

SISTEM PENGENDALI PUTARAN TURBIN UAP BERBASIS FUZZY MENGGUNAKAN ARDUINO PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH SKALA MIKRO KAMPUS-II ITN MALANG

¹Herangga Dhani Utama, ²Widodo Pudji Muljanto, ³Bima Romadhon Parada Dian Palevi

Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

Sailarangga27@gmail.com

Abstract - Salah satu pembangkit yang paling sedikit digunakan di Indonesia saat ini adalah pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa). Memanfaatkan uap yang dihasilkan dari pemanasan sampah, turbin diputar oleh generator energi listrik ini. Energi potensial uap diubah menjadi energi kinetik oleh turbin yang merupakan penggerak mula, dan selanjutnya energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik melalui putaran poros turbin. Generator, yang pada akhirnya dihubungkan ke turbin, menghasilkan listrik sebagai hasilnya. Diperlukan Arduino sebagai otak sistem untuk mengatur putaran turbin yang mungkin melebihi kapasitas generator. Mikrokontroler papan tunggal sumber terbuka yang disebut Arduino diciptakan untuk memudahkan siapa saja dalam menggunakannya. Pendekatan fuzzy digunakan oleh Arduino sendiri untuk mengatur putaran turbin. Logika fuzzy, juga dikenal sebagai logika fuzzy, adalah metode pemrosesan variabel yang memungkinkan beberapa nilai potensial sebenarnya diproses melalui satu variabel. Kami menggunakan sensor optik alur coupler, yang berfungsi mendeteksi kecepatan turbin dan menghasilkan data untuk pemrosesan logika fuzzy, untuk memastikan kecepatan putaran turbin itu sendiri..

Kata kunci : PLTSa, Turbin, Arduino, Fuzzy logic, Sensor groove coupler optic

I. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) saat ini masih menjadi salah satu pembangkit yang masih sedikit digunakan di Indonesia. Memanfaatkan uap yang dihasilkan dari pemanasan sampah, turbin diputar oleh generator energi listrik ini. Generator, yang pada akhirnya dihubungkan ke turbin, menghasilkan listrik sebagai hasilnya. Diperlukan ketrampilan dan ketelitian yang baik dalam merancang akuisisi PLTSa agar tidak terjadi kesalahan yang tidak diinginkan..

Turbin uap pada dasarnya berfungsi sebagai penggerak awal yang berguna untuk mengubah energi potensial yang

ada menjadi energi kinetik. Energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran poros turbin kemudian tercipta dari energi kinetik tersebut. Mekanisme penggeraknya kemudian dihubungkan dengan poros turbin baik secara langsung maupun tidak langsung melalui komponen tambahan.

Putaran turbin merupakan parameter yang dapat dikontrol dengan menggunakan teknik kontrol fuzzy. ketika turbin mengalami kenaikan dan penurunan beban. Perangkat keras untuk teknik fuzzy ini adalah rangkaian listrik open source yang disebut Arduino, yang menggunakan chip mikrokontroler jenis AVR sebagai komponen utamanya. Sirkuit terpadu (IC) yang dikenal sebagai mikrokontroler dapat diprogram menggunakan komputer. Mikrokontroler memerlukan program yang memungkinkan rangkaian listrik membaca masukan, memproses informasi, dan kemudian menghasilkan keluaran yang diperlukan. Mikrokontroler berfungsi sebagai otak rangkaian listrik, mengatur input, pemrosesan, dan outputnya.

B. Rumusan masalah

Identifikasi rumusan masalah dapat dijelaskan sebagai berikut berdasarkan penjelasan sebelumnya:

1. Bagaimana cara membuat sistem pengendali putaran turbin uap menggunakan fuzzy logic berbasis arduino.
2. Bagaimana merancang perangkat lunak yang sesuai dengan perangkat keras Arduino untuk sistem pengendali kecepatan turbin uap yang menggunakan algoritma fuzzy logic.

C. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang perangkat keras sistem pengendali putaran turbin menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai komponen utama.
2. Menyusun perangkat lunak untuk mikrokontroler Arduino Uno yang digunakan untuk mengendalikan putaran turbin uap menggunakan algoritma fuzzy logic.

