

PERANCANGAN SISTEM KONTROL KATUP INLET TURBIN PADA PEMBANGKIT TENAGA SAMPAH

DESIGN OF CONTROL VALVE SYSTEM ON TURBINE INLET ON WASTE POWER PLANT

Faza Ra'is Agustian Putra¹, Ir. Porman Pangaribuan, M.T.², Agus Ganda Permana, Ir. M.T.³

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

³Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Telkom University

¹faza.rais@gmail.com, ²porman@telkomuniversity.ac.id, ³agusgandapermana@ymail.com

Abstrak

Incinerator menggunakan metode pembakaran untuk melakukan pengolahan sampah untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh sampah. *Incinerator* merupakan alat pembakar sampah yang dapat mengurangi permasalahan sampah menumpuk di suatu kawasan. *Incinerator* bisa menjadi solusi untuk membangkitkan listrik. Dengan suhu ruang bakar antara 800 - 1200°C, energi panas yang dihasilkan oleh *incinerator* berpotensi membangkitkan listrik untuk suatu kawasan. Panas yang dihasilkan oleh *incinerator* bisa digunakan untuk membangkitkan listrik dengan proses konversi energi panas menjadi energi listrik. Energi panas di ruang bakar pada proses pembakaran sampah digunakan untuk memanaskan *boiler* yang sehingga menghasilkan uap air. Uap air yang dihasilkan dari proses pembakaran dengan suhu tinggi memiliki tekanan uap yang diharapkan mampu untuk memutar turbin uap.

Untuk mengatur tekanan uap masuk turbin, diperlukan penelitian pada perancangan sistem kontrol katup. Digunakan metode *fuzzy logic* untuk merancang sistem kontrol katup. Pada sistem kontrol katup akan ditentukan *setpoint* tekanan uap yang dibutuhkan, kemudian saat tekanan uap mencapai *setpoint* tersebut, katup akan terbuka sesuai program dan mengalirkan uap ke turbin. Selanjutnya turbin uap akan dihubungkan ke generator untuk menghasilkan listrik.

Berdasarkan hasil tugas akhir perancangan dan implementasi *fuzzy logic controller* pada sistem kontrol katup inlet turbin didapat bahwa putaran turbin mencapai 2741 RPM pada tekanan 2,54 Bar dengan *setpoint* 1 Bar dan membutuhkan waktu 19 menit 30 detik.

Kata Kunci : Listrik, Incinerator, Konversi Energi

Abstract

Incinerators use combustion methods to treat waste processing to reduce environmental pollution caused by waste. Incinerator is a waste burner that can reduce the problem of waste accumulating in an area. Incinerators can be a solution to generate electricity. With a combustion chamber temperature between 800 - 1200 °C, the heat energy generated by the incinerator has the potential to generate electricity for an area. The heat produced by the incinerator can be used to generate electricity by the process of converting heat energy into electrical energy. The heat energy in the combustion chamber in the waste burning process is used to heat the boiler which produces vapors. The water vapor produced from the high-temperature combustion process has a vapor pressure which is expected to be able to rotate the steam turbine.

To control the vapor pressure to enter the turbine, research is needed on the design of the valve control system. Fuzzy logic method is used to design valve control systems. The valve control system will determine the required steam pressure setpoint, then when the steam pressure reaches the setpoint, the valve will open according to the program and drain the steam into the turbine. Furthermore, the steam turbine will be connected to a generator to produce electricity.

Based on the results of the final project of designing and implementing Fuzzy Logic Controller on the turbine inlet valve control system, it was found that the turbine rotation reached 2741 RPM at a pressure of 2.54 Bar with a setpoint of 1 Bar and needed 19 minutes 30 seconds.

