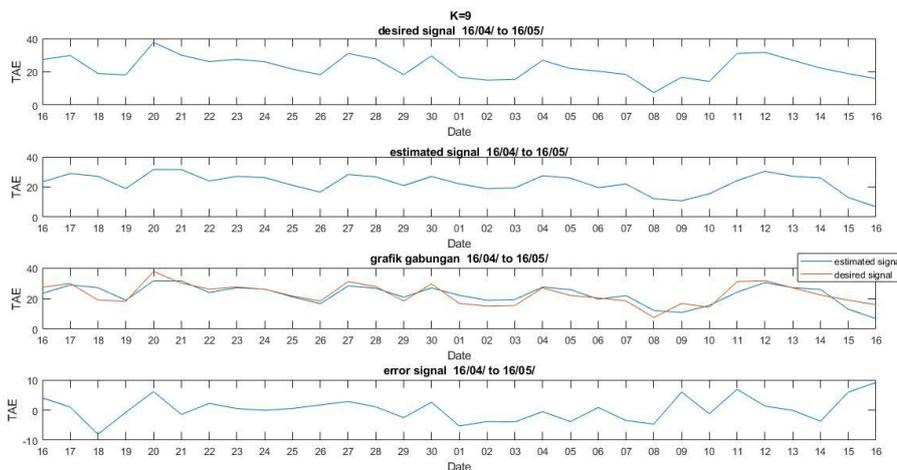
Jika melihat dari Tabel 3 dan Gambar 9 jika dilihat dari panjang data, ketika panjang data 10 maka RMSE minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 10 dengan nilai RMSE 0,01982. Ketika panjang data 15 maka RMSE minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 5 dengan nilai RMSE 2,59. Ketika panjang data 20 maka RMSE minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 9 dengan nilai RMSE 2,24. Ketika panjang data 25 maka RMSE minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 10 dengan nilai RMSE 2,91 dan ketika panjang data 31 maka RMSE minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 10 dengan nilai RMSE 3.51.

Hasil tampilan simulasi untuk pengaturan tingkat sparsitas 10 dengan panjang data 31 diperlihatkan pada Gambar 10, gambar pertama yang atas adalah sinyal asli atau sinyal referensi. Gambar kedua menunjukkan sinyal hasil prediksi CS. Gambar ketiga menunjukkan gabungan dari sinyal asli dan sinyal hasil prediksi dengan perbedaan dengan sinyal asli berupa sinyal *error*, dan sinyal *error* ini ditampilkan pada gambar keempat atau gambar yang paling bawah. Terlihat pada sinyal *error*, bahwa algoritma dapat menyesuaikan dengan cepat menggunakan tingkat sparsitas 10 tersebut, ditandai dengan adanya nilai *error* pada bagian awal sinyal sampai dengan data terakhir, nilai *error* tidak terlalu tinggi atau mendekati nol dan pada gambar ketiga grafik gabungan terlihat sinyal prediksi mirip dengan sinyal data aktual. dengan kata lain, CS sudah dapat memprediksi sinyal dengan baik.



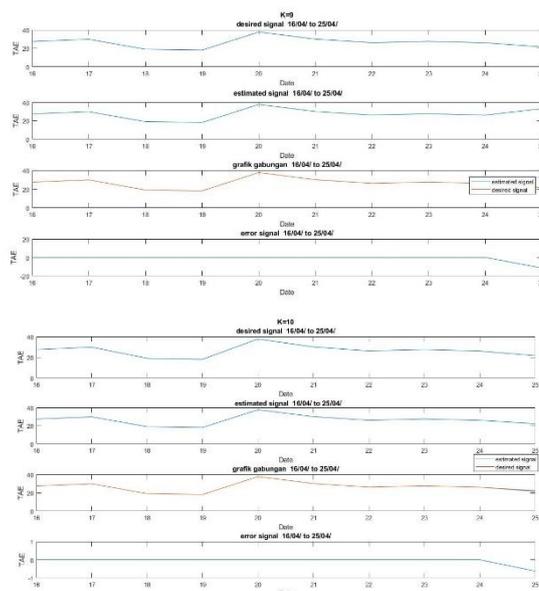
Gambar 50. Sinyal prediksi dan sinyal kesalahan dengan panjang data 31 saat sparsitas 10.

Sebagai perbandingan, Gambar 11 memperlihatkan hasil simulasi untuk panjang sinyal 31 dan tingkat sparsitas 9. Pada kurva dari Gambar 11, terlihat bahwa tingkat sparsitas memerlukan waktu belajar yang lebih panjang dibandingkan dengan menggunakan tingkat sparsitas 10. Hal ini terlihat dari nilai *error* yang masih tinggi dibandingkan dengan nilai *error* saat tingkat sparsitas 10 pada Gambar 10. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sinyal beban listrik yang digunakan bersifat dinamis dengan CS dengan sparsitas 10 yang cocok untuk memprediksi pada panjang data 31.



Gambar 51. Sinyal prediksi dan sinyal kesalahan dengan panjang data 31 saat sparsitas 9.

Pada Gambar 10 dan Gambar 11 data dengan sparsitas dapat merepresentasikan sinyal data prediksi dengan sinyal data aktual. Disetiap grafik, sinyal error selama iterasi ditampilkan untuk tingkat sparsitas (K) yang berbeda. Seperti yang diperkirakan, algoritma akan lebih cepat konvergen atau akan lebih cepat menghasilkan sinyal data prediksi lebih mirip dengan sinyal data aktual saat tingkat sparsitas ditingkatkan. Terlihat bahwa kecepatan konvergensi lebih tinggi ketika data yang lebih panjang. Namun jika nilai K ditingkatkan mendekati atau sama dengan jumlah data maka tidak berpengaruh lagi terhadap perubahan sinyal prediksi seperti pada Gambar 12.



Gambar 52. Sinyal prediksi dan sinyal kesalahan dengan panjang data 10 saat sparsitas 9 dan 10

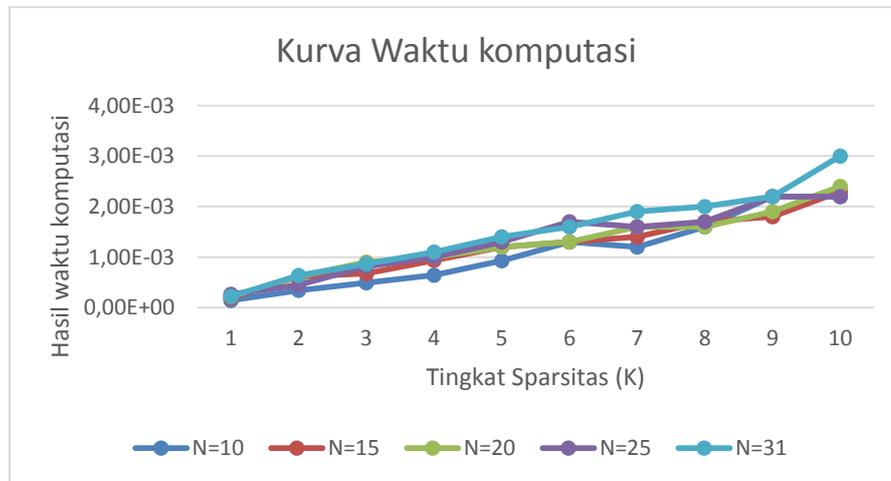
Untuk melihat kecepatan konvergensi algoritma CS, nilai data pemakaian beban listrik aktual dan nilai prediksinya untuk panjang data dan tingkat sparsitas yang berbeda Gambar 10 dan Gambar 11 seperti yang ditunjukkan pada grafik nilai prediksi beban listrik mendekati lebih cepat dengan nilai data aktual saat tingkat sparsitas ditingkatkan.

Terkait dengan waktu komputasi, pengukuran dilakukan untuk setiap parameter tingkat sparsitas dan panjang data yang sama seperti simulasi sebelumnya. Hasil simulasi pengukuran waktu komputasi adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 19. Uji waktu komputasi untuk tingkat sparsitas dan panjang data yang berbeda.

Tingkat Sparsitas (K)	Panjang Data (N)				
	10	15	20	25	31
1	1.42E-04	1.90E-04	2.22E-04	2.64E-04	2.22E-04
2	3.43E-04	6.10E-04	6.14E-04	4.48E-04	6.36E-04
3	4.93E-04	6.73E-04	9.01E-04	8.16E-04	8.66E-04
4	6.41E-04	9.37E-04	1.00E-03	1.00E-03	1.10E-03
5	9.28E-04	0.0012	0.0012	0.0013	0.0014
6	0.0013	0.0013	0.0013	0.0017	0.0016
7	0.0012	0.0014	0.0016	0.0016	0.0019
8	0.0016	0.0017	0.0016	0.0017	0.002
9	0.0022	0.0018	0.0019	0.0022	0.0022
10	0.0022	0.0023	0.0024	0.0022	0.003

Hasil kurva dari waktu komputasi sebagaimana yang diberikan dari Tabel 4 ditampilkan dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 13.



Gambar 53. Waktu komputasi untuk tingkat sparsitas dan panjang data yang berbeda.

Terlihat pada Gambar 13 bahwa waktu komputasi minimum dicapai pada algoritma CS dengan menggunakan nilai tingkat sparsitas 1 dengan panjang data 10 dengan hasil waktu komputasi $1,42 \times 10^{-4}$.

Pada Tabel 4 dan Gambar 13 jika dilihat dari panjang data, ketika panjang data 10 maka waktu komputasi minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 1 dengan hasil waktu komputasi $1,42 \times 10^{-4}$. Ketika panjang data 15 maka waktu komputasi minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 1 dengan hasil waktu komputasi $1,90 \times 10^{-4}$. Ketika panjang data 20 maka waktu komputasi minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 1 dengan hasil waktu komputasi $2,22 \times 10^{-4}$. Ketika panjang data 25 maka waktu komputasi minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 1 dengan hasil waktu komputasi $2,64 \times 10^{-4}$ dan panjang data 31 maka waktu komputasi minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 1 dengan hasil waktu komputasi $2,22 \times 10^{-4}$.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengajukan metode untuk memprediksi pemakaian beban listrik dengan membandingkan performa metode *Least Mean Square* (LMS) dan *Compressive Sensing* (CS) berdasarkan tingkat akurasi RMSE dan waktu komputasi algoritma yang digunakan. Pada algoritma CS dan LMS memprediksi data pemakaian beban listrik dari tanggal 16 April 2020 sampai 16 Mei 2020.

Hasil analisis menggunakan algoritma CS didapatkan hasil waktu komputasi minimum $2,22 \times 10^{-4}$ dengan tingkat sparsitas 1. Jika dilihat dari akurasi RMSE minimum dicapai dengan tingkat sparsitas 10 dengan nilai RMSE 3,5. Ketika dianalisis menggunakan algoritma LMS didapatkan hasil waktu komputasi minimum $1,05 \times 10^{-4}$ dengan nilai kecepatan pembelajaran 0,002 dan orde 1 filter FIR. Jika dilihat dari akurasi RMSE minimum dicapai dengan menggunakan nilai kecepatan pembelajaran 0,001 dan orde 1 filter FIR dengan hasil RMSE 5,1011.

Pada analisis penelitian ini, jika mengutamakan performa waktu komputasi maka algoritma LMS lebih baik untuk sistem prediksi pemakaian beban listrik menggunakan kecepatan pembelajaran 0,002 dengan orde 1 hasil waktu komputasi $1,05 \times 10^{-4}$. Namun, jika mengutamakan performa akurasi RMSE, algoritma CS lebih baik untuk sistem prediksi pemakaian beban listrik menggunakan sparsitas 10 menghasilkan nilai RMSE 3,51.

Referensi

- [1] P. Ayuningtyas, D. Triyanto, and T. Rismawan, "Prediksi Beban Listrik Pada PT.PLN (PERSERO) Menggunakan Regresi Interval Dengan Neural Fuzzy," *J. Coding, Sist. Komput. UNTAN*, vol. 04, no. 1, pp. 1–10, 2016.
- [2] V. Apriana and R. I. Handayani, "Analisis Algoritma Prediksi Untuk Menghasilkan Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek," *J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 73–78, 2017.
- [3] B. Jalal, S. Member, X. Yang, S. Member, Q. Liu, and S. Member, "Fast and Robust Variable Step Size LMS Algorithm for Adaptive Beamforming," vol. 0, no. 1, pp. 1–4, 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.2995244.
- [4] L. Huang, Q. Lin, X. Zhang, and P. Shuai, "Compressed Sensing," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 53, no. 1, pp. 137–147, 2017, doi: 10.1109/TAES.2017.2649698.
- [5] I. Fatwasauri and M. Rizkinia, "Compressive sensing image reconstruction with total variation and $l_{2,1}$ norm for microwave imaging," *2nd IEEE Int. Conf. Innov. Res. Dev. ICIRD 2019*, no. Mi, pp. 2–5, 2019, doi: 10.1109/ICIRD47319.2019.9074702.
- [6] "Peramalan beban listrik jangka menengah pada sistem kelistrikan kota samarinda," no. 09, pp. 113–121, 2015.
- [7] R. Dwisatya and M. R. Kirom, "Prediksi Beban Listrik Jangka Pendek Menggunakan Algoritma Feed Forward Back Propagation dengan Mempertimbangkan Variasi Tipe Hari," *Electrans*, vol. 14, no. 1, pp. 34–40, 2016.
- [8] T. Shu, J. Chen, V. K. Bhargava, and C. W. De Silva, "An Energy-Efficient Dual Prediction Scheme Using LMS Filter and LSTM in Wireless Sensor Networks for Environment Monitoring," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 4, pp. 6736–6747, 2019, doi: 10.1109/IIOT.2019.2911295.
- [9] A. Ukte and A. Kizilkaya, "Comparing the performances of least mean squares based multirate adaptive filters," in *2016 26th International Conference Radioelektronika, RADIOELEKTRONIKA 2016*, 2016, no. 6, pp. 325–329, doi: 10.1109/RADIOELEK.2016.7477383.
- [10] H. G. Alfarizi, F. T. Elektro, U. Telkom, and A. Filter, "Penghapusan Derau Pada Sinyal Wicara Menggunakan Sistem Least Mean Square Noise Cancellation of Speech Signal Using Dual Microphone System With Discrete Cosine Transform Least Mean Square," vol. 5, no. 2, pp. 2161–2168, 2018.
- [11] K. Usman, I. Irawati, A. B. Suksmono, and H. Gunawan, "Teknik Penginderaan Kompresif: Prinsip dan Aplikasinya," vol. 2, no. 9, 2016.
- [12] I. Orović, V. Papić, C. Ioana, X. Li, and S. Stanković, "Compressive Sensing in Signal Processing: Algorithms and Transform Domain Formulations," *Math. Probl. Eng.*, p. 16, 2016, doi: 10.1155/2016/7616393.
- [13] N. Hafizah, "Perancangan dan Implementasi Compressive Sensing Untuk Sistem Audio Watermarking dengan Metode Kombinasi Discrete Cosine Transform dan Discrete Wavelet Transform," in *Ekp*, 2017, vol. 13, no. 3, pp. 1576–1580.

A Review of Soft Sensor Methods for Mach number Measurement at LAPAN Supersonic Wind Tunnel

Jefri Abner Hamonangan¹, Sinung Tirtha Pinindriya¹

¹Institution/affiliation Aeronautics Technology Center, LAPAN
Jl. Raya LAPAN-Rumpin, Desa Sukamulya, Kecamatan Rumpin – Bogor^{2,3}Institution/affiliation
Phone: (021) 75790383
e-mail: jefri.abner@lapan.go.id, sinung.tirtha@lapan.go.id

Abstrak – Wind tunnel is used to provide air flow to an object so that the aerodynamics characteristic of the object can be determined. The given air flow will be varying according to the object working condition. LAPAN Supersonic Wind Tunnel can operate at the speed of 1 – 3.5 Mach. The value of 1 – 3.5 Mach is determined from calculating the measurement of static pressure and stagnation pressure. Sometimes problem occurs when one of the sensor was unavailable to use, this situation can delay the ongoing test in the wind tunnel. The purpose of this paper is to review the soft sensor method to be applied as a backup for the physical sensor.

Keyword: Wind Tunnel, Supersonic, Soft Sensor, Pressure Sensor.

1. Introduction

Wind tunnel is a tool / facility used by researcher to measure or monitor the behavior an object in an air flow. The operation of a wind tunnel is based on testing a reduced-scale model of an aerodynamic object [1]. In wind tunnel testing, air speed, force and moment measurement of the test object is the a few variable researchers need to know.

There are a few type of wind tunnel based on their speed regime [2]:

- Subsonic tunnel (incompressible) $0 < Ma < 0.25$
- Subsonic tunnel (compressible) $0.25 < Ma < 0.8$
- Transonic tunnel $0.8 < Ma < 1.2$
- Supersonic tunnel $1.2 < Ma < 5$
- Hypersonic tunnel $5 < Ma$

Ma or Mach is a ratio of velocity at a point in fluid to velocity of sound. Blowdown Supersonic wind tunnels are designed to produce supersonic air speeds for aerodynamic analysis and testing on scaled models under well controlled test conditions [3].

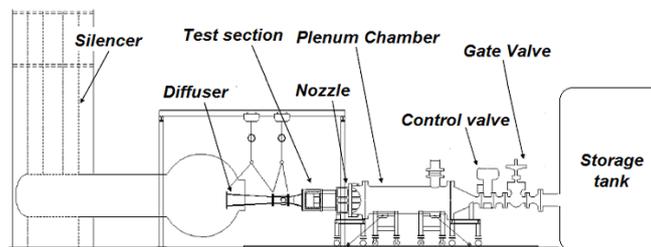


Figure 1. Schematic diagram of a supersonic blowdown wind tunnel

Before starting a wind tunnel test we have to set a few parameters to gain a certain speed, those parameters are pressure of the storage tank and the sliding block. The parameter setting

was achieved by calibrating the wind speed to the storage tank pressure and the sliding block setting. But due the open loop tunnel condition, the outside condition (wind, temperature, etc.) can still have a small influence to air speed, so we still need to know the exact speed measurement from the sensors. To measure the air speed in supersonic tunnel we are using 2 pressure sensor, static pressure sensor and total pressure sensor.

For pressure sensor calibration, the data acquisition collects the pressure sensor output in (voltage) as pressure given with the pressure gauge calibrator, and the calibration data have a linear trend [4].

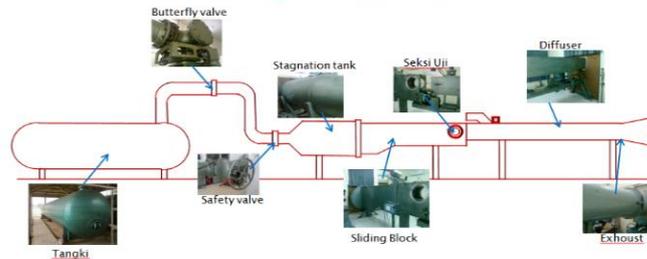


Figure 2. LAPAN Supersonic wind tunnel

In order to measure an air speed, we use the Bernoulli’s compressible equation:

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \dots\dots\dots (1)$$

Where P_0 is stagnation/total pressure, P is static pressure, γ is ratio of specific gas heat (1.4 for air) and M is Mach number.

From eq 1 we can get:

$$M = \sqrt{\frac{2}{\gamma-1} \left[\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} - 1 \right]} \dots\dots\dots (2)$$

Problem occurs when one of the sensors become malfunction, so we can’t determine the exact speed measurement. If we can get a replacement sensor the problem is solve, but some time we can’t get the replacement or repair the sensor immediately.

2. Soft Sensor

In the last two decades, soft sensors have been increasingly applied in process industry as an alternative to traditional hardware instruments. Soft sensors are inferential estimators, drawing conclusions from process observations when hardware sensors are unavailable or unsuitable; they have an important auxiliary role in sensor validation when performance declines through senescence or fault accumulation [5].

Applications range from oil industry [6], chemical processes [7], metallurgical industry [8]. Typically, they are predictive models based on large amount of data available. In general, one can broadly classify soft sensors in two types, namely, the model driven (white-box models) and data-driven models (black-box models). First-principle models are dependent on a prior mechanical knowledge and thus often unavailable since industrial process are too complicated to analyze, making the mechanical knowledge rather hard-won. The data driven models rely on data modelling techniques and are trained on data collected during the operation of the process [9].

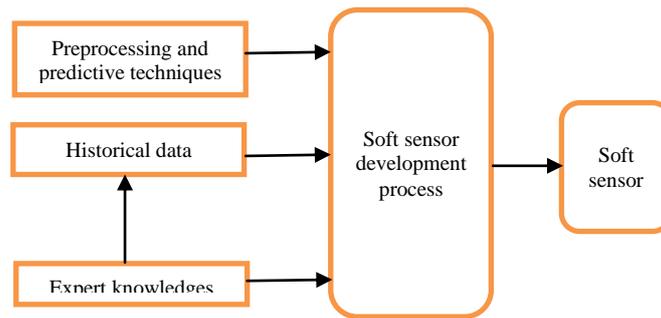


Figure 3. Soft sensor development process

Preprocessing and predictive techniques: The statistical and machine learning techniques for the data processing and for the actual soft sensor.

Historical data: The historical data for the training and parameterization of the preprocessing and the predictive methods.

Expert knowledge: The role of expert knowledge is needed when a case like distinguishing between two different drift discussed or determine a validation of data.



Figure 4. Soft sensor operation

A wide variety of statistical interference techniques and machine learning techniques have been employed in data - driven soft sensors, among which representative examples are principal component system regression (PCR) that incorporates principal component analysis (PCA) with a regression model, partial least square (PLS) regression, support vector machine (SVM) [18], and artificial neural network (ANN) [9]. According to a recent review paper on a recent data based soft sensor, the regression method (PCR) is the most widely used.

3. Soft Sensor Data

2.1. Historical Data

The historical data consist of a number of an input variables, for example, hardware sensor measurement and, one or more target variables. Some time there can be a relevant delay between collecting data measurement, this is cause by the fact that the target variables may have to be obtained in a time consuming manner (e.g. manual evaluation of quality measurement in a laboratory. Nevertheless, for the historical data, it can be assumed that the delays are compensated by entering the target values at the time point of taking the sample for the historical data [10].

2.2. Online / real-time data.

When the soft sensor system finished the model is applied in a real system application and needs to deal with a real data stream. Compare to historical data, online / real time data have a slightly different characteristic.

2.3. Data collection and preprocessing

There are some problems with data collections and preprocessing for soft sensor modelling such as, sampling time, missing data, outliers, working conditions accuracy and so on [11] [19].

2.4. Sampling time

In the majority of problems, the acquisition frequency of easy-to-measure variables is much higher than the acquisition frequency of hard-to-measure variables. In such cases, there is the necessity to synchronize the variables. This problem is usually referred to in the literature as

multi rate character, or multiple rate phenomenon [12]. There are two approaches to this problem.

- a) Down sample of the easy-to-measure data samples. With this approach in accordance to the slow sampling rate of the hard to measure variables, we exclude the samples of the easy to measure data samples that do not have a corresponding hard to measure (target) value [13].
- b) In order to estimate the hard-to-measure variables, low sampling rate variables, a finite impulse response (FIR) model is estimated and applied on the samples.

2.5. Missing data

The problem of missing data occurs when no value is stored for variable in an observation. A possible cause of missing data is related to the transmission of the data between the sensors and the database, errors in the database, problems in accessing the database, etc. [8]. There are two different approach for dealing with missing values (1) single imputation where the missing values are replaced in a single step (using, e.g., mean/median values) and (2) multiple imputation, which are iterative techniques where the several imputations steps are performed.

2.6. Outliers

Outliers are observation values that deviate significantly from the typical, meaningful range of values. Outliers can be caused, for example, by sensor malfunction, communication, errors or sensor degradation [11]. If we're using PLS algorithm, outliers detection and handling plays a critical role in soft sensor development because PLS algorithm are sensitive to outliers in data set [14]. In [14], a multivariate method for online outlier detection was offered. In addition, they also proposed a novel Bayesian approach to differentiate the outliers that represent a process change from those erroneous readings.

4. Data Driven Techniques For Soft Sensor Development

In the data driven techniques there are 3 most common methods for the development of soft sensor, the PCA method, PLS and ANN [13].

4.1 Principal Component Analysis

The PCA algorithm reduces the number of variables by building linear combinations of them. This is done in such a way that these combinations cover the highest possible variance in the input space and are additionally orthogonal to each other. In the context of the process industry data this is a very useful feature because the data there are often co-linear. In this way, the collinearity can be handle and the dimensionality of the input space can be decreased at the same time. The PCA process was able to identify frequency ranges where the inline and vertical cross-axis forces are correlated or uncorrelated to each other [16].

4.2 Partial Least Squares

This algorithm, instead of focusing on the covering of the input space variance, pays attention to the covariance matrix that brings together the input and the output data space. The algorithm decomposes the input and output space simultaneously while keeping the orthogonality constraint. In this way it is assured that the model focuses on the relation between the input and output variables. The two methods differ also in the type of data matrices that are analyzed. Typically, data matrices analyzed by PLSC have a complex and specific structure whereas the data matrices analyzed by PLSR tend to be simple matrices. PLSC is also very versatile and has been adapted to several different situations such as multi-block analysis. PLSR, being an iterative process, requires long computation time which can be prohibitive for some applications with very large data sets [17].

4.3 Artificial Neural Networks

The original intention of ANNs was to build computational models motivated by the operation of biological neurons, which are the basic information processing units in nervous systems. The task of both the biological and the artificial neuron is to collect information at the inputs, to process this information and to output it. There is a large variety of computational intelligence models which are more or less biologically plausible and can be summarized under the term artificial neural network. In case of soft sensor, the most commonly applied type of ANN is the MLP's (Multilayer Perceptron) [9]. An MLP is a feed forward ANN that maps sets of input data onto a set of appropriate outputs. It consists of one input layer, one output layer and at least one hidden layer.

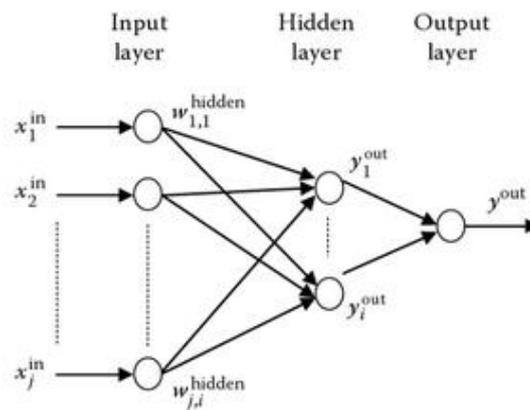


Figure 5. MLP Structure

The role of the input layer is to collect input data and provide it to the hidden layer for further processing. The number of input layer is equivalent to the dimensionality of the input data. The role of hidden units is to collect the signals at their input, that is, the output of preceding layer; multiply them by the connection weights; build a sum of them; and process the using the transfer function g^{hidden} .

$$x_i^{hidden} = g^{hidden} \left(\sum_j w_{(j,i)}^{hidden} x_j^{in} \right)$$

Where:

- x_i^{hidden} = Is the output of the i the hidden unit
- $w_{(j,i)}$ = Is the weight between the j the input unit and i is the hidden unit
- $g^{hidden} ()$ = Is the transfer function of the output neuron
- x_j^{in} = Is the j th variable of the input sample

5. Soft Sensor Application

The application of soft sensor can be found across many fields. A few applications of soft sensor are, Online prediction, process monitoring and process fault detection also as a hardware sensor backup [9].

5.1 Online Prediction

Soft sensor for online prediction is use because the prediction of online values cannot be measure online by automated measurements. This may be for technological reason (e.g., there is no available instruments to do the measurements), for economical reason (e.g. the necessary instrument is too expensive). Soft sensor can, in such scenario provide useful information about the values interest and in the case when the soft sensor fulfills given standards, it can also have incorporated in to automated control loop process. Online prediction based on semi-analytic performance prediction techniques as used in physical layer abstraction method [20].

5.2 Process monitoring and process fault detection.

Commonly process monitoring technique are based on multivariate statistical techniques like PCA. These measures have, on the one hand, providing information about the contribution of the particular features to a possible violation of the monitoring statistics.

5.3 Hardware sensor backup

Soft sensor can also act as a sensor backup with a tendency of failure or with a requirement of a periodic maintenance. In such situation, to prevent disturbance or delay to the system, soft sensor can be development to replace the unavailability.

6. Conclusion

There is no doubt that soft sensor will have an important role in a process industry and instrumentation. Up until now, soft sensor has been implemented as a backup or as a replacement for the unavailability of physical sensor. From this review, the soft sensor method commonly used as a hardware backup is PCA and PLS. The PCA algorithm reduces the number of variables by building linear combinations of them. In this case (soft sensor for Mach number) only have a few variable, so we think the PLS method is the right method to use. But, this method still must be proven through a series of wind tunnel test.

Contributorship Statements

All authors contributed equally to this work. All authors discussed the result and implications and commented on manuscript at all stages.

References

- [1] B. Ilić, M. Milosavljević, J. Isaković, and M. Miloš, "Stagnation Pressure Transient Control in a Supersonic Blowdown Wind Tunnel Test Facility," *Materials Today: Proceedings*, vol. 3, pp. 987-992, // 2016.
 - [2] E. Krause, *Fluid Mechanics: With Problems and Solutions, and an Aerodynamics Laboratory*: Springer, 2005.
 - [3] A. N. Shahrbabaki, M. Bazazzadeh, A. Shahriari, and M. D. Manshadi, "Intelligent Controller Design for a Blowdown Supersonic Wind Tunnel," *International Journal of Control and Automation*, vol. 7, 2014.
 - [4] Jefri Abner H., Prawito, P., Agus Aribowo, A Labview Based Optimization of Supersonic Wind Tunnel Instrumentation Systems, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, Vol. 8 No.2, pp. 353-363, 2020.
 - [5] L. Fortuna, S. Graziani, A. Rizzo, and M. G. Xibilia, *Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes*: Springer London, 2007.
 - [6] B. O. S. Teixeira, W. S. Castro, A. F. Teixeira, and L. A. Aguirre, "Data-driven soft sensor of downhole pressure for a gas-lift oil well," *Control Engineering Practice*, vol. 22, pp. 34-43, 1// 2014
 - [7] S. Shokri, M. A. Marvast, M. T. Sadeghi, and S. Narasimhan, "Combination of data rectification techniques and soft sensor model for robust prediction of sulfur content in HDS process," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 58, pp. 117-126, 1// 2016
 - [8] Y. G. Li, W. H. Gui, C. H. Yang, and Y. F. Xie, "Soft sensor and expert control for blending and digestion process in alumina metallurgical industry," *Journal of Process Control*, vol. 23, pp. 1012-1021, 8// 2013.
 - [9] J. G. Webster and H. Eren, *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, Second Edition: Electromagnetic, Optical, Radiation, Chemical, and Biomedical Measurement*: Taylor & Francis, 2014.
 - [10] C. Shang, F. Yang, D. Huang, and W. Lyu, "Data-driven soft sensor development based on
-
- ISBN: 978-602-60581-2-6

- deep learning technique," *Journal of Process Control*, vol. 24, pp. 223-233, 3// 2014.
- [11] F. A. A. Souza, R. Araújo, and J. Mendes, "Review of soft sensor methods for regression applications," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 152, pp. 69-79, 3/15/ 2016.
- [12] Y. Wu and X. Luo, "A novel calibration approach of soft sensor based on multirate data fusion technology," *Journal of Process Control*, vol. 20, pp. 1252-1260, 12// 2010.
- [13] P. Kadlec and B. Gabrys, "Local learning-based adaptive soft sensor for catalyst activation prediction," *AIChE Journal*, vol. 57, pp. 1288-1301, 2011.
- [14] H. J. Galicia, Q. P. He, and J. Wang, "Adaptive Outlier Detection and Classification for Online Soft Sensor Update," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, pp. 402-407, // 2012.
- [15] P. Kadlec, B. Gabrys, and S. Strandt, "Data-driven Soft Sensors in the process industry," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 33, pp. 795-814, 4/21/ 2009.
- [16] Ya Huang, Neil Ferguson, Principal component analysis of the cross-axis apparent mass nonlinearity during whole-body vibration, *Mechanical systems and signal processing*, 2020.
- [17] Anjali Krishnan, L. J. Williams, Anthony R. McIntosh, Herve Abdi, *Partial Least Squares Methods: Partial Least Squares Correlation and Partial Least Square Regression*, *Journal Neuroimage*, 2010.
- [18] Alberto Munoz, Javier M. Moguerza, Gabriel Martos, *Support Vector Machines*, Wiley Statsref: Statistics Reference Online, 2019.
- [19] Uma K., M. Hanumanthapa, *Data Collection Methods and Data Pre-processing Techniques for Healthcare Data Using Data Mining*, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 8 Issue 6, 2017.
- [20] Serdar Sahin, Antonio M. Cipriano, et.al, *Iterative Decision Feedback Equalization Using Online Prediction*, *IEEE Access*, 2019.

Komunikasi Serial Pada Robot Mobil Otonom Multiguna

Serial Communications in Multipurpose Autonomous Robot Cars

Muhamad Fahrur Radzi^{*}, Hendri Maja Saputra², Nanang Ismail³

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan AH. Nasution 105 Bandung 40614 telp. (022) 7800525/fax (022) 7803936

Komplek LIPI, Jl.Cisitu No.21 / 154D, Bandung 40135 telp. (022) 2504770/fax +62-22-2504773
1177070058@student.uinsgd.ac.id^{*}, hendri.maja.saputra@lipi.go.id², nanang.is@uinsgd.ac.id³

Abstrak – Perkembangan teknologi bergitu pesat demikian pula dalam dunia mekatronika, robot dan alat otomasi semakin banyak dirancang dan semakin canggih. Tepat pada kondisi pandemi COVID-19 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Bandung melakukan penelitian mengenai alat kesehatan guna menekan penyebaran COVID-19. Kegiatan Riset yang dilakukan yaitu pengembangan Robot Otonom 2020 dan ICU Ventilator. Kedua alat mekatronik tersebut terdapat komunikasi antar perangkat yang dinamakan Komunikasi Serial. Komunikasi Serial berkomunikasi dari suatu perangkat lain bertujuan untuk mentransfer data. Komunikasi Serial merupakan komunikasi yang pengiriman datanya per-bit secara berurutan dan bergantian. Komunikasi Serial digunakan dalam komunikasi mikrokontroler dengan mikrokontroler atau dengan perangkat lain. Mikrokontroler merupakan kendali berbasis mikro yang memiliki IC sebagai pusat pengolahan data baik logika ataupun Aritmatika dan memiliki memori yang sudah tertanam didalamnya. Komunikasi serial pada perangkat mekatronik Robot Otonom Multiguna 2020 menggunakan Teensy 4.0 dan Arduino Nano sebagai controller. Masing-masing perangkat saling berkomunikasi menggunakan komunikasi serial data parsing atau penguraian data. Pengiriman dan penerimaan data dilakukan secara half duplex dan full duplex. Komunikasi Serial secara Asynchronous Serial, menjadikan setiap perangkat menentukan kecepatan pengiriman/penerimaan data atau baudrate harus sama.

Kata Kunci: COVID-19, Robot Otonom Multiguna 2020, ICU Ventilator, Mikrokontroler, Komunikasi Serial, Parsing Data.

Abstract – The development of technology is so fast that in the world of mechatronics, robots and automation tools are increasingly being designed and are increasingly sophisticated. Right in the condition of the COVID-19 pandemic, the Indonesian Institute of Sciences Bandung conducted research on medical devices to reduce the spread of COVID-19. Research activities carried out are the development of the 2020 Autonomous Robot and ICU Ventilator. Both of these mechatronic devices have communication between devices called Serial Communication. Serial communication communicates from another device in order to transfer data. Serial communication is a communication that sends data per-bit sequentially and alternately. Serial communication is used in microcontroller communication with a microcontroller or with other devices. The microcontroller is a micro-based control that has an IC as a data processing center for both logic and arithmetic and has built-in memory. Serial communication on the 2020 Multipurpose Autonomous Robot mechatronic device uses Teensy 4.0 and Arduino Nano as controllers. Each device communicates with each other using serial communication data parsing or data decoding. Sending and receiving data is done in half duplex and full duplex. Serial communication is asynchronous serial, making each device determine the speed of sending / receiving data or the baudrate must be the same.