II. Tinjauan Pustaka

A. PLTSa

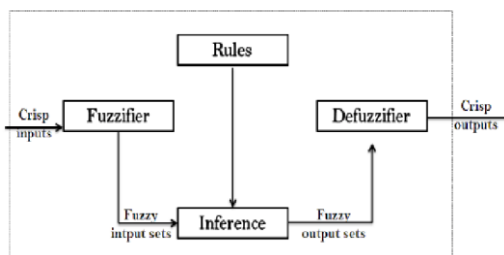
Pembangkit listrik PLTSa, sesuai dengan namanya, memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap di dalam boiler, yang kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik.[1] Pendekatan pemulihan energi ini dipandang ramah ekonomi dan ekologis.

Memanfaatkan insinerator, generator ini menghasilkan uap dengan membakar sampah pada suhu tinggi. Uap tersebut kemudian menggerakkan turbin, yang menghasilkan energi, pada langkah kedua.

B. Fuzzy Logic

Logika fuzzy digunakan dalam sistem kecerdasan buatan (AI) untuk menjelaskan prinsip operasi sistem menggunakan ekspresi linguistik daripada rumus matematika.[3] Logika biner telah berkembang menjadi logika fuzzy. Hanya ada dua nilai kebenaran dalam logika biner: 0 atau 1.[4]

Apakah suatu unsur merupakan anggota himpunan atau bukan, keanggotaannya dalam himpunan eksplisit dinyatakan dengan jelas. Setiap elemen x yang ada atau terdefinisi pada sembarang himpunan A adalah anggota himpunan tersebut.. Contoh: $A = \{0, 4, 7, 8, 11\}$, maka $7 \in A$, tetapi $5 \notin A$. Tiga bagian dasar sistem berdasarkan aturan fuzzy adalah fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi.[5] Keunggulan logika fuzzy adalah menggunakan logika berbasis aturan, atau aturan yang dibuat sendiri, yang dianggap memberikan hasil yang lebih unggul setelah beberapa kali pengujian dengan berbagai aturan..



Gambar 1 Komponen utama fuzzy logic

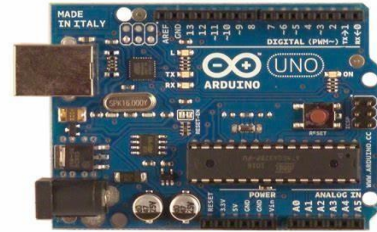
Teknik mengubah data presisi menjadi himpunan fuzzy dan menyajikannya sebagai fungsi keanggotaan disebut fuzzyfikasi. Dengan memetakan input crisp ke dalam fungsi keanggotaan yang sesuai, tujuan fuzzifikasi adalah menentukan derajat keanggotaan. Hal ini

diperlukan karena data yang tidak berbentuk fuzzy harus diubah ke dalam bentuk fuzzy karena pengolahan datanya didasarkan pada teori himpunan fuzzy.

Mesin inferensi membantu dalam menilai seberapa cocok masukan fuzzy dan aturan fuzzy. Aturan yang sesuai dipilih berdasarkan proporsi tersebut. Setelah itu, aturan-aturan yang berlaku diintegrasikan untuk menciptakan tindakan pengendalian.

Defuzzifikasi adalah konversi nilai himpunan fuzzy untuk besaran tertentu menjadi nilai jelas.

C. Arduino



Gambar 2 mikrokontroler arduino

Platform pengkabelan memunculkan mikrokontroler papan tunggal sumber terbuka yang dikenal sebagai Arduino, yang dimaksudkan untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai aplikasi. Bahasa pemrograman C++ dan bahasa pemrograman Arduino sebanding.[6] Beberapa mikrokontroler lain masih memerlukan rangkaian pemuat terpisah untuk memuat program ke dalamnya. Modul Arduino UNO sendiri juga dilengkapi dengan USB loader sehingga memudahkan dalam memprogram mikrokontroler menggunakan Arduino. Port USB ini dapat digunakan sebagai port komunikasi serial selain berfungsi sebagai loader saat pemrograman. Melalui berbagai sensor, Arduino mampu memahami lingkungan sekitar dan mengoperasikan berbagai aktuator, termasuk lampu dan motor.