Keyword : Electricity, Incinerator, Energy Conversion

1. Pendahuluan

Pengolahan sampah saat ini merupakan hal yang sangat dibutuhkan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Teknik pengolahan dengan metode pembakaran merupakan salah satu hal yang dapat dilakukan. Alat yang dapat digunakan untuk melakukan teknik pengolahan sampah dengan metode pembakaran adalah *incinerator*. *Incinerator* merupakan alat pembakar sampah yang dapat mengurangi permasalahan sampah menumpuk di suatu kawasan.

Incinerator bisa menjadi solusi untuk membangkitkan listrik. Dengan suhu ruang bakar antara 800-1200°C, energi panas yang dihasilkan oleh *incinerator* berpotensi membangkitkan listrik untuk suatu kawasan. *Incinerator* yang sudah beroperasi di kawasan Jagabaya belum dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Panas yang dihasilkan oleh *incinerator* bisa digunakan untuk membangkitkan listrik dengan proses konversi energi panas menjadi energi listrik. Energi panas di ruang bakar pada proses pembakaran sampah digunakan untuk memanaskan *boiler* yang sehingga menghasilkan uap air. Uap air yang dihasilkan dari proses pembakaran dengan suhu tinggi memiliki tekanan uap yang diharapkan mampu untuk memutar turbin uap. Selanjutnya turbin uap akan dihubungkan ke generator untuk menghasilkan listrik.

Untuk mengatur tekanan uap yang masuk ke turbin, diperlukan perancangan kontrol katup. Pada katup akan ditentukan *range setpoint* tekanan uap yang dibutuhkan, kemudian saat tekanan uap mencapai *range setpoint* tersebut, katup akan terbuka sesuai program dan mengalirkan uap ke turbin.

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, perlu dilakukan penelitian terhadap *incinerator* sebagai pembakar sampah untuk menghasilkan panas yang dapat membangkitkan listrik. Selama pengerjaan tugas akhir, hasil yang diharapkan berupa rancangan katup *inlet* turbin yang digunakan untuk sistem pembangkitan listrik pada lingkungan sekitar *incinerator*.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Pembangkit listrik tenaga sampah adalah sistem pembangkitan listrik yang menggunakan sampah sebagai bahan bakar utama. Sampah dari TPS (Tempat Pembuangan Sampah) ditimbun kemudian diolah dengan metode pembakaran menggunakan *incinerator* untuk menghasilkan energi panas yang bisa digunakan untuk pembangkit listrik. Selain itu juga dapat mengurangi volume sampah yang terus meningkat.

Incinerator adalah sebuah teknologi alat pembakar sampah yang ramah lingkungan menggunakan air sebagai bahan bakar utama yang dikolaborasikan dengan solar. Dengan perbandingan antara solar dan air (1:3), air yang dipecah menjadi hidrogen sebagai bahan bakar tambahan menjadikan panas pada proses pembakaran menjadi tinggi.

2.2 Turbin

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik lalu diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan, yaitu generator atau peralatan mesin lainnya.

Konsep Kerja

Turbin uap adalah turbin yang mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik. Uap hasil pemanasan *boiler* masuk ke nosel untuk mengalami ekspansi. Di dalam nosel, energi panas uap diubah menjadi energi kinetik dan mengalami penurunan tekanan dibanding pada saat masuk nosel. Akan tetapi, terjadi penambahan kecepatan uap dibanding saat masuk ke nosel.

Uap yang keluar dari nosel diarahkan ke sudu - sudu turbin sehingga menimbulkan gaya dorong. Terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik saat mendapat gaya dorong. Energi mekanik yang dihasilkan berupa putaran poros turbin.

2.3 Generator

Generator adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik. Energi mekanik untuk menggerakkan generator bisa didapat dari beberapa sumber. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah, turbin uap menggerakkan generator untuk memperoleh energi listrik. Berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan generator dibagi menjadi generator arus bolak - balik (AC) dan generator searah (DC).