Keywords: COVID-19, Multipurpose Autonomous Robot 2020, ICU Ventilator, Microcontroller, Serial Communications, Data Parsing.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di zaman sekarang begitu cepat. Begitupula perkembangan robotika melesat begitu cepat yang asalnya mesin dikendalikan sepenuhnya oleh manusia, namun hari ini mesin dikendalikan secara otonom dengan bantuan detektor atau sensor.

Dibalik itu semua, mesin atau alat hari ini dapat saling berkomunikasi satu sama lain. Masing-masing komunikasi sering digunakan dalam komunikasi antar komputer, mikrokontroler, dan device/gadget. Komunikasi paralel merupakan salah satu metode komunikasi data dimana jumlah bit dikirim secara bersamaan, komunikasi ini memiliki pengiriman lebih cepat dibanding komunikasi serial namun memakan banyak tempat atau bandwidth [1].

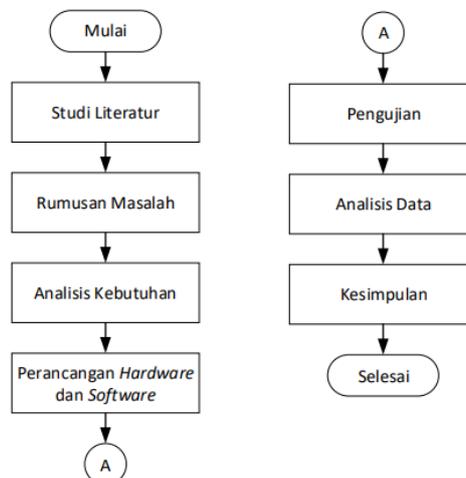
Mobile Robot Otonom Multiguna 2020 merupakan robot otonom yang memiliki memiliki fitur utama, antara lain: kendali remote wireless dan modul bluetooth, multi-directional wheel, obstacle avoidance, line follower (sebagai fitur pelengkap), dan 3 buah subsistem multiguna yang bersifat modular yaitu subsistem lampu UVC, subsistem penyemprot disinfektan, dan subsistem panel penghangat makanan. Robot ROM20 dapat dikendalikan secara wireless dengan koneksi bluetooth dari perangkat HP/gadget/smartphone dengan jarak kendali hingga 23 meter [2].

Serial komunikasi adalah metode yang digunakan untuk mentransfer data antara dua mikrokontroler. Serial komunikasi tidak dapat mengirim data pada saat bersamaan melainkan harus bergantian. Data yang dikirim antar mikrokontroler akan diterjemahkan dalam bilangan biner dan dapat diubah menjadi karakter dalam tabel ASCII [3].

Pengembangan *mobile robot* yang mengandalkan komunikasi serial ini memanfaatkan metode *data parsing*. *Data parsing* merupakan metode dimana satu *string data* diubah menjadi jenis data yang berbeda dan diklasifikasi sehingga format data lebih mudah dibaca dan dipahami [4]. Pengiriman serial data dari Bluetooth HC-05 akan diterima oleh mikrokontroler *Master* menggunakan Teensy 4.0 kemudian dikirim kembali ke Teensy 4.0 *Motor* dan Arduino Nano *Subsystem*.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan atau dikenal dengan istilah Research & Development (R&D), yaitu metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu yang dalam penelitian dan pengembangan tahapan-tahapannya merupakan suatu siklus yang meliputi kajian terhadap berbagai temuan penelitian lapangan yang berkaitan dengan produk yang akan dikembangkan. Tahapan yang dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan dalam pengujian komunikasi serial antar mikrokontroler pada *Mobile Robot* Otonom Mutiguna dalam bentuk *flowchart* seperti pada Gambar 1,

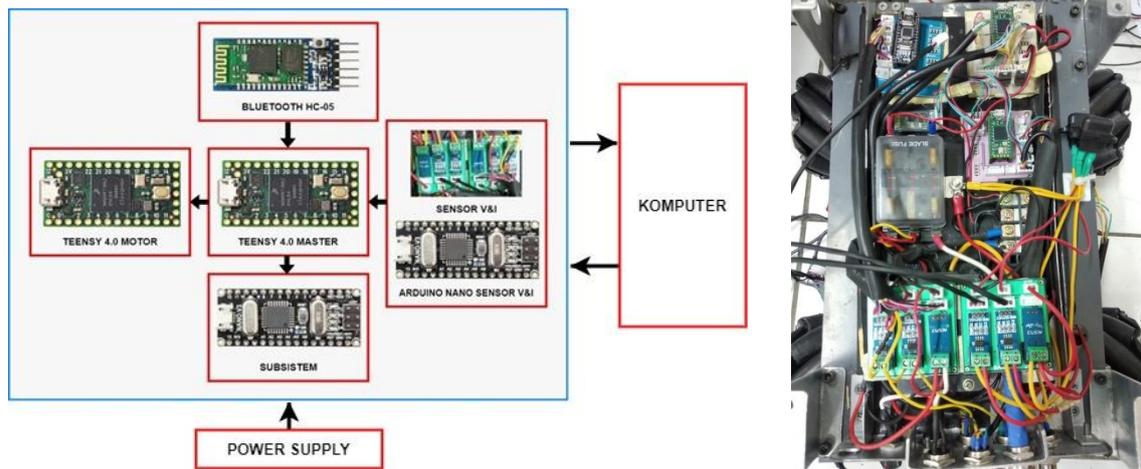


Gambar 1. *Flowchart* metode penelitian.

2.22. Perancangan Hardware

2.1.1. Blok Diagram Sistem

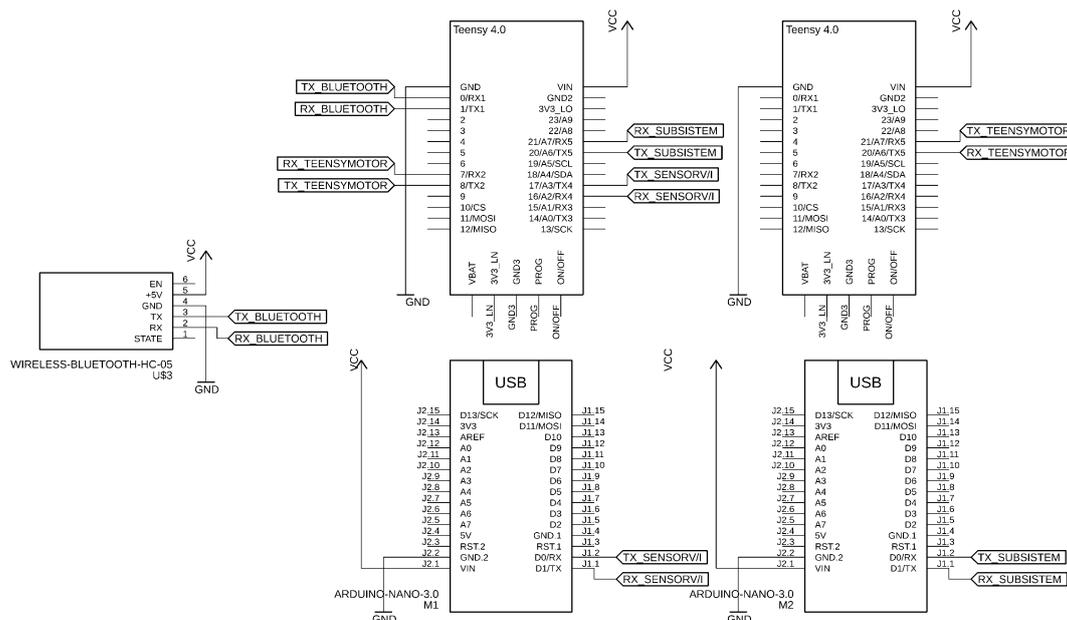
Sistem yang dibuat menggunakan *development board* Teensy 4.0 dengan processor ARM Cortex-M7 processor [5] dengan spesifikasi teknis [6] digunakan pada pengendali Motor Stepper 24V dan Pengendali Utama Penerima Bluetooth HC-05 serta *development board* Arduino Nano dengan mikrokontroler ATmega328 [7] dengan spesifikasi teknis [8] digunakan pada sensor daya dan subsistem Lampu UV-C, Penyemprot Disinfektan dan Penghangat Makanan. Penerima data menggunakan Bluetooth HC-05 dengan spesifikasi [9] yang akan menerima data dari aplikasi berbasis android berupa data *string* dan kemudia dikirim melalui jalur serial pada Teensy 4.0 *Master* dan diteruskan ke beberapa mikrokontroler lain.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem.

2.1.2. Rangkaian Sistem

Rangkaian sistem yang dirancang terdiri dari 2 buah Teensy 4.0, 2 buah Arduino Nano, Catu Daya dan Komputer sebagai penampil serial pada Serial Monitor. Masing-masing perangkat disuplai dengan 5 Volt DC dengan pin GND yang di *common* bersama.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem.

Koneksi pin antar Mikrokontroler dan Bluetooth HC-05 yang ditunjukkan pada Gambar 3, dapat dilihat penjelasannya pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Koneksi pin Teensy 4.0 *Master*.

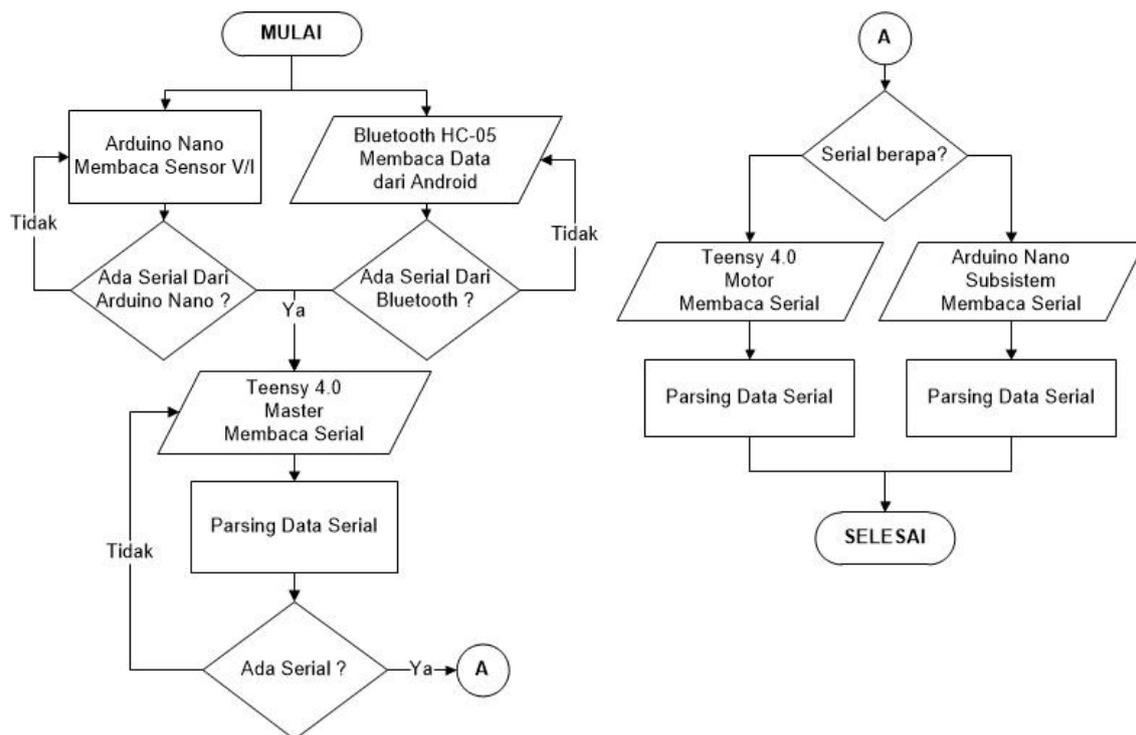
PIN	TERHUBUNG PADA
Serial 0	Komputer
Serial 1	Serial Bluetooth HC-05
Serial 2	Serial 5 Teensy 4.0 Motor
Serial 4	Serial Arduino Nano Sensor V/I
Serial 5	Serial Arduino Nano Subsistem

Pin serial pada Teensy 4.0 *Master* terhubung pada masing-masing mikrokontroler yang berperan sebagai *buffer data* antara *receiver* Bluetooth HC-05 dengan mikrokontroler lain dengan baudrate sebesar 115200 [10] dan dihubungkan pada komunikasi serial komputer melalui USB COM.

2.23. Perancangan Software

Perancangan Software menggunakan software Arduino IDE sebagai *interface* komunikasi serial antara mikrokontroler dan komputer. Pengendalian secara *wireless* menggunakan aplikasi *internface* berbasis android dengan bantuan Bluetooth.

3.1.1. Diagram Alir Komunikasi Serial *Mobile Robot* Otonom Multiguna



Gambar 4. Diagram Alir Komunikasi Serial *Mobile Robot* Otonom Multiguna .

Gambar 4 menunjukkan bahwa Teensy 4.0 *Master* melakukan pembacaan serial secara *continuous* selama robot berjalan. Dengan masukan berupa serial data dari Bluetooth yang diperintah oleh Android dan serial data dari Arduino Nano Sensor V/I sehingga penerimaan data dan pengiriman data akan diproses oleh Teensy 4.0 *Master* dan di *parsing data* kemudian dikirim ke masing-masing mikrokontroler. Setiap mikrokontroler akan melakukan siklus yang

sama membaca serial, mem-*parsing data* dan mengeksekusi data yang diperoleh dari *parsing* tersebut.

3.1.2. Interface Remote Control Berbasis Android



Gambar 5. Interface Remote Control Berbasis Android.

Gambar 5 merupakan tampilan antar muka pengendali remot *Mobile Robot* Otonom Multiguna berbasis android. Dimana masing-masing *button* memiliki pengalamatan tertentu dan fungsi tertentu. *Interface* ini akan mengirimkan data secara *wireless* dengan bluetooth dan bluetooth mengirim ke *Teensy 4.0 Master* secara serial.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dan analisis dilakukan menjadi 4 bagian komunikasi serial yaitu pengujian Komunikasi Serial Data Bluetooth HC-05 ke Master Teensy 4.0, Komunikasi Serial Data Arduino Nano Sensor ke Master Teensy 4.0, Komunikasi Serial Data Master Teensy 4.0 ke Teensy 4.0 Motor, dan Komunikasi Serial Data Master Teensy 4.0 ke Arduino Nano Subsystem. Pengujian dilakukan dengan diberikan masukan serial melalui Bluetooth aplikasi berbasis android dan ditampilkan pada serial monitor komputer [11].

3.1.1. Pengujian Komunikasi Serial Data Bluetooth HC-05 ke Master Teensy 4.0

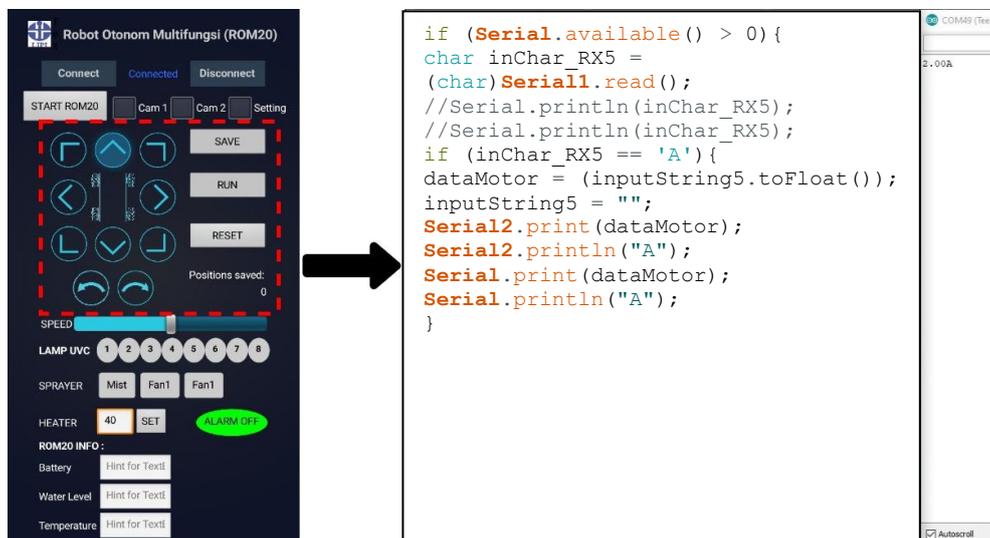
Pengiriman dari Pengendali berupa aplikasi pada Smartphone yang ditransmisikan ke Bluetooth HC-05 dan ditransmisikan kembali ke Master Teensy 4.0 [12]. Data transmisi dijelaskan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Pengiriman Aplikasi ke Bluetooth HC-05.

Logika / Nilai	Karakter	Perintah
HIGH/LOW	'A'	Kendali Arah Motor
PWM (0-255)	'B'	Kecepatan Motor
HIGH/LOW	'J'	Kendali Subsystem Lampu UV 1

HIGH/LOW	'K'	Kendali Subsistem Lampu UV 2
HIGH/LOW	'L'	Kendali Subsistem Lampu UV 3
HIGH/LOW	'M'	Kendali Subsistem Lampu UV 4
HIGH/LOW	'N'	Kendali Subsistem Lampu UV 5
HIGH/LOW	'O'	Kendali Subsistem Lampu UV 6
HIGH/LOW	'P'	Kendali Subsistem Lampu UV 7
HIGH/LOW	'Q'	Kendali Subsistem Lampu UV 8
HIGH/LOW	'R'	Kendali Subsistem Pengembun
HIGH/LOW	'S'	Kendali Subsistem Kipas Pengembun 1
HIGH/LOW	'T'	Kendali Subsistem Kipas Pengembun 2
SUHU (0-100)	'H'	Kendali Subsistem Pemanas Makanan
FLOAT (0-10.00)	'U'	Data Arus Baterai
FLOAT (0-55.00)	'V'	Data Tegangan Baterai
FLOAT (0-10.00)	'W'	Data Arus Driver Motor Kanan
FLOAT (0-25.00)	'X'	Data Tegangan Driver Motor Kanan
FLOAT (0-10.00)	'Y'	Data Arus Driver Motor Kiri
FLOAT (0-25.00)	'Z'	Data Tegangan Driver Motor Kiri

Pada Tabel 2 merupakan standarisasi pengalamatan data untuk mengendalikan *Mobile Robot* Otonom Multiguna berupa karakter dan desimal. Uji coba pengiriman serial dari Bluetooth HC-05 ke Teensy 4.0 yang ditampilkan pada serial monitor komput dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Interface Remote Control Berbasis Android.

Pada pengujian Komunikasi Serial Data Bluetooth HC-05 ke Master Teensy 4.0 data diterima melalui pin RX1 berupa *string* 'A1A2A3...' dan di *Parsing data* seperti pada Gambar 6. kemudian dikirim kembali ke Teensy 4.0 Motor melalui serial komunikasi melalui pin TX2.

3.1.2. Pengujian Komunikasi Serial Data Arduino Nano Sensor ke Master Teensy 4.0

Pengiriman data dari Pemroses Sensor pada Arduino Nano ke Master Teensy 4.0 dimana Arduino Nano mendeteksi dan menghitung arus dan tegangan pada baterai, driver motor kanan dan driver motor kiri dengan mengirimkan data yang dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data Pengiriman Arduino Nano Sensor ke Master Teensy 4.0.

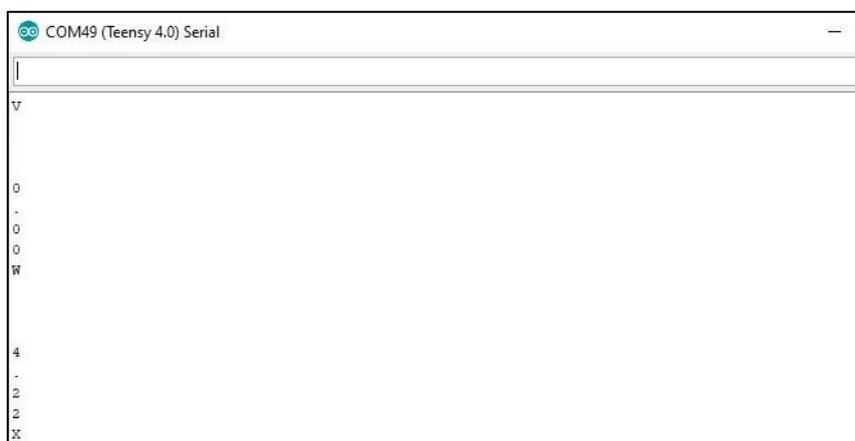
Logika / Nilai	Karakter	Perintah
HIGH/LOW	'U'	Arus Baterai
PWM (0-255)	'I'	Tegangan Baterai
HIGH/LOW	'W'	Arus <i>Driver</i> Motor Kanan
HIGH/LOW	'X'	Tegangan <i>Driver</i> Motor Kanan
HIGH/LOW	'Y'	Arus <i>Driver</i> Motor Kiri
HIGH/LOW	'Z'	Tegangan <i>Driver</i> Motor Kiri

Pada Tabel 2 merupakan standarisasi pengalaman data pembacaan tegangan – arus pada baterai, *driver* motor kanan dan *driver* motor kiri. Uji coba penerimaan data serial pada Master Teensy 4.0 dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

```

char inChar_RX4 = (char)Serial4.read(); // Menerima Data dari
// Slave Arduino Nano Sensor
if (inChar_RX4 == 'U'){
    dataArus_Baterai= (inputString4.toFloat());
    inputString4 = "";
}
else if (inChar_RX4 == 'V'){
    dataTegangan_Baterai = (inputString4.toFloat());
    inputString4 = "";
}
else if (inChar_RX4 == 'W'){
    dataArus_DriverKanan = (inputString4.toFloat());
    inputString4 = "";
}
else if (inChar_RX4 == 'X'){
    dataTegangan_DriverKanan = (inputString4.toFloat());
    inputString4 = "";
}
else if (inChar_RX4 == 'Y'){
    dataArus_DriverKiri = (inputString4.toFloat());
    inputString4 = "";
}
else if (inChar_RX4 == 'Z'){
    dataTegangan_DriverKiri = (inputString4.toFloat());
    inputString4 = "";
}
    
```

Gambar 7. Algoritma Penerimaan Serial Data Arduino Nano Sensor pada Teensy 4.0 Master



Gambar 8. Hasil Penerimaan Serial Data Arduino Nano Sensor pada Teensy 4.0 Master

Pada pengujian penerimaan data dari Arduino Nano Sensor seperti pada Gambar 7 terlihat pengiriman data secara serial '0.00W4.22X0.14Y4.29Z' dan di *parsing data* untuk diambil nilai desimal dan diklasifikasikan pada arus/tekanan baterai, driver motor kanan ataupun driver motor kiri. Pada Gambar 8 merupakan hasil penerimaan yang ditampilkan pada *Serial Monitor*.

3.1.3. Pengujian Komunikasi Serial Data Master Teensy 4.0 ke Teensy 4.0 Motor

Pengujian komunikasi serial dari Master Teensy 4.0 ke Teensy 4.0 Motor merupakan *buffer* atau terusan dari data serial yang diterima oleh Bluetooth HC-05 namun melewati proses *parsing data*.

```

if (Serial.available() > 0) {
  char inChar_RX5 = (char)Serial1.read();

  if (inChar_RX5 == 'A') {
    dataMotor = (inputString5.toFloat());
    inputString5 = "";
    Serial2.print(dataMotor); Serial2.println("A");
    Serial.print(dataMotor); Serial.println("A");
  }

  else if (inChar_RX5 == 'B') { wheelSpeed =
    (inputString5.toFloat());
    inputString5 = "";
    Serial2.print(wheelSpeed); Serial2.println("B");
    Serial.print(wheelSpeed); Serial.println("B");
  }
}

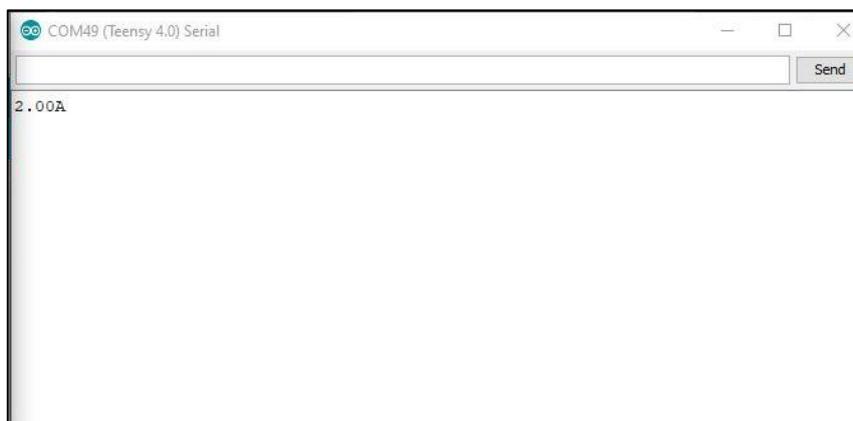
```

Menerima dari Bluetooth HC-05

Meneruskan komunikasi serial ke teensy Motor

Meneruskan komunikasi serial ke teensy Motor

Gambar 9. Algoritma Penerimaan Serial pada Teensy 4.0 Motor



Gambar 10. Hasil Penerimaan Serial Data pada Teensy 4.0 Motor

Pada Gambar 9, algoritma *parsing data* tersebut diteruskan ke Teensy 4.0 Motor melewati pin TX2 berupa *string* dan desimal kemudian serial yang diterima Teensy 4.0 Motor seperti pada Gambar 10 kemudian di *parsing data* untuk memperoleh data sesuai pada Tabel 2.

3.1.4. Pengujian Komunikasi Serial Data Master Teensy 4.0 ke Arduino Nano Subsystem

Pengiriman data dari Master Teensy 4.0 berupa serial berupa *String* yang diperoleh dari pengiriman data Bluetooth HC-05 yang di *parsing data* dan dikirim kembali ke Arduino Nano Subsystem melalui pin TX5. Pengiriman serial memiliki kecepatan *baudrate* yang sama antar mikrokontroler sebesar 115200.

Tabel 3. Data Pengiriman Arduino Nano Sensor ke Master Teensy 4.0.

Logika / Nilai	Karakter	Perintah
HIGH/LOW	'J'	Lampu UV-C 1
HIGH/LOW	'K'	Lampu UV-C 2
HIGH/LOW	'L'	Lampu UV-C 3
HIGH/LOW	'M'	Lampu UV-C 4
HIGH/LOW	'N'	Lampu UV-C 5
HIGH/LOW	'O'	Lampu UV-C 6
HIGH/LOW	'P'	Lampu UV-C 7
HIGH/LOW	'Q'	Lampu UV-C 8
HIGH/LOW	'R'	Pengembun Disinfektan
HIGH/LOW	'S'	Kipas Penyemprot
0-100	'H'	Temperatur Pemanas Makanan

Pada Tabel 3, merupakan data standar untuk pengiriman pada subsistem Mobile Robot Otonom Multiguna. Data dari 'J' hingga 'Q' digunakan pada Lampu UV-C, data dari R dan S digunakan pada Pengembun Disinfektan dan data 'H' digunakan pada Temperatur Pemanas makanan.

```

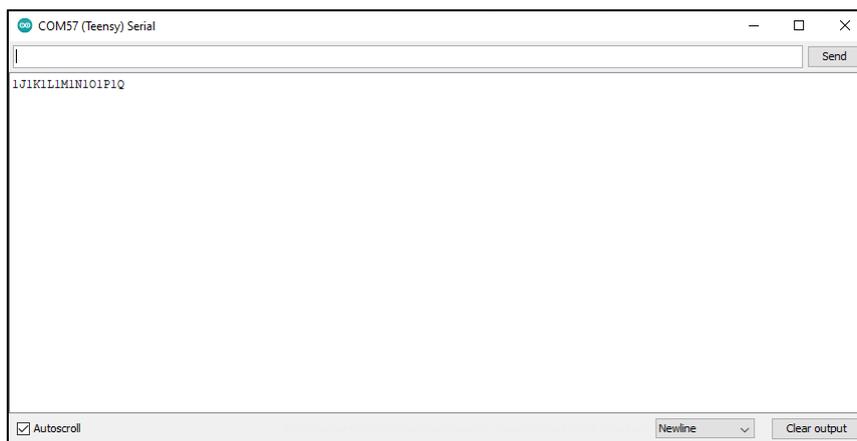
while (Serial.available()){ //lampu uv
char inChar_RX1 = (char)Serial.read();
  if (inChar_RX1 == 'J'){ dataUV1 =
(inputString.toFloat()); inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'K'){ dataUV2 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'L'){ dataUV3 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'M'){ dataUV4 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'N'){ dataUV5 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'O'){ dataUV6 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'P'){ dataUV7 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'Q'){ dataUV8 = (inputString.toFloat());
inputString = "";}

while(Serial.available()){ //mist disinfektan
char inChar_RX1 = (char)Serial.read();
  if (inChar_RX1 == 'R'){ datamistspray =
Serial.println(datamistspray); inputString = "";}
  else if (inChar_RX1 == 'S'){ datafan =
(inputString.toFloat());Serial.println(datafan) inputString = "";}

while(Serial.available()){ //penghangat makanan
char inChar_RX1 = (char)Serial.read();
  if (inChar_RX1 == 'H'){ dataheater = (inputString.toFloat());
Serial.println(dataheater); inputString = "";}

```

Gambar 11. Algoritma Penerimaan data pada Arduino Nano Subsistem



Gambar 12. Hasil Penerimaan data pada Arduino Nano Subsistem

Pada Gambar 11, merupakan algoritma komunikasi serial antara Master Teensy 4.0 ke Arduino Nano Subsistem dengan data berupa *string* '1J1K1L1M1N1O1P1Q' dan diterima serial data pada Arduino Nano Subsistem berupa data *string* seperti pada gambar 12 dan di *parsing data* guna mengendalikan UV-C, Pengembun Disinfektan dan Pemanas Makanan.

4. Kesimpulan

Dalam pengujian komunikasi serial data pada *Mobile Robot* Otonom Multiguna menggunakan metode *parsing data* dengan *baudrate* 115200 dapat mengirimkan data serial antar mikrokontroler secara *half-duplex* dan mengklasifikasi antara data dengan alamat yang telah ditentukan pada standarisasi pengalamatan *Mobile Robot* Otonom Multiguna. Sehingga komunikasi serial antar mikrokontroler akan mudah dalam pengidentifikasi kesalahan pengiriman ataupun penerimaan data.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini. Serta terima kasih kepada UIN Sunan Gunung Djati Bandung dan LIPI Bandung atas dukungannya untuk publikasi penelitian ini.

Referensi

- [1] Haifa, *Parallel vs. Serial On-Chip Communication*. Electrical Engineering Department Technion, 2019.
- [2] R. Hendri Maja Saputra, Midriem Mirdanies, Vita Susanti, Catur Hilman AHBB, Asep Rahmat Hidayat, Siddiq Wahyu Hidayat, Hutomo Wahyu, Teguh Tri Lusijarto Nugroho, "Robot Otonom Multiguna 'ROM20,'" Bandung, 2020.
- [3] A. Giyantara, V. Mudeng, H. S. Natiand, and M. Izzudin Abdillah Afif, "Microcontroller Serial Communication to Analyze Bit Characters," in *2018 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering, BICAME 2018*, 2018, pp. 223–227.
- [4] "What Is Parsing of Data? - Blog | Oxylabs." [Online]. Available: <https://oxylabs.io/blog/what-is-data-parser>. [Accessed: 18-Nov-2020].
- [5] "PJRC Store." [Online]. Available: <https://www.pjrc.com/store/teensy40.html>. [Accessed: 18-Nov-2020].
- [6] N. Semiconductors, "i.MX RT1060 Crossover Processors for Consumer Products."
- [7] "Arduino Nano | Arduino Official Store." [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. [Accessed: 18-Nov-2020].
- [8] "Arduino Nano (V2.3) User Manual Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License."

-
- [9] “HC-05 Bluetooth module HC-05-Bluetooth to Serial Port Module,” 2010.
- [10] “Teensyduino: Using the UART (real serial) with Teensy on the Arduino IDE.” [Online]. Available: https://www.pjrc.com/teensy/td_uart.html. [Accessed: 19-Nov-2020].
- [11] S. Z. Mohd Muji, R. A. Rahim, and M. H. F. Rahiman, “Two microcotrollers interaction using C,” in *2nd International Conference on Computer Research and Development, ICCRD 2010*, 2010, pp. 290–292.
- [12] L. Chen, J. Zhang, and Y. Wang, “Wireless Car Control System Based on ARDUINO UNO R3,” in *Proceedings of 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, IMCEC 2018*, 2018, pp. 1783–1787.

ID: 34

Rancang Bangun Aplikasi IoT Remote TV Berbasis Realtime Database dan Komunikasi Inframerah

Design of IoT TV Remote Application Based on Real-time Database and Infrared Communication

Nathan Rizqi Evandi¹, Nanang Ismail², Hanif Fakrurroja³

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. AH Nasution No. 105 ,Cibiru, Bandung ,Jawa Barat 40614

Telepon : 022-7800525

³UPT Balai Pengembangan Instrumentasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. Cisit, Sangkuriang ,Bandung, Jawa Barat 40135

Telp. 022-2503053, Fax. 022-2504577

nathan.rizqi@gmail.com¹, nanang.is@uinsgd.ac.id², hani002@lipi.go.id³

Abstrak – Pada riset ini akan dijelaskan bagaimana pembuatan sistem Internet of Things (IoT) pada perangkat rumah tangga. Pada laporan kali ini lebih berfokus dalam membuat IoT yang mengendalikan Televisi. Cara pengendalian tersebut adalah dengan membuat aplikasi remot TV yang berbasis daring, dengan menggunakan hardware mikrokontroler ESP8266 NodeMCU untuk memancarkan signal Infrared kepada Televisi. Pada laporan ini juga penulis menerangkan cara penggunaan database Google Firebase dan pembuatan aplikasi android berdasarkan framework Flutter, serta pembuatan source code untuk aplikasi menggunakan Visual Studio Code (VScode) dan Arduino IDE untuk mikrokontroler. Flutter dipilih karena merupakan framework cross-platform, open source, dan gratis untuk digunakan, sementara Firebase dipilih sebagai platform basis data karena Firebase mudah digunakan dan mudah untuk diintegrasikan oleh aplikasi Flutter dan perangkat mikrokontroler. Pada akhir kegiatan kerja praktek penulis dapat menyelesaikan aplikasi IoT dan integrasinya dengan NodeMCU, serta menulis paper yang akan dipublikasikan.

Kata Kunci: *Internet of Things, Infrared Communication, Flutter, Firebase, Microcontroller, Smart Home.*

Abstract – This work will explain how to make an Internet of Things (IoT) system on household devices. This paper focuses more on making the IoT system that controls television. The method of controlling this is by creating an online-based TV remote application, using the ESP8266 NodeMCU microcontroller hardware to transmit Infrared signals to the television ,like what commercial TV remotes do in general. In this work, the authors also explain how to use the Google Firebase database and create android applications based on the Flutter framework, .The Applicaon used to control variabels among the Real-time database, while the microcontroler is also controlling the online Real-time Database. Flutter was chosen for the application framework because it is a cross-platform framework, open source, and free to use, while Firebase was chosen as the database platform because Firebase is easy to use and easy to integrate with Flutter applications and also microcontroller devices.

Keywords: *Internet of Things, Infrared Communication, Flutter, Firebase, Microcontroller, Smart Home.*

1. Pendahuluan

Internet of Things (IoTs) dapat dideskripsikan bagaimana menghubungkan benda sehari-hari seperti smartphone, internet TV, sensor dan aktuator ke internet dimana perangkat dihubungkan bersama yang memungkinkan bentuk-bentuk baru komunikasi antara hal-hal tersebut dengan orang-orang, dan antara hal-hal itu sendiri. Teknologi IoTs dapat diaplikasikan untuk menciptakan konsep baru dan pengembangan terkait smart home untuk memberikan kenyamanan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu meningkatkan keamanan dan memberikan kenyamanan kepada pengguna karena beberapa alat rumah di rumah telah dikontrol secara otomatis[1].