Arduino Uno merupakan mikrokontroler berbasis ATmega328, dengan 6 input analog, 14 pin input/output digital, kecepatan clock 16 MHz, koneksi USB, catu daya, header ICSP, dan tombol reset. Papan mikrokontroler ini ditenagai oleh konverter AC-DC eksternal, baterai, atau sumber daya USB yang dihubungkan ke komputer..

Mikrokontroler	Arduino UNO
Tegangan Kerja	5 V
Tegangan <i>Input</i>	7 - 12 V
Batas Tegangan <i>Input</i>	6 - 20 V
Pin Digital I/O	14 (di mana 6 pin <i>Output</i> PWM)
Pin Analog <i>Input</i>	6
Arus DC per I/O Pin	40 mA
Arus DC untuk Pin	3.3 V, 50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock	16 MHz

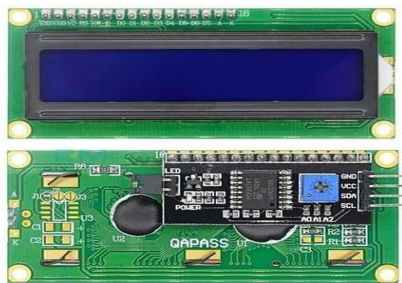
Tabel 1 Spesifikasi mikrokontroler arduino

D. Arduino IDE

Perangkat lunak yang disebut Arduino IDE (Integrated Development Environment) digunakan untuk menulis program, mengkompilasi menjadi file biner, dan mengunggah file tersebut ke memori mikrokontroler.[7] Arduino disebut sebagai lingkungan karena dibuat untuk melaksanakan tugas-tugas yang ditentukan dalam sintaks pemrograman menggunakan perangkat lunak ini. Bahasa pemrograman Arduino sebanding dengan C. Untuk memudahkan pemula dalam memprogram dari bahasa aslinya, maka bahasa pemrograman Arduino (Sketch) telah dimodifikasi. IC mikrokontroler Arduino menyertakan perangkat lunak bernama Bootlader yang terpasang di dalamnya yang bertindak sebagai jembatan antara kompilator Arduino dan mikrokontroler sebelum dipasarkan untuk dibeli. Pemrograman dalam bahasa Java digunakan untuk membuat Arduino IDE. Pustaka Wiring C/C++, yang memfasilitasi operasi input dan output, juga disertakan dengan Arduino IDE. Arduino IDE ini dibuat menggunakan program Processing yang telah diupdate

E. LCD i2c

Kristal cair digunakan sebagai tampilan utama dalam media tampilan LCD (Liquid Crystal Display). Sebuah huruf atau gambar dapat ditampilkan pada LCD (Liquid Crystal Display) karena terdapat beberapa titik cahaya (disebut piksel), masing-masing terdiri dari satu kristal cair. Meskipun dijuluki "titik cahaya", kristal cair ini tidak benar-benar memancarkan cahaya. LCD 16x2 dapat menampilkan hingga 32 karakter, yang masing-masing terdiri dari dua baris dan 16 karakter per baris. Akan sangat tidak efisien jika menggunakan 16 pin, yang biasanya digunakan untuk kontrol pada 162 LCD. Agar LCD dapat dikontrol oleh modul I2C atau Inter-Integrated Circuit, driver khusus digunakan. LCD 16x2 dengan modul I2C



Gambar 3 LCD i2c

F. Sensor groove coupler optic

Optocoupler adalah komponen listrik yang digunakan untuk menghubungkan cahaya optik. Dalam bidang elektronika, optokopler dikenal juga dengan istilah photo coupler, isolator optik, dan opto-isolator. Optokopler dibuat terdiri dari pemancar dan penerima yang melayani tujuan berikut:

- Penerima berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi sumber cahaya,
- sedangkan pemancar penting untuk mentransfer cahaya optik.

Tidak ada sambungan konduktif meskipun optokopler terdiri dari dua bagian karena keduanya tidak dihubungkan secara langsung. Pemancar dan penerima masih dapat digabungkan untuk membentuk bagian optokopler meskipun keduanya tidak memiliki sambungan konduktif.