Prinsip Kerja Generator Arus Searah

Berdasarkan Hukum Induksi dari Faraday yakni apabila lilitan penghantar diputar memotong garis gaya - gaya medan magnet atau lilitan penghantar diam dipotong oleh garis - garis gaya medan magnet yang berputar, maka pada penghantar tersebut timbul GGL (Gaya Gerak Listrik).

2.4 Katup

Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah, uap air yang dihasilkan oleh pemanasan *boiler* dialirkan ke katup (*valve*) untuk mengatur aliran uap yang akan masuk ke dalam turbin. Katup dapat dioperasikan secara manual oleh operator baik dengan pegangan, tuas pedal atau lain-lainya seperti gambar II-9. Dan katup juga dapat dioperasikan secara otomatis melalui aktuator dengan menggunakan prinsip pengukuran aliran tekanan, suhu dan lain-lain sesuai *setpoint* agar katup terbuka.

2.5 Motor Servo

Dibutuhkan sebuah aktuator untuk menggerakkan katup. Motor Servo digunakan untuk menggerakkan bukaan katup agar sesuai *setpoint*. Motor servo terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol, dan juga potensiometer. Motor servo dapat menampilkan gerakan 0 derajat, 90 derajat, 180 derajat, hingga 360 derajat. Sudut sumbu motor servo dapat diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel servo itu sendiri. Oleh karena itu motor servo dapat berputer searah dan berlawanan arah jarum jam.

2.6 Sensor Tekanan

Sensor didefinisikan sebagai alat yang mampu menangkap fenomena fisika atau kimia kemudian mengubahnya menjadi sinyal elektrik baik arus listrik ataupun tegangan. Fenomena fisik yang dapat diukur sensor untuk menghasilkan sinyal elektrik meliputi temperatur, tekanan, gaya, medan magnet cahaya, pergerakan dan sebagainya. Sensor tekanan merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur tekanan pada suatu zat untuk mendapatkan sinyal listrik. Prinsipnya, Semakin tinggi tekanan didalam suatu tempat dengan isi yang sama, maka suhu akan semakin tinggi.

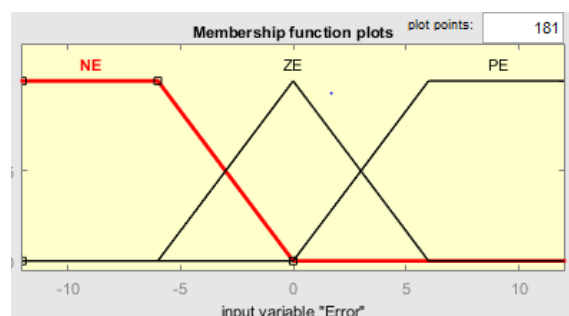
2.7 Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

Pada perancangan kontrol Logika Fuzzy dalam Tugas Akhir ini menggunakan satu sensor dengan dua parameter input yakni, error dan delta error. Sedangkan untuk output yang dihasilkan berupa kendali sebuah motor servo yang dihubungkan dengan keran. Terdapat beberapa tahapan dalam merancang kontroler fuzzy:

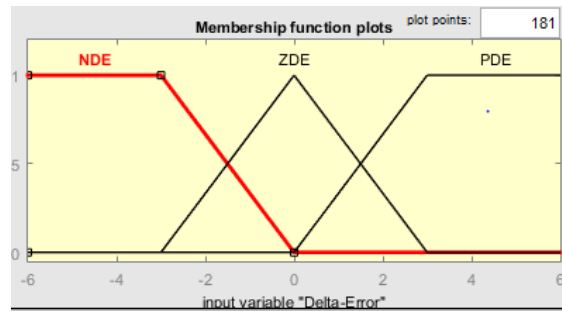
2.7.1 Fuzzification

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan input *crisp* ke dalam himpunan-himpunan fuzzy yang disajikan dalam bentuk fungsi keanggotaan. Tujuan dari fuzzifikasi adalah mendapatkan derajat keanggotaan dari hasil pemetaan input *crisp* kedalam fungsi keanggotaan yang bersesuaian. Pada sistem ini fungsi keanggotaan yang digunakan ialah trapesium dan segitiga, dengan masukan dua buah input yakni, error dan delta error. Input error mempunyai tiga variabel linguistik, yakni NE, ZE, PE. Tiap – tiap variabel memiliki *range* jangkauan yang telah diatur menurut parameter suhu air yang baik untuk manusia. NE memiliki range jangkauan -12 – -6, sedangkan untuk ZE memiliki jangkauan 0 dan terakhir PE memiliki jangkauan sebesar 6 – 12. Sedangkan delta error memiliki tiga variabel linguistik juga yakni, NDE, ZDE, PDE. Dan masing – masing variabel memiliki jangkauan masing – masing. Untuk NDE memiliki jangkauan sebesar -6 – -3 dan untuk ZDE memiliki jangkauan sebesar 0 dan terakhir untuk PDE memiliki jangkauan sebesar 3 - 6.

Berikut gambar yang menunjukkan fungsi keanggotaan input error dan delta error.



Gambar 1. Membership Function Error



Gambar 2. Membership Function Delta Error

Pada Perancangan sistem yang dibuat, untuk setiap setpoint yang dimasukan akan mempengaruhi nilai keanggotaan di setiap variabel. Hal ini dikarenakan dari nilai error yang didapat dari perbedaan di setiap setpoint yang telah ditetapkan dengan keadaan aktual yang telah terbaca sebelumnya. Berikut persamaan untuk nilai variabel keanggotaan untuk setiap setpoint yang dimasukan :

$$e = ZE - \text{setpoint}$$

$$NE = NE1 - e$$

$$ZE = ZE1 - e$$

$$PE = PE1 - e$$

Output pada sistem ini menggunakan model fungsi keanggotaan model Sugeno. Fungsi keanggotaan output dari bukaan katup servo terdiri dari 3 himpunan variabel, yaitu buka sedikit, buka setengah dan buka penuh. Nilai masing – masing variabel untuk motor servo ialah, buka sedikit ialah 20°, buka setengah ialah 90°, dan untuk tutup ialah 180°. Berikut gambar yang menunjukkan fungsi keanggotaan output motor servo.



Gambar 3. Output Fuzzy Logic

2.7.2 Fuzzy Rule

Setelah menentukan fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran, selanjutnya ditentukan rules (aturan) yang akan diterapkan pada kontroler.

Tabell. Fuzzy Rule

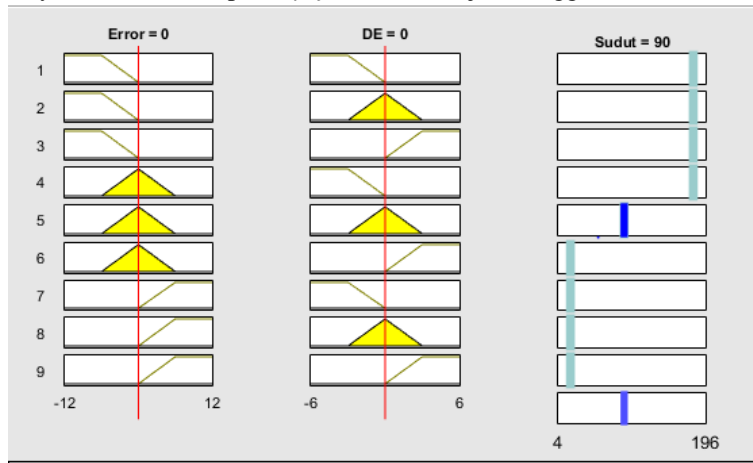
Error Delta Error	NE	ZE	PE
NDE	Buka Penuh	Buka Penuh	Buka Sedikit
ZDE	Buka Penuh	Buka Setengah	Buka Sedikit
PDE	Buka Penuh	Buka Sedikit	Buka Sedikit

2.7.3 Defuzzification

Proses terakhir yaitu defuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (crisp). Pada sistem ini untuk melakukan defuzzifikasi menggunakan metode weight average dengan output dari proses defuzzifikasi berupa nilai aksi yang berfungsi untuk mengatur buka tutupnya servo.

$$Output = \frac{\sum \mu(y)y}{\sum \mu(y)}$$

Dimana y adalah nilai crisp dan $\mu(y)$ adalah derajat keanggotaan dari nilai crisp y.