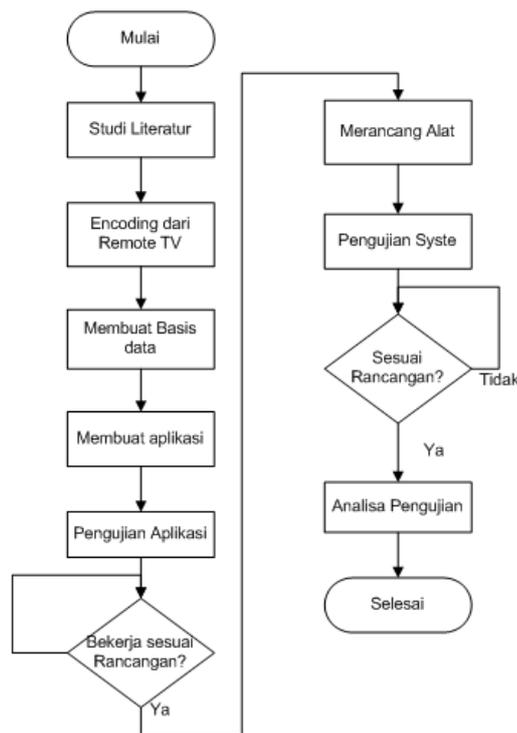
Mayoritas televisi saat ini masih dioperasikan menggunakan remote control sebagai interface untuk memberikan perintah. Namun, remote control tersebut masih dibuat per-unit televisi, seperti TV merk Samsung memiliki remote control yang berbeda dengan TV merk Sharp, atau bahkan sesama merk juga tidak saling mendukung remotenya karena perbedaan generasi keluaran produk. Bahkan ada masalah lagi ketika remote yang dipunyai memiliki kerusakan dan harus diganti dengan remote yang sesuai dengan spesifikasi televisi yang kita punyai. Dari permasalahan tersebut dibuatlah sebuah penelitian yang memanfaatkan sistem aplikasi android untuk produk IoT yaitu Rumah Pintar oleh Unit Pelaksana Tugas Balai Pengembangan Instrumentasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Bandung. Alat elektronik pada Rumah Pintar dijalankan melalui aplikasi android. Aplikasi Ini dapat memancarkan signal inframerah yang disesuaikan oleh televisi yang kita akan kendalikan dengan menghubungkan aplikasi ke basis data Firebase[2].

Firebase pada project ini bermanfaat sebagai basis data yang menyimpan variabel-variabel boolean dan string yang kemudian akan dibaca oleh mikrokontroler. Mikrokontroler ini menggunakan modul ESP8266 NodeMCU. Modul ini dapat dihubungkan oleh jaringan Wi-Fi serta dapat diautentifikasikan oleh database pada Firebase. Tugas dari NodeMCU ini adalah untuk mensinkronkan perubahan data pada basis data Firebase menjadi instruksi pancaran sinyal inframerah yang akan dipancarkan ke modul receiver pada TV yang akan kita kendalikan.

Pada penelitian ini, penulis mendapat pembagian pekerjaan untuk mengembangkan aplikasi android dan NodeMCU untuk menjalankan remote TV berbasis daring tersebut. Framework yang dipakai untuk mengembangkan aplikasi android yaitu Flutter dan diprogram melalui software Visual Studio Code serta mikrokontroler NodeMCU yang diprogram menggunakan Arduino IDE.

2. Metode Penelitian

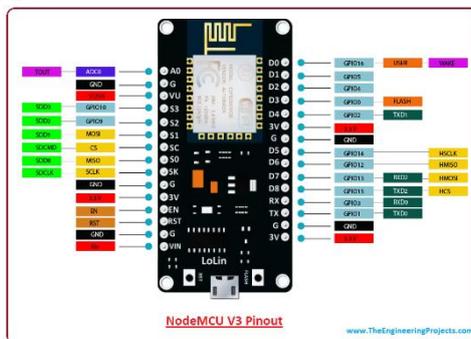
Pada pelaksanaan riset ini, ada beberapa metode yang dilakukan, pertama dilakukan studi literatur dari dasar teori yang berkaitan dengan perancangan aplikasi remot TV yang didapati pada jurnal, buku, artikel, dan situs web yang bersangkutan dengan materi yang akan diimplementasikan. Kedua, dengan melakukan implementasi dari teori yang telah dipelajari menjadi system yang diinginkan. Sistem yang dimaksud merupakan aplikasi remot tv online. Dalam pelaksanaan perancangan, hal yang dilakukan adalah : melakukan encoding dari remote TV, Membuat Realtime Database melalui platform Firebase, Merancang aplikasi melalui Framework Flutter, dan merancang rangkaian Transmitter infrared. Pada Gambar 1 adalah flowchart dari alur pelaksanaan riset ini.



Gambar 54. Diagram alur penelitian

2.24. Peralatan

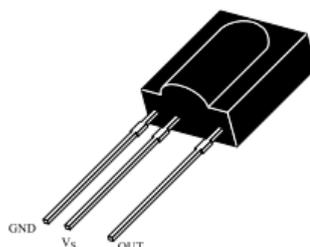
A. ESP8266 NodeMCU



Gambar 55. ESP8266 NodeMCU

NodeMCU adalah firmware interaktif berbasis LUA Espressif ESP8622 Wifi SoC. Gambar 1 menunjukkan bentuk fisik dari NodeMCU ESP8266 v0.9. NodeMCU ESP8266 v0.9 memiliki 4MB flash, 11 pin GPIO dimana 10 diantaranya dapat digunakan untuk PWM, 1 pin ADC, 2 pasang UART, WiFi 2,4GHz serta mendukung WPA/ WPA2 [10]. NodeMCU selain dapat diprogram menggunakan bahasa LUA dapat juga diprogram menggunakan bahasa C menggunakan arduino IDE[1].

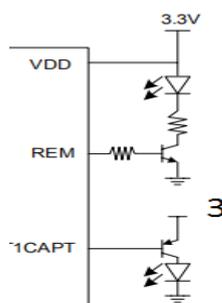
B. TSOP1738 Infrared Receiver



Gambar 56. TSOP1738 Infrared Receiver[3].

TSOP1738 merupakan komponen penerima (receiver) dari signal Inframerah. Terdapat beberapa versi dari TSOP17xx, yakni TSOP1730, TSOP1736, TSOP1738, dan TSOP1756. 2 digit angka pada nama komponen tersebut menunjukkan beberapa Kilohertz (KHz) frekuensi operasinya, seperti pada komponen TSOP1738 beroperasi pada 38 KHz. Pada komponen ini terdapat Photodiode untuk penerima signal, Preamplifier., Filter PCM, Band Pass Filter, dan Demulator[3]. Komponen ini digunakan untuk menangkap signal IR yang telah dipancarkan oleh remot untuk proses decoding pada mikrokontroler.

C. Infrared Transmitter



Gambar 57. Rangkaian Infrared Transmitter[4].

Rangkaian Pemancar Inframerah merupakan rangkaian yang dapat memancar signal inframerah kepada perangkat yang menggunakan system inframerah sebagai remot kendali. Rangkaian ini merupakan rangkaian yang terdapat pada remote TV[4]. Komponen yang digunakan dalam rangkaian ini adalah : LED Inframerah, Transistor NPN, dan Resistor. Transistor pada rangkaian ini berfungsi sebagai komponen *switching* dari LED inframerah. Transistor ini dapat melakukan *Switching* Pada frekuensi 38KHz yang merupakan frekuensi inframerah pada remot TV.

A. Perangkat Lunak

A. Firebase

Firebase, Google Firebase, atau Firebase Database adalah sebuah platform aplikasi yang berbasis web. Firebase dapat membantu pengembangan aplikasi dengan kualitas tinggi. Firebase dapat menyimpan data dalam format JavaScript Object Notation (JSON) yang tidak menggunakan *query* untuk memasukan, memperbaharui, menghapus, atau menambahkan data ke dalamnya. Sistem *back-end* pada Firebase dapat digunakan untuk menyimpan data. Firebase memiliki layanan berupa : Firebase Analytics, Firebase Cloud Messaging (FCM), Firebase Auth, Real-time Database, Firebase Stroage, Firebase Test Lab for Android, dan Firebase Notification[5].

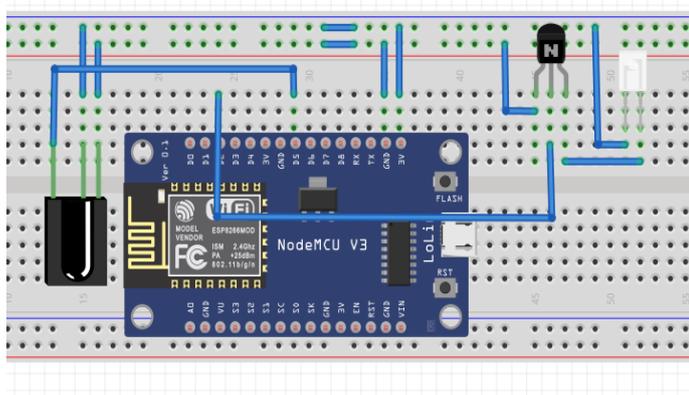
B. Flutter

Flutter adalah *Open-source* perangkat lunak untuk mendesign User Interface (UI) pada sebuah aplikasi. Flutter dikembangkan oleh Google dan dikeluarkan pada tahun 2016. Flutter

menggunakan bahasa pemrograman Dart. Flutter memiliki beberapa keunikan, diantaranya ada begitu banyak kerangka yang bisa digunakan untuk mengembangkan aplikasi lintas platform, seperti React Native, Nativescript, dan Fuse. Namun yang membedakannya adalah, Flutter tidak menggunakan Webview maupun widget bawaan, Flutter punya mesin render sendiri untuk menampilkan widgetnya, hal ini menguntungkan developer yang ingin memiliki tampilan UI unik yang konsisten pada semua perangkat karena tidak bergantung pada widget bawaan OEM[6].

B. Konfigurasi Rangkaian

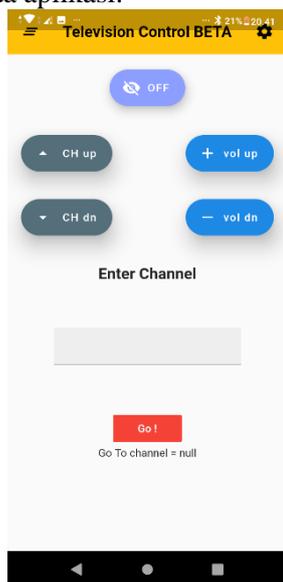
Konfigurasi rangkaian di gambarkan melalui aplikasi fritzing. Ada 3 komponen utama yang digunakan yaitu NodeMCU ESP8266, rangkaian transmitter, dan rangkaian receiver. Didalam rangkaian transmitter, terdapat LED inframerah dan transistor 2n2222, sementara pada rangkaian receiver, terdapat modul receiver inframerah TSOP1738. Berikut gambar dari rangkaian bisa dilihat pada gambar 4.



Gambar 58. Rangkaian dari system.

C. Layout dari aplikasi

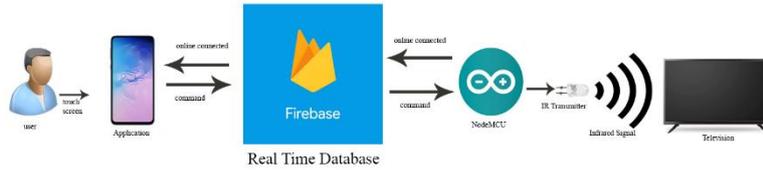
Aplikasi Android ini dibangun oleh framework Flutter dan aplikasi pengembang Microsoft Visual Studio Code. Pada file library aplikasi terdapat library-library dari firebase yang sudah terinstall agar aplikasi dapat berkomunikasi dengan database pada Firebase. Agar aplikasi dapat terhubung dengan basis data, perangkat harus terhubung dengan jaringan internet. Pada gambar 5 ditunjukkan layout User Interface pada aplikasi.



Gambar 59. Layout UI dari Aplikasi

D. Blok Diagram

Dalam penelitian ini, pengguna secara keseluruhan hanya menggunakan aplikasi mobile sebagai interface untuk berkomunikasi dengan sistem [2]. Dalam aplikasi android, komunikasi dapat dilakukan dengan menekan tombol yang diinginkan Pada gambar di bawah ini menunjukkan keseluruhan sistem:

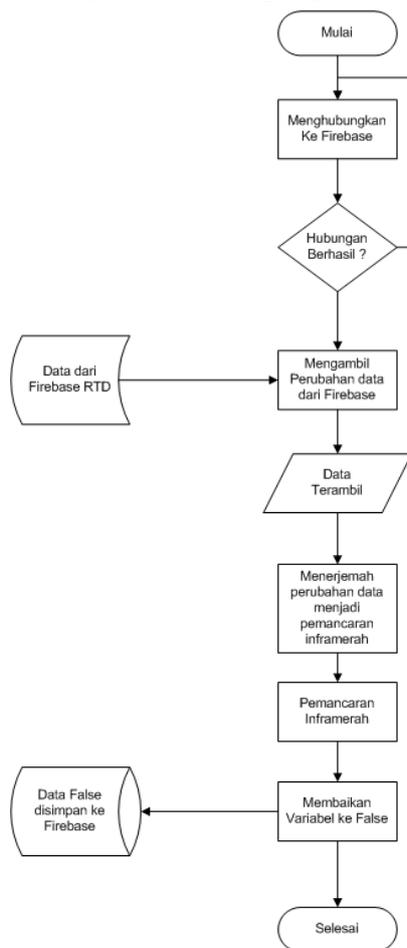


Gambar 60. Blok diagram dari sistem

E. Diagram Alur

A. Perangkat Keras (NodeMCU)

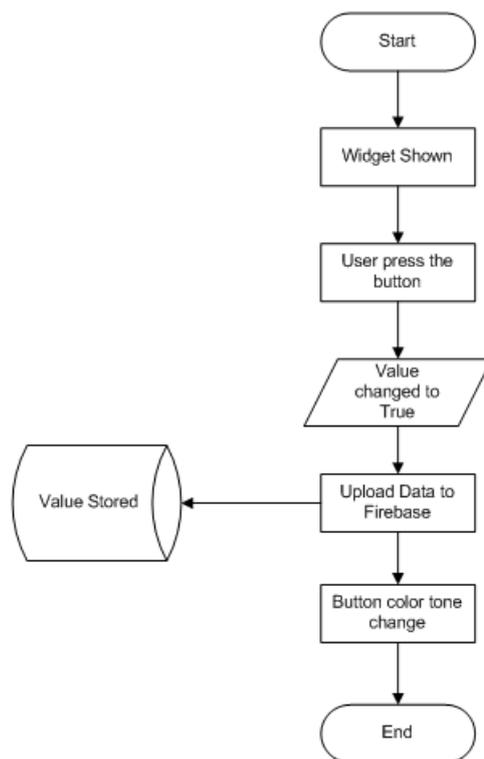
Perancangan script program perangkat keras televisi ini diawali dengan membuat flowchart. Pada program ini terdapat program untuk menghubungkan ke basis data firebase, pencatatan code dari remot yang akan ditransmisikan, pengambilan data dari firebase, menerjemah perubahan variable dengan pemancaran sinyal inframerah, dan pemancaran signal inframerah. Diagram alir dari program dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 61. Diagram Alir dari Perangkat Keras

B. Perangkat Lunak (Aplikasi Flutter)

Perancangan aplikasi ini adalah membuat tombol-tombol yang memiliki fungsi seperti remot televise komersi, Pada setiap tombol tau widget terdapat variable pengontrol. Setiap variabel pengontrol adalah Boolean kecuali angka yang dimasukkan oleh pengguna dengan memasukkan bidang teks "Enter Channel". Saat salah satu tombol ditekan, nilai Boolean di belakang sistem akan dibalik, setelah itu nilai Boolean diunggah ke firebase. Saat aplikasi dimulai, setiap nilai diberi "false", saat tombol ditekan, nilainya dibalik menjadi "True", kemudian diunggah ke database Realtime firebase. Pada Gambar 8 merupakan flowchart dari Aplikasi.



Gambar 62. Flowchart aplikasi android

3. Hasil dan Pembahasan

. Sebelum merancang rangkaian transmitter infrared, kita harus melakukan encoding atau menangkap dan mengidentifikasi bentuk signal dari signal yang ditransmisikan oleh remote TV. Cara melakukan encoding adalah dengan menggunakan microkontroler ESP8266 NodeMCU dan IR Reciever TSOP1738. Komponen *reciever* ini beroperasi pada frekuensi 38KHz, dimana frekuensi tersebut sesuai dengan nilai frekuensi remote TV. Kemudian menggunakan NodeMCU yang menjalankan program IRrecvdumpV2 dari library IRremoteESP8266. Pada table dibawah menunjukkan hasil dari encoding dari remote TV Samsung. Hasil dari encoding bisa dilihat pada table 1.

Table 1. Hasil dari Encoding Remote TV Samsung.

Tombol yang Ditekan	Protokol IR	Code
Power	SAMSUNG	0xE0E040BF
Channel Up	SAMSUNG	0xE0E048B7

Channel Down	SAMSUNG	0xE0E008F7
Volume Up	SAMSUNG	0xE0E0E01F
Volume Down	SAMSUNG	0xE0E0D02F
1	SAMSUNG	0xE0E020DF
2	SAMSUNG	0xE0E0A05F
3	SAMSUNG	0xE0E0609F
4	SAMSUNG	0xE0E010EF
5	SAMSUNG	0xE0E0A05F
6	SAMSUNG	0xE0E050AF
7	SAMSUNG	0xE0E030CF
8	SAMSUNG	0xE0E0B04F
9	SAMSUNG	0xE0E0708F
0	SAMSUNG	0xE0E08877

Setelah melakukan encoding dari remot, kode yang telah dicatat akan disebut pada program kedua, yaitu program transmisi inframerah kepada televisi. Pemancaran ini berdasarkan oleh perubahan data pada firebase. Perubahan data pada firebase dilakukan oleh aplikasi android yang dibangun oleh *framework* Flutter. Pada *Back End* dalam aplikasi, Terdapat 7 Variabel kendali, 6 diantaranya merupakan variable *Boolean* dan 1 diantaranya merupakan variable *String*. Variabel-variabel ini akan diupload kepada Realtime Database Firebase.

Setelah aplikasi selesai, program yang terdapat pada mikrokontroler ini akan diubah menjadi program transmisi inframerah, program transmisi ini terdiri dari program penghubung kepada basis data Firebase, inisialisasi code dari inframerah, pemancaran inframerah berdasarkan perubahan variable, dan kemudian pembalikan variable ke kondisi semula setelah signal inframerah dipancarkan. Pada Table 2 terdapat hasil dari demonstrasi Aplikasi remot tersebut.

Tombol yang Ditekan	Output Serial Monitor	Latency dalam milisekon
On / Off	Turn on tv	1180
Ch up	Ch up	830
Ch Down	Ch down	1510
Vol Up	Vol up	930
Vol Down	Vol down	1140
Go to Channel 12 th	Go to channel 12	4700

4. Kesimpulan

Pada saat pembuatan aplikasi android Internet of Things, penulis memutuskan untuk menggunakan framework Flutter dengan bahasa pemrograman dart. Flutter merupakan sebuah cross-platform framework yang diarahkan untuk mengembangkan aplikasi smartphone berkinerja tinggi. Aplikasi IoT ini akan berperan sebagai remote TV .Kemudian untuk mengintegrasikan antara aplikasi android Rumah Pintar dengan alat elektronik tersebut, dibuat simulasi menggunakan NodeMCU dan Pemancar inframerah. Kedua perangkat ini terhubung dengan realtime database firebase. Firebase ini menyimpan perintah-perintah yang berupa

variabel Boolean pada realtime database. Perubahan variabel ini dikelola oleh aplikasi android yang kemudian dideteksi oleh mikrokontroler NodeMCU. NodeMCU mengirim signal inframerah berdasarkan dari perubahan variabel yang terdapat pada realtime database. Kemudian, NodeMCU juga bisa membalikan kembali beberapa variabel yang tersedia pada realtime database setelah selang waktu beberapa detik. Kedua perangkat tersebut berjalan dengan baik dan dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Ucapan Terima Kasih

Sebelumnya, Saya berterimakasih Kepada Allah SWT yang telah memberi nikmat sehat jasmani dan rohani, nikmat Rizqi, dan nikmat waktu, dan kedua orang tua yang telah memberikan berbagai dukungan baik itu dukungan secara moral maupun material serta dorongan semangat untuk menyelesaikan riset ini. Terima kasih disampaikan kepada Tim TELKA yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mempublikasi penelitian ini.

Referensi

- [1] M. Fajar Wicaksono, "Implementasi Modul Wifi Nodemcu Esp8266 Untuk Smart Home," *J. Tek. Komput. Unikom-Komputika*, vol. 6, no. 1, pp. 9–14, 2017.
- [2] B. K. Fakrurroja, Hanif. Putra, Rizal K. Satriakamal, Muhammad D. Wardana, "Multimodal Interaction for Smart House using Reinforcement Learning with Dialogue System." Bandung, 2020.
- [3] Vishay Telefunken, "Photo Modules for PCM Remote Control Systems," 2001. [Online]. Available: www.vishay.com.
- [4] Samsung inc, "S3F80KB IR REMOTE CONTROLLER," *Datasheet*, no. October, pp. 16–17, 2008, doi: 10.2307/j.ctv7h0s14.13.
- [5] C. Khawas and P. Shah, "Application of Firebase in Android App Development-A Study," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 179, no. 46, pp. 49–53, 2018, doi: 10.5120/ijca2018917200.
- [6] F. D. Astuti and Y. Hermawan, "PEMANFAATAN FIREBASE REALTIME DATABASE PADA APLIKASI PEMBELAJARAN AGAMA ISLAM MENGGUNAKAN FRAMEWORK FLUTTER," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. FAHMA*, vol. 18, no. 2, pp. 1–11, 2017.

Pengujian Konsumsi Energi dan Efisiensi Roda Pada Robot Otonom
Multiguna 2020 (ROM20) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

*Testing of Energy Consumption and Wheel Efficiency in the Robot
Autonomous Multipurpose 2020 (ROM20) Indonesian Institute of Sciences*

Rizal Imam Abdul Aziz^{1*}, Hendri Maja Saputra², Nanang Ismail³

^{1,3} State Islamic University of Sunan Gunung Djati Bandung

Jalan A.H. Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614, (022) 7800525

²Kampus LIPI Bandung

Jl. Cisitua, Sangkuriang Bandung, Jawa Barat 40135

Telp. 022-2503055, 022-2504770; Fax. 022-2504773

1177070082@uinsgd.ac.id^{1*}, hendri.maja.saputra@lipi.go.id², nanang.is@uinsgd.ac.id³

Abstrak – Pengujian konsumsi energi bertujuan untuk menguji kemampuan dan mengetahui konsumsi energi yang dibutuhkan pada Robot Otonom Multiguna 2020 (ROM20) sehingga dapat bekerja secara optimal. Pengujian ini menggunakan data logger. Pengujian terdiri dari 3 jenis, yaitu yang bertujuan untuk uji beban pada ROM20, uji coba fungsi roda dan uji coba konsumsi energi pada ROM20. Pada pengujian pertama dibandingkan konsumsi energi antara pengujian dengan 4 variasi beban. Pada pengujian kedua dibandingkan konsumsi energi dengan 4 variasi roda, dan pada pengujian ketiga dilakukan uji coba dengan variasi kecepatan untuk mengetahui banyaknya energi yang dibutuhkan saat robot beroperasi, serta untuk menguji kemampuan daya tahan robot dalam penggunaan konsumsi bahan bakar baterai. Pengujian dilakukan menggunakan ROM20 dengan mengamati parameter kecepatan robot, beban, variasi roda (roda normal, roda omni, roda mecanum model A, dan roda mecanum model B), dan konsumsi bahan bakar baterai. Kesimpulan pertama adalah bahwa kemampuan daya tahan ROM20 sebesar 364,45 Watt-Hour. Kesimpulan lainnya adalah bahwa konsumsi energi pada ROM20 terbesar pada roda Mecanum Model A sebesar 13.415,41 Ws dengan bebas 60 Kg dan terkecil yang digunakan pada roda Normal dengan energi yang digunakan sebesar 7.659,52 Ws. Selain itu, didapatkan bahwa yang sangat mempengaruhi konsumsi energi adalah beban dan roda.).

Kata Kunci: Konsumsi Energi, Beban, Roda, Data Logger, Robot Otonom Multiguna 2020.

Abstract – Energy consumption testing aims to test the ability and determine the energy consumption required for the 2020 Multipurpose Autonomous Robot (ROM20) so that it can work optimally. This test uses a data logger. The test consists of 3 types, namely those aimed at testing the load on ROM20, testing the function of the wheels and testing the energy consumption of ROM20. In the first test compared the energy consumption between tests with 4 load variations. In the second test, energy consumption is compared with 4 variations of the wheel, and in the third test, a trial with variations in speed is carried out to determine the amount of energy needed when the robot operates, and to test the robot's endurance ability in using battery fuel consumption. The test was carried out using ROM20 by observing the parameters of the robot speed, load, wheel variation (normal wheels, omni wheels, mecanum wheel model A, and mecanum wheel model B), and battery fuel consumption. The first conclusion is that the ROM20 endurance capacity is 364.45 Watt-Hour. Another conclusion is that the largest energy consumption on ROM20 is on Mecanum Model A wheels of 13.415,41 Ws with 60 kg free and the smallest is used on normal wheels with the energy used is 7.659,52 Ws. In addition, it was found that the loads and wheels that significantly affect energy consumption are the load.

Keywords: Energy Consumption, Load, Wheels, Data Logger, Multi-Purpose Autonomous Robot 2020.

1. Pendahuluan

Dalam menghadapi era revolusi industri yang serba digital, masyarakat dituntut untuk mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi, khususnya pada bidang edukasi dan robotika. Pesatnya perkembangan teknologi saat ini menyebabkan alat-alat yang mulanya dikendalikan penuh oleh manusia kini mulai beralih dikendalikan secara otonom dengan bantuan sensor atau *detector*. Semakin meningkatnya teknologi merupakan salah satu keuntungan yang dapat memudahkan aktivitas masyarakat dengan memanfaatkan alat-alat atau mesin berkonsumsi energi yang ramah lingkungan. Pada sebuah mesin atau alat selalu memperhatikan penggunaan, daya tahan, dan efisiensi alat tersebut. Tak terkecuali dengan energi yang digunakan. Konsumsi energi yang relatif rendah namun menghasilkan kinerja yang optimal sangatlah dibutuhkan pada era globalisasi ini.

Energi menurut Eugene C. Lister yang diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja, energi merupakan kerja tersimpan. Energi hanya dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk energi yang lain [1].

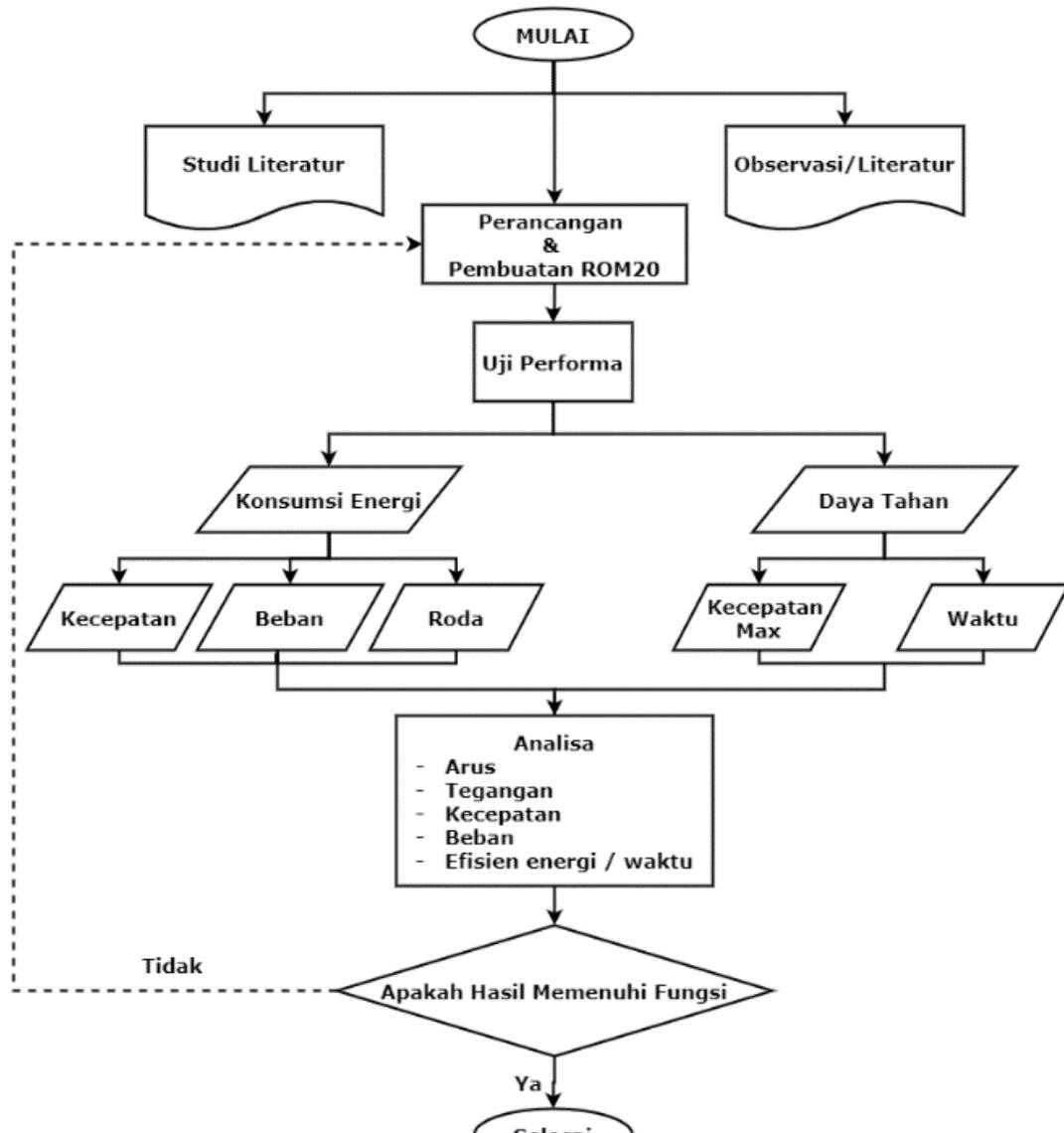
Robot Otonom Multiguna 2020 (ROM20) merupakan yang didesain untuk keperluan *medical*. Robot ini dikendalikan menggunakan android melalui komunikasi *bluetooth* dan *wifi*. Robot ini dapat digunakan untuk mensterilkan suatu ruangan secara simultan agar semua bakteri dan virus yang ada di ruangan tersebut mati, ataupun dapat digunakan untuk mengantarkan makanan/kebutuhan lain bagi penderita Covid-19.

ROM20 didesain sebagai autonomous robot, dimana cara kerja dari versi 1 ini yaitu dengan membuat trajectory planning atau rute yang diinginkan. ROM20 berdimensi kecil 50 cm x 43 cm x 36 cm dan ringan 22,5 kg [2]. ROM20 memiliki fitur utama, antara lain: *wireless & bluetooth remote*, *multi-directional wheel*, *obstacle avoidance*, dan tiga subsistem modular (UV-C lamp/ mist desinfektan/ food warm panel). ROM20 bertenaga baterai 48 VDC dengan daya 430Watt, [2]. Pengujian ini menggunakan sensor arus ACS-712 dan sensor tegangan *Divider* [3][4][5].

Alat-alat atau mesin seperti ROM20 yang digunakan pada bidang kesehatan sangat memperhitungkan konsumsi energi agar dapat bekerja secara efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan mengetahui konsumsi energi yang dibutuhkan pada Robot Otonom Multiguna 2020 (ROM20) sehingga dapat bekerja secara optimal. Pengujian dilakukan dengan mengamati parameter kecepatan robot, beban, variasi roda, dan konsumsi bahan bakar baterai [6]. Variasi roda yang digunakan meliputi roda normal (biasa), roda *omni*, roda *mecanum* model A, dan roda *mecanum* model B [7].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah menganalisa konsumsi energi listrik pada ROM20 dengan variasi kecepatan, beban, dan roda, untuk pengerjaan sesuai prosedur penelitian, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian.

Studi literatur adalah mengumpulkan referensi paper, pendalaman topik, dan analisa mengenai pengujian konsumsi energi pada mobile robot, serta segala referensi yang berkaitan dengan pengujian yang dapat menopang dalam perancangan.

Pengujian yang telah dilakukan sesuai dengan alur prosedur pengambilan data, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Digram prosedur pengambilan data.

Pengumpulan data yang diambil yaitu dari mengkombinasikan kondisi perbedaan kecepatan, perbedaan beban, dan perbedaan jenis roda. Sehingga dari beberapa kondisi tersebut dapat diukur besarnya konsumsi energi listrik yang digunakan. Dari penelitian yang dilakukan akan diambil data berupa tegangan, arus, daya, dan waktu untuk dapat mengetahui seberapa besar kemampuan ROM20 beroperasi dan dapat mengetahui seberapa besar konsumsi energi listrik pada ROM20.

A. Persiapan Pengujian

Persiapan yang dilakukan yaitu: Pertama, melakukan pengkalibrasian sensor arus dan tegangan. Pada pengkalibrasian sensor harus disesuaikan terlebih dahulu dengan kalibrator atau pengukuran menggunakan alat ukur yang sudah terkalibrasi dan memiliki tingkat ketelitian yang baik[8]. Kedua, mempersiapkan software data logger untuk pengambilan data arus, tegangan, dan waktu untuk mencari konsumsi energinya [9].

B. Menampilkan Hasil Pengujian

Hasil uji performa ROM20 ditampilkan secara otomatis kemudian data tersebut dikumpulkan dan diolah menggunakan software Excel untuk mendapatkan hasil pengujian yang optimal. Dari serangkaian pengujian ini, didapat hasil konsumsi energi dan daya tahan pada ROM20.

3. Pengujian Pada ROM20

A. Pengkalibrasian dan Pengujian Sensor Arus dan Tegangan Pada ROM20.

Prinsip kerja pada pengkalibrasian dan pengujian sensor arus dan tegangan pada ROM20 dengan memanfaatkan sensor ACS712 sebagai sensor arus dan rangkaian Divider sebagai sensor tegangan. Pada pengkalibrasian sensor tegangan harus disesuaikan terlebih dahulu

dengan menggunakan kalibrator atau pengukuran menggunakan alat ukur yang sudah terkalibrasi dan memiliki tingkat ketelitian yang baik. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur standar yaitu Digital Multimeter Rd700 Sanwa.

Tabel 1 Pengujian Sensor Arus Dan Tegangan

No	Perangkat Yang diukur	Multimeter Rd700		Rangkaian Sensor		Actual Error (%)	
		Tegangan (Volt)	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Arus (A)
1	Suplai Baterai	52,10	2,28	51,40	2,24	1,34	1,75
2	Output Step Down	24,20	1,20	24,05	1,18	0,62	1,83
3	Driver Motor Kanan Depan	24,18	1,14	24,04	1,12	0,58	1,15
4	Driver Motor Kanan Belakang	24,15	1,04	24,01	1,02	0,66	1,45
5	Driver Motor Kiri Depan	24,17	1,12	24,03	1,10	0,58	1,43
6	Driver Motor Kiri Belakang	24,17	1,08	24,10	1,06	0,29	1,58
Rata-rata error (%)						0,68	1,53

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 memperlihatkan terdapat selisih pembacaan nilai arus dan tegangan DC antara sensor arus ACS712 dan alat ukur amperemeter, serta sensor divider dan alat ukur voltmeter. Perbedaan tersebut terjadi karena perbedaan sensitifitas pembacaan antara sensor dan alatukur multimeter. Selisih tersebut dinyatakan dalam % error. Tingkat error tersebut merupakan sumber variasi data yang tidak dapat dimasukkan ke dalam pembacaan ADS1115 pada Teensy 4.0. Tingkat error pada sensor arus ACS712 yang digunakan pada penelitian ini rata-rata sebesar 1,53% sedangkan tingkat error pada sensor tegangan divider rata-rata sebesar 0,58%.