G. Dummy load

Suatu sistem yang dapat meniru beban listrik disebut beban dummy. Motor listrik termasuk dalam beban listrik yang dibahas disini. Beban ini merupakan keluaran yang dihasilkan oleh motor listrik yaitu keluaran daya putaran dan torsi sesuai dengan kecepatan yang dibutuhkan.

H. TRIAC sfc1-50

Pada penelitian ini sebagai peralatan pengatur besarnya beban penyeimbang digunakan modul pengatur daya berbasis TRIAC produk "Autonic" tipe SPC1-50 seperti tampak pada gambar dibawah.

Perangkat semikonduktor tiga terminal yang dikenal sebagai TRIAC mengontrol arus listrik. Istilah TRIAC, yang merupakan singkatan dari "TRIode for Alternating Current", adalah sebuah akronim. Thyristor, yang berfungsi sebagai pengontrol atau perangkat switching, adalah kategori lain yang termasuk dalam TRIAC..

I. Turbin

Turbin uap mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, yang selanjutnya diubah menjadi energi mekanik melalui putaran poros turbin. Baik secara langsung maupun melalui roda gigi reduksi, alat yang akan digerakkan dihubungkan dengan poros turbin [8]. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan di sejumlah lingkungan, termasuk industri, pembangkit listrik, dan transportasi. Tindakan pengubahan energi potensial menjadi energi mekanik yaitu berupa putaran poros dapat dilakukan dengan berbagai cara.

Sir Charles Parsons menemukan turbin uap modern pada tahun 1884. Turbin uap ini mampu mengambil alih fungsi mesin uap piston pada masa perkembangannya. Hal ini agar turbin uap dapat memperoleh keuntungan dari efisiensi termal yang sangat baik dan rasio bobot terhadap daya yang relatif tinggi. Turbin uap menciptakan gerakan berputar selama proses berlangsung, menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk digunakan dalam menggerakkan generator listrik. Saat ini, turbin uap digunakan di sekitar 80% pembangkit listrik di seluruh dunia..

J. Generator

Generator listrik adalah suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator dan hukum Faraday berhubungan erat.[9] Arus bolak-balik (AC) dan arus searah (DC) merupakan kemungkinan bentuk energi listrik yang dapat dihasilkan oleh generator.[10] Induksi elektromagnetik merupakan salah satu komponen dalam pengoperasian generator listrik. Generator kemudian dipisahkan menjadi generator arus searah dan generator arus bolak-balik berdasarkan jenis arus listrik yang dihasilkannya.

Keduanya dibedakan berdasarkan penggunaan komutator pada generator arus searah dan slip ring pada generator arus bolak-balik. produksi listrik juga mengacu pada pengoperasian generator listrik. Motor listrik dan generator listrik sangat mirip dalam banyak hal, meskipun motor listrik adalah mesin yang mengubah kelistrikan

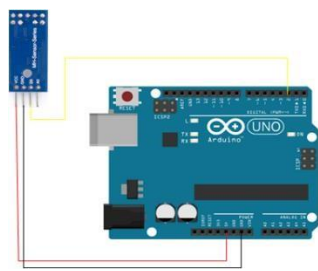
Selain itu, generator mendorong aliran muatan listrik melalui rangkaian listrik eksternal; namun demikian, mereka tidak menghasilkan listrik melebihi listrik yang ada pada belitan kumparan. Mirip dengan pompa air, pompa ini menyebabkan aliran air tetapi tidak menghasilkan air itu sendiri.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perancangan sistem

Pada perancangan sistem ini terdapat rangkaian keseluruhan dari perangkat keras sistem kontrol. Dibawah ini terdapat beberapa rangkaian dari sistem kontrol

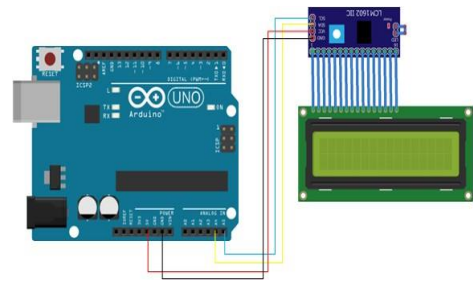
1. Rangkaian sensor ke arduino



Gambar 4 rangkaian sensor ke arduino

Pada rangkaian diatas terdapat dua komponen yaitu arduino dan sensor groove coupler optic yang digunakan untuk membaca data berupa kecepatan motor atau rpm.