Gambar 4. Output Fuzzy Logic di Matlab

3. Percobaan dan Hasil

3.1 Pengujian Sensor Tekanan

Tabel 2. Pengujian Sensor Tekanan

No	Pengujian Sensor (Per 6 detik)		Selisih pembacaan [A-B]
	Pressure Transmitter	Pressure Gauge	
	Bar (A)	Bar (B)	
1	0,67	0,69	0,02
2	0,94	1,10	0,16
3	1,32	1,52	0,20
4	1,77	1,86	0,09
5	2,03	2,14	0,11
6	2,17	2,34	0,17
7	2,39	2,55	0,16
8	2,6	2,76	0,16
9	2,79	2,90	0,11
10	2,96	3,03	0,07

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

No	Parameter	Nilai
1	Rata - rata	0,12
2	Standard Deviasi	0,04
3	Standard Error	0,01
4	Persentase Error	6,58%
5	Presisi	0,04
6	Akurasi	93,42%

Berdasarkan pengujian sensor tekanan 1.2 mpa dan dibandingkan dengan pressure gauge dengan pengukuran parameter dari selisih pembacaan didapat bahwa untuk nilai presisi pengukuran memiliki selisih $\pm 0,04$ Bar. Sedangkan, nilai akurasi yang didapat sebesar 93,42 %.

3.2 Pengujian Buka-an Katup

Tabel 4. Pengujian Buka-an Katup

No	Sudut Putar Motor Servo (Derajat)	Sudut Buka-an Keran Sesuai Diinginkan (Derajat) (A)	Sudut Buka-an Keran (Derajat) (B)	Perbedaan Sudut [A-B]
1	168	42	44	2
2	150	37,5	36	1,5
3	132	33	34	1
4	114	28,5	27	1,5
5	96	24	26	2
6	78	19,5	19	0,5
7	60	15	14	1
8	42	10,5	9	1,5
9	24	6	8	2
10	6	1,5	2	0,5

Tabel 5. Hasil Pengolahan Data

No	Parameter	Nilai
1	Rata - rata	1,3
2	Standard Deviasi	0,70
3	Standard Error	0,13
4	Persentase Error	9,86%
5	Presisi	0,70
6	Akurasi	90,14%

Berdasarkan pengujian buka-an katup dengan pengukuran parameter dari selisih perbedaan sudut didapat bahwa untuk nilai presisi pengukuran memiliki selisih $\pm 0,7$ Bar. Sedangkan, nilai akurasi yang didapat sebesar 90,14 %.