B. Pengujian Konsumsi Energi ROM20

Pada pengujian konsumsi energi pada ROM20 dilakukan 2 tahap pengujian. Pengujian pertama dengan menguji daya tahan ROM20 dengan kecepatan maksimal. Pengujian kedua dengan menguji efisiensi penggunaan energi pada ROM20.

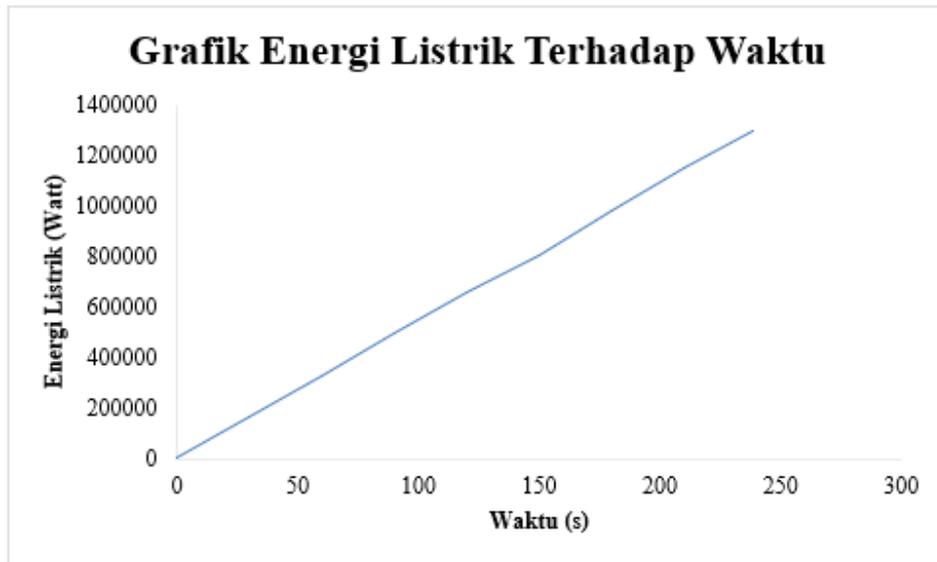
3.11. Pengujian Kemampuan Daya Tahan ROM20

Pada pengujian pertama ROM20 dijalankan secara terus-menerus tanpa henti sekaligus mengambil data dengan waktu pengambilan data per 10 detik. Data yang didapati hasil bawasannya konsumsi daya tahan ROM20 dapat beroperasi selama ± 4 jam. Adapun data yang di dapat dari hasil pengujian kemampuan daya tahan ROM20 terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data hasil pengujian daya tahan ROM20

Waktu	Baterai		Energi Listrik (W= V.I.t) (Joule)	Daya Listrik (P= W/t) (Watt)	Energi Aktif (Wa= P*t) (Watt Hour)
	Tegangan (Volt)	Arus (A)			
0,17	53,46	1,79	965,16	95,69	380,48
30,09	51,50	1,79	166.427,20	92,19	366,48
60,01	50,00	1,84	331.258,70	92,00	365,74
90,10	48,50	1,89	495.540,99	91,67	364,41
120,02	47,19	1,93	655.868,36	91,08	362,07
150,11	46,34	1,93	805.519,48	89,44	355,55
180,03	45,78	1,98	979.133,29	90,64	360,36
210,12	45,13	2,03	1.155.002,09	91,61	364,21
238,36	43,63	2,08	1.297.885,00	90,75	360,78
Rata-rata			654.177,81	91,67	364,45

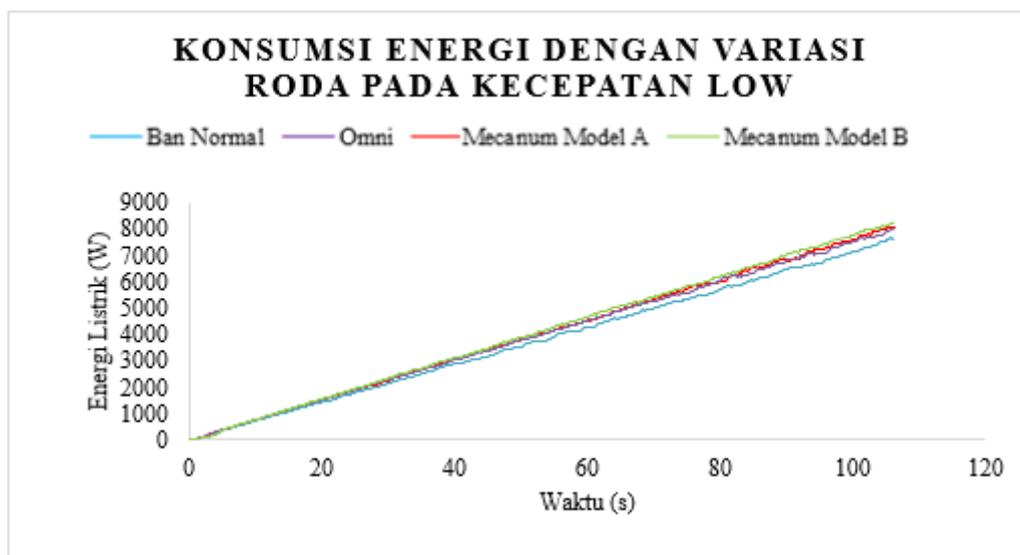
Berdasarkan data pengujian yang telah di dapat bahwa energi aktif pada ROM20 sebesar 364,45 Watt-Hour. Adapun grafik yang didapat sesuai dengan dasar teori bahwa apabila energi listrik dibandingkan terhadap waktu penggunaannya maka besar energi yang digunakan linier dengan waktu yang diperlukan, maka dari itu semakin lama dan semakin cepat ROM20 bekerja maka penggunaan energinya semakin besar, terlihat jelas dalam Grafik 1.



Grafik 1 Hasil pengujian daya tahan ROM20

3.12. Pengujian Konsumsi Energi Pada ROM20

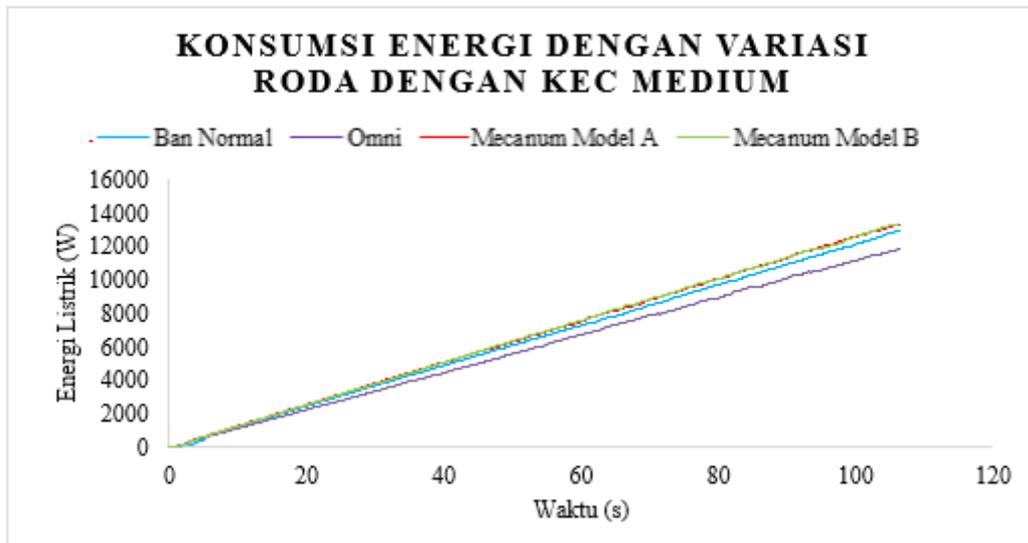
Pada pengujian kerdua ROM20 di uji dengan cara pengambilan data logger dengan aplikasi PLX-DAQ dimana pengujiannya dilakukan dengan metode kombinasi 3 variabel, yaitu variasi kecepatan, berat dan roda. Adapun data yang didapatkan dari hasil pengujian yang sudah di olah dalam bentuk grafik.



Grafik 2 Hasil pengujian daya tahan ROM20

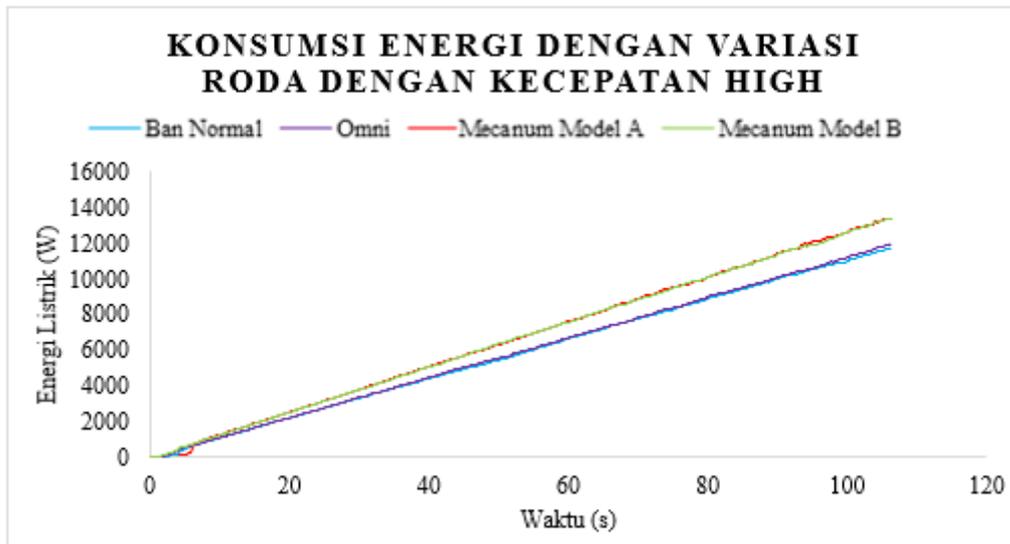
Dari hasil uji pada Grafik 4.2 terlihat bahwa dengan adanya variasi roda pada kecepatan rendah dengan penggunaan lama waktu yang sama energi yang paling boros yaitu pada roda

mecanum model B sebesar 8.266,27 Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda Normal dengan energi yang digunakan sebesar 7.659,52 Ws



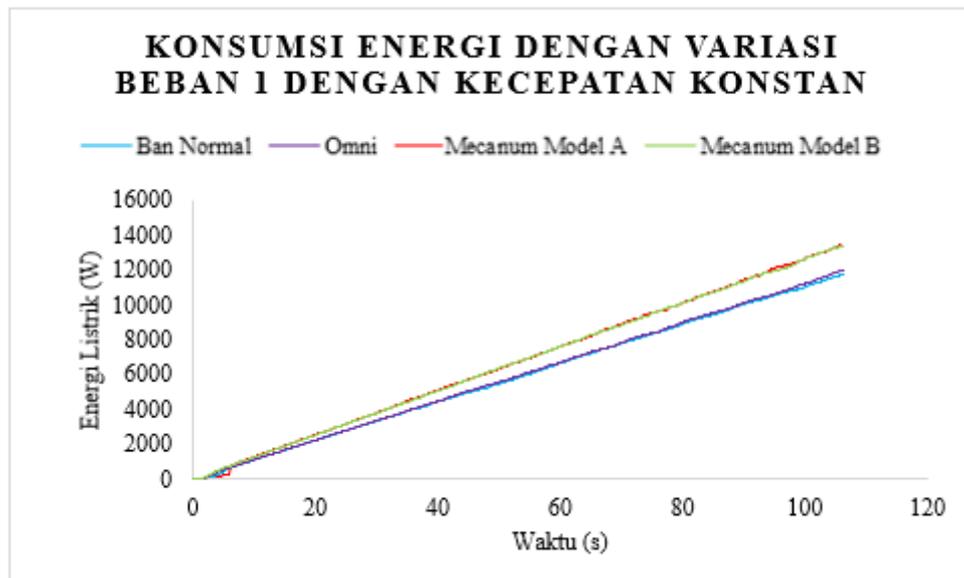
Grafik 3 Hasil pengujian daya tahan ROM20

Dari hasil uji pada Grafik 4.3 terlihat bahwa dengan adanya variasi roda pada kecepatan sedang dengan penggunaan lama waktu yang sama energi yang paling boros yaitu pada roda mecanum model B sebesar 13.392,66 Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda Omni dengan energi yang digunakan sebesar 11.864,69 Ws



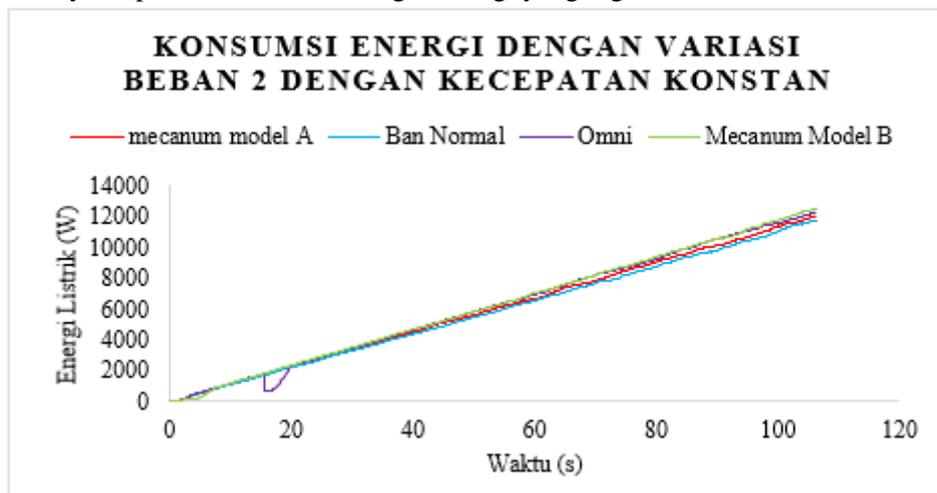
Grafik 4 Hasil pengujian daya tahan ROM20

Dari hasil uji pada Grafik 4.4 terlihat bahwa dengan adanya variasi roda pada kecepatan sedang dengan penggunaan lama waktu yang sama energi yang paling boros yaitu pada roda mecanum model A sebesar 13408,06 Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda Normal dengan energi yang digunakan sebesar 11.737,38 Ws.



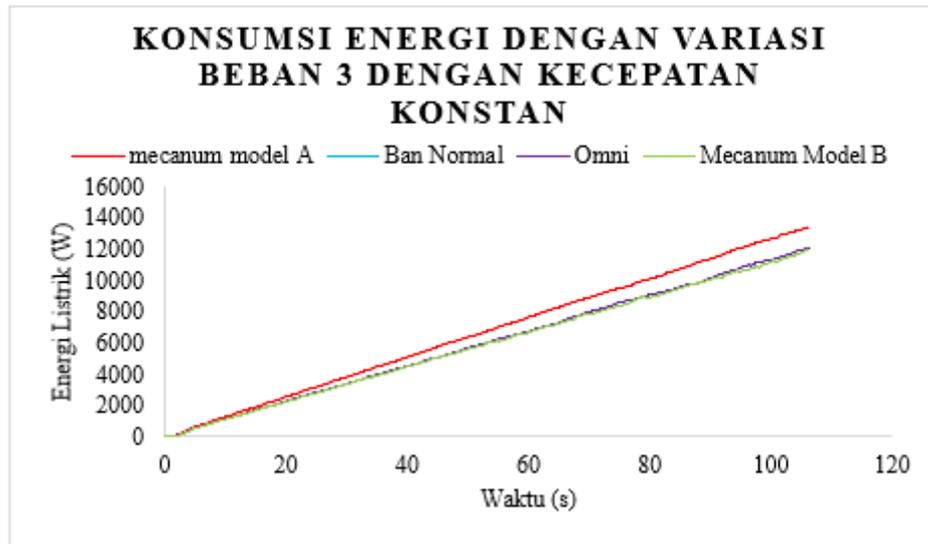
Grafik 5 Hasil pengujian daya tahan ROM20

Dari hasil uji pada Grafik 4.5 terlihat bahwa dengan adanya variasi beban dengan kecepatan konstan pada penggunaan lama waktu yang sama. Beban pertama yang digunakan adalah beban dari platform ROM20 seberat 20 Kg, maka dari itu didapat energi yang paling boros yaitu pada roda mecanum model A sebesar 13.408,06Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda normal dengan energi yang digunakan sebesar 11.737,38 Ws.



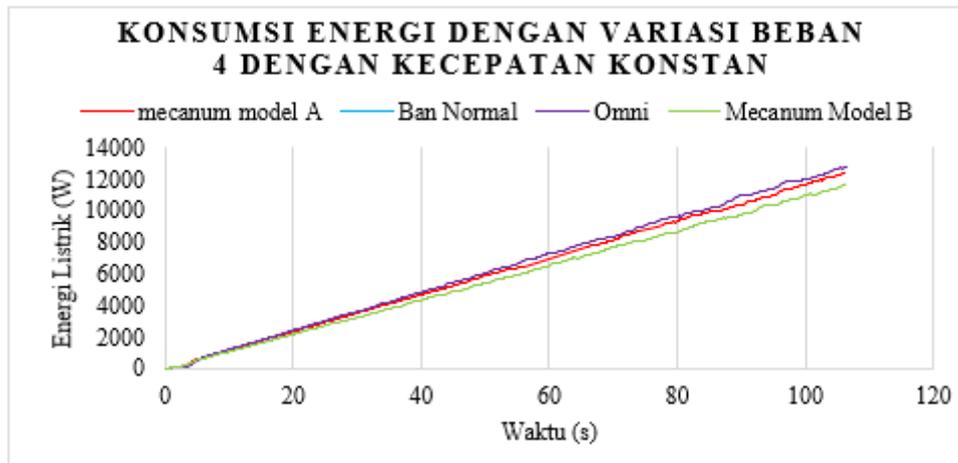
Grafik 6 Hasil pengujian daya tahan ROM20

Dari hasil uji pada Grafik 4.6 terlihat bahwa dengan adanya variasi beban dengan kecepatan konstan pada penggunaan lama waktu yang sama. Beban pertama yang digunakan adalah beban dari platform ROM20 seberat 40 Kg, maka dari itu didapat energi yang paling boros yaitu pada roda mecanum model B sebesar 12.534,76 Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda normal dengan energi yang digunakan sebesar 11.736,42 Ws.



Grafik 7 Hasil pengujian daya tahan ROM20

Dari hasil uji pada Grafik 4.7 terlihat bahwa dengan adanya variasi beban dengan kecepatan konstan pada penggunaan lama waktu yang sama. Beban pertama yang digunakan adalah beban dari platform ROM20 seberat 60 Kg, maka dari itu didapat energi yang paling boros yaitu pada roda mecanum model A sebesar 13.415,41 Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda mecanum model B dengan energi yang digunakan sebesar 11.990,54 Ws, namun pada beban ke 3 ini pada roda normal tidak dapat mampu untuk berjalan.



Grafik 8 Hasil pengujian daya tahan ROM20

Dari hasil uji pada Grafik 4.8 terlihat bahwa dengan adanya variasi beban dengan kecepatan konstan pada penggunaan lama waktu yang sama. Beban pertama yang digunakan adalah beban dari platform ROM20 seberat 80 Kg, maka dari itu didapat energi yang paling boros yaitu pada roda Omni sebesar 12.777,83 Ws dan konsumsi energi yang paling hemat yaitu pada roda mecanum model B dengan energi yang digunakan sebesar 11.747,93 Ws, namun pada beban ke 3 ini pada roda normal tidak dapat mampu untuk berjalan.

4. Kesimpulan

Kesimpulannya adalah ROM20 memiliki kapasitas kemampuan beroperasi selama 4 jam dengan kecepatan penuh dengan besar energi 364,45 Watt-Hour. Pengujian konsumsi energi ini menggunakan Metode kombinasi dengan mengkombinasikan 3 variabel, yaitu kecepatan, berat dan roda. Pengujian kecepatan sangat mempengaruhi konsumsi energi yang digunakan, semakin

cepat *platform* bekerja maka semakin besar energi yang digunakan. Pengujian beban sangat mempengaruhi konsumsi energi yang digunakan, semakin berat beban pada *platform* bekerja maka semakin besar energi yang digunakan. Pengujian roda sangat mempengaruhi konsumsi energi yang digunakan, semakin besar gaya gesek antara roda dengan lantai pada *platform* bekerja maka semakin besar energi yang digunakan. Penggunaan setiap roda memiliki kelebihan dan kekurangan pada roda *mecanum* memang dalam segala pergerakan memiliki konsumsi energi yang cukup besar, namun keunggulan pada roda *mecanum* dapat bergerak kesegala arah, sedangkan pada roda *omni* dan normal tidak dapat bergerak ke serong dan menyamping.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Tim Litbang Alkes dan para pembimbing untuk kontribusi dan dukungan mereka, dan terimakasih kepada pembimbing peneliti di Lembaga Ilmu Penelitian Indonesia (LIPI) Bandung, yang sudah memberikan masukan dan bimbingan dalam pembuatan karya ilmiah.

Referensi

- [1] Dkk Ahmad Wahid, "Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura," *J. Tek. Elektro Untan*, Vol. 2, No. 1, P. 10, 2014.
- [2] Hendri Maja Saputra, Midriem Mirdanies, Vita Susanti, Catur Hilman Ahbb, Asep Rahmat Hidayat, Siddiq Wahyu Hidayat, Hutomo Wahyu, Teguh Tri Lusijarto Nugroho, Rahmat, "Robot Otonom Multiguna 'Rom20,'" Bandung, 2020.
- [3] B. M.-O. M. I. Pengembangan And Undefined 2016, "Pengukuran Daya Listrik Real Time Dengan Menggunakan Sensor Arus Acs. 712," *Jurnal.Polines.Ac.Id*, Accessed: Oct. 07, 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/view/309>.
- [4] R. Martin Antosia, J. Terusan Ryacudu, W. Hui, J. Agung, And K. Lampung Selatan, "Voltmeter Design Based On Ads1115 And Arduino Uno For Dc Resistivity Measurement," *J. Teknol. Rekayasa*, Vol. 5, No. 1, 2020, Doi: 10.31544/jtera.v5.i1.2019.73-80.
- [5] M. Rosmansyah, I. Royani, And E. Koriyanti, "Rancang Bangun Sensor Tegangan Untuk Mendeteksi," 2019. Accessed: Oct. 12, 2020. [Online]. Available: <https://repository.unsri.ac.id/15382/>.
- [6] T. Nusa, S. R. U. A. Sompie, M. Eng, S. T. Rumbayan,) Mahasiswa, And) Pembimbing, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler," 2015. Accessed: Oct. 12, 2020. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/9974>.
- [7] C. Savant, "Design Of Driveline For Mobile Robot Platform," 2018. Accessed: Nov. 19, 2020. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=Div2:1234113>.
- [8] G. Tambun, "Kalibrasi Tegangan Pada Wattmeter Dengan Sensor Arus Seri Acs 712 Berbasis Mikrokontroler Atm 8535," 2017, Accessed: Nov. 19, 2020. [Online]. Available: <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/3794>.
- [9] F. Teknik, "Rancang Bangun Joulemeter Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno Sebagai Alat Uji Konsumsi Energi Prototipe Mobil Listrik Raden Inten 2 (Skripsi) Oleh I Putu Darma Adi Wijaya," 2018. Accessed: Oct. 28, 2020. [Online]. Available: <http://digilib.unila.ac.id/32890/>.

Rancang Bangun Penyiraman Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Smartphone

Design and Implementation of Automatic Watering System using Smartphone Base on IoT

Nurlaelatul Ulpah^{1*}, Lia Kamelia², Toni Prabowo³

¹Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati, ²Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati, ³PT. Habibi Digital Nusantara (Habibi Garden)

¹Karawang, 085889343658, ²Bandung, 085861584158, ³Bandung, 081214164742

nurlaelatululpah@gmail.com¹, liakamelia@uinsgd.ac.id², toniprabowo@habibigarden.com³.

Abstrak – Perakitan alat penyiraman otomatis menghasilkan suatu alat yang menjadi kontrol utama dalam otomasi pendinginan maupun pengairan pada tanaman. Dimana terdapat Mikrokontroler esp32 yang tersambung langsung terhadap koneksi internet sehingga dapat diatur jarak jauh menggunakan smartphone, maupun interface display. Dengan jalur komunikasi menggunakan RTC IC rs485. RTC sebagai pengatur waktu memungkinkan data terjadi secara real time dan threshold yang diatur pada Mikrokontroler dapat disesuaikan waktunya. Sebelum merakit Habibi Grow, terlebih dahulu membuat desain wiring yang bertujuan agar mudah untuk melihat posisi dari tiap-tiap komponen saat proses perakitan. Komunikasi sensor ke Habibi Climate dan Colling System menggunakan rs485 ada pada ic max485 chanel untuk diambil data yang di kontrol oleh mikrokontroler esp32. Setelah didapat data dari esp32, data lalu dikirim ke pusat Habibi grow untuk dinaikkan atau dipost ke could server. Pada zona pengairan tidak dapat dilakukan penyiraman secara bersama, dan pada zona pendinginan dapat dilakukan secara bersamaan.

Kata Kunci: penyiraman otomatis, mikrokontroler esp32, ic RS485, dan could server

Abstract – The automatic sprinkler assembly produces a tool that becomes the main control in cooling and irrigation automation in plants. Where there is an esp32 microcontroller that is connected directly to an internet connection so that it can be controlled remotely using a smartphone or display interface. With the communication line using the RTC IC rs485. RTC as a timer allows data to occur in real time and the threshold set on the Microcontroller can be adjusted accordingly. Before assembling the Habibi Grow, first make a wiring design that aims to make it easy to see the position of each component during the assembly process. Sensor communication to the Habibi Climate and Colling System using rs485 is on the max485 IC channel to retrieve data which is controlled by the esp32 microcontroller. After getting data from esp32, the data is then sent to the Habibi grow center to be raised or posted to the could server. In the irrigation zone, watering can't be done together, and in the cooling zone it can be done simultaneously. A well-prepared abstract enables the reader to identify the basic content of a document quickly and accurately, to determine its relevance to their interests, and thus to decide whether to read the document in its entirety. The Abstract should be informative and completely self-explanatory, provide a clear statement of the problem, the proposed approach or solution, and point out major findings and conclusions. The Abstract should be 150 to 250 words in length. The abstract should be written in the past tense. Standard nomenclature should be used and abbreviations should be avoided. No literature should be cited. The keyword list provides the opportunity to add keywords, used by the indexing and abstracting services, in addition to those already present in the title. Judicious use of keywords may increase the ease with which interested parties can locate our article.

Keywords: penyiraman otomatis, mikrokontroler esp32, ic RS485, dan could server

1. Pendahuluan

Melihat perkembangan di ranah pertanian, petani kebun maupun sawah pada belakangan ini begitu antusias untuk merawat perkebunan atau persawahan agar berbuah hasil panen yang memuaskan. Badan Pusat Statistik (BPS) menyampaikan ketenagakerjaan di sektor pertanian. Tingginya jumlah penduduk yang berprofesi sebagai petani menjadikan pertumbuhan tanaman sebagai hal yang paling penting dalam menyiapkan kebutuhan pangan penduduk. Sejauh ini petani hanya mengandalkan intuisi untuk mendeteksi kebutuhan tanaman. Namun tindakan tersebut tidak selamanya maksimal bagi tanaman. Salah satu faktor penting yang menunjang keberhasilan tumbuhnya tanaman dan hasil panen yang baik yaitu dari kondisi lingkungan pertanian itu sendiri yang meliputi kelembaban tanah, kadar keasaman tanah dan suhu udara di sekitar lahan. Seiring berkembangnya teknologi banyak inovasi-inovasi yang memudahkan pekerjaan manusia dalam mengerjakan sesuatu. Tanaman, lain halnya dengan binatang yang dapat bereaksi ketika memperoleh suatu tindakan tertentu. Bisa jadi ketika kita menyiramnya terlalu banyak, itu tidak menandakan bahwa kondisi tanaman sedang baik-baik saja. Kondisi lingkungan lahan pertanian dapat diketahui dengan melakukan pemantauan. Oleh karena itu, diperlukannya suatu alat yang dapat memudahkan pemantauan kondisi lingkungan pada lahan pertanian tersebut secara berkala. Komponen utama yang digunakan adalah microcontroller esp32 untuk perancangan, dan agar mendapatkan hasil akhir, dibutuhkan jaringan internet. , salah satunya dengan menggunakan modul komunikasi IC RS485 yang berfungsi untuk mengirimkan data secara nirkabel/wireless agar dapat melakukan pemantau secara jarak jauh.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu memahami cara perakitan dan *setting* alat penyiraman otomatis, memahami pengukuran suhu pada tanah menggunakan *ground sensor*, memahami pembagian zona pengairan dan zona pendinginan.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menghasilkan suatu alat yang menjadi kontrol utama dalam otomatisasi pendinginan maupun pengairan pada tanaman. Dimana terdapat Mikrokontroler esp32 yang tersambung langsung terhadap koneksi internet sehingga dapat diatur jarak jauh menggunakan smartphone, maupun interface display. Dengan jalur komunikasi menggunakan RTC IC RS485. RTC sebagai pengatur waktu memungkinkan data terjadi secara real time dan threshold yang diatur pada Mikrokontroler dapat disesuaikan waktunya. [1]

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Internet Of Things (IOT)

Internet Of Things atau singkatnya IOT dimaknai sebagai kemampuan menghubungkan benda-benda cerdas yang berpotensi untuk saling berinteraksi dengan benda lain ataupun dengan berbagai perangkat komputasi cerdas melalui akses internet. Berbagai aspek kehidupan telah menerapkan IOT dalam berbagai desainnya. Untuk mengimplementasikan IOT banyak teknologi yang berperan serta, antara lain: RFID sebagai alat identifikasi lokasi dan benda, WSN atau jaringan sensor nirkabel (Wireless Sensor Network), cloud computing, dan teknologi web (Meutia, 2015). Peralatan ditanamkan sensor dan aktif terhubung di berbagai jaringan, baik pada internet jaringan lokal maupun internet jaringan global. IOT mencakup berbagai sektor mulai dari rumah tangga, transportasi, kesehatan, pertanian, dan sebagainya[2]

2.1.2 Modul ESP32

ESP32 merupakan modul wifi yang berfungsi sebagai perangkat tambahan mikrokontroler seperti Arduino agar dapat terhubung langsung dengan wifi dan membuat koneksi TCP/IP. Modul ini membutuhkan daya sekitar 3.3v dengan memiliki tiga mode wifi yaitu Station, Access Point dan Both (Keduanya). Modul ini juga dilengkapi dengan prosesor, memori dan GPIO dimana jumlah pin bergantung dengan jenis ESP32 yang kita gunakan. Sehingga modul ini bisa berdiri sendiri tanpa menggunakan mikrokontroler apapun karena

sudah memiliki perlengkapan layaknya mikrokontroler. Pada alat penyiraman otomatis, pin esp32 yang digunakan ada 3 yaitu pin supply, pin GPIO, dan pin sistem minimum (pul up).[2]

2.1.3 Relay

Relay adalah Saklar (Switch) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen Electromechanical (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (Coil) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/Switch).[3]

2.1.4 IC RS485

RS-485 adalah protokol komunikasi serial asinkron yang tidak memerlukan pulsa clock. Komunikasi ini menggunakan teknik yang disebut sinyal diferensial untuk mentransfer data biner dari satu perangkat ke perangkat lainnya. Metode sinyal diferensial bekerja dengan membuat tegangan diferensial dengan menggunakan 5V positif dan negatif. IC RS 485 ini menyediakan komunikasi Half-Duplex saat menggunakan dua kabel dan Full-Duplex membutuhkan 4 kabel merangkak.[3]

2.1.5 Komponen RTC

Komponen Realtime clock adalah komponen IC penghitung yang dapat difungsikan sebagai sumber data waktu baik berupa data jam, hari, bulan maupun tahun. Bentuk komunikasi data dari IC RTC adalah I2C yang merupakan kepanjangan dari Inter Integrated Circuit. Komunikasi jenis ini hanya menggunakan 2 jalur komunikasi yaitu SCL dan SDA. Semua microcontroller sudah dilengkapi dengan fitur komunikasi 2 jalur ini, termasuk diantaranya Arduino Microcontroller.[3]

2.1.6 Modul Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan *indium oksida* dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki *polarizer* cahaya vertikal depan dan *polarizer* cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan *reflektor*. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.[4]

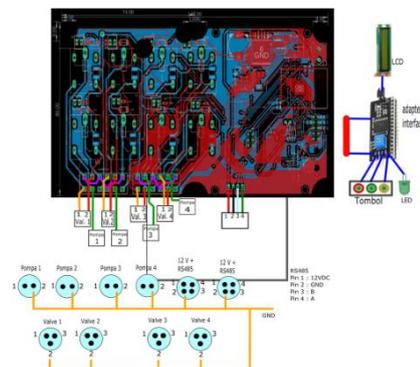
2.1.7 Sensor BME280

Modul sensor BME280 yang berfungsi untuk mendeteksi suhu, dan kelembapan dan menggunakan interface i2c. Sensor ini lumayan mudah untuk digunakan sehingganya banyak yang menggunakan sensor ini serta tingkat kepresisian yang lumayan tinggi dalam mendeteksi suhu dan kelembapan udara. [5]

2.25. Perancangan Alat

2.2.1. Desain Wiring

Sebelum merakit alat penyiraman otomatis, terlebih dahulu membuat desain wiring yang bertujuan agar mudah untuk melihat posisi dari tiap-tiap komponen saat proses perakitan. Untuk mendesain wiring alat disini menggunakan aplikasi *eagle* dan dilanjut menggunakan *inkscape*.