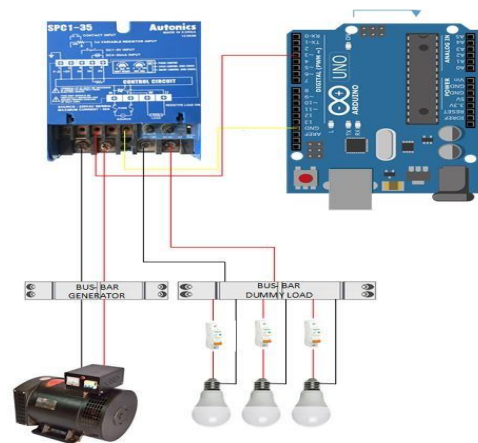
2. Rangkaian lcd ke arduino



Gambar 5 rangkaian LCD i2c ke arduino

Komponen Arduino pada rangkaian di atas dihubungkan dengan LCD I2C. yang berfungsi untuk menampilkan hasil data dari sensor yang berupa kecepatan motor atau rpm.

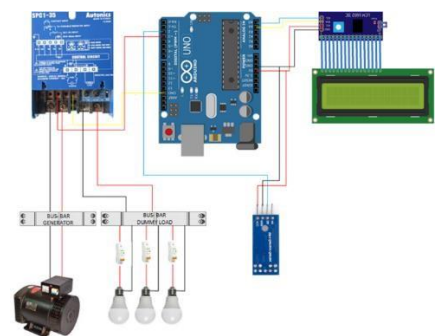
3. Rangkaian TRIAC scf 1-50 ke arduino



Gambar 6 rangkaian TRIAC scf 1-50 ke arduino

Pada gambar diatas terdapat gambar rangkaian dari Arduino ke triac scf1-50 dimana pin ground dari Arduino di sambungkan pada in 5 pada triac selanjutnya pin 3 (pwm) pada Arduino disambungkan pada in 3 triac, pada sambungan triac sendiri terdapat sambungan T pada triac menuju busbar ke generator sedangkan sambungan triac pada dummy load (beban bayangan) yaitu input u dan w. pada dummy load terdapat pengaman berupa mcb yang berfungsi mencegah adanya kelebihan arus pada lampu.

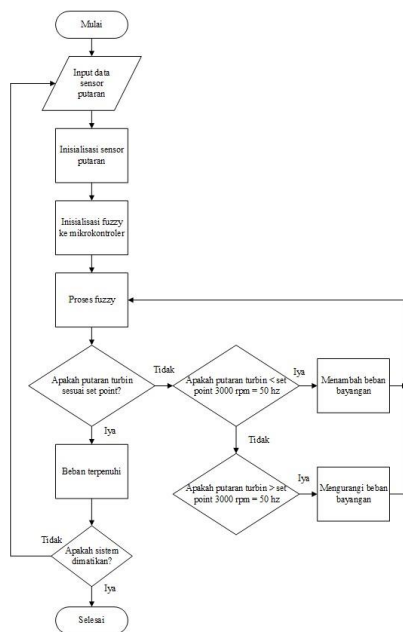
4. rangkaian keseluruhan perangkat lunak



Gambar 7 rangkaian keseluruhan perangkat lunak

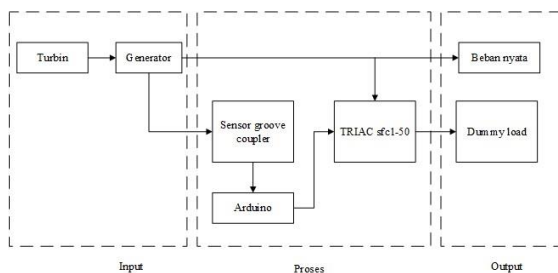
B. Flowchart

Flowchart ini dibuat untuk menjelaskan perancangan dari sistem pengendali putaran turbin pada PLTSa skala mikro dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 8 Flowchart sistematika alat