3.3 Pengujian Perbandingan Matlab dengan Arduino Uno

Tabel 6. Pengujian Perbandingan Matlab dengan Arduino Uno

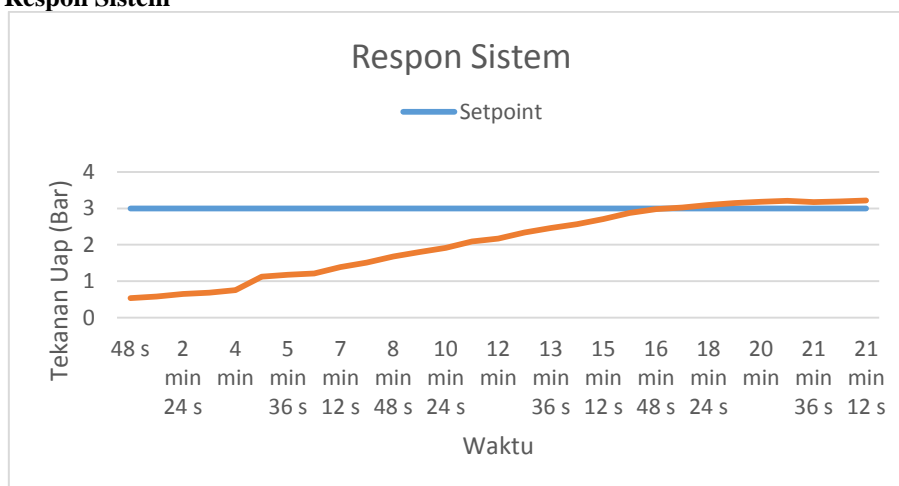
No	Error	Delta	Matlab	Arduino	Selisih
		Error	(Derajat) (A)	(Derajat) (B)	Pembacaan [A-B]
1	-0,18	-0,03	93,6	94,82	1,22
2	-0,31	-0,03	95,5	95,22	0,28
3	-0,38	-0,01	96	94,68	1,32
4	-0,503	-0,083	99,8	97,21	2,59
5	-0,731	-0,04	102	97,84	4,16
6	-0,811	-0,018	103	101,77	1,23
7	-0,892	-0,037	104	103,27	0,73
8	-1,011	-0,029	106	110,52	4,52
9	-1,112	-0,048	107	108,32	1,32
10	-1,195	-0,027	109	113,56	4,56

Tabel 7. Hasil Pengolahan Data

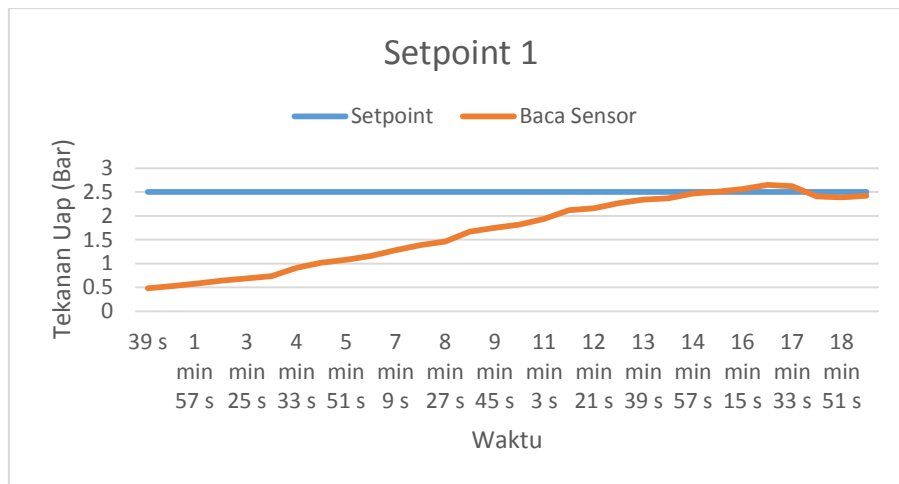
No	Parameter	Nilai
1	Rata - rata	2,67
2	Standard Deviasi	1,53
3	Standard Error	0,28
4	Persentase Error	10,45%
5	Presisi	1,53
6	Akurasi	89,55%

Berdasarkan pengujian perbandingan output arduino dan matlab dengan pengukuran parameter dari selisih pembacaan didapat bahwa untuk nilai presisi pengukuran memiliki selisih +- 1,53. Sedangkan, nilai akurasi yang didapat sebesar 89.55 %.