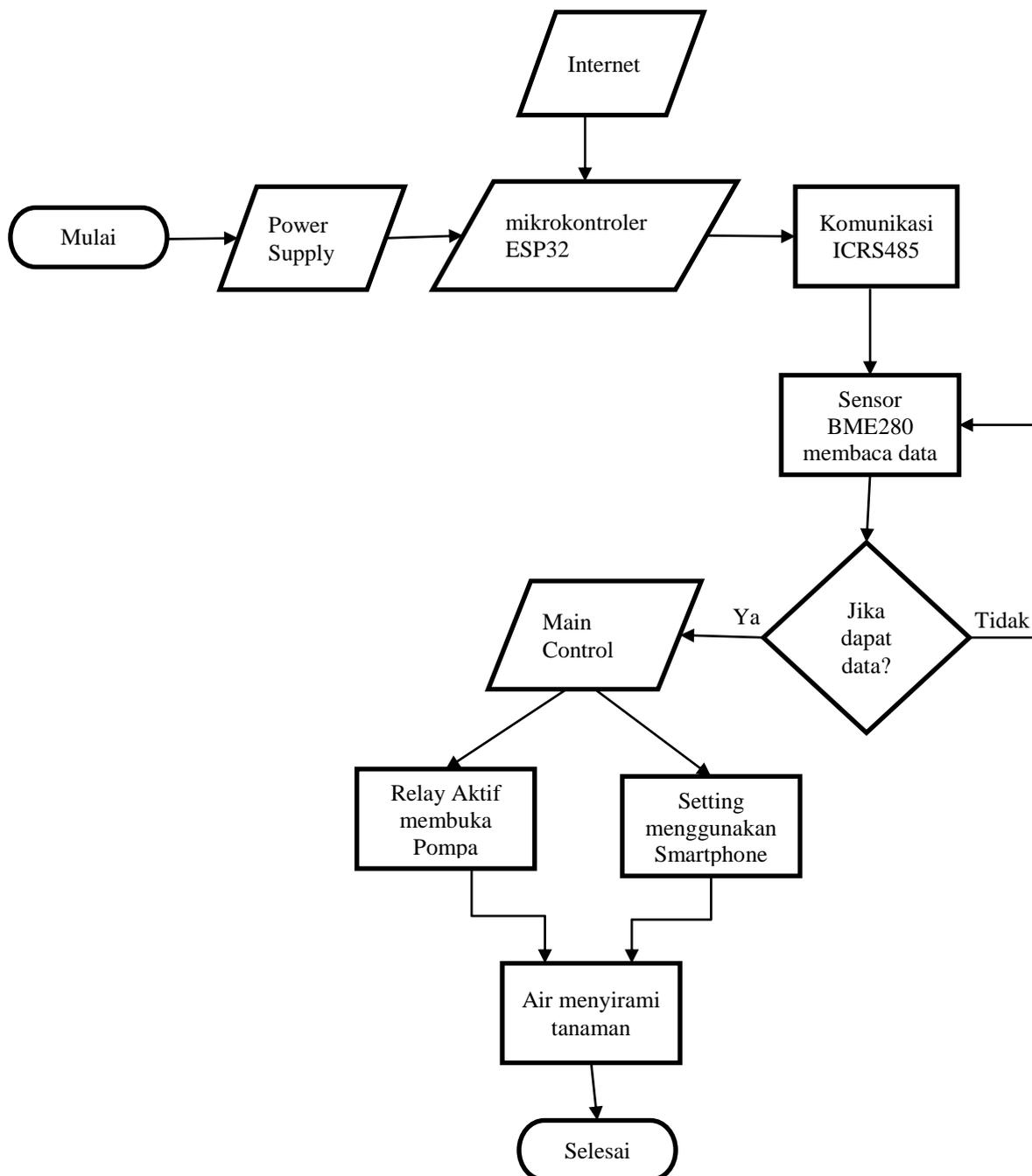


Gambar 1 Desain Wiring Alat penyiraman tanaman otomatis

2.2.2. Tahap Perancangan

Dalam tahapan ini ditentukan beberapa langkah diantaranya : (a) Analisa kebutuhan sistem, dimana dalam langkah ini ditetapkan kebutuhan – kebutuhan sistem terutama kebutuhan perangkat keras untuk dapat mengolah data yang diperoleh sesuai dengan referensi dan kebutuhan sistem yang dilakukan pada tahap pengumpulan data.(b) Pembuatan Alat, dalam tahapan ini di fokuskan pada pembuatan dan pemasangan komponen yang akan digunakan pada alat tersebut.(c) Pembuatan Program, tahapan ini difokuskan pada pembuatan program sesuai dengan perancangan alat yang ada. (d) Implementasi, Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari pembuatan sebuah alat. Setelah melakukan semua tahapan diatas, maka alat yang sudah selesai akan diujicobakan cara kerjanya diareal yang ditetapkan

2.2.3. Jalur Komunikasi Kontrol



Gambar 2. Flowchart Alur Komunikasi Alat

2.2.4. Perakitan Alat

Alat penyiraman tanaman otomatis sebagai kontrol utama yang terhubung langsung ke penyiraman, dimana terdapat Mikrokontroler esp32 yang tersambung langsung terhadap koneksi internet sehingga dapat diatur jarak jauh menggunakan smartphone dengan jalur komunikasi menggunakan IC RS485 terhadap Habibi Climate sehingga setelah Habibi Climate membaca suhu, kelembapan udara dan kelembapan tanah data akan dikirim langsung ke Habibi Grow. RTC sebagai pengatur waktu memungkinkan data terjadi secara real time dan threshold yang diatur pada Mikrokontroler dapat disesuaikan waktunya. Relay menjadi penghubung dan pemutus tegangan dalam hal ini terhadap Valve elektrik dan Habibi Cooling System. Power Supply sebagai sumber tegangan utamanya.[6]



Gambar 3. Hasil Perakitan Board Alat penyiraman

2.2.5. Petunjuk Pengoperasian

Pengoperasian Habibi Grow dapat dilakukan 2 mode operasi, pertama mode manual dengan tombol pada *interface display*, yang kedua mode otomatis menggunakan *smartphone*.

Mode operasi manual dapat dilakukan dengan cara seperti berikut : a)Sambungkan kabel konektor saklar Habibi Grow ke sumber listrik. b)Pastikan lampu indikator menyala untuk kondisi mati pada mode pengairan, karena belum di on kan. c)Dan pastikan lampu indikator mati untuk kondisi mati pada mode pendinginan. d)Lalu tekan ‘setelan’ atur kondisi, misalnya untuk pendinginan. e)Lalu tekan zona yang ingin didinginkan, seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4. Zona 1 nyala untuk pendinginan

Begitupun dengan kondisi pengairan cara yang dilakukan sama. Tetapi pada kondisi pengairan tidak dapat dilakukan pengairan zona secara bersamaan

Lalu, mode operasi otomatis dapat dilakukan sebagai berikut : a)Buka aplikasi yang sudah diinstal. b)Pastikan ID lahan tanaman terakses oleh aplikasi. c)Cek kelembapan tanah dan suhu

pada kebun dilayar *HandPhone*. d)Jika persentasi kelembaban dan atau pengairan buruk, lalu klik

2.2.6. Perancangan Program

Proses penyetingan diperlukan untuk menentukan indikator awal sebelum digunakan dengan sempurna. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menyeting Habibi Grow melalui aplikasi arduino. Berikut tahap-tahap yang perlu dicoding pada monitor arduino :

Tabel 1. *Coding* Alat Penyiraman Otomatis

No	Setting	Contoh
1	Login	
2	Set RTC	{ "mode" : "2", "setting" : "1", "t" : "2020", "m" : "2", "d" : "2", "h" : "12", "mi" : "42", "s" : "0" }
3	Set Schedule	{ "mode" : "2", "setting" : "2", "s" : "A070008000900100011000123456", "ls" : "100", "z" : "1", "lp" : "60" }
4	Set Control	{ "mode" : "1", "zona" : "2", "control" : "XX2X" }
5	Set MQTT	{ "mode" : "2", "setting" : "4", "h" : "habibigarden.com", "u" : "habibi", "p" : "prodigy123" }
6	Set Wifi	{ "mode" : "2", "setting" : "5", "s" : "hbbgarden", "p" : "prodigy123" }
7	Set Threshold	{ "mode" : "2", "setting" : "6", "t" : "1", "d" : "A;10-32;90-100;100-500;5-13;5-7;300-10000;10-27;50-80", "a" : "A", "ac" : "A05002300" }
8	Set Device	{ "mode" : "2", "setting" : "7", "k" : "KAB_BANDUNG_1", "z" : "1", "es" : "1800", "wp" : "60" }
9	Restart	{ "mode" : "2", "setting" : "8" }
10	Factory Reset	{ "mode" : "2", "setting" : "9" }

No	Keterangan
1	
2	T=tahun, m=bulan, d=tanggal, h=jam, mi=menit, s=detik
3	S = schedule, ls=lama siram, z=zona, lp=lama pendinginan
4	
5	
6	
7	t= zona, d=threshold,a=aktif sensor,ac=active time
8	K=kode kebun, z = jumlah zona, es=evaluasi sensor, wp=waktu pengiriman
9	
10	.00", "batre": "12.03", "pressure": "89224.73", "soilph": "4.30", "soilt": "26.70" } } } }

Tabel 2. Keterangan simbol pada coding

3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum menghubungkan Habibi Grow, terlebih dahulu memeriksa semua komponen harus pada keadaan normal dan tidak rusak. Dan siapkan kabel CB untuk masing-masing kebutuhan. Berikut merupakan langkah-langkahnya :

Kondisi Pendinginan : a)Menyambungkan kabel konektor CB 2 pin ke konektor pompa. b)Pastikan pompa terhubung ke berbagai mist pada tanaman. c)Lalu nyalakan Habibi Grow. d)Kemudian setting pengaturan sesuai kebutuhan tanaman untuk beberapa zona. Berikut tabelnya:

	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4
Zona 1	Nyala	Mati	Mati	Mati
Zona 2	Mati	Nyala	Mati	Mati
Zona 3	Mati	Mati	Nyala	Mati
Zona 4	Mati	Mati	Mati	Nyala

Tabel 3. Setting untuk kondisi pendinginan

Catatan : pada kondisi pendinginan, dapat dilakukan multizona secara bersamaan

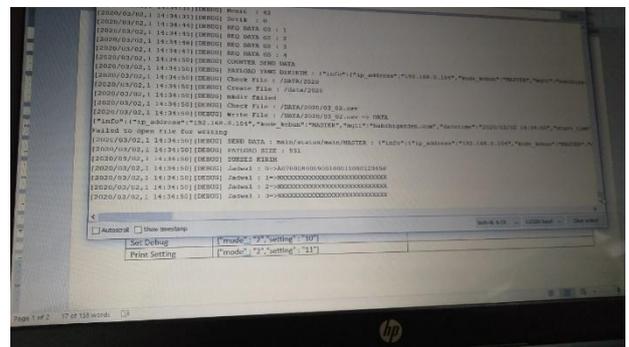
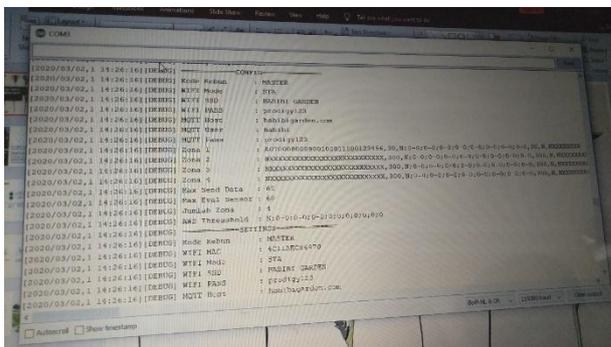
Kondisi Pengairan: a)Menyambungkan kabel konektor CB 3 pin ke konektor *valve*. b)Pastikan *valve* terhubung ke pipa-pipa pada tanaman. c)Lalu nyalakan Habibi Grow. d)Kemudian setting pengaturan sesuai kebutuhan tanaman untuk beberapa zona. Berikut tabelnya:

	Lampu 1	Lampu 2	Lampu 3	Lampu 4
Zona 1	Nyala	Mati	Mati	Mati
Zona 2	Mati	Nyala	Mati	Mati
Zona 3	Mati	Mati	Nyala	Mati
Zona 4	Mati	Mati	Mati	Nyala

Tabel 4. Setting untuk kondisi pengairan

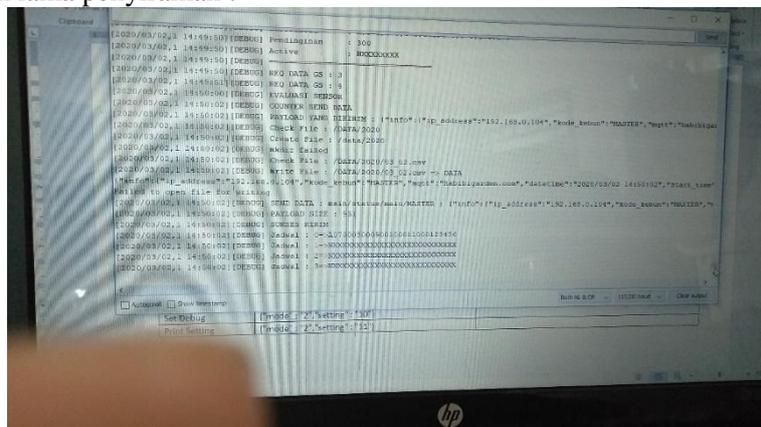
Setelah mengetahui *coding* dari penyetingan pada monitor, perlu dilakukannya pengaplikasian melalui arduino untuk lahan tanaman sesuai *coding* yang dibutuhkan. Berikut tampilan output *coding* yang dihasilkan :

Gambar 5. Tampilan Output Coding pada monitor



Pada gambar diatas menjelaskan kode kebun yang dipakai yaitu MASTER, wifi nya menggunakan HABIBI GARDEN. Pada coding ini dibuat Set RTC dengan tahun = 2020, bulan = 2, tanggal= 2, jam = 12, menit = 42, detik = 0. Untuk Set Schedule di setting jumlah zona = 4, untuk masing-masing zona lama penyiraman yaitu 30 detik. Lalu kirim data dan sukses di setting. Dengan begitu laham pada kode kebun MASTER beroperasi penyiraman dengan lama 30 detik. Dengan aws threshold tidak difungsikan, karena disini kita memakai setting manual dengan mengetik coding pada arduino.

Apabila terjadi kasus ketika 30 detik penyiraman tanah pada tanaman belum mencapai kelembaban yang diinginkan, dapat dengan menyeting Set Schedule pada keterangan *lm*= lama penyiraman, yaitu ditambah sesuai dengan keinginan. Pada kondisi kali ini ditambah dengan durasi 100 detik lama penyiraman :



Gambar 6. Coding Set Schedule

4. Kesimpulan

Perakitan alat penyiraman tanaman otomatis merupakan kontrol utama dalam sistem penyiraman dan pendinginan sehingga dapat dilakukan secara jarak jauh menggunakan smartphone maupun interface display. Sebelum merakit alat penyiraman, terlebih dahulu membuat desain wiring yang bertujuan agar mudah untuk melihat posisi dari tiap-tiap komponen saat proses perakitan.

Ucapan Terima Kasih

Kepada Allah SWT yang telah memberi nikmat sehat dan nikmat waktu, dan kedua orang tua yang telah memberikan berbagai dukungan baik itu dukungan secara moral maupun material serta dorongan semangat. Terima kasih disampaikan kepada Tim TELKA yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.

Referensi

- [1] Ginting, R. P. 2017. Sistem Pemantauan Kualitas Tanaman Sayur Pada Media Tanam Hidroponik Menggunakan Arduino. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [2] Al-Fuqaha, Ala, Mohsen G, Mehdi M, 2015. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications, IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol.17no 4, pp. 2347-2376
- [3] D. Ho, "Pengertian Relay dan Fungsinya"[Online]. Available: <https://teknikelektronika.com/pengertian-relay-fungsi-relay/>.
- [4] Admin, "LCD (Liquid Cristal Display)," [Online]. Available: <https://elektronika-dasar.web.id/lcd-liquid-cristal-display>.
- [5] Romadloni, P.L. 2012. Rancang Bangun Sistem Otomasi Hidroponik NFT(Nutrient Film Technique). Tugas Akhir. Universitas Telkom Bandung.
- [6] Ginting, R. P. 2017. Sistem Pemantauan Kualitas Tanaman Sayur Pada Media Tanam Hidroponik Menggunakan Arduino. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.

ID: 37

Rancang Bangun Pendeteksi Posisi Sudut dan Kecepatan Sesaat Dengan Menggunakan Rotary Encoder KY-040

Design of Angle Position and Temporary Velocity Detector Using Rotary Encoder KY-040

Ilham Akbar¹, Nanang Ismail², Tri D. Rachmilda³

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung,
Jl. AH. Nasution No. 105 Bandung

³Laboratorium Penelitian Konversi Energi Elektrik Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung

ilham.akbar912@gmail.com¹, nanang.is@uinsgd.ac.id², trides@konversi.ee.itb.ac.id³

Abstrak – Pengukuran sudut putar pada benda yang berotasi cukup sulit dilakukan dengan menggunakan alat ukur sederhana seperti busur, apalagi jika digunakan untuk membaca sudut pada benda yang berat dan bergerak secara kontinu. Tujuan penelitian ini adalah merancang sebuah alat ukur sudut dan kecepatan untuk mengatasi masalah yang dialami pengguna yang kesulitan membaca titik ukur pada alat ukur manual. Untuk mendapatkan posisi dan kecepatan sesaat dari pergerakan rotary encoder, maka dilakukan perancangan penentuan posisi dan pengukur kecepatan dari rotary encoder. Alat ini menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dan rotary encoder KY-040 yang hasilnya ditampilkan melalui serial monitor. Prinsip kerja sensor ini adalah pulsa yang dihasilkan oleh rotary encoder dilacak pada arduino dan kecepatan sesaat didapatkan dengan waktu yang terjadi dan perubahan pulsa ketika program dijalankan.

Kata Kunci: Encoder, KY-040, Arduino, Posisi, Kecepatan

Abstract – Measuring the rotating angle of a rotating object is quite difficult to do using a simple measuring instrument such as an arc, especially if it is used to read angles on objects that are heavy and move continuously. The purpose of this study was to design an angle and speed measuring instrument to overcome the problems experienced by users who have difficulty reading the measuring points on manual measuring instruments. To get the position and instantaneous speed of the rotary encoder movement, a rotary encoder determines the position and speed measurement design. This tool uses an Arduino UNO microcontroller and a KY-040 rotary encoder whose results are displayed on a serial monitor. The working principle of this sensor is that the pulses generated by the rotary encoder are tracked on the Arduino and the instantaneous velocity is obtained by the time that occurs and the pulse changes when the program is run.

Keywords: Encoder, KY-040, Arduino, Position, Velocity

1. Pendahuluan

Segala sesuatu yang berbentuk pasti ada ukurannya, baik itu panjang, tinggi, berat, volume, ataupun dimensi dari suatu objek. Penentuan besaran dimensi atau kapasitas, biasanya terhadap suatu standar satuan ukur tertentu. Pengukuran tidak hanya terbatas pada kuantitas fisik. Sesuatu yang dapat diukur dan dapat dinyatakan dengan angka disebut besaran, sedangkan perbandingan dalam suatu pengukuran disebut satuan. Satuan yang digunakan untuk melakukan pengukuran dengan hasil yang sama atau tetap untuk semua orang disebut satuan baku, sedangkan satuan yang digunakan untuk melakukan pengukuran dengan hasil yang tidak sama untuk orang yang berlainan disebut satuan tidak baku

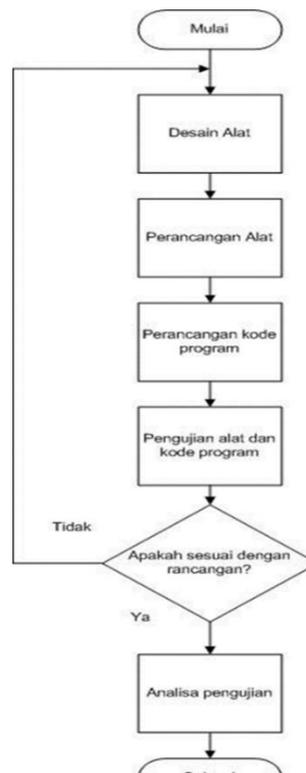
Sebuah benda yang bergerak membentuk suatu lingkaran dapat dikatakan bahwa benda tersebut mengalami gerak melingkar. Pada gerak melingkar akan dikenal perpindahan sudut, kecepatan sudut, dan percepatan sudut. Perpindahan sudut merupakan perpindahan partikel pada lintasan gerak yang melingkar. Kecepatan sudut didefinisikan sebagai perpindahan sudut dalam selang waktu tertentu [1].

Alat ukur sudut Pengukuran sudut benda yang bergerak melingkar menggunakan alat ukur manual seperti busur silet dilakukan. Seperti dalam mendeteksi sudut dalam rotasi motor listrik, turbin, dan sebagainya. Maka diperlukan alat ukur yang mudah digunakan, baik pemakaian maupun pembacaan hasilnya.

Pada penelitian ini, peneliti merancang sebuah alat ukur sudut, arah rotasi dan pengukuran kecepatan dengan memanfaatkan sensor rotary encoder. Penelitian ini diharapkan dapat membantu dan mempermudah pengguna dalam mengamati perputaran poros benda.

2. Metode Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini, ada beberapa metode yang dilakukan. Pertama dilakukan studi literatur teori teori yang berkaitan dengan perancangan pendeteksi posisi sudut dan kecepatan yang didapatkan dari buku, jurnal, dan situs situs web yang bersangkutan dengan materi yang akan dibahas. Kedua melakukan pembimbingan dengan cara berdiskusi dan meminta saran kepada beberapa narasumber dalam hal ini kepada dosen mata kuliah yang berkaitan dengan penelitian ini. Dan yang ketiga dengan melakukan perancangan yang dengan alur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.26. Alat dan Bahan

a. Arduino UNO

Arduino uno yang dapat dilihat pada Gambar 5 adalah suatu mikrokontroler pada ATMEGA 2560 yang mempunyai 54 input/ output digital yang mana 16 pin digunakan sebagai PWM keluaran, 16 masukan analog, dan di dalamnya terdapat 16

MHZ osilator kristal, USB koneksi, power, ICSP, dan tombol reset. Kinerja arduino ini memerlukan dukungan mikrokontroler dengan menghubungkannya pada suatu komputer dengan USB kabel untuk menghidupkannya menggunakan arus AC atau DC dan bisa juga dengan menggunakan baterai yang menggunakan mikrokontroler ATmega328 [2].

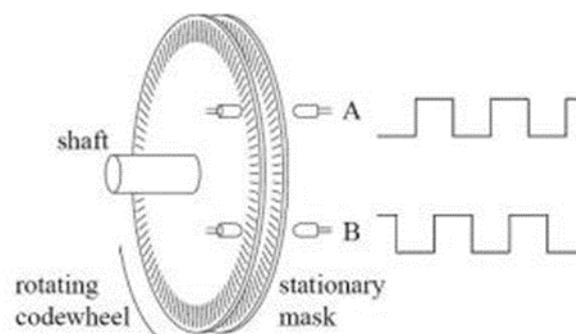


Gambar 2 Arduino UNO

b. Rotary Encoder KY-040

Encoder adalah sebuah rangkaian yang dapat berfungsi mengkonversi suatu data kedalam bentuk data baru. Encoder dibutuhkan untuk mengkonversi data dari satu sistem bilangan ke sistem bilangan lainnya. Prinsip kerja Encoder adalah mengkonversi suatu data agar data tersebut dapat diterima oleh receiver dalam keadaan utuh. Dimana pada bagian penerima terdapat decoder yang dapat mengambil data yang telah dikonversi oleh Encoder.

Incremental encoder terdiri dari dua track atau single track dan dua sensor yang disebut channel A dan B. Ketika poros berputar, pada contoh Gambar 6, deretan pulsa akan muncul di masing-masing channel pada frekuensi yang proporsional dengan kecepatan putar sedangkan hubungan fasa antara channel A dan B menghasilkan arah putaran,. Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan maka putaran dapat diukur. Untuk mengetahui arah putaran, dengan mengetahui channel mana yang leading terhadap channel satunya dapat kita tentukan arah putaran yang terjadi karena kedua channel tersebut akan selalu berbeda fasa seperempat putaran (quadrature signal). Seringkali terdapat output channel ketiga, disebut INDEX, yang menghasilkan satu pulsa per putaran berguna untuk menghitung jumlah putaran yang terjadi [3].

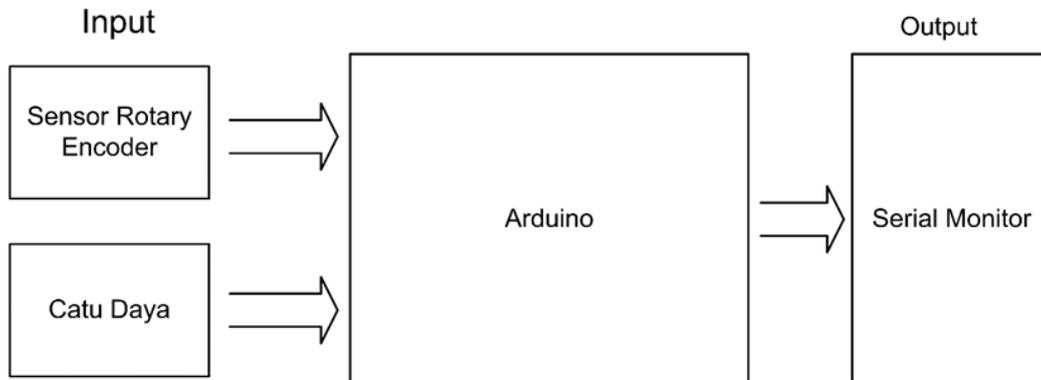


Gambar 3 Susunan Incremental Rotary Encoder

Sensor rotary encoder merupakan suatu komponen transuder elektromekanik yang dimanfaatkan untuk mengukur perpindahan (rotasi) pada motor. Komponen ini dapat dimanfaatkan untuk mengukur kecepatan. Rotary encoder berbentuk suatu piringan, piringan ini memiliki beberapa bagian yang transparan dan beberapa bagian tidak tembus cahaya yang berjajar disepanjang tepi piringan untuk dapat dimanfaatkan dalam mengukur kecepatan [4].

2.27. Blok Diagram

Perancangan perangkat keras dan program pendeteksi sudut dan kecepatan sesaat dibuat dalam diagram blok sistem secara keseluruhan agar memudahkan penulis dalam melakukan perancangan sistem. Blok diagram secara keseluruhan terdapat pada Gambar 2.

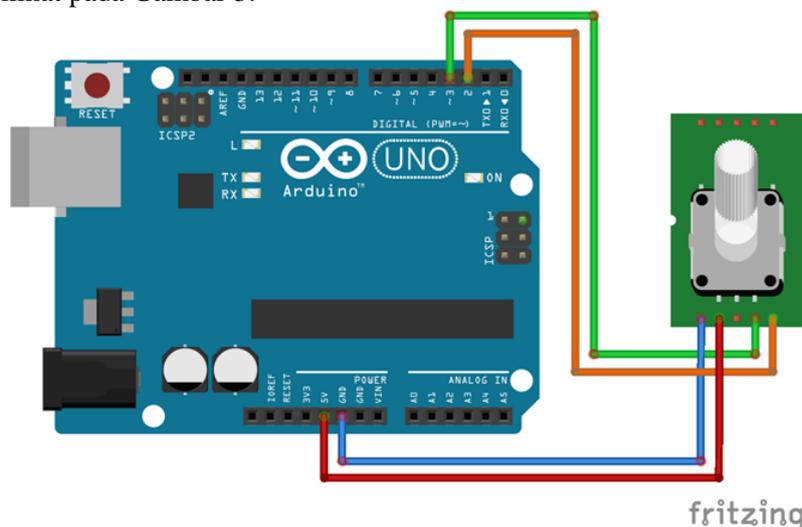


Gambar 4 Blok Diagram

Encoder dan catu daya utama. Pemasangan dan perancangan dilakukan dalam posisi catu daya mati, hal ini bertujuan untuk meminimalisir adanya kesalahan arus yang mengalir atau langkah pencegahan jika terjadi kesalahan pemasangan pada kabel ke input. Selain itu diagram ini dapat menjadi acuan ketika merancang komponen komponen pada breadboard.

2.28. Konfigurasi Rangkaian

Konfigurasi rangkaian di gambarkan melalui aplikasi fritzing. Ada 2 komponen utama yang digunakan yaitu Arduino dan sensor rotary encoder. Berikut sambungan pin Arduino ke rotary dapat dilihat pada Gambar 3.

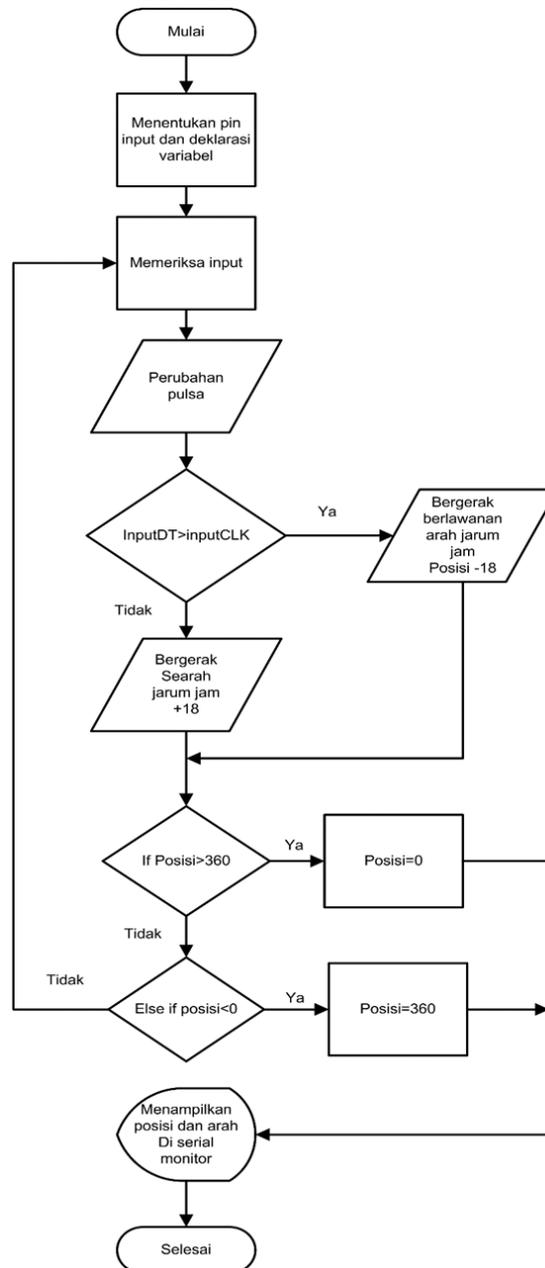


Gambar 5 Konfigurasi Rangkaian

Dalam konfigurasi ini digunakan empat pin Arduino uno. Pin yang digunakan yaitu sumber tegangan 5 volt yang tehubung dengan VCC sensor rotary encoder, lalu pin ground Arduino ke ground sensor rotary encoder dan selanjutnya pin 2 dan pin 3 ke output sinyal sensor rotary encoder.

2.29. Diagram Alir Program

Perancangan script program yang digunakan untuk pembuatan sistem pada alat ukur sudut diawali dengan membuat diagram alir program agar memudahkan penulis dalam menyusunnya. Kemudian diagram alir tersebut digunakan sebagai pedoman penulis untuk membuat program secara keseluruhan. Diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 6 Diagram Alir Program

Pada bagian program utama, yaitu looping yang diawali mengecek ada atau tidaknya perubahan pulsa. Jika terdeteksi adanya perubahan pulsa dan jumlah pulsa dari input DT lebih besar dari input CLK maka diserial monitor akan mencetak “CW” atau clock wise yang artinya searah jarum jam serta menambahkan nilai sudut sebesar 18. Begitupun sebaliknya jika jumlah pulsa input DT lebih kecil dari input CLK maka diserial monitor akan mencetak “CCW” atau

counter clock wise yang artinya berlawanan arah jarum jam serta mengurangi nilai posisi sebesar 18 pula. Untuk membatasi nilai sudut diperlukan logika dimana jika nilai sudut melebihi 360 maka sudut harus kembali pada nilai 0. Dan jika sudut kurang dari 0 maka nilai sudut akan 360.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan sebuah alat ukur posisi dan kecepatan. Bentuk alat penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah. Adapun beberapa bagian yang digunakan yaitu sensor rotary encoder, jumper, Arduino dan laptop untuk menampilkan hasil ukur. Pembacaan sudut dan kecepatan rotary encoder dapat terlihat pada Tabel 1

Pengujian alat dilakukan dengan memutar encoder satu putaran penuh searah jarum jam atau clockwise (CW). Rotary encoder KY-40 memiliki spesifikasi 20 ppr atau pulse per rotasi yang artinya dapat memproduksi pulsa sebanyak 20 setiap satu kali rotasi. Dalam hal lain dapat diartikan encoder ini bergerak setiap 18 derajat. Untuk itu dalam kode program perlu dibuat pembatasan ketika melebihi 360 derajat akan berbalik lagi ke posisi 0 derajat pada arah jarum jam. Selain itu ketika diputar pada lawan arah jarum jam nilai akan bernilai 360 ketika posisi kurang dari 0. Hal ini dapat dibuktikan pada pulsa ke 21

Arah putaran didapatkan dengan mengidentifikasi clock mana yang lebih dahulu. Hal ini berdasarkan spesifikasi encoder KY-40 dimana mempunyai 2 output pulsa yaitu A dan B. Dalam sketch program dapat diidentifikasi pulsa mana yang mempunyai jumlah lebih banyak dan lebih dulu, maka kita dapat menentukan ke arah mana rotasi berputar berlawanan atau searah jarum jam.

Arah putaran didapatkan dengan mengidentifikasi clock mana yang lebih dahulu. Hal ini berdasarkan spesifikasi encoder KY-40 dimana mempunyai 2 output pulsa yaitu A dan B. Dalam sketch program dapat diidentifikasi pulsa mana yang mempunyai jumlah lebih banyak dan lebih dulu, maka kita dapat menentukan ke arah mana rotasi berputar berlawanan atau searah jarum jam.

Pengukuran kecepatan yang terlihat pada pengujian alat terlihat konstan karena perubahan posisi yang konstan yaitu 18 derajat dan perubahan waktu yang menyesuaikan time internal pada arduino. Time internal yang digunakan pada Arduino menggunakan fungsi millis untuk melihat selang waktu dari perubahan posisi.

Adapun kekurangan alat ukur ini yang hanya dapat memproduksi 20 pulsa per rotasi membuat pendeteksian posisi yang sangat besar. Perubahan posisi 18 derajat yang didapatkan dari perbandingan jumlah sudut satu putaran penuh dengan jumlah pulsa yang diproduksi.

Tabel 1 Hasil Percobaan Alat

No	Pulsa Ke	Sudut(°)	Kecepatan (°/s)	Arah
1	1	18	178	CW
2	2	36	178	CW
3	3	54	178	CW
4	4	72	178	CW
5	5	90	178	CW
6	6	108	178	CW
7	7	126	178	CW
8	8	144	178	CW
9	9	162	178	CW
10	10	180	178	CW
11	11	198	178	CW
12	12	216	178	CW
13	13	234	178	CW
14	14	252	178	CW
15	15	270	178	CW

Tabel 1 Lanjutan

No	Pulsa Ke	Sudut(°)	Kecepatan (°/s)	Arah
16	16	288	178	CW
17	17	306	178	CW
18	18	324	178	CW
19	19	342	178	CW
20	20	360	178	CW
21	21	0	178	CW

4. Kesimpulan

Rotary encoder KY-40 dapat digunakan untuk mengidentifikasi posisi dan arah rotasi benda yang bergerak berdasarkan produksi pulsa yang dihasilkan. Posisi dapat ditentukan dengan mengecek ada atau tidaknya pulsa lalu menambahkan atau mengurangi sudut. Parameter kecepatan didapatkan dengan membandingkan perubahan posisi dengan time clock internal arduino. Arah rotasi dapat ditentukan dengan mendeteksi dan membandingkan dari 2 pulsa yang diproduksi.

Ucapan Terima Kasih

Kepada Allah SWT yang telah memberi nikmat sehat dan nikmat waktu, dan kedua orang tua yang telah memberikan berbagai dukungan baik itu dukungan secara moral maupun material serta dorongan semangat. Terima kasih disampaikan kepada Tim TELKA yang telah meluangkan waktu untuk mempublikasikan penelitian ini.

Referensi

- [1] L. Riani, Fisika Dasar 1, Bandung: UNIKOM, 2008, p. 29.
- [2] M. A. Wijaya, "Impelementasi Fuzzy Logic Terhadap Pengukuran Kecepatan dan Arah Angin," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, vol. 5, p. 3, 2018.
- [3] A. Virgono, "Perancangan Sistem Pengendali Dan Monitoring Kecelakaan Mobil Berbasis Vehicular Ad Hoc Network (Vanet) Menggunakan Sensor Limit Switch Dan Rotary Encoder," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 3, p. 778, April 2016.
- [4] A. Ghany, "Desain Dan Implementasi Sistem Kontrol Putaran Motor Pada Gerak Simulator Gempa 3 Axis," *CRANCKSHAFT*, vol. 3, p. 26, 2020.