C. Blok diagram



Gambar 9 Blok diagram

Diatas adalah blok diagram keseluruhan sistem, penjelasan dari blok diagram diatas adalah berikut :

- Pada saat turbin dihidupkan dengan frekuensi yang sudah ditentukan maka turbin akan menggerakkan generator, frekuensi yang diberikan pada turbin max. 50 Hz
- Generator yang berputar akan menghasilkan listrik yang langsung bisa digunakan pada beban, beban yang dipakai pada percobaan penelitian ini adalah kipas angin, dll
- Putaran generator disini akan di deteksi oleh sensor groove coupler yang akan menghasilkan data rpm
- Data yang sudah di deteksi oleh sensor akan diteruskan oleh arduino ke lcd i2c untuk mengetahui kecepatan generator.

- Pada arduino data akan dikelola dengan menggunakan metode fuzzy logic, digunakannya metode fuzzy logic untuk mengontrol kecepatan agar tetap stabil melalui triac sfc1-50.
- Triac sfc1-50 inilah yang akan mengendalikan dummy load dari perintah fuzzy logic, apabila putaran generator berkurang maka dummy load akan mengurangi beban dan apabila putaran generator terjadi lonjakan yang melebihi kapasitas generator maka dummy load akan memberikan beban tambahan agar putaran pada generator tetap stabil

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalibrasi sensor

Pada uji coba kalibrasi sensor kali menggunakan sensor proximity yang dimiliki oleh laboratorium konversi energi elektrik dengan sensor groove coupler yang akan dipakai pada penelitian ini, tujuan dari kalibrasi sensor ini adalah untuk mengetahui apakah sensor groove coupler bekerja dengan baik atau tidak. Dibawah ini adalah hasil uji coba kalibrasi sensor proximity dengan sensor groove coupler.

- Hasil uji coba sensor proximity



Gambar 10 Hasil uji coba sensor proximity

Pada gambar diatas adalah hasil putaran yang di deteksi oleh sensor proximity, cara kerja sensor proximity disini yaitu memanfaatkan adanya radiasi elektromagnetik (medan elektromagnetik). Jadi, sinyal akan dihasilkan ketika suatu benda atau benda mendekati sensor. Benda-benda ini mungkin terbuat dari logam atau tidak. Disini dapat diketahui dengan frekuensi 30Hz dapat menghasilkan putaran dengan rpm 1816 yang di deteksi oleh sensor proximity.

- Hasil uji coba sensor groove coupler



Gambar 11 Hasil uji coba sensor groove coupler

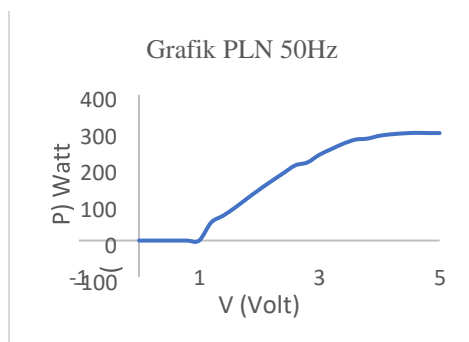
Diatas adalah hasil uji coba sensor groove coupler, sensor ini bekerja apabila terdapat benda yang melewati antara IR RED dan phototransistor. Phototransistor akan mengenali sinar inframerah yang dipancarkan oleh IR LED. Kondisi ini memicu adanya suatu hubungan pada switch. Phototransistor menghasilkan output berupa suatu kondisi dari proses mendeteksi cahaya inframerah sebagai output.

Pada hasil uji coba sensor groove coupler dapat diketahui deteksi yang dilakukan sensor groove coupler hampir sama dengan sensor proximity yaitu dengan rpm 1831 hanya berbeda 15 rpm dengan frekuensi yang sama, pada uji coba kalibrasi sensor ini dilakukan dengan cara memasang sensor bersebelahan dan diberikan rekuensi yang sama pada motor.