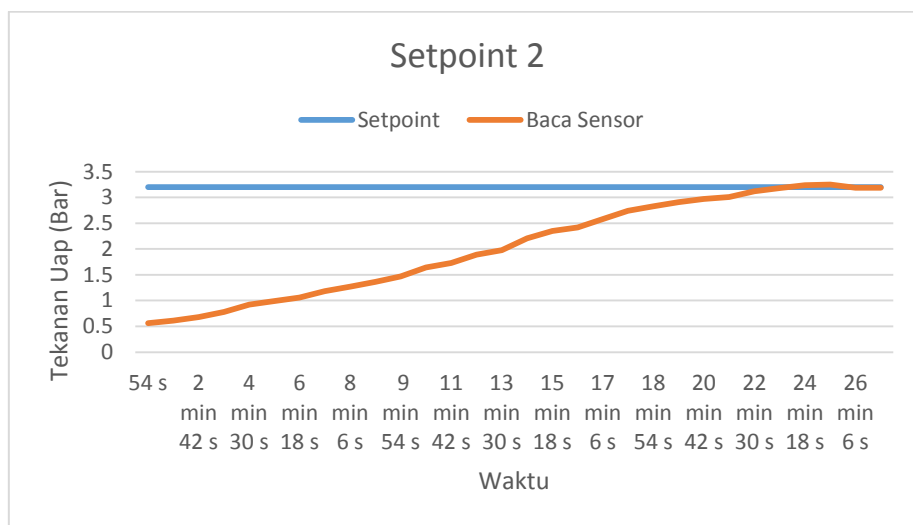
3.4 Pegujian Respon Sistem



Gambar 5. Grafik Respon Sistem



Gambar 6. Grafik Setpoint Ke-1



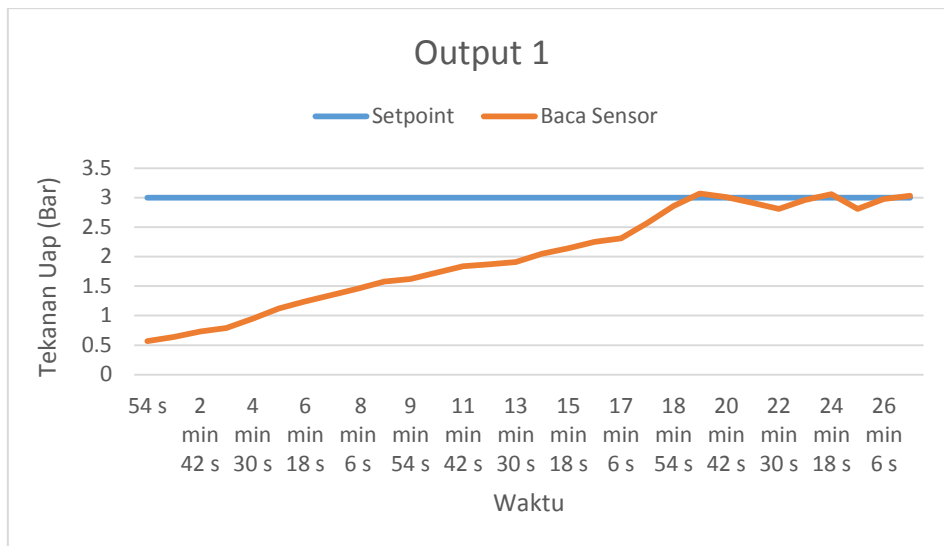
Gambar 7. Grafik Setpoint Ke-2

Hasil dari perubahan nilai setpoint dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