Perbandingan Klasifikasi Status Pengaturan pada Air Conditioner (AC)
dengan Metode *Backpropagation* dan *Support Vector Machine*

*Comparison of Air Conditioner Setting Classification using
Backpropagation and Support Vector Machine*

Laily Nur Qomariyati^{1*}, Syafira Tiara Zani¹, Koredianto Usman¹, Muhammad Ary Murti²

¹Department of Telecommunication Engineering/ Faculty of Electrical Engineering

²Department of Electrical Engineering/ Faculty of Electrical Engineering

Telkom University, Jl. Telekomunikasi Jl. Terusan Buah Batu phone (022) 7565930

lailyng@student.telkomuniversity.ac.id^{1*}, syafiratz@student.telkomuniversity.ac.id¹,

Korediantousman@telkomuniversity.ac.id¹, Arymurti@telkomuniversity.ac.id²

Abstrak – Diantara perangkat elektronik yang digunakan oleh masyarakat modern, AC termasuk perangkat yang tersedia di berbagai negara, termasuk Indonesia. Sifat dari AC yang dioperasikan dalam jangka waktu yang lama menyebabkan AC menjadi salah satu perangkat elektronik yang mengkonsumsi daya terbesar di gedung-gedung perkantoran dan rumah tangga modern. Sifat dari masyarakat yang tidak memperhatikan pengaturan AC yang tepat semakin menambah pemborosan penggunaan AC. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat mengontrol setting AC sehingga biaya penggunaannya menjadi minimal. Meskipun telah banyak penelitian yang berupaya untuk melakukan efisiensi penggunaan AC, namun penelitian tentang sumber-sumber IoT serta Machine Learning belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini kami menyelidiki tentang penggunaan *Backpropagation*(BP) dan *Support Vector Machine*(SVM) terkait dengan klasifikasi setting AC dari kondisi setting oleh pengguna menuju setting ideal. Langkah ini diperlukan untuk tahap berikutnya terkait penjadwalan/scheduling dari setting AC yang optimum untuk menghasilkan konsumsi daya yang minimal. Sebagai input dari sistem diantaranya adalah jumlah orang dalam ruangan, temperature dalam dan luar ruangan serta temperature target. Output sistem berupa setting kondisi AC off, low, medium dan high. Data yang dibangkitkan bersifat dummy dengan jumlah dataset sebanyak 1476 data. Klasifikasi low, med, high didefinisikan dengan jumlah orang di dalam ruangan, selisih antara temperature luar dan temperature target. Sebagai contoh jumlah orang kurang dari 5 selisih temperature kurang dari 3°C, maka akan dikategorikan sebagai low effort. Hasil penelitian dengan data tersebut diperoleh akurasi untuk BP=96,1% dan SVM=96.9%. Dengan hasil akurasi tersebut, maka SVM lebih baik dibandingkan dengan BP untuk mengklasifikasikan data yang ada.

Kata Kunci: klasifikasi, pengaturan AC, machine learning, BP, SVM.

Abstract – Among the electronic devices used by modern society, air conditioning includes devices that are available in offices in big cities and various countries, including Indonesia. The nature of the AC which is turned on for a long time and the use of power has made it one of the electronic devices that consume the largest power in modern office buildings and households. To proper the AC setting that makes more waste when using the AC. Therefore, we need a system that can control AC settings so that the cost of using AC is minimal. Although there have been many studies that have attempted to carry out the process of using AC, there has not been much research on IoT sources and Machine Learning. Therefore, this study is based on the use of ANN BP and SVM related to the classification of AC settings from the regulatory conditions by the user to the ideal setting. This step is needed for the next stage related to scheduling of optimal AC settings to produce minimal power consumption. The input of ANN is the number of people in a room, indoor and outdoor temperatures, and the target temperature. The output of the system is setting the AC conditions off, low, medium, and high. The data generated is dummy with 1476 data. The low, medium, and high classifications are classified by the number of people in the room, the difference between the outside and the inside and target temperatures, and the current time. For

example, the number of people is less than 5, the difference in temperature is less than 3 degrees, it will be categorized as low effort. The results of the research with these data are accurately with ANN BP of 96.1% and SVM of 96.9%. In terms of accuracy the SVM method is better than BP.

Keywords: classification, AC's setting, machine learning, BP, SVM

1. Pendahuluan

Tidak bisa dipungkiri, saat ini *Air Conditioner* (AC) telah menjadi kebutuhan masyarakat modern. AC telah banyak ditemui di setiap sudut ruangan seperti gedung-gedung bahkan di sebagian besar rumah masyarakat. Energi yang dikonsumsi AC cukup besar jika dibandingkan dengan alat elektronik lainnya yaitu sekitar 350-2220 Watt. Menurut pernyataan Badan Energi Internasional (IEA), dalam 30 tahun ke depan penggunaan mesin pendingin ruangan atau AC akan menjadi penggerak utama permintaan listrik global. Mengacu pada hal tersebut, maka penggunaan AC harus dilakukan secara efektif dan efisien untuk menghemat konsumsi daya listrik.

Penggunaan AC sering tidak disesuaikan dengan kondisi ruangan seperti jumlah orang di dalam ruangan tersebut dan suhu ruangan serta suhu luar ruangan. Klasifikasi status pengaturan pada AC ini akan mengatur *effort* yang dilakukan untuk mencapai suhu target yang telah ditetapkan berdasarkan jumlah orang di dalam ruangan, suhu dalam ruangan, suhu luar ruangan, dan suhu ideal kenyamanan orang bekerja pada ruangan. Dengan adanya klasifikasi status *adjustment* pada AC, penggunaan AC dapat lebih terkendalikan sesuai kebutuhannya.

Beberapa pihak telah melakukan analisa terkait konsumsi energi berbasis *machine learning*. Metode *Decision Tree* digunakan pada penelitian sebelumnya oleh Zhun Yu dkk, dalam kajiannya tentang pemodelan penggunaan energi di perumahan Jepang[1], *decision tree* memiliki kelebihan yaitu komputasinya cenderung cepat karena daerah pengambilan keputusan yang sebelumnya kompleks dapat diubah menjadi lebih singkat namun metode ini lebih mudah untuk memprediksi variable kategori dibandingkan data variabel numerik[2]. *Artificial Neural Network* (ANN) juga pernah diterapkan sebagai algoritma prediksi sebab ANN memiliki kemampuan pemetaan nonlinear yang cukup canggih namun banyak variabel yang harus dipertimbangkan dalam pembangunan algoritmanya[3].

Penelitian ini akan menggunakan algoritma *Backpropagation* (BP) dan *Support Vector Machine* (SVM) untuk mengklasifikasikan *effort* pengaturan AC sebab belum banyak penelitian terdahulu menggunakan kedua metode ini. Pemilihan metode BP dilakukan sebagai representasi dari sistem JST klasik dan pemilihan SVM dilakukan sebagai representasi JST modern. *Backpropagation* adalah salah satu metode pembelajaran yang dapat diterapkan dalam Jaringan Syaraf Tiruan. Metode ini berfungsi untuk melatih jaringan *multilayer* JST. Penemuan *backpropagation* membuat JST kembali diminati setelah sempat terhenti karena kelemahan JST pada saat itu yang hanya memiliki *layer* tunggal. Model jaringan *backpropagation* merupakan suatu pelatihan *supervised learning* yang paling banyak digunakan. Algoritma ini sering dipakai untuk pengklasifikasian yang rumit karena algoritma dilatih menggunakan metode pembelajaran. *Support Vector Machine* (SVM) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi. SVM mengadopsi struktur minimalisasi resiko (*Structure Risk Minimization*) yang mampu mengurangi generalisasi eror pada sejumlah data latih dan mampu menyelesaikan masalah non-linier berdimensi tinggi. Pada dasarnya SVM memiliki prinsip untuk melakukan klasifikasi antara dua kelas yang linier namun lebih jauh ia dikembangkan untuk klasifikasi multi kelas. SVM juga termasuk dalam kelas *supervised learning*.

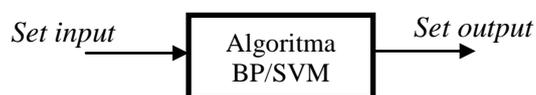
Keluaran yang diharapkan dari penelitian ini yaitu metode yang memiliki performa baik berdasarkan tingkat akurasi untuk memprediksi *setting* pemakaian AC sehingga daya yang digunakan lebih efisien.

2. Metode Penelitian

2.30. Prosedur Penelitian

2.1.1 Set Data Input dan Data Output

Set data *input* dan set data *output* masing-masing berkorespondensi dengan data *input* dan data *output* pada BP dan SVM seperti Gambar 1.



Gambar 1 SVM/BP

- **Set input**

Set input yang menjadi ciri BP dan SVM pada penelitian ini terdiri dari suatu vektor dengan jumlah elemen sebanyak empat. Empat ciri ini terdiri dari (a) jumlah orang dalam suatu ruangan (n); (b) temperatur dalam ruangan (T_i); (c) temperatur luar ruangan (T_o); (d) temperatur target (T_t).

Ciri pertama yaitu jumlah orang menyatakan banyaknya orang dalam ruangan pada saat pengamatan. Data jumlah orang diambil dengan menggunakan sensor kamera yang diletakkan di dalam ruangan tersebut. Pada kenyataannya, diperlukan sistem terpisah untuk mengakuisisi citra di setiap interval waktu tertentu. Kemudian dengan menggunakan jaringan IoT, data citra dikirim ke *server* untuk dianalisa menggunakan pengolahan citra digital sehingga diperoleh jumlah orang dalam ruangan. Pada penelitian ini data jumlah orang dibangkitkan secara *dummy* dari 0 sampai 10 orang yang berkorespondensi dengan jumlah orang di dalam ruangan perkantoran kecil sampai sedang.

Temperatur dalam ruangan (T_i) dan temperatur luar ruangan (T_o) diukur dengan menggunakan sensor suhu yang diletakkan di dalam dan luar ruangan tersebut. Sensor ini juga akan mengirimkan secara berkala hasil pembacaan suhu ke *server* IoT. Selisih yang besar antara temperatur dalam dan luar ruangan menyebabkan AC harus bekerja keras untuk mengatasi perbedaan temperatur tersebut. Kerja keras tersebut dipetakan dengan keluaran bernilai *medium* atau *high* pada BP/SVM. Satuan yang dipakai pada temperatur ini adalah $^{\circ}\text{Celsius}$.

Temperatur target pada penelitian ini adalah temperatur ideal yang menyebabkan produktivitas orang bekerja menjadi optimal. Jurnal Sistem Teknik Industri Volume 6, No. 3 Juli 2005, yang berjudul “Menciptakan kenyamanan thermal dalam bangunan”, menulis bahwa suhu nyaman thermal untuk orang Indonesia berada pada rentang suhu $22,8^{\circ}\text{C}$ - $25,8^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban 70% [4]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kami menentukan rentang suhu target ideal berkisar pada suhu $22-25^{\circ}\text{C}$ disesuaikan dengan suhu luar ruangan.

Contoh vektor input dengan 4 elemen ini adalah

$$\mathbf{x}^T = [3 \quad 21 \quad 27 \quad 24]$$

Contoh di atas menunjukkan jumlah orang sebanyak 3, temperatur dalam 21°C temperatur luar 27°C dan temperatur target 24°C .

Pada penelitian ini digunakan pembangkitan data *dummy* untuk data latih dan data uji dengan jumlah data sebanyak 756 data latih dan 720 data uji. Data ini diletakkan pada *repository* di Google Drive dengan link sebagai berikut : <https://tinyurl.com/DataSetPaper>

- **Set output**

Output dari BP dan SVM adalah 4 macam target yaitu 1, 2, 3, dan 4. Ke empat *output* ini berkorespondensi dengan kondisi AC saat ini hingga mencapai temperatur ideal. *Output* 1 menunjukkan bahwa AC harus berada pada kondisi mati. *Output* ini terjadi antara lain apabila jumlah orang di dalam ruangan adalah 0 atau tidak ada orang di dalam ruangan. *Output* 2 berkorespondensi dengan upaya ringan dari AC untuk mencapai temperatur ideal. Kondisi ini berkorespondensi dengan jumlah orang yang sedikit dalam ruangan atau selisih antara temperatur dalam ruangan dan temperatur target kurang dari sama dengan 2°C . Dalam kondisi

keluaran 2 maka putaran *fan* pada AC dapat diatur dalam nilai minimum. *Output* 3 berkorespondensi dengan upaya sedang dari AC untuk mencapai temperatur ideal. Kondisi ini berkorespondensi dengan jumlah orang sedang antara 4 sampai 5 dalam ruangan atau selisih antara temperatur dalam ruangan dan temperature target antara 3 sampai 6°C. Dalam kondisi keluaran 3 maka putaran *fan* pada AC dapat diatur dalam nilai sedang. *Output* 4 berkorespondensi dengan upaya besar dari AC untuk mencapai temperatur ideal. Kondisi ini berkorespondensai dengan jumlah orang lebih dari sama dengan 6 dalam ruangan atau selisih antara temperatur dalam ruangan dan temperature target lebih dari 5°C. Dalam kondisi keluaran 4 maka putaran *fan* pada AC dapat diatur dalam nilai maksimum.

Pemetaan antara *set input* dan *set output* dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Output BP dan SVM

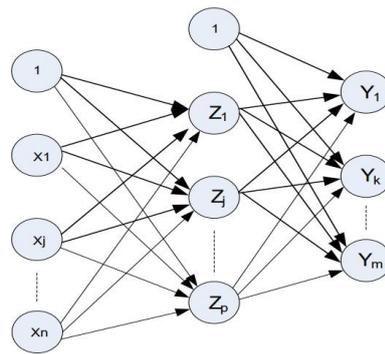
Output BP/SVM	Setting Effort AC	Keadaan	Keterangan
1	Off	Jumlah orang = 0	AC dalam keadaan mati
2	Low	$\Delta T \leq 2^\circ\text{C}$ selisih suhu target dan luar ruangan $N < 3$, jumlah orang	Dalam waktu 30 menit, level <i>fan</i> AC akan naik 1 <i>step</i> dan suhunya turun 1°C
3	Medium	$3^\circ\text{C} < \Delta T < 6^\circ\text{C}$, selisih suhu dalam dan luar ruangan $4 < N < 6$, jumlah orang	Dalam waktu 25 menit, level <i>fan</i> AC akan naik 1 <i>step</i> dan suhunya turun 1°C
4	High	$\Delta T > 5^\circ\text{C}$, selisih suhu dalam dan luar ruangan $N \geq 6$, jumlah orang	Dalam waktu 20 menit, level <i>fan</i> AC akan naik 1 <i>step</i> dan suhunya turun 1°C

2.2 Algoritma Backpropagation

Backpropagation adalah salah satu metode pembelajaran yang dapat diterapkan dalam Jaringan Syaraf Tiruan. Metode ini berfungsi untuk melatih jaringan *multilayer* JST. Penemuan *backpropagation* membuat JST kembali diminati setelah sempat terhenti karena kelemahan JST pada saat itu yang hanya memiliki *layer* tunggal. Model jaringan *backpropagation* merupakan suatu pelatihan *supervised learning* yang paling banyak digunakan. Algoritma ini sering dipakai untuk pengklasifikasian yang rumit karena algoritma dilatih menggunakan metode pembelajaran [5]. Arsitektur algoritma *backpropagation* terdiri atas tiga *layer*, yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Setiap *neuron* yang terdapat pada lapisan *input* akan terhubung dengan setiap *neuron* yang berada pada *hidden layer*, demikian juga setiap *neuron hidden layer* akan selalu terhubung pada lapisan *output*. Pada *input layer* tidak terjadi proses komputasi, sedangkan pada *input layer* terjadi pengiriman sinyal input X ke *hidden layer*. Pada *hidden layer* dan *output layer* terjadi proses komputasi terhadap bobot dan bias serta akan dihitung pula besarnya *output* dari *hidden layer* dan *output layer* tersebut berdasarkan fungsi aktivasi tertentu. Jaringan *backpropagation* terdiri dari *multilayer network* seperti Gambar 2 yaitu [6] :

1. Lapisan *input* (1 buah), yang terdiri dari 1 hingga n unit *input*.
2. Lapisan tersembunyi (minimal 1 buah), yang terdiri dari 1 hingga p unit tersembunyi.
3. Lapisan *output* (1 buah), yang terdiri dari 1 hingga m unit *output*.

Arsitektur JST BP dapat dilihat pada Gambar 2.

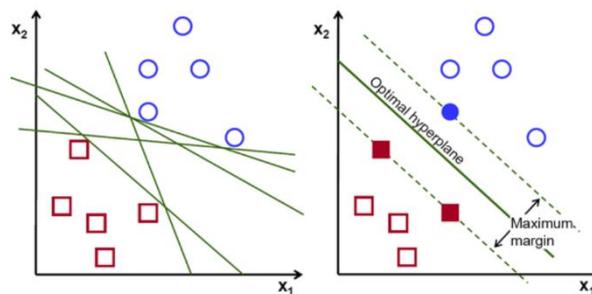


Gambar 2. Arsitektur *Backpropagation* (Jong, 2004)

2.3 Algoritma Support Vector Machine

Support Vector Machine merupakan suatu metode *machine learning* yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi. SVM pertama kali diperkenalkan oleh Boser, Guyon, Vapnik pada tahun 1992. SVM memiliki kedudukan setara dengan *Neural Network* (NN) dimana keduanya termasuk pada kelas *supervised learning*. *Supervised learning* adalah sebuah teknik pendekatan dimana dibutuhkan data latih untuk mengelompokkan data tersebut ke dalam kategori yang telah ditentukan.

Pada dasarnya SVM memiliki prinsip untuk melakukan klasifikasi antara dua kelas yang linier namun lebih jauh ia dikembangkan untuk klasifikasi multi kelas. SVM bekerja dengan cara menemukan *hyperplane* terbaik dengan meminimalisir kesalahan dalam analisis serta memaksimalkan margin geometrinya[7]. Dalam SVM dikenal pula istilah *support vector* yakni data yang memiliki jarak terdekat dengan *hyperplane*, *support vector* ini yang akan diperhitungkan untuk menemukan *hyperplane* mengingat posisinya yang cukup sulit untuk diklasifikasikan sebab rawan terjadi *overlap*. Ilustrasi dari SVM dapat dilihat pada Gambar 3.

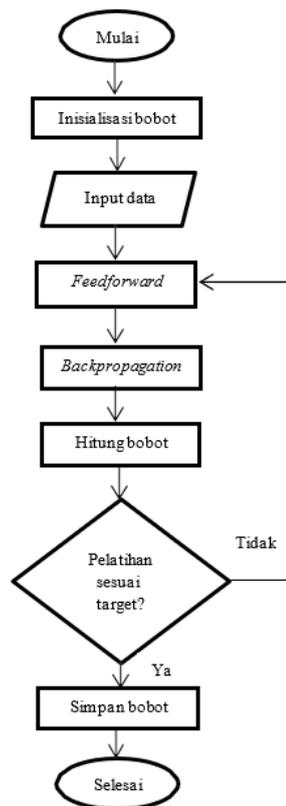


Gambar 3. Ilustrasi SVM

2.4 Training dan Testing

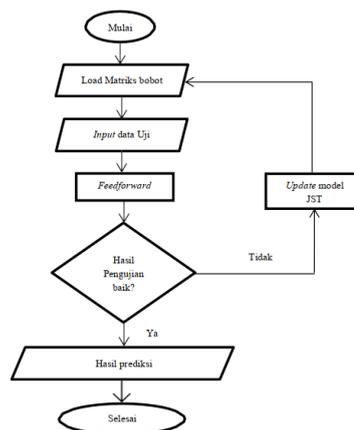
2.4.1 Training dan Testing Algoritma BP

Ada tiga tahapan dalam pelatihan JST *backpropagation*, yang pertama yaitu *feedforward* dimana *input* akan dihitung maju sampai *output layer* dengan fungsi aktivasi. Setelah itu dilakukan tahap *backpropagation* untuk mendapatkan nilai *error*. Tahap terakhir yaitu melakukan pelatihan hingga target *error* telah tercapai. Semua proses tersebut akan dilakukan berulang-ulang sampai target terpenuhi dan akan berakhir dengan penyimpanan bobot dari tahap pelatihan. Diagram alir dari proses pelatihan JST *backpropagation* adalah seperti pada Gambar 4 berikut :



Gambar 4. Diagram Alir Pelatihan JST BP

Selanjutnya akan dilakukan pengujian JST *backpropagation* terhadap data uji. Kondisi data uji telah disamakan dengan data latih terlebih dahulu. Selanjutnya akan diambil bobot terbaik yang telah didapatkan dalam proses pelatihan sebelumnya. Bobot tersebut kemudian akan diproses melalui tahap *feedforward* sehingga akan didapat hasil pengaturan *effort* AC. Diagram alir dari proses pengujian JST *backpropagation* adalah seperti pada Gambar 5 berikut:



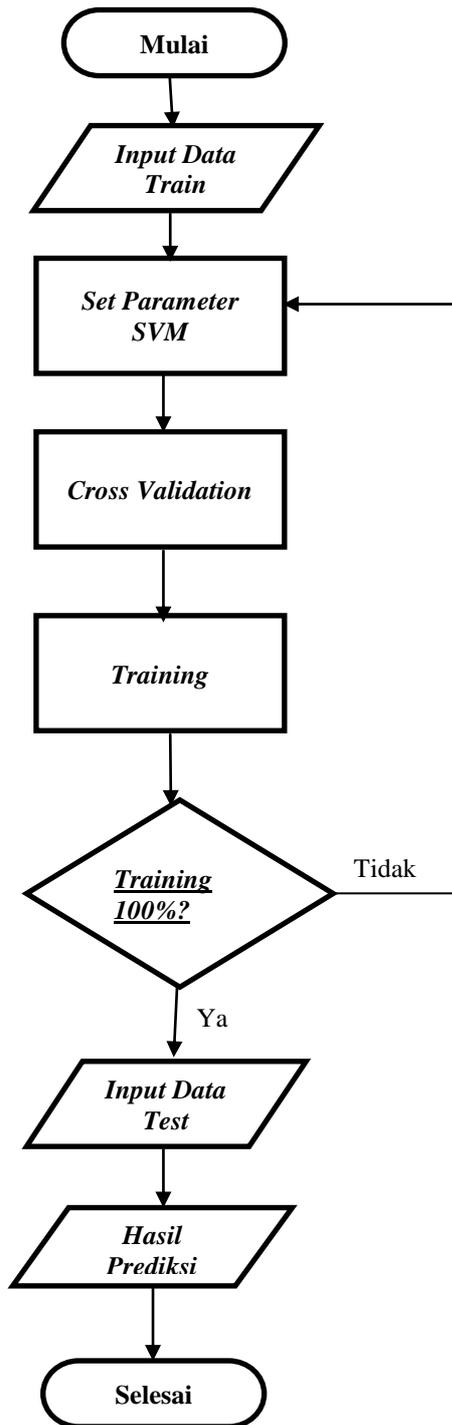
Gambar 5. Diagram Alir Pengujian JST BP

2.4.2 Training dan Testing Algoritma SVM

Untuk membuat pemodelan sistem, parameter input disiapkan sebagai data latih. Selanjutnya, parameter tersebut di kuantisasi dan normalisasi untuk meningkatkan penghitungan efisiensi dan mencegah data individu mengalami *overflow* selama penghitungan. Proses

kuantisasinya ialah menyelaraskan antara nilai selisih suhu target dan luar ruangan serta jumlah orang yang ada. Hal ini dilakukan agar tidak timbul kerancuan dalam pemilihan kelas *output*.

Selanjutnya, dilakukan pemilihan fungsi kernel yang akan digunakan. Ada beberapa jenis fungsi *kernel* diantaranya fungsi *linear*, fungsi polinomial, fungsi RBF *Gaussian*. Disamping fungsi *kernel*, juga ditentukan parameter *C* sebesar 0,5 ; 1 dan 10 dan *Gamma* yang akan digunakan dalam mencari akurasi training terbaik pada algoritma SVM. Setelah itu dilakukan validasi dan melatih sistem menggunakan data input yang sudah tersedia. Jika hasil *training* sudah mencapai 100%, maka akan diberikan parameter uji dan menghitung akurasi dari sistem yang sudah terbentuk. Output yang diharapkan ialah perintah *setting effort AC* berdasar kelas yang diberikan dan disesuaikan dengan parameter *input*. Proses yang dikerjakan pada sub blok diagram yang diteliti, ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Algoritma SVM

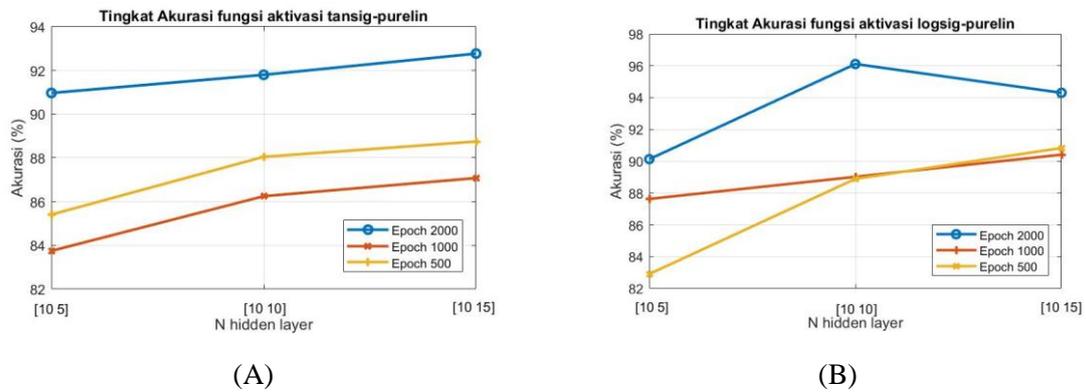
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Simulasi Akurasi pada JST BP

3.1.1 Akurasi JST BP terhadap *Epoch* dan *Hidden Layer*

Gambar 7(A) menunjukkan hasil simulasi saat dilakukan kombinasi parameter jumlah *hidden layer*, jumlah *epoch*, dan menggunakan fungsi aktivasi *tansig-purelin*. Gambar 7(B)

menunjukkan hasil simulasi saat dilakukan kombinasi parameter jumlah *hidden layer*, jumlah *epoch*, dan menggunakan fungsi aktivasi *logsig-purelin*.

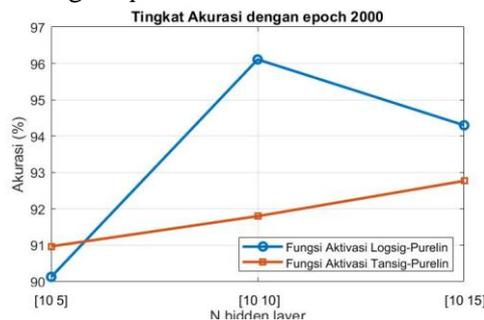


Gambar 7. (A) Tingkat Akurasi JST BP dengan Epoch 500 1000 2000 dengan fungsi aktivasi tansig-purelin (B) Tingkat Akurasi JST BP dengan Epoch 500 1000 2000 dengan fungsi aktivasi logsig-purelin

Dari kurva pada Gambar 7(A) tersebut dapat dilihat secara konsisten bahwa *epoch* 2000 memiliki tingkat akurasi lebih baik dari *epoch* 1000 dan *epoch* 500. Begitupun pada Gambar 7(B), *epoch* 2000 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik daripada *epoch* 1000 dan *epoch* 500. Tingkat akurasi terbaik kedua diperoleh pada saat *epoch* 1000. Disisi lain, *epoch* 500 memiliki kinerja paling buruk untuk data yang diujikan. Namun, pada saat menggunakan fungsi aktivasi *logsig-purelin* dan pada saat jumlah *hidden layer* [10 15], *epoch* 500 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik daripada *epoch* 1000. Akurasi terbaik dapat dilihat pada Gambar 7(B) saat jumlah *hidden layer* [10 10] yaitu sebesar 96,11%. Akurasi terbaik kedua dapat dilihat pada Gambar 7(A) saat jumlah *hidden layer* [10 15] yaitu sebesar 92,77%. Sedangkan nilai akurasi terendah didapatkan sebesar 82,91% dengan jumlah *hidden layer* [10 5] dan jumlah *epoch* 500. Selisih(Δ) antara kinerja terbaik *hidden layer* [10 10] *epoch* 2000 dan kinerja terburuk *hidden layer* [10 5] *epoch* 500 yaitu 13,2%.

3.1.2 Akurasi JST BP terhadap Fungsi Aktivasi

Gambar 8 berikut menunjukkan kurva perbandingan hasil simulasi antara fungsi aktivasi *logsig-purelin* dan *tansig-purelin* dengan *epoch* 2000.



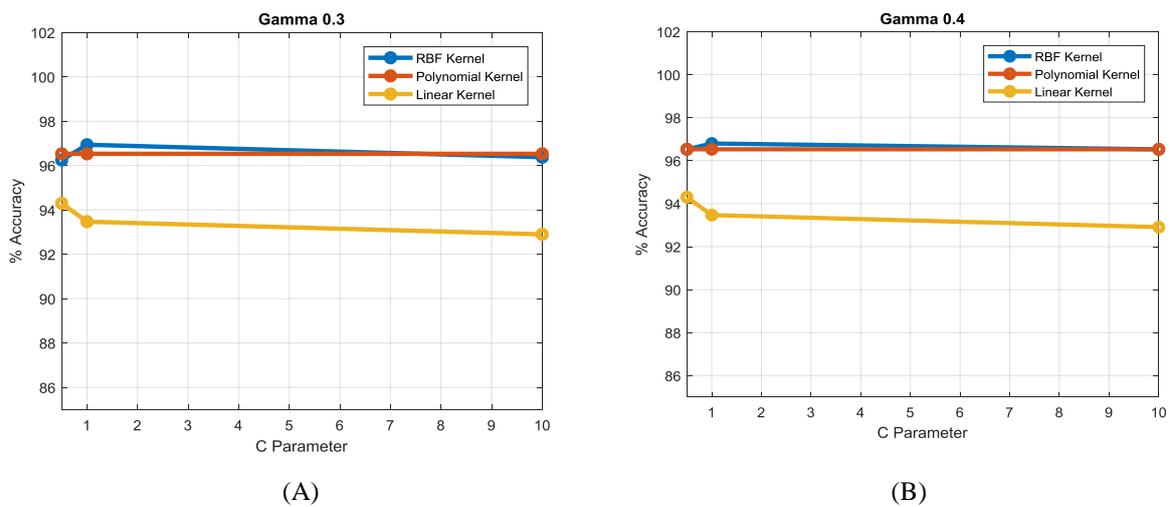
Gambar 8. Tingkat Akurasi JST BP dengan fungsi aktivasi *logsig-purelin* *tansig-purelin* dan *epoch* 2000

Dari kurva pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa fungsi aktivasi *logsig-purelin* lebih baik daripada fungsi aktivasi *tansig-purelin*. Maka, performa terbaik didapat saat kombinasi

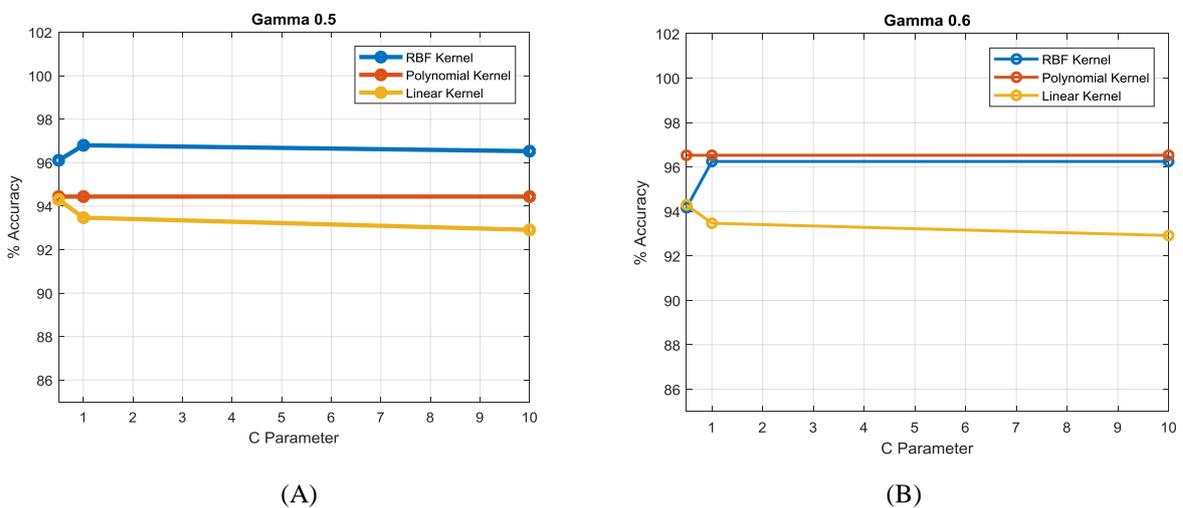
parameter dengan jumlah *hidden layer* [10 10], jumlah *epoch* 2000, dan fungsi aktivasi *logsig-purelin* yang memperoleh akurasi sebesar 96,11%.

3.2 Hasil Simulasi Akurasi pada SVM

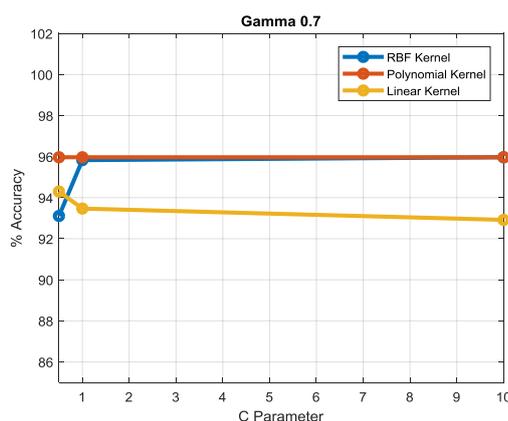
Simulasi pada SVM dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter yang bekerja pada SVM yaitu nilai *Gamma*, Fungsi *Kernel* dan Parameter *C*. Nilai *Gamma* yang akan diujikan antara lain 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7. Untuk Fungsi *Kernel* digunakan *Kernel RBF Gaussian*, *Kernel Polynomial* dan *Kernel Linear*. Selanjutnya untuk nilai Parameter *C* yang digunakan ialah 0,5 ; 1 ; 10. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 9A, 9B, Gambar 10A, 10B dan Gambar 11 sebagai berikut.



Gambar 9. (A) Tingkat Akurasi SVM dengan Gamma= 0,3 (B) Tingkat Akurasi SVM dengan Gamma 0,4



Gambar 10. (A) Tingkat Akurasi SVM dengan Gamma= 0,5 (B) Tingkat Akurasi SVM dengan Gamma 0,6



Gambar 11. Tingkat Akurasi SVM dengan Gamma= 0,7

Gambar 9A merupakan hasil simulasi SVM dengan nilai $\Gamma=0,3$. Sumbu datar menyatakan nilai C dari 0,5 hingga 10 dan sumbu tegak menyatakan nilai akurasi yang didapatkan pada saat pengujian sistem. Nilai akurasi tertinggi didapatkan dengan kombinasi $C=1$ dengan *Kernel RBF Gaussian* yaitu sebesar 96,9%. Kinerja *Kernel Polynomial* mirip dengan *Kernel RBF* yang memiliki akurasi konstan pada nilai $C=0,5; 1; 10$ sebesar 96,5%. Pada sisi lain, *Kernel Linear* memiliki kinerja paling buruk untuk data yang diujikan. Pada nilai $C=10$ didapatkan akurasi sebesar 92,9%. Lalu Gambar 9B merupakan hasil simulasi dengan nilai $\Gamma=0,4$. Kinerja *Kernel Polynomial* menghasilkan akurasi yang sama seperti pada Gambar 9A. *Kernel Linear* memberikan akurasi sebesar 92,91%. Hanya saja, *Kernel RBF Gaussian* pada saat $C=1$ memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan pada Gambar 9A yakni sebesar 96,8%.