B. Hasil Pengujian Tegangan TRIAC

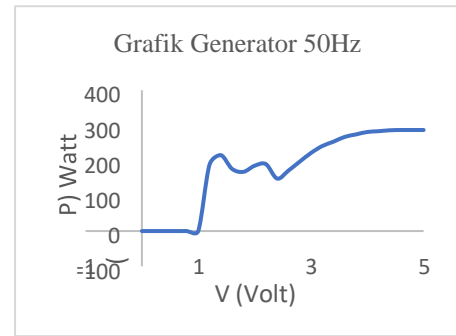
Pada pengujian triac ini dengan menggunakan beban bayangan (dummy load) sebesar 300 watt, beban bayangan tersebut digunakan untuk menyeimbangkan pada generator, untuk pengujian triac menggunakan 3 kali percobaan dengan frekuensi 50 hz. Hasil uji coba tegangan triac dapat dilihat pada gambar avometer dibawah ini

- Menggunakan Sumber Dari PLN



Pada percobaan di atas menggunakan sumber dari pln dapat diketahui bahwa input tegangan dari triac naik terus dan output watt nya juga naik maka dari itu pada percobaan di atas dianggap linier dikarenakan frekuensi dari pln stabil dan tidak naik turun

- Menggunakan Sumber Dari Generator 50Hz



Pada gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa kenaikan pada output watt hampir linier terhadap tegangan triac, grafik diatas dapat dibandingkan dengan frekuensi dibawah 50 hz yang kenaikan output wattnya sangat signifikan. Pada grafik diatas dapat dilihat ketika pada tegangan 2,4 v output watt terus naik sampai tegangan 5v. Input triac yang berupa voltage digunakan untuk mentrigger triac agar dapat menghasilkan output yang diteruskan ke dummyload. Pada percobaan diatas pembacaan oleh triac yaitu pada tegangan 5v yang seharusnya mendapatkan output sebesar 300 watt, sedangkan pada triac hanya mendapatkan nilai output 286,9 watt. Akan tetapi secara keseluruhan pada grafik frekuensi 50 hz dari generator sudah hampir mendekati grafik frekuensi 50 hz dari pln.

C. Hasil pengujian alat

Pada pengujian membership function kurva 3 dengan 2 input yaitu input RPM dan input ERROR menggunakan beban nyata sebesar 200 watt dan beban dummyload sebesar 300 watt, digunakan dummyload sebesar 300 watt karena nilai beban dummyload harus lebih besar dari beban nyata. Dalam pengujian ini untuk menentukan parameter parameter membership function menggunakan metode trial and error dengan cara mengubah nilai membership function pada arduino ide. Berikut uji coba alat dengan mengubah parameter nilai fuzzy.

hasil percobaan pertama undershoot, settling time dan steady state error pada tabel dibawah ini:

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	
100 Watt	2980	3045	0,60 %	30
200 Watt	2995	3015	0,16 %	30

hasil percobaan kedua undershoot, settling time dan steady state error pada tabel dibawah ini:

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	
100 Watt	2985	3045	0,5 %	30
200 Watt	2965	3035	1,16 %	50

hasil percobaan ketiga undershoot, settling time dan steady state error pada tabel dibawah ini:

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	
100 Watt	2980	3040	0,6 %	30
200 Watt	2920	3010	2,66 %	60

Pada pengujian membership function kurva 5 dengan 2 input yaitu input RPM dan input ERROR menggunakan beban nyata sebesar 200 watt dan beban dummyload sebesar 300 watt, digunakan dummyload sebesar 300 watt karena nilai beban dummyload harus lebih besar dari beban nyata. Dalam pengujian ini untuk menentukan parameter parameter membership function menggunakan metode trial and error dengan cara mengubah nilai membership function pada arduino ide. Berikut uji coba alat dengan mengubah parameter nilai fuzzy.

hasil percobaan pertama undershoot, settling time dan steady state error pada tabel dibawah ini:

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	
100 Watt	2965	3055	1,16 %	40
200 Watt	2845	3045	5,16 %	60+

hasil percobaan kedua undershoot, settling time dan steady state error pada tabel dibawah ini:

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	
100 Watt	2960	3055	1,33 %	40
200 Watt	2835	3095	5,5 %	60+

hasil percobaan ketiga undershoot, settling time dan steady state error pada tabel dibawah ini:

Beban	Undershoot (RPM)	Overshoot (RPM)	Steady State Error	Settling Time (S)
0 Watt	2997	3001	-	
100 Watt	2960	3040	1,33 %	40
200 Watt	2840	3060	5,3 %	60+