Gambar 10A menyatakan hasil simulasi SVM dengan nilai Γ sebesar 0,5. Nilai akurasi tertinggi didapatkan saat Parameter C bernilai 1 dengan *Kernel RBF Gaussian* yaitu sebesar 96,8%. *Kernel Polynomial* bekerja dengan konstan dan memiliki akurasi sebesar 94,4% pada nilai $C=0,5; 1; 10$. Namun, *Kernel Linear* tetap memiliki kinerja terburuk ketika nilai Parameter C lebih dari 1 dengan akurasi sebesar 92,91%. Gambar 10B merupakan hasil simulasi dengan nilai $\Gamma=0,6$. *Kernel RBF* cenderung konstan dengan akurasi sebesar 96,3% pada nilai $C=1$ dan 10. Namun, kinerja *Kernel RBF* lebih rendah dibandingkan dengan *Kernel Polynomial* yang memiliki akurasi konstan sebesar 96,5%. Untuk *Kernel Linear* menghasilkan akurasi sebesar 92,92%.

Gambar 11 menyatakan hasil simulasi dengan nilai $\Gamma=0,7$. Pada kurva tersebut terlihat bahwa akurasi tertinggi diperoleh dengan *Kernel RBF* pada saat nilai C adalah 10 dan pada *Kernel Polynomial* dengan akurasi sebesar 95,6%. Terlihat bahwa kinerja kedua *kernel* cukup baik dan konstan terutama *kernel polynomial*. *Kernel Linear* memberikan akurasi sebesar 92,92% pada saat parameter C bernilai 10.

Dari seluruh kurva simulasi SVM, *Kernel RBF Gaussian* cenderung memberika hasil akurasi yang cukup tinggi dibandingkan dengan *kernel* lainnya. Akurasi tertinggi dari seluruh kurva diperoleh sebesar 96,9% dengan $\Gamma=0,3$, *Kernel RBF* dan nilai $C=1$. Sementara, untuk nilai akurasi terendah diperoleh sebesar 92,9% pada saat $\Gamma=0,3$, *Kernel Linear* dan nilai $C=10$. Diketahui pula bahwa *Kernel Linear* memiliki kinerja paling buruk dibandingkan dengan *kernel* lainnya untuk data yang diujikan. Tren dari masing-masing kurva relatif konstan untuk nilai C lebih dari 1. Selisih akurasi antara kinerja seluruh kombinasi parameter yang diujikan pada SVM adalah sebesar 4,0%.

4. Kesimpulan

Tingkat keberhasilan klasifikasi tergantung pada kombinasi parameter yang digunakan masing-masing metode. Dari hasil pengujian, metode *backpropagation* mempunyai performansi

terbaik dengan kombinasi parameter jumlah hidden layer [10 10], jumlah epoch 2000, dan fungsi aktivasi *logsig-purelin*. Sedangkan metode SVM mempunyai performansi terbaik dengan kombinasi parameter $C = 1$, $\text{Gamma} = 0.3$, dan Fungsi Kernel RBF. Dari segi akurasi, dapat direkomendasikan metode SVM lebih baik dibandingkan metode BP dengan tingkat akurasi sebesar 96,9% dengan Δ Akurasi = 4,0%. akurasi SVM lebih konsisten dibanding BP terhadap perubahan parameter.

Referensi

- [1] Z. Yu, F. Haghghat, B. C. M. Fung, and H. Yoshino, "A decision tree method for building energy demand modeling," *Energy Build.*, vol. 42, no. 10, pp. 1637–1646, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.04.006.
- [2] B. N. Patel, "Efficient Classification of Data Using Decision Tree," *Bonfring Int. J. Data Min.*, vol. 2, no. 1, pp. 06–12, 2012, doi: 10.9756/bijdm.1098.
- [3] Y. Sun, W. Wang, Y. Zhao, and S. Pan, "Predicting cooling loads for the next 24 hours based on general regression neural network: Methods and results," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/954185.
- [4] B. Talarosha, "Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 3, pp. 148–158, 2005.
- [5] R. S. Suhartanto, C. Dewi, and L. Muflikhah, "Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation untuk Mendiagnosis Penyakit Kulit pada Anak," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 7, pp. 555–562, 2017.
- [6] M. Agustin and T. Prahasto, "Penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Untuk Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru Pada Jurusan Teknik Komputer Di Politeknik Negeri Sriwijaya," *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 2, no. 2, pp. 89–97, 2012, doi: 10.21456/vol2iss2pp089-097.
- [7] A. S. Nugroho, A. B. Witarto, and D. Handoko, "Support Vector Machine Teori Aplikasi dalam Bioinformatika," *Support Vector Mach. Teor. Apl. dalam Bioinformatika*, pp. 842–847, 2003, doi: 10.1109/CCDC.2011.5968300.

Penyelesaian Masalah *Knapsack* (0-1) Menggunakan Algoritma Greedy

Knapsack Problem Solving (0-1) Using Greedy Algorithms

Epi Hapidah^{1*}, Fahrudin Muhtarulloh²

^{1,2}UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. A.H. Nasution No. 105 Bandung 40614 Jawa Barat Indonesia

Epihapidah1@gmail.com^{1*}, fahrudin.math@uinsgd.ac.id²

Abstrak - Seiring dengan berkembangnya zaman serta kemajuan teknologi dan informasi seperti halnya pada bidang jasa proses pengiriman barang di Indonesia sedang meningkat dikarenakan sangat membantu serta hemat waktu dan tenaga. Jasa pengiriman barang ingin mendapatkan keuntungan yang lebih besar dan juga konsumen tidak merasa terbebani oleh biaya yang besar, maka dari itu harus saling menguntungkan satu sama lain. Paket pengiriman yang paling populer dan paling digemari oleh konsumen ialah paket reguler yang disebabkan oleh faktor biaya yang murah, layanannya sangat cepat dengan memakan waktu 3-4 hari. paket reguler ini sangat cocok digunakan untuk kasus masalah *knapsack*. *Knapsack* dapat diartikan sebagai karung atau kantung yang digunakan untuk menyimpan sesuatu. Tentu tidak semua objek dapat ditampung di dalam karung. Karung tersebut hanya dapat menyimpan beberapa objek dengan total ukurannya (weight) lebih kecil atau sama dengan ukuran kapasitas karung. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: 1) Bagaimana penyelesaian masalah integer *knapsack* menggunakan algoritma greedy; dan 2) Bagaimana algoritma greedy memberikan solusi optimal untuk permasalahan integer *knapsack*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah: 1) Mengetahui penyelesaian pada permasalahan integer *knapsack* problem menggunakan algoritma greedy; dan 2) Mengetahui hasil solusi optimal pada algoritma greedy dalam penyelesaian integer *knapsack* problem. Dari hasil akhir perhitungan dapat disimpulkan bahwa total berat dan total keuntungan menggunakan algoritma greedy solusi yang paling optimal ialah dengan total bobot sebesar 41 dan total keuntungan 90.

Kata Kunci: Masalah Transportasi; Solusi Optimum; *Knapsack* (0-1); Algoritma Greedy,

Abstract – Along with the development of the times and advances in technology and information as well as in the field of goods delivery services in Indonesia is increasing because it is very helpful and saves time and energy. Goods delivery services want to get a bigger profit and also consumers do not feel burdened by large costs, therefore should benefit each other. The most popular and most popular delivery package by consumers is the regular package due to the low-cost factor, the service is very fast with 3-4 days. This regular package is perfect for *knapsack* problem cases. A *knapsack* can be interpreted as a sack or pouch used to store something. Of course, not all objects can be accommodated in a sack. The sack can only store a few objects with a total size (weight) smaller or equal to the size of the sack capacity. The formulation of the problems in this study is 1) How to solve the problem of *knapsack* integers using greedy algorithms, and 2) How greedy algorithms provide the optimal solution to *knapsack* integer problems. The objectives of this study are: 1) Knowing the solution to the problem of integer *knapsack* problem using a greedy algorithm, and 2) Know the optimal solution results on greedy algorithms in solving the integer *knapsack* problem. From the final result of the calculation can be concluded that the total weight and total profit using greedy algorithm the most optimal solution is with a total weight of 41 and a total profit of 90.

Keywords: Transportation Problems; Optimum Solutions; *Knapsack* (0-1); Greedy Algorithm

1. Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya zaman serta kemajuan teknologi dan informasi seperti halnya pada bidang jasa proses pengiriman barang di Indonesia sedang meningkat dikarenakan sangat membantu manusia dalam pengiriman barang serta memudahkan untuk beraktivitas serta hemat waktu dan tenaga. Biaya dalam proses pengiriman tentu harus dikeluarkan, biaya tersebut berbeda-beda tergantung dengan berat barang dan jarak antara tempat pengiriman ke alamat tujuan. Agar biaya tersebut yang dikeluarkan sedikit serta keuntungan yang didapatkan maksimal, maka barang yang didistribusikan dipilih secara cermat.

Jasa pengiriman barang ingin mendapatkan keuntungan yang lebih besar dan juga konsumen tidak merasa terbebani oleh biaya yang besar, maka dari itu harus saling menguntungkan satu sama lain. Keuntungan sendiri ialah barang lebih cepat sampai ke tujuan. Kemanapun lokasi tujuan yang ingin dituju, pihak jasa pengiriman barang memiliki tanggung jawab untuk mengirimkan barang tersebut ke lokasi tujuan pengiriman dengan selamat dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Apabila mengalami kesulitan akses menuju lokasi tujuan pengiriman maka akan mempengaruhi biaya pengiriman yang harus dibayar. Terdapat banyak jenis paket pengiriman yang dimiliki oleh setiap jasa pengiriman barang yang disesuaikan dengan kebutuhan konsumen. Paket pengiriman yang paling populer dan paling digemari oleh konsumen ialah paket reguler yang disebabkan oleh faktor biaya yang murah, layanannya sangat cepat dengan memakan waktu 3-4 hari. Hal ini dikarenakan keterbatasan jumlah kurir yang tidak sebanding dengan banyaknya barang yang akan dikirimkan. Barang tersebut dikirimkan secara berangsur-angsur berdasarkan nilai keuntungan yang lebih besar dahulu. Dengan demikian paket reguler ini sangat cocok digunakan untuk kasus masalah *knapsack*.

Knapsack dapat diartikan sebagai karung atau kantung yang digunakan untuk menyimpan sesuatu. Tentu tidak semua objek dapat ditampung di dalam karung. Karung tersebut hanya dapat menyimpan beberapa objek dengan total ukurannya (*weight*) lebih kecil atau sama dengan ukuran kapasitas karung [1]. Masalah *knapsack* telah banyak dipelajari dan juga menarik perhatian para teoritikus dan pakar ilmu pengetahuan. Minat teoritis muncul terutama dari struktur sederhana mereka yang di satu sisi memungkinkan eksploitasi sejumlah sifat kombinatorial dan di sisi lain masalah optimisasi yang lebih kompleks untuk diselesaikan melalui serangkaian bagian dari masalah *knapsack*. Dari sudut pandang yang praktis, masalah tersebut dapat menjadi banyak model di bidang industri: penganggaran modal, muatan kargo, pemotongan saham, dan lainnya. Masalah *zero-one knapsack* ini dianggap sebagai masalah pemrograman linear bilangan bulat yang paling sederhana dan muncul dalam banyak aplikasi yang terdapat dalam bidang industri dan manajemen keuangan [2].

Diberikan sebuah set dalam n benda $j = 1, \dots, n$, dengan masing-masing memiliki berat w_j dan unit profit P_j , masalah *knapsack* terdiri dalam memilih beberapa barang untuk memuat ransel dengan kapasitas total W dalam pesanan untuk memaksimalkan total keuntungan [3]. Masalah *knapsack* muncul jika n buah barang yang tidak semuanya dapat dimasukkan ke dalam suatu tempat misalnya tas atau ransel. Sejumlah barang yang tersedia, masing-masing memiliki berat dan nilai yang berbeda-beda. Masalahnya adalah memilih barang-barang yang dibawa dengan keterbatasan kapasitas tempatnya dan nilai yang dihasilkan sebesar mungkin [4]. Jenis-jenis masalah *knapsack* ada tiga yaitu *unbounded knapsack problem* (tidak ada batasan jumlah barang untuk setiap barang), *integer knapsack problem* (jumlah barang untuk setiap barang hanya boleh 0 atau 1), dan *fractional knapsack problem* (jumlah barang untuk setiap barang boleh pecahan) [5]. Pada penelitian ini digunakan *integer knapsack problem* (0-1) dan menghubungkan masalah *knapsack* ke masalah transportasi linear. Metode yang dihasilkan dipecahkan oleh algoritma transportasi yang diadaptasi dan memberikan solusi yang optimal. Masalah *knapsack* sendiri dapat dipelajari dalam bab program bilangan bulat dan terdapat di riset operasi.

Persoalan masalah *knapsack*, khususnya *integer knapsack problem* dapat diselesaikan menggunakan berbagai cara. Beberapa caranya adalah algoritma *greedy*, *dynamic programming*, *brute force*, dan *genetic*. Algoritma tersebut sama-sama dapat menyelesaikan permasalahan

integer knapsack problem dan menghasilkan solusi optimum. Algoritma *greedy* merupakan salah satu metode dari sekian banyak metode algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *integer knapsack*. Contoh metode algoritma lain yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *knapsack* yaitu dengan algoritma *dynamic programming*, algoritma *brute force*, dan algoritma *genetic* [6].

Dari latar belakang tersebut peneliti tertarik untuk membahas penyelesaian persoalan tersebut dengan algoritma *greedy* untuk menyelesaikan permasalahan *integer knapsack* dikarenakan paling cepat dan mudah dibanding dengan algoritma yang lain serta mencari solusi layak awal dengan menggunakan metode Aproksimasi Vogel. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui hasil optimumnya.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: 1) Bagaimana penyelesaian masalah *integer knapsack* menggunakan algoritma *greedy*; dan 2) Bagaimana algoritma *greedy* memberikan solusi optimal untuk permasalahan *integer knapsack*. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah: 1) Mengetahui penyelesaian pada permasalahan *integer knapsack problem* menggunakan algoritma *greedy*; dan 2) Mengetahui hasil solusi optimal pada algoritma *greedy* dalam penyelesaian *integer knapsack problem*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan studi literatur didasarkan pada jurnal yang dituliskan oleh Boudjellaba H, Gningue Y, dan Shamakhai H (2017) yang berjudul “*Solving The (0-1) Knapsack Problem By An Adapted Transportation Algorithm*”. Dalam jurnal ini membahas mengenai penyelesaian masalah *knapsack* (0-1) dengan menggunakan algoritma transportasi yang diadaptasi untuk mencari solusi optimal, metode aproksimasi Vogel untuk mencari solusi layak awal serta pendekatan dengan algoritma *greedy*. Sehingga dalam penelitian ini penulis ingin mengkaji lebih dalam mengenai penyelesaian masalah *knapsack* dengan metode tersebut dengan menambah beberapa referensi dari jurnal lain [3].

2.31. Masalah Knapsack (0-1) dan Transportasi

Masalah *knapsack* (0-1) terjadi jika n buah barang tidak bisa semuanya dapat dimasukkan ke dalam suatu karung atau ransel, dikarenakan barang tersebut memiliki berat dan nilai yang berbeda-beda, sehingga harus memilih barang-barang yang akan dimasukkan ke dalam karung dengan keterbatasan kapasitas tempat agar total berat tidak melebihi kapasitas tempatnya dan nilai yang dihasilkannya sebesar mungkin [4]. Masalah *knapsack* (0-1) dapat diformulasikan sebagai masalah transportasi linear, yakni pendekatan dengan metode Vogel ekuivalen dengan algoritma *greedy* untuk masalah *knapsack* dengan urutan $O(n \ln(n))$ dari kompleksitas [3].

Knapsack dihubungkan dengan vektor:

$$X_{1,j} = X_j ; j = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Dalam pemesanan untuk memiliki formulasi transportasi, dilanjutkan ke perubahan variabel

$$Y_{ij} = w_j X_{ij} \quad (2)$$

Keterangan:

$Y_{i,j}$ = Variabel *Knapsack* baris i kolom j ; $i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, n$

w_j = Bobot/ berat barang ; $j = 1, \dots, n$

$X_{i,j}$ = Vektor *Knapsack* baris i kolom j ; $i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, n$

n = Jumlah barang

Koefisien tersebut dalam tujuan memaksimalkan adalah sama dengan nol, $K_{2,j} = 0 ; j = 1, \dots, n$ yang membuat variabel-variabel tersebut kurang menarik. Karena masalah *knapsack* biasanya tidak seimbang, maka ditambahkan surplus *dummy* barang $n + 1$ dengan koefisien nol dan beratnya sama dengan buffer B yang tidak diketahui yang merupakan kapasitas *knapsack* yang tidak dialokasikan yaitu

$$w_{(n+1)} = B. \quad (3)$$

Total kapasitas dari *knapsack* dan *dummy knapsack* 2 yaitu sama dengan:

$$W_1 = W, \text{ dan} \quad (4)$$

$$W_2 = B + \sum_{j=1}^n w_j - W. \tag{5}$$

Keterangan:

$w_{(n+1)}$ = Kapasitas *knapsack* yang tidak dialokasikan

B = *Buffer*

W_1 = Kapasitas *knapsack* 1

W = Total kapasitas *knapsack*

w_j = Bobot/ berat barang ; $j = 1, \dots, n$

n = Jumlah barang

Semua transformasi ini menyiratkan masalah *knapsack* yang seimbang

$$\text{Masalah Knapsack} \begin{cases} \text{maks } Z = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{w_j} Y_{1,j} \\ \sum_{j=1}^{n+1} Y_{1,j} = W_1 \text{ dan } \sum_{j=1}^{n+1} Y_{2,j} = W_2 \\ \sum_{i=1}^2 Y_{i,j} = w_j ; j = 1, \dots, (n+1) \\ Y_{1,j} \in \{0, w_j\} ; i = 1,2 ; j = 1, \dots, (n+1) \end{cases} \tag{6}$$

Keterangan:

$\text{maks } Z$ = Nilai optimum dari fungsi tujuan

n = Jumlah barang

P_j = *Profit* barang ; $j = 1, \dots, n$

w_j = Bobot/ berat barang ; $j = 1, \dots, n$

$Y_{1,j}$ = Variabel *knapsack* pada baris 1 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

$Y_{2,j}$ = Variabel *knapsack* pada baris 2 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

W_1 = Kapasitas *knapsack* 1

W_2 = Kapasitas *knapsack* 2

Barang diurutkan berdasarkan penurunan tingkat efisiensi dengan yang terbesar $K_{1,1} = \text{maks}_j \left\{ \frac{P_j}{w_j} \right\}$, kemudian mengurangi semua koefisien dari nilai terbesar untuk mendapatkan koefisien baru

$$K_{1,j} = K_{1,1} - \frac{P_j}{w_j} \text{ dan } K_{2,j} = K_{1,1} ; j = 1, \dots, n \tag{7}$$

Keterangan:

$K_{1,j}$ = Koefisien tingkat efisiensi pada baris 1 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

$K_{2,j}$ = Koefisien tingkat efisiensi pada baris 2 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

$K_{1,1}$ = Koefisien tingkat efisiensi pada baris 1 kolom 1

P_j = *Profit* barang ; $j = 1, \dots, n$

w_j = Bobot/ berat barang ; $j = 1, \dots, n$

n = Jumlah barang

Hal ini mengubah masalah *knapsack* menjadi minimisasi masalah *knapsack* transportasi

$$\text{Masalah Knapsack Transportasi} \begin{cases} \text{min } Z_L = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n+1} K_{i,j} Y_{i,j} \\ \sum_{j=1}^{n+1} Y_{1,j} = W_1 \text{ dan } \sum_{j=1}^{n+1} Y_{2,j} = W_2 \\ \sum_{i=1}^2 Y_{i,j} = w_j ; j = 1, \dots, (n+1) \\ Y_{i,j} \in \{0, w_j\} ; i = 1,2 ; j = 1, \dots, (n+1) \end{cases} \tag{8}$$

Keterangan:

$\text{min } Z_L$ = Nilai minium dari fungsi tujuan

n = Jumlah barang

$K_{1,j}$ = Koefisien tingkat efisiensi pada baris 1 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

$Y_{1,j}$ = Variabel *knapsack* pada baris 1 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

$Y_{2,j}$ = Variabel *knapsack* pada baris 2 kolom j ; $j = 1, \dots, n$

W_1 = Kapasitas *knapsack* 1

W_2 = Kapasitas *knapsack* 2

w_j = Bobot/ berat barang ; $j = 1, \dots, n$

Hal ini dapat diselesaikan oleh algoritma transportasi yang diadaptasi yang disajikan di bagian berikutnya.

2.32. Algoritma Greedy

Algoritma *greedy* merupakan metode yang populer untuk memecahkan masalah optimasi. Masalah optimasi sendiri terdiri dari dua macam yaitu maksimasi dan minimasi. Algoritma *greedy* membentuk solusi langkah demi langkah. Pada setiap langkah, terdapat banyak pilihan yang perlu dieksplorasi. Oleh karena itu, pada setiap langkah harus dibuat keputusan yang terbaik dalam menentukan pilihan. Pada setiap langkahnya merupakan pilihan untuk membuat langkah optimum lokal dengan harapan bahwa langkah sisanya mengarah ke solusi optimum global. Algoritma *greedy* merupakan metode untuk menyelesaikan masalah *integer knapsack*.

Menurut Pan dan Zhang, menyelesaikan masalah *integer knapsack* dengan algoritma *greedy* mempunyai kompleksitas waktu $O(n \log n)$. Metode algoritma ini tidak selalu menyelesaikan dengan hasil yang optimal, tetapi dapat menghasilkan solusi optimal lokal yang mendekati solusi optimal global dengan waktu yang cepat. Untuk memilih barang yang akan dimasukkan ke dalam *knapsack* terdapat beberapa strategi dari metode algoritma *greedy* menurut Juwita, Susanto dan Halaman adalah:

a) *Greedy by Profit*

Setiap langkah di masalah *knapsack* diisi dengan barang yang mempunyai keuntungan terbesar. Strategi ini bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan dengan memilih barang yang paling menguntungkan terlebih dahulu. Tahap pertamanya ialah barang-barang berdasarkan *value/profit* barang diurutkan secara menurun. Kemudian barang-barang diambil satu persatu sampai kapasitas tempatnya penuh atau sudah tidak ada yang dapat dimasukkan lagi.

b) *Greedy by Weight*

Setiap langkah di masalah *knapsack* diisi dengan barang yang mempunyai berat yang paling ringan. Strategi ini bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan dengan memasukkan barang sebanyak mungkin. Tahap pertamanya ialah barang-barang berdasarkan berat barang yang paling ringan diurutkan secara menurun. Kemudian barang-barang diambil satu persatu sampai kapasitas tempatnya penuh atau sudah tidak ada yang dapat dimasukkan lagi.

c) *Greedy by Density*

Setiap langkah di masalah *knapsack* diisi dengan barang yang mempunyai $\frac{P_j}{w_j}$ dimana P_j adalah *value/profit*, w_j adalah *weight* (berat) dan $i = (1, 2, 3, \dots, n)$. Strategi ini bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan dengan memilih barang yang mempunyai $\frac{P_j}{w_j}$ (*density*) terbesar. Takap pertamanya ialah mencari dan mengurutkan secara menurun barang-barang berdasarkan $\frac{P_j}{w_j}$ barang. Kemudian barang-barang diambil satu persatu sampai kapasitas tempatnya penuh atau sudah tidak ada yang dapat dimasukkan lagi.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan contoh pada masalah *knapsack* [3] dengan menggunakan algoritma *greedy* untuk menentukan solusi optimumnya. Parameter w_j (berat), P_j (*value/profit*), W (kapasitas maksimum). Data yang sudah dicontohkan oleh Boudjellaba, Gningue dan Shamakhai [3] awalnya diketahui:

$$\begin{aligned} w_1 = 31, w_2 = 10, w_3 = 20, w_4 = 18, w_5 = 4, w_6 = 3, w_7 = 6 \\ P_1 = 70, P_2 = 20, P_3 = 39, P_4 = 35, P_5 = 7, P_6 = 5, P_7 = 9 \\ W = 50 \end{aligned}$$

a) *Greedy by Profit*

Langkah pertama yang dilakukan ialah barang-barang diurutkan secara menurun berdasarkan *value/profit*. Kemudian diambil satu persatu barang sampai kapasitas maksimum tempatnya terpenuhi atau sudah tidak ada barang yang bisa dimasukkan lagi.

Tabel 1. *Greedy by Profit*

J	w_j	P_j	$\frac{P_j}{w_j}$	Status
1	31	70	$\frac{70}{31} = 2,258$	Diambil
3	20	39	$\frac{39}{20} = 1,95$	Tidak
4	18	35	$\frac{35}{18} = 1,944$	Tidak
2	10	20	$\frac{20}{10} = 2$	Tidak
7	6	9	$\frac{9}{6} = 1,5$	Tidak
5	4	7	$\frac{7}{4} = 1,75$	Tidak
6	3	5	$\frac{5}{3} = 1,667$	Tidak

b) *Greedy by Weight*

Langkah pertama yang dilakukan ialah barang-barang diurutkan secara menaik berdasarkan *weight/* beratnya. Kemudian diambil satu persatu barang sampai kapasitas maksimum tempatnya terpenuhi atau sudah tidak ada barang yang bisa dimasukkan lagi.

Tabel 2 *Greedy by Weight*

J	w_j	P_j	$\frac{P_j}{w_j}$	Status
6	3	5	$\frac{5}{3} = 1,667$	Diambil
5	4	7	$\frac{7}{4} = 1,75$	Diambil
7	6	9	$\frac{9}{6} = 1,5$	Diambil
2	10	20	$\frac{20}{10} = 2$	Diambil
4	18	35	$\frac{35}{18} = 1,944$	Diambil
3	20	39	$\frac{39}{20} = 1,95$	Tidak
1	31	70	$\frac{70}{31} = 2,258$	Tidak

c) *Greedy by Density*

Langkah pertama yang dilakukan ialah mencari $\frac{P_j}{w_j}$ terbesar, kemudian diurutkan secara menurun berdasarkan $\frac{P_j}{w_j}$ (*density*). Kemudian diambil satu persatu barang sampai kapasitas maksimum tempatnya terpenuhi atau sudah tidak ada barang yang bisa dimasukkan lagi.

Tabel 3. *Greedy by Density*

J	w_j	P_j	$\frac{P_j}{w_j}$	Status
1	31	70	$\frac{70}{31} = 2,258$	Diambil

J	w_j	P_j	$\frac{P_j}{w_j}$	Status
2	10	20	$\frac{20}{10} = 2$	Diambil
3	20	39	$\frac{39}{20} = 1,95$	Tidak
4	18	35	$\frac{35}{18} = 1,944$	Tidak
5	4	7	$\frac{7}{4} = 1,75$	Tidak
6	3	5	$\frac{5}{3} = 1,667$	Tidak
7	6	9	$\frac{9}{6} = 1,5$	Tidak

Maka hasil akhir dari permasalahan di atas dan dianalisis menggunakan tiga metode dari algoritma *greedy* mendapatkan hasil data seperti di bawah ini:

Tabel 4. Hasil akhir algoritma *greedy*

Barang				Greedy		
J	w_j	P_j	$\frac{P_j}{w_j}$	Profit	Weight	Density
1	31	70	$\frac{70}{31} = 2,258$	1	0	1
2	10	20	$\frac{20}{10} = 2$	0	1	1
3	20	39	$\frac{39}{20} = 1,95$	0	0	0
4	18	35	$\frac{35}{18} = 1,944$	0	1	0
5	4	7	$\frac{7}{4} = 1,75$	0	1	0
6	3	5	$\frac{5}{3} = 1,667$	0	1	0
7	6	9	$\frac{9}{6} = 1,5$	0	1	0
Total Bobot				31	41	41
Total Keuntungan				70	76	90

Greedy dengan 1 berarti barang diambil dan 0 berarti barang tidak diambil. Hasil akhir tersebut dapat disimpulkan bahwa total berat dan total keuntungan menggunakan algoritma *greedy* yang paling optimum ialah dengan total bobot sebesar 41 dan total keuntungan 90.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data, hasil dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diperoleh kesimpulan dari penyelesaian masalah *integer knapsack* dengan menggunakan algoritma *greedy* yang terdiri dari *greedy by profit*, *greedy by weight*, dan *greedy by density* dengan ditampilkan pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil akhir algoritma *greedy*

<i>J</i>	Barang			Greedy		
	w_j	P_j	$\frac{P_j}{w_j}$	Profit	Weight	Density
1	31	70	$\frac{70}{31} = 2,258$	1	0	1
2	10	20	$\frac{20}{10} = 2$	0	1	1
3	20	39	$\frac{39}{20} = 1,95$	0	0	0
4	18	35	$\frac{35}{18} = 1,944$	0	1	0
5	4	7	$\frac{7}{4} = 1,75$	0	1	0
6	3	5	$\frac{5}{3} = 1,667$	0	1	0
7	6	9	$\frac{9}{6} = 1,5$	0	1	0
Total Bobot				31	41	41
Total Keuntungan				70	76	90

Greedy dengan 1 berarti barang diambil dan 0 berarti barang tidak diambil. Hasil akhir tersebut dapat disimpulkan bahwa total berat dan total keuntungan menggunakan algoritma *greedy* solusi yang paling optimal ialah dengan total bobot sebesar 41 dan total keuntungan 90.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada para pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

References

- [1] E. Gautama, "Menyelesaikan Knapsack Problem dengan Menggunakan Algoritma Greedy," PERBANAS INSTITUTE, 31 Mei 2017. [Online]. Available: <https://dosen.perbanas.id/menyelesaikan-knapsack-problem-dengan-menggunakan-algoritma-greedy/>. [Diakses 15 Oktober 2020].
- [2] S. Martello and P. Toth, Knapsack Problems Algorithms and Computer Implementations, England: John Wiley & Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester West Sussex PO19 1UD, 1990.
- [3] B. H. G. Y and S. H, "Solving The (0-1) Knapsack Problem By An Adapted Transportation Algorithm," *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 20-24, 2017.
- [4] J. J. Siang, Riset Operasi dalam Pendekatan Algoritmis. Edisi 2, Yogyakarta: ANDI, 2014.
- [5] M. A. Rois, Penyelesaian Integer Knapsack Problem Menggunakan Eksplorasi Algoritma Greedy, Dynamic Programming, Brute Force dan Genetic, Semarang: UIN Walisongo, 2019.
- [6] X. Pan and T. Zhang, "Comparison and Analysis of Algorithms for The 0/1 Knapsack Problem," *IOP Journal of Physics*, pp. 1-8, 2018.

ID: 40

Studi Parameter-parameter Sistem Tenaga Listrik Pada Infrastruktur Kelistrikan Bandara Dengan Sistem Konfigurasi Spindel

Study Parameters Of Electric Power System at Airport Infrastructure Electricity With Spindle Configuration

Saepul Uyun.^{1,3}, Nanang Ismail²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. A.H. Nasution 105 Bandung, Indonesia

³ Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu, Bandung, Indonesia, (022) 7566456

saepuluyun@uinsgd.ac.id¹, nanang.is@uinsgd.ac.id², saepuluyun.student@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak – Bandara sebagai salah satu fasilitas penting pada layanan publik moda transportasi udara, yang merupakan simpul jaringan dalam kegiatan operasinya. Fungsinya harus didukung oleh suplai daya listrik yang baik, pada rancangannya sesuai dengan ANEX AERODROME serta standar pelayanan kelistrikan pada IEEE dan SPLN. Dengan demikian perlu ditentukan bagaimana parameter sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik pada infrastruktur kelistrikan bandara. Penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur, serta pemodelan dan simulasi pada desain konfigurasi sistem tenaga listrik ideal untuk sebuah bandara. Desain sistem tenaga listrik dengan konfigurasi radial, direkonfigurasi ulang dengan konfigurasi alternatif, menggunakan metode konfigurasi spindel. Desain konfigurasi tersebut akan disimulasi menggunakan dua metode yaitu, *reliability assessment* dan *load flow analysis* pada perangkat lunak ETAP. Selanjutnya dilakukan analisis data hasil simulasi, dengan membandingkan nilai parameter yang didapatkan seperti nilai *Drop voltage*, *Losses*, SAIFI, SAIDI, ASAI dan EENS. Sehingga disimpulkan konfigurasi dengan metode konfigurasi spindel lebih mendekati ketentuan standar yang ada, dengan nilai *Drop voltage* sebesar 98,791 % atau 19,7582 kV, *Losses* 0,053 MW, indeks SAIFI (1,1763 *f/Cs.yr*), indeks SAIDI (7,0248 *hr/Cs.yr*), indeks ASAI (0,9992 *pu*). Indeks EENS (42,149 *MW.hr/yr*).

Kata Kunci: Bandara, *Load Flow Analysis*, Rekonfigurasi Saluran, *Reliability Assessment*, Sistem Tenaga Listrik.

Abstract – The airport is one of the important facilities in the public service for air transportation, which is the network node in its operational activities. Its function must be supported by a good electrical power supply, in accordance with ANEX AERODROME design and electrical service standards in IEEE and SPLN. Thus it is necessary to determine how the parameters of the electric power system of public service facilities in airport electricity infrastructure. The determination of parameters is carried out using the method of literature studies, as well as modeling and simulation on the ideal power system configuration design for an airport. The power system design was radial configuration, reconfigured with an alternative configuration, using the spindle configuration method. The configuration design will be simulated using two methods, namely, *reliability assessment* and *load flow analysis* in the ETAP software. Furthermore, the data analysis of the simulation results is carried out, by comparing the values of the parameters obtained, such as the value of *Drop voltage*, *Losses*, SAIFI, SAIDI, ASAI and EENS. So it can be concluded that the configuration with the spindle configuration method is closer to the existing standard requirements, with a drop voltage value of 98.791% or 19.7582 kV, *Losses* 0.053 MW, SAIFI index (1.1763 *f / Cs.yr*), SAIDI index (7.0248 *hr / Cs.yr*), ASAI index (0.9992 *pu*). EENS Index (42,149 *MW.hr/yr*).

Keywords: Airport, *Load Flow Analysis*, Line Reconfiguration, *Reliability Assessment*, Electric Power System.

1. Pendahuluan

Pentingnya sebuah fasilitas pelayan publik untuk memenuhi hajat hidup orang banyak sehingga diatur oleh pemerintah dalam UU.No 2.Thn 2009 [1]. Salah satu fasilitas pelayan publik yang menunjang dalam aktifitas publik adalah bandara.

Bandara merupakan salah satu fasilitas pelayanan publik pada moda transportasi udara. Bandara sebagai simpul jaringan transportasi udara tempat berlangsungnya perpindahan antar maupun inter-moda transportasi dalam kegiatan operasinya, akan mengakibatkan terjadinya interaksi antar komponen seperti bandara, oprator penerbangan dan pengguna jasa. Untuk mencapai fungsi tersebut bandara dilengkapi dengan beberapa fasilitas yang dibagi kedalam 3 komponen berdasarkan pembagian wilayah operasi yaitu sisi udara (*airside*), sisi darat (*landside*) dan lingkungan sekitar bandara. Program pemeliharaan, pengembangan dan pembangunan fasilitas pada bandara diarahkan untuk memenuhi standar yang direkomendasikan oleh ICAO ANNEX 14 AERODROMES. Pada sisi udara seperti alat bantu visual navigasi, hanggar pesawat, serta kegiatan *ground handling*, pada sisi darat seperti gedung terminal, terminal barang atau kargo, serta *crub side*. Ketersediaan fasilitas catu daya seperti pembangkit, transmisi, distribusi dan pusat beban pada bandara mutlak diperlukan.

Hanya saja gangguan yang sering terjadi pada sistem seperti pemadaman karena kerusakan komponen kelistrikan, terhentinya suplai daya dari PLN, hubung singkat, tegangan berlebih, dan *over load* akan mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan. Untuk itu diperlukan studi parameter dasar sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik di infrastruktur kelistrikan bandara. Dimana hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan pengembangan dan antisipasi kegagalan pengoperasian sistem kelistrikan bandara. Dengan demikian dilakukan pendekatan melalui sebuah studi litelatur dan pemodelan terhadap proses pelayanan suplai daya listrik oleh fasilitas sistem kelistrikan bandara.