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan atau kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini berdasarkan seluruh percobaan yang telah dilakukan:

1. Pada penelitian ini menggunakan triac sebagai pengendali daya berfungsi dengan baik pada frekuensi 50 hz sedangkan dibawah 50 hz terjadi kenaikan output watt yang sangat signifikan.
2. Pada percobaan sistem kontrol menggunakan kurva 3 (3 rules) hasil yang didapatkan hampir mendekati dari set point. Sedangkan menggunakan kurva 5 (5 rules) hasil yang didapatkan jauh dari set point yang sudah ditentukan pada beban 200 watt.
3. Sistem kontrol yang digunakan pada pengujian alat masih tergolong bekerja dengan baik pada 3 membership (input RPM dan ERROR) dikarenakan hasil steady state error tidak melebihi dari 5% dan settling time penyetabilan masih tidak terlalu lama. Sedangkan pada 5 membership (input RPM dan ERROR) sistem kontrol kurang bagus pada beban 200 watt dikarenakan hasil error melebihi 5% dan settling time lama.

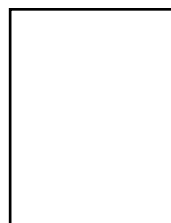
B. Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah agar penelitian ini dapat dikembangkan lagi terkait sistem pengendali pada PLTSa dan menambahkan IGBT (insulated gate bipolar transistor) sebagai pengendali daya.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Nurdiansah, E. Priyo P, and A. Kasiwi, "IMPLEMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSA) SEBAGAI SOLUSI PERMASALAHAN SAMPAH PERKOTAAN; STUDI KASUS di KOTA SURABAYA," 2020. [Online]. Available: www.bbc.com
- [2] S. N. Qodriyatun, "Pembangkit Listrik Tenaga Sampah: Antara Permasalahan Lingkungan dan Percepatan Pembangunan Energi Terbarukan," *Aspirasi: Jurnal Masalah-masalah Sosial*, vol. 12, no. 1, pp. 63–84, Jun. 2021, doi: 10.46807/aspirasi.v12i1.2093.
- [3] P. Tarigan STMIK Budi Darma, "PERANCANGAN ALAT SIMULATOR KONTROLER LAMPU RUMAH BERBASIS KOMPUTERISASI DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC CONTROL," 2013. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/317561592>
- [4] Nasution, H., "Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan Helfi Nasution," 2019.
- [5] G. Turesna and H. Zulkarnain, "Pengendali Intensitas Lampu Ruangan Berbasis Arduino UNO Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *Ktrl.Inst (J.Auto.Ctrl.Inst)*, vol. 7, no. 2, pp. 73–88, 2015.
- [6] W. A. Wicaksono and L. M. Silalahi, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Dengan Metode Fuzzy Logic," vol. 11, no. 2, p. 93, 2020.
- [7] A. Rohmanu and D. Widiyanto, "SISTEM SENSOR JARAK AMAN PADA MOBIL BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO ATMEGA328," *Jurnal Informatika SIMANTIK*, vol. 3, no. 1, 2018, [Online]. Available: www.jurnal.stmikcikarang.ac.id
- [8] S. Soelaiman and N. Priyanto, "ANALISA PRESTASI KERJA TURBIN UAP PADA BEBAN YANG BERVARIASI."
- [9] W. Sunarlik, "PRINSIP KERJA GENERATOR SINKRON."
- [10] J. W. Teknik Elektro Universitas Bengkulu Jl R Supratman Kandang Limun Bengkulu, "Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial Anizar Indriani," 2015

VII. BIODATA PENULIS



Herangga Dhani Utama lahir di Pasuruan, 18-08-2000 Menyelesaikan Pendidikan dasar di SDN KARANGJATI 3 tahun 2013 dilanjutkan Pendidikan menengah di SMPN 1 PANDAAN tahun 2016 dan SMKN 1 SUKOREJO tahun 2019. Mulai menempuh Pendidikan di Institut Teknologi Nasional Malang tahun 2019 dengan mengambil Jurusan Teknik Elektro S-1 dengan Peminatan Teknik Lestrik