Desain model yang tebetuk akan direkonfigurasi ulang untuk selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode *Load Flow Analysis* dan *Reliability Assesment*. Data yang dihasilkan kemudian akan dibandingkan dengan standar pada IEEE dan SPLN, untuk menentukan konfigurasi dan parameter yang paling sesuai.

2. Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu :

1. pembangkit tenaga listrik,
2. penyaluran tenaga listrik dan
3. distribusi tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik modern merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi dan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari pusat pembangkit ke pusat pusat beban. [2].

2.1. Komponen Sistem Tenaga Listrik

Komponen-komponen utama suatu system tenaga listrik terdiri dari [3];

a). Sistem Pembangkitan

Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik berfungsi membangkitkan energi listrik melalui berbagai macam pembangkit tenaga listrik. Pada pembangkit tenaga listrik ini sumber-sumber energi alam diubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan atau putaran dan selanjutnya energi mekanis diubah menjadi energi listrik oleh generator. Selain itu ada proses dimana energi potensial langsung dirubah menjadi energi listrik.

b). Sistem Transmisi

Sistem transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi, karena adakalanya pembangkit tenaga listrik dibangun ditempat yang jauh dari pusatpusat beban.

c). Sistem Distribusi

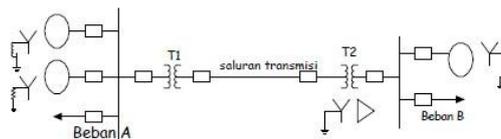
Sistem Distribusi berfungsi mendistribusi-kan tenaga listrik ke konsumen yang berupa pabrik, industri, perumahan dan sebagainya. Transmisi tenaga dengan tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi pada saluran transmisi diubah pada gardu induk menjadi tegangan menengah atau tegangan distribusi primer, yang selanjutnya tegangannya diturunkan lagi menjadi tegangan untuk konsumen.

2.2. Pemodelan Komponen Sistem Tenaga Listrik

Untuk melakukan sebuah analisa pada sistem maka kita perlu melakukan pemodelan terhadap sistem tersebut, salah satunya pemodelan pada komponen-komponen dari sebuah sistem kelistrikan seperti [3];

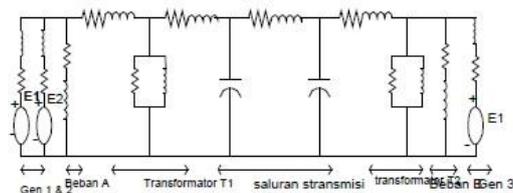
1. Pemodelan Pembangkit
2. Pemodelan Saluran, serta
3. Pemodelan Trafo

Pemodelan pada sebuah sistem bisa menggunakan model diagram segaris. Diagram segaris adalah suatu diagram yang menunjukkan suatu garis tunggal dan lambang-lambang standar saluran transmisi dan peralatan-peralatan yang berhubungan dengan suatu sistem listrik. Kegunaan diagram segaris adalah untuk memberikan informasi yang berarti mengenai suatu sistem dalam bentuk yang ringkas.



Gambar.2.1 Diagram segaris sistem sederhana

Dalam aturan untuk menganalisis unjuk kerja dari suatu sistem tenaga listrik baik dalam keadaan berbeban atau dalam keadaan terjadi suatu gangguan hubung singkat, maka diagram segaris diatas harus diubah kedalam suatu gambar impedans yang memperlihatkan ekivalen untai dari tiap komponen sistem. Sistem tenaga yang sederhana seperti pada gambar diatas, gambar diagram impedansnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Diagram impedansi sistem

2.3. Parameter Dasar Sistem Tenaga Listrik

Parameter dalam sistem tenaga listrik secara umum digunakan untuk mengukur kinerja atau unjuk kerja dari sebuah sistem tenaga listrik. Berikut akan di paparkan mengenai beberapa parameter sistem tenaga.

2.3.1. Aliran Daya

Analisis aliran daya pada sistem tenaga, bertujuan untuk melihat bagaimana aliran daya dalam sistem. Peubah yang terlibat dalam perhitungan adalah daya. Dengan menggunakan daya sebagai peubah dalam perhitungan, maka persamaan yang dihadapi menjadi bukan

persamaan linier. Sumber, merupakan *sumber daya* yang hanya boleh beroperasi pada batas daya dan tegangan tertentu. Sementara itu beban adalah bagian rangkaian yang menyerap daya, sehingga dapat dinyatakan sebagai besar daya yang diminta/diperlukan, pada tegangan tertentu. Suatu permintaan daya hanya dapat dilayani selama pembebanan tidak melampaui batas daya yang mampu disediakan oleh sumber. Jadi walaupun rangkaian tetap rangkaian linier, namun relasi daya antara sumber dan beban tidaklah linier. Oleh karena itu persamaan rangkaian dengan daya sebagai peubah merupakan *persamaan nonlinier*. Dalam memecahkan persamaan nonlinier ini memerlukan cara khusus. [4].

a). Ketentuan dalam Analisis Aliran Daya

Dalam analisis aliran daya, diambil ketentuanketentuan sebagai berikut:

1. Sistem dalam keadaan seimbang, dengan keadaan seimbang ini dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan model satufasa.
2. Semua besaran dinyatakan dalam per-unit, dengan menggunakan sistem satuan ini bisa terbebas dari persoalan perbedaan tegangan di berbagai bagian sistem yang diakibatkan oleh pemanfaatan transformator dalam upaya penyaluran daya.

Bus-bus dalam rangkaian sistem tenaga merupakan simpul-simpul rangkaian yang biasa dikenali dalam analisis rangkaian listrik. Bus-bus ini dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis [4]:

- i) Bus-generator (*generator bus*), yaitu bus dimana generator dihubungkan melalui transformator.
- ii) Bus-beban (*load bus*), yaitu bus yang tidak terhubung ke generator tetapi terhubung hanya ke beban.
- iii) *Slack Bus*. Jika hanya memperhatikan daya sumber dan daya beban, teorema *Tellegen* tidak akan terpenuhi karena masih ada daya keluar dari rangkaian yang tidak diketahui yaitu daya yang diserap oleh saluran dan transformator. Oleh karena itu, untuk keperluan analisis, jika tegangan semua bus-beban diketahui, baik melalui dugaan perhitungan maupun ditetapkan, tegangan busgenerator juga harus dapat ditetapkan, maka ada satu bus yang dibiarkan mengambang; bus mengambang ini disebut *slack bus*. *Slack bus* seolah berfungsi sebagai simpul sumber bebas (dalam analisis rangkaian listrik yang biasa dikenali) yaitu sumber atau bus generator yang memberikan tegangan sesuai dengan permintaan sistem. Dengan cara ini maka teorema *Tellegen* akan bisa dipenuhi.

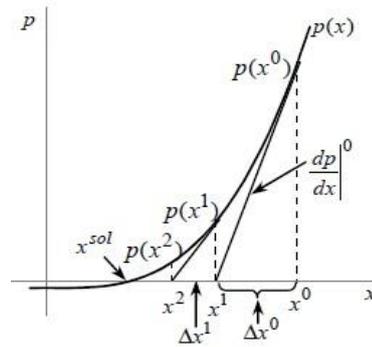
b). Metoda Newton-Raphson

Formula Iterasi – Persamaan Rekursi. Dalam buku - buku referensi, formula iterasi biasanya diturunkan melalui penguraian fungsi nonlinier menjadi deret Taylor dan mengabaikan suku - suku dengan orde tinggi. Di sini akan dilakukan penurunan melalui pengamatan grafis.

Persamaan dengan peubah tunggal. dimisalkan sebuah persamaan nonlinier dengan peubah tunggal,

$$p(x) = 0$$

dan akan dicari solusinya dengan cara iterasi. Ruas kiri persamaan ini dapat dipandang sebagai sebuah fungsi, dan dimisalkan fungsi ini adalah kontinyu dalam domain yang ditinjau. Dapat digambarkan kurva fungsi ini dibidang px ; nilai x sebagai solusi adalah titik potong kurva dengan sumbu- x , yaitu x_{sol} , seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Indeks atas digunakan untuk menunjukkan langkah iterasi, misalnya x_0 adalah iterasi ke-0 yaitu dugaan awal, x_1 adalah iterasi ke-1, dan seterusnya [5] [4].



Gambar 2.3 Proses iterasi untuk persamaan $p(x) = 0$.

c). Studi Aliran Daya Dengan Komputer Digital.

Perubahan listrik menggunakan program yang dibuat dengan teliti untuk melakukan studi aliran beban. Suatu program yang khas sanggup menangani sistem dengan lebih dari 2000 rel, 3000 saluran, dan 500 buah transformator. Sudah tentu program ini masih dapat diperluas untuk sistem yang lebih besar lagi, asal saja fasilitas komputer yang digunakan cukup besarnya.

Saluran, antar-rel	Panjang		R Ω	X Ω	R per unit	X per unit	Mvar pengisian
	km	mi					
1-2	64,4	40	8	32	0,042	0,168	4.1
1-5	48,3	30	6	24	0,031	0,126	3.1
2-3	48,3	30	6	24	0,031	0,126	3.1
3-4	128,7	80	16	64	0,084	0,336	8.2
3-5	80,5	50	10	40	0,053	0,210	5.1
4-5	96,5	60	12	48	0,063	0,252	6.1

Gambar 2.4 Contoh data input nilai pada program komputer untuk menghitung aliran daya.

Data yang diberikan pada komputer harus berisi nilai angka seperti dalam Tabel dan suatu petunjuk apakah rel itu merupakan suatu rel berayun, suatu rel yang diregulasikan (*regulated*) di mana besarnya tegangan dibuat konstan dengan membangkitkan daya reaktif Q , atau suatu rel dengan nilai P dan Q yang telah ditentukan. Di mana nilai-nilai tersebut tidak akan dibuat konstan, kuantitas-kuantitas yang diberikan dalam daftar diartikan sebagai perkiraan pertama. Biasanya batasan (*limits*) pembangkitan P dan Q harus ditetapkan juga, dan demikian pula dengan batasan kilovoltampere saluran. Jika tidak ada ketentuan lain, program-program biasanya menetapkan 100 MVA sebagai dasar.

Program komputer menciptakan suatu representasi nominal dari saluran dengan jalan membagi dua sama besar kapasitansi yang dihitung dari nilai megavars pengisian yang diberikan, di antara kedua ujung-ujung saluran. Untuk suatu saluran yang panjang, komputer dapat diprogram untuk menghitung (ϕ) ekivalen untuk kapasitansi yang tersebar merata di sepanjang saluran. [6]

2.3.2. Keandalan

Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada periode waktu dan dalam kondisi operasi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari suatu sistem, harus diadakan pemeriksaan dengan cara melalui perhitungan maupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja atau operasi dari sistem yang ditinjau, pada periode tertentu kemudian membandingkannya dengan standar yang ditetapkan sebelumnya [7].

Dari bermacam indikasi perfomansi yang digunakan untuk menggambarkan interupsi pada operasi sistem distribusi adalah sebagai berikut [8] :

a). System Average Interruption Frequency Index

SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani per satuan waktu (umumnya tahun). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua kegagalan dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani oleh sistem tersebut

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k M_k}{\sum M}$$

dimana:

λ_k = laju kegagalan saluran

M_k = jumlah pelanggan pada saluran k

M = total pelanggan pada sistem

b). System Average Interruption Duration Index

SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) adalah nilai rata rata dari lamanya kegagalan untuk setiap suplai beban selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dan lamanya kegagalan secara terus menerus untuk semua suplai beban selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah beban yang dilayani selama tahun itu. Persamaan SAIDI dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$SAIDI = \frac{\sum \mu_k M_k}{\sum M}$$

dimana:

μ_k = laju perbaikan saluran

M_k = jumlah beban pada saluran k

M = total pelanggan pada sistem

c). Customer Average Interruption Duration Index

CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) adalah index durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap pelanggan dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIFI}{SAIDI}$$

d). Average Service Availability Index

ASAI (*Average Service Availability Index*) adalah indeks yang menunjukkan ketersediaan pelayanan rata-rata pada sistem tenaga listrik.

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760}$$

e). Expected Energy Not Supplied

EENS (*Expected Energy Not Supplied*) adalah indeks perkiraan jumlah energi tidak tersalurkan oleh sistem.

$$EENS = \sum \frac{L a_i \mu_k}{M}$$

3. Desain Sistem Tenaga Listrik Ideal Pada Fasilitas Layanan Publik Di Infrastruktur Kelistrikan Bandara.

3.1. Gambaran Umum Sistem Kelistrikan Bandara

Pada umumnya hampir seluruh bandara di Indonesia dalam mengoperasikan peralatannya seperti komponen telekomunikasi penerbangan, navigasi penerbangan, alat bantu pendaratan visual dan beban – beban yang terpasang di terminal penumpang, terminal kargo serta area dalam bandara menggunakan catu daya utama yang disuplai dari listrik PLN. Untuk bandara dimana suplai listrik dari PLN belum ada maka catu daya utama diambil dari generator atau dari *solar cell*.

Untuk catu daya utama dari PLN maupun pembangkitan sendiri dengan generator, tetap memerlukan catu daya cadangan menggunakan generator. Bandara dengan aktivitas sangat padat sudah dilengkapi dengan peralatan pendukung ketersediaan catu daya seperti UPS untuk menjamin tidak terjadi putus suplai listrik terhadap beban yang sangat vital.

Menurut SPLN sistem jaringan listrik di bandara termasuk sistem distribusi dengan tegangan masuk yang paling tinggi digunakan adalah 20 KV. Jaringan listrik di bandara hanya menggunakan jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah, menggunakan arus bolak balik 3 phase dan 1 phase. Pada bandara selain kelas I masih banyak yang berlangganan listrik PLN tegangan rendah. Konfigurasi pada jaringan kelistrikan 20 kV, secara umum masih menggunakan konfigurasi radial [9].

Dalam menjamin ketersediaan pelayanan suplai listrik terhadap beban yang sangat vital serta kemungkinan pengembangan sistem yang disesuaikan dengan kebutuhan pelayanan pada sebuah bandara. Sistem kelistrikan pada bandara harus memiliki konfigurasi jaringan dengan tingkat keandalan yang baik, agar hal tersebut diatas bisa terpenuhi. Berikut akan dipaparkan bagaimana pembagian beban pada bandar udara serta konfigurasi saluran sistem yang melayani kebutuhan suplai daya beban tersebut.

3.1.1. Pembagian Beban Listrik

Pengelompokan beban dilakukan untuk menentukan mana tingkat atau kelas beban yang harus didahulukan atau diutamakan dalam proses pelayanan dan ketersediaan suplai dari sistem. Berikut merupakan pembagian kelas beban pada bandara.

- a). Pada bandar udara kelas Utama, kelas I dan kelas II, beban listrik dibagi menjadi 3 kelompok yaitu [10] :
 1. Beban prioritas teknik (melayani seluruh peralatan operasi keselamatan penerbangan pada sisi udara) dengan kehandalan tinggi, tidak boleh terjadi putus suplai, *switch over time* sama dengan 0-1 detik sehingga memerlukan *Uninterruptable Power Supply* (UPS). Serta harus seminimal mungkin terpengaruh oleh gangguan akibat kurang baiknya kualitas dan stabilitas catu daya listrik sehingga banyak dilengkapi dengan peralatan pendukung untuk meningkatkan kualitas dan stabilitas catu daya listrik.
 2. Beban prioritas umum atau pelayanan (melayani sebagian penerangan terminal, AC peralatan elektronika dan mekanikal di terminal. Dilengkapi dengan kapasitor *bank*).
 3. Beban non prioritas (sebagian lampu jalan, taman dan dan sebagian gedung perkantoran)
- b). Bandar udara kelas III, kelas IV dan kelas V, beban listrik dibagi menjadi 2 kelompok :
 1. Beban esensial (melayani seluruh peralatan operasi keselamatan penerbangan pada sisi udara) dengan jeda waktu putus dan *switch over time* 7 – 15 detik.
 2. Beban non esensial (melayani sebagian peralatan penerangan terminal, perkantoran, elektrik dan mekanikal, lampu jalan, taman dan halaman parkir.
- c). Pengelompokan titik beban pada sebuah bandara umum. Titik beban atau *load bus* merupakan bagian rel bus yang terhubung atau mejadi titik percabangan penyaluran

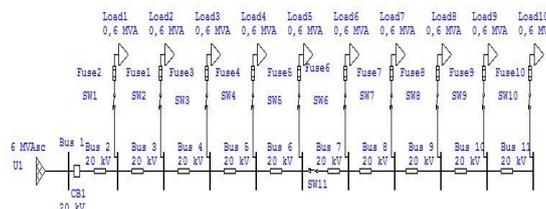
kebutuhan daya terhadap beban pada area tetentu. Tabel 3.1 berikut akan memuat data rel bus atau titik beban untuk area tertentu disebuah bandara.

Tabel 3. 1 Daftar bus beban pada area bandara.

ID _ BUS	Service	kVA
POL	Terminal Bahan Bakar	788
PTB-1	Passenger Terminal Building 1	1287
PTB-2	Passenger Terminal Building 2	1287
AOB	Oprational Building	282
CG	Cargo	235
MPH-TO	Main Power Building	18,5
RA	Parking Area	22,5
RB	Building Area	22,8
R28	Run Way	110,87
TH10	Tower Area	50,91
OB	Oprational Building	282
RC	Service Area	91,6
AP-1	Apron	83,37
AP-2	Apron	96,42
SD-1	Hanggar 1	891
R10	Run Way	144,44
Total Kebutuhan Dari Beban.		5963,41

3.1.2. Konfigurasi Saluran pada Sistem Kelistrikan Bandara.

Secara umum konfigurasi jaringan tenaga listrik hanya terbagi kedalam dua kelompok utama yakni, konfigurasi jaringan radial dan loop. Jaringan yang digunakan pada bandara di indonesia umumnya menggunakan jaringan radial terhadap pelayanan beban langsung. Berikut akan dipaparkan jaringan radial pada sebuah bandara dari sisi pelayanan terhadap kebutuhan.



Gambar 3. 1 Konfigurasi radial pada sistem kelistrikan bandara.

Konfigurasi yang ditunjukkan Gambar 3.1 merupakan sebuah desain dari konfigurasi radial. Dimana pada desain tersebut terdapat sambungan pada rel bus tegangan, dengan tegangan kerja 20 kV dan terhubung pada saluran yang melayani kebutuhan beban sebesar 6 MVA. Pada sisi saluran memiliki 10 bus beban yang melayani 10 titi beban, selain itu pada sistem dilengkapi dengan PMT dan PMS berupa CB, LBS serta Fuse.

Konfigurasi radial atau jaringan radial seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, merupakan sebuah jaringan yang memiliki satu sumber pasokan atau suplai daya terhadap beban dari sebuah rel bus. Karena desain rangkaian sistem yang sederhana, sehingga secara ekonomis

biaya investasinya lebih murah dibandingkan dengan jenis konfigurasi lainnya. Tetapi disebuah bandara yang menggunakan konfigurasi jaringan radial pada sistem kelistrikan, pasokan atau suplai daya pada beban hanya bergantung pada satu saluran atau kawat konduktor utama pada rel bus utama. Ketika mengalami sebuah gangguan atau kegagalan pada sistem, maka proses suplai atau pemenuhan kebutuhan daya terhadap beban akan terputus atau terhenti hal ini menyebabkan kondisi “*black-out*”. Kondisi tersebut merupakan sebuah pemutusan pada bagian tertentu dipelayanan sistem yang mengalami gangguan atau keadaan tidak normal sehingga suplai daya terhenti. Jika hal ini terjadi dibagian sistem paling ujung pada pelayanan, maka bagian sistem lain tidak akan terganggu. Akan tetapi menjadi masalah ketika yang mengalami gangguan pada bagian tengah atau hulu dari saluran pada sistem yang menggunakan konfigurasi radial, akan menyebabkan kondisi “*black-out*” pada bagian yang tidak mengalami gangguan atau kerusakan. Kondisi tersebut dikarenakan tidak ada saluran lain yang bisa digunakan untuk menggantikan saluran utama, sehingga daerah pemadaman akan lebih luas.

Paparan mengenai sistem kelistrikan dengan konfigurasi radial tersebut kontras dengan kebutuhan sebuah bandara, yang memiliki batas waktu pemadaman saat *switch over* atau kondisi gangguan terhadap pelayanan suplai pada beban. Dengan demikian perlu dilakukan rekonfigurasi ulang pada sistem, untuk optimalisasi pelayanan serta mengakomodir kemungkinan kebutuhan perluasan sistem pada bandara.

3.1.3. Penentuan Parameter Kelistrikan Bandara.

Dalam melakukan analisis terhadap kondisi sistem tenaga listrik untuk infrastruktur kelistrikan sebuah bandara, tentu harus dilakukan penyesuaian terhadap komponen parameter yang akan digunakan. Berdasarkan pada studi literatur yang ada, dapat ditentukan beberapa komponen parameter berdasarkan pendekan input data yang digunakan dalam pemodelan. Berikut komponen parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas dan keandalan suplai daya pada sebuah fasilitas kelistrikan bandara :

a). Parameter Kualitas Aliran Daya.

Dalam kualitas aliran daya ditentukan dua komponen parameter. Komponen parameter pertama berupa nilai jatuh tegangan (*Drop Voltage*), komponen parameter kedua berupa nilai rugi-rugi daya (*Losses*). Kedua komponen parameter ini dipilih karena data input pada desain model yang digunakan berupa nilai tegangan kerja dan nilai kebutuhan suplai daya yang harus dilayani oleh sistem. Dimana pada bandara suplai daya yang digunakan bersumber dari perusahaan penyedia jasa layanan listrik dengan tegangan kerja pada saluran adalah tidak boleh kurang dari 6 kV (ANEX AERODROME) [11], serta tegangan kerja yang digunakan PLN untuk SUTM atau skala industri adalah 20 kV (SPLN).

Rugi-rugi daya digunakan sebagai komponen parameter kualitas kedua, karena rugi-rugi daya merupakan pengaruh dari hambatan. Dimana hambatan ini berupa keseluruhan komponen dari saluran yang tersusun dalam sistem distribusi tenaga listrik, berupa nilai impedansi dan admitansi. Komponen tersebut berupa saluran, line atau kabel, rel bus dan konduktor lain yang dilalui oleh aliran daya. Pada desain model hambatan direpresentasikan oleh konduktor atau saluran transmisi dari GD menuju beban. Seperti ditunjukkan dalam persamaan aliran daya, dimana hambatan diwakili oleh lambang admitansi.

b). Parameter Keandalan Penyaluran.

Tingkat Keandalan kontinuitas penyaluran bagi pemanfaat tenaga listrik adalah berapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik [12]. Melihat pada pernyataan tersebut dalam menilai keandalan sistem khususnya untuk sebuah jaringan SUTM, digunakan beberapa komponen parameter untuk mengukur tingkat keandalan sebuah sistem distribusi atau penyaluran.

Komponen parameter yang dipilih ialah nilai indeks SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), indeks SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), Indeks ASAI

(Average Service Availability Index) dan Indeks EENS (*Expected Energy Not Supplied*). Komponen parameter tersebut dipilih berdasarkan masukan data pada desain model sistem berupa data spesifikasi saluran, PMT, CB dan rel bus serta jenis kelas beban pada bandara. Dalam data best perangkat lunak ETAP, data spesifikasi reliability komponen berupa nilai *failure/year*, *repair/year*, MTTF (*Mean Time To Failure*), MTTM (*Mean Time To Repair*), waktu peralihan atau *swiching* yang diinginkan dalam hal ini sesuai dengan pengelompokan jenis beban pada kelas bandara.

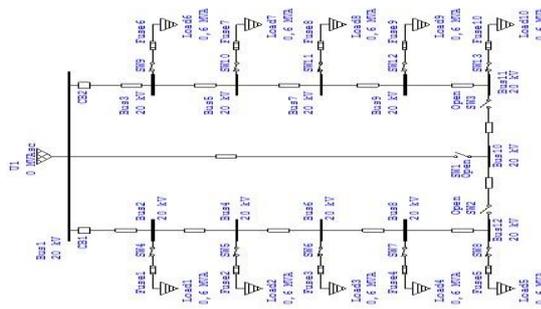
Indeks SAIFI dan SAIDI digunakan dalam parameter penentuan keandalan penyaluran karena disesuaikan dengan data permintaan durasi gangguan, yang disesuaikan dengan dengan pengelompokan beban pada kelas bandara. Dimana permintaan waktu atau durasi gangguan ditekankan pada penilai dari sisi sistem secara keseluruhan dalam periode waktu tertentu dan bukan pada sisi konsumen. Sedangkan untuk indeks ASAI dan EENS digunakan sebagai pembandingan tambahan, untuk mengetahui kemampuan sistem dalam proses penyaluran daya. Dimana indeks ASAI menunjukkan ketersediaan pelayanan oleh sistem dalam satuan perunit sistem, sedangkan indeks EENS digunakan untuk melihat berapa nilai daya yang tidak tersuplai dalam periode waktu tertentu dan dapat dijadikan acuan tambahan dalam proses perbaikan ataupun pengebangan sistem suplai tenaga listrik.

3.2. Alternatif Desain Model Konfigurasi Sitem Tenaga Listrik Ideal.

Kondisi sebuah sistem dengan konfigurasi radial memiliki kelebihan dari sisi ekonomis dan kordinasi proteksi yang lebih sederhana, namun masih ada konfigurasi sistem tenaga listrik lain yang bisa digunakan pada fasilitas kelistrikan bandara. Konfigurasi sistem tenaga listrik seperti konfigurasi loop, spindel dan fork, bisa digunakan sebagai alternatif pengganti dari konfigurasi radial yang sudah sering digunakan.

3.2.1. Konfigurasi Spindel

Konfigurasi spindel merupakan perkembangan dari jaringan jenis loop, umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Dimana Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu pengulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*) yang berujung pada satu titik, dimana titik pertemuan tersebut merupakan sebuah gardu hubung (GH). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi. Dari sistem ini, diharapkan perolehan tingkat keberlangsungan pelayanan suplai daya akan lebih baik jika dibandingkan dengan sistem radial dan daerah pemadaman akan lebih sedikit. Pada konfigurasi ini ada batas perbandingan minimal untuk sebuah konfigurasi spindel 6 penyulang operasi dengan 1 penyulang cadangan, sehingga total beban kerja pada konfigurasi ini hanya 85%. Jika hanya 2 penyulang pembebanan hanya bisa sampai 50 %, dengan satu penyulang operasi disertai satu penyulang cadangan.



Gambar 3. 2 Konfigurasi spindel pada sistem kelistrikan bandara.

4. Simulasi Dan Analisis Sistem Tenaga Listrik Ideal Pada Fasilitas Layanan Publik Di Infrastruktur Kelistrikan Bandara.

4.1. Simulasi Model Konfigurasi Sistem

Berdasarkan studi yang dilakukan mengenai data perkiraan kebutuhan fasilitas kelistrikan untuk melayani kebutuhan suplay daya pada sebuah bandara melalui studi literatur, dilanjutkan dengan perancangan beberapa konfigurasi sistem tenaga listrik pada sebuah simulasi dengan menggunakan perangkat lunak ETAP. Dimana pada beberapa rancangan alternatif konfigurasi sistem tersebut akan dilakukan pengujian dengan metode *Load Flow Analysis* (simulasi analisis aliran daya) dan *Reliability Assessment* (simulasi analisis keandalan) pada sistem yang telah dirancang.

a). Simulasi Sistem Konfigurasi Radial

Tabel 4.1 Data hasil simulasi konfigurasi radial.

No	Parameter	Satuan	Nilai	
1	Keandalan	SAIFI	<i>f / cs.yr</i>	1,5005
		SAIDI	<i>hr / cs.yr</i>	10,1117
		ASAI	<i>pu</i>	0,9988
		EENS	<i>MW.hr/yr</i>	60,670
2	Jatuh Tegangan	%	96,361	
3	Losse	<i>MW</i>	0,148	

b). Simulasi Sistem Konfigurasi Spindel

Tabel 4.2 Data hasil simulasi konfigurasi spindel.

No	Parameter	Satuan	Nilai	
1	Keandalan	SAIFI	<i>f / cs.yr</i>	1,1763
		SAIDI	<i>hr / cs.yr</i>	7,0248
		ASAI	<i>pu</i>	0,9992
		EENS	<i>MW.hr/yr</i>	42,149
2	Jatuh Tegangan	%	98,791	
3	Losse	<i>MW</i>	0,053	

4.2. Analisis Perbandingan Data Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan pada masing – masing konfigurasi menghasilkan data parameter kelistrikan. Dimana parameter ini menjadi penentu konfigurasi mana yang paling sesuai dengan standar pelayanan sistem tenaga listrik yang terdapat pada SPLN dan ANEX AERODROME, untuk diterapkan pada sistem tenaga listrik yang melayani Infrastruktur kelistrikan bandara.

Data yang dihasilkan berupa nilai Jatuh Tegangan, Rugi-rugi daya serta indeks kenadalan seperti SAIFI, SAIDI, ASAI dan EENS. Dengan data yang dihasilkan bisa dibandingkan konfigurasi mana yang paling mendekati ketentuan dalam standar (SPLN dan ANEX AERODROME) pelayanan sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik di infrastruktur kelistrikan bandara. Analisis perbandingan dilakukan dengan data yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan data parameter kelistrikan hasil simulasi model konfigurasi, data standar IEEE & SPLN

No	Parameter	Satuan	IEEE	SPLN	Perbandingan Standar dan hasil simulasi Konfigurasi Jaringan				Kesimpulan	
					Radial	Ket	Spindel	Ket		
1	Tegangan Ujung	%		+5% ,10%	96,361	M	98,791	M	Nilai Tegangan Ujung masing-masing konfigurasi memenuhi batas standar SPLN. Konfigurasi spindel memiliki persentasi paling mendekati tegangan kerja nominal sbesar 98,791 % atau 98,7916 kv	
2	Losse	MW		-10 s/d 10%	0,148	M	0,053	M	Nilai Rugi-rugi daya atau losse pada semua konfigurasi memenuhi batas toleransi pada SPLN, dengan nilai losse paling kecil terdapat pada konfigurasi spindel yakni 0,044 MW atau 0,8912%.	
3	Keandalan	SAIFI	f/ Cs.yr	1,45	2,4	1,5005	TM	1,1763	M	Semua konfigurasi memenuhi standar indeks SAIFI pada SPLN, namun hanya metode dengan konfigurasi spindel yang memenuhi standar SAIFI pada IEEE. Nilai SAIFI paling kecil dengan jumlah intrupsi banyak 1,1763 f/ Cs.yr.
		SAIDI	hr/ Cs.yr	2,30	12,8	10,1117	TM	7,0248	TM	Standar indeks SAIDI pada IEEE tidak terpenuhi sama sekali, hanya stanadar SPLN yang terpenuhi oleh semua sistem. Konfigurasi spindel merupakan konfigurasi yang meliki durasi pada paling singkat 7,0248 hr / Cs.yr

Ket;
 Inisialisasi kesesuaian dalam perbandingan nilai indeks hasil simulasi dengan standar, sebagai berikut :
M : Nilai **Memenuhi** batas standar yang digunakan sebagai pembanding.
TM : Nilai **Tidak Memenuhi** batas standar yang digunakan sebagai pembanding.

5. Kesimpulan

Berdasarkan tahapan metodologi dalam penelitian yang dilakukan dan hasil yang didapatkan, dengan motode studi litelatur dan peroses pemodelan dengan pengujian pada beberapa konfigurasi sistem tenaga listrik fasilitas layanan publik yang dirancang berdasarkan ketetapan standar ANNEX AERODROME dan SPLN, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan studi litelatur dalam penelitian, didapatkan parameter – parameter kelistrikan yang dapat digunakan untuk mengetahui unjuk kinerja sistem tenaga listrik yang memenuhi kriteria kualitas (*quality*) dan keandalan (*reliability*), berikut parameter-parameter kelistrikan yang ditentukan, melalui studi litelatur :
 1. Nilai Jatuh Tegangan
 2. Nilai Rugi-rugi daya
 3. Indeks SAIFI
 4. Indeks SAIDI
 5. Indeks ASAI
 6. Indeks EENS

- Berdasarkan hasil simulasi dan perbandingan nilai parameter kelistrikan yang didapat, sistem konfigurasi dengan metode spindel bisa digunakan dalam proses pengembangan ataupun perbaikan pada sistem yang sudah ada. Dengan pertimbangan sebagai berikut :
 1. Desain bentuk konfigurasi yang sederhana.
 2. *Losses* atau Rugi-rugi daya sebesar 0,053 MW sesuai batas toleransi SPLN ($\pm 10\%$) lebih kecil dibanding konfigurasi awal.
 3. Nilai tegangan ujung sebesar 98,791 % atau 19,7986 kV pada bus ujung sesuai batas nilai standar SPLN ($+5\%$, -10%) dari tegangan nominal sebesar 20 kV.
 4. Nilai keandalan paling tinggi, dengan rata-rata indeks SAIDI atau durasi padam yang lebih singkat sebesar (7,0248 hr/Cs.yr), dari batas standar SPLN. Serta indeks ASAI yang lebih besar (0,9992 pu), hampir mendekati satu, atau indeks kesediaan sempurna.
 5. Indeks SAIFI sebesar (1,1763 f/Cs.yr), menunjuka jumlah gangguan dan kegagalan pada sistem konfigurasi loop lebih sedikit dibanding konfigurasi lain.
 6. Indeks ASAI sebesar (0,9992 pu) menunjukkan ketersediaan pelayanan sistem dalam kurun waktu tertentu, jadi semakin besar nilainya maka sistem semakin baik.
 7. Indeks EENS yang kecil (42,149 MW.hr/yr), menunjukkan lebih besar energi yang mampu disalurkan oleh sistem dengan menggunakan konfigurasi loop.

6. Saran

Dalam penelitian selanjutnya mengenai analisis terhadap parameter – parameter kelistrikan pada infrastruktur kelistrikan layanan publik, bisa dilakukan pada fasilitas kelistrikan layanan publik yang lain, seperti pelabuhan. Dimana parameter selanjutnya bisa ditambahkan mengenai analisis hubung singkat, nilai investasi serta kemungkinan pengembangan kapasitas pelayanan pada sistem tenaga listrik.

Referensi

- [1] UNDANG-UNDANG No.25 2009 TENTANG PELAYANAN PUBLIK.
- [2] W. M. Tresna, "Studi Analisis Program Percepatan 10.000 MW Tahap I pada Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali," FTUI, Depok, 2010.
- [3] W. Yusreni, "Buku AST (Analisis Sistem Tenaga)," ITP, Padang, 2013.
- [4] S. Sudirham, "buku-e.lipi," PDII LIPI, 2012. [Online]. Available: www.darpublic.com. [Accessed 1 Mei 2015].
- [5] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, POWER SYSTEMS ANALISYS, Singapore: McGraw-Hill Book Co., 1994.
- [6] W. D. Stevenson, ANALISIS SISTEM TENAGA LISTRIK, JAKARTA: ERLANGGA, 1990.
- [7] S. Saodah, "EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK BERDASARKAN SAIDI DAN SAIFI," NSAST AST AKPRINDA, p. 45, 2008.
- [8] R. N. T. U. Bustani, "Analisis Peningkatan Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV di Samarinda," *EECCIS 2012*, vol. Volume I, no. Electrical Power Electrinoc Telecommunication, pp. A2-1, 2012.
- [9] Kelompok Pembakuan Bidang Distribusi PLN, "Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV," Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta, 1985.
- [10] S. Hendri, "Penentuan Prioritas Pemeliharaan Berdasarkan Indeks Keandalan Pada Sistem Distribusi Listrik Bandar Udara Soekarno-Hatta," FTUI, Depok, 2010.
- [11] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, "AERODROME DESIGN MANUAL," in *ELECTRICAL SYSTEM*, INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 1983, p. 5.
- [12] Kelompok Kerja Standar Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Keriteria Desain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, Jakarta: PT.PLN (Persero), 2010.