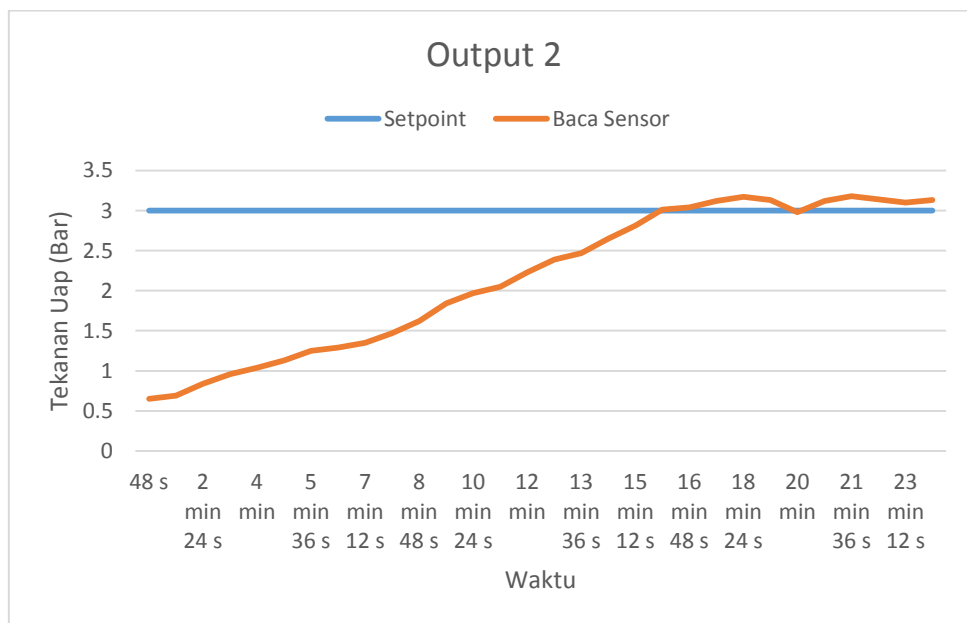
Tabel 5. Perbandingan Perubahan Nilai Setpoint

No	Nilai Setpoint	Settling Time
1	3 Bar	21 menit 36 detik
2	2,5 Bar	17 menit 33 detik
3	3,2 Bar	25 menit 12 detik

Berdasarkan Pada saat nilai *setpoint* 3 bar, didapat *settling time* sebesar 17 menit 36 detik. Pada saat *setpoint* 2 bar didapat *settling time* 11 menit 42 detik. Pada saat *setpoint* 3,2 bar didapat nilai *settling time* sebesar 21 menit 35 detik. Berdasarkan hasil pengujian respon sistem didapat bahwa apabila *setpoint* diperkecil dapat mempecepat *settling time*.



Gambar 8. Grafik Output Ke-1



Gambar 8. Grafik Output Ke-2

Hasil dari perubahan nilai Output dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 6. Perbandingan Perubahan Nilai Output

No	Nilai Output (Sudut)	Settling Time
1	20 90 180	21 menit 36 detik
2	20 90 160	20 menit 42 detik
3	40 90 180	22 menit 24 detik

Pengujian respon sistem saat nilai output 20 90 180 didapat nilai settling time 21 menit 36 detik. Pada saat nilai output 20 90 160 didapat nilai settling time 25 menit 12 detik, sedangkan saat nilai output 40 90 180 didapat nilai settling time 20 menit. Berdasarkan hasil pengujian output didapat bahwa apabila membership function output diperkecil maka akan mempercepat settling time.

3.5 Pengujian Putaran Turbin

Tabel 7. Pengujian Putaran Turbin

No	Waktu	Hasil Uap (Bar)	RPM
1	1 menit 57 detik	0,68	0
2	3 menit 54 detik	0,98	0
3	5 menit 51 detik	1,26	0
4	7 menit 48 detik	1,45	659,6
5	9 menit 45 detik	1,61	1031
6	11 menit 42 detik	1,78	1637
7	13 menit 39 detik	1,73	2262
8	15 menit 36 detik	2,09	2573
9	17 menit 33 detik	2,34	2564
10	19 menit 30 detik	2,54	2471

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *setpoint* 1 bar didapat bahwa putaran turbin terbesar yaitu 2471 rpm pada tekanan 2,54 Bar. Jadi, dapat disimpulkan semakin tinggi tekanan uap maka akan memperbesar putaran turbin.

3.6 Pengujian Output Generator

Tabel 8. Pengujian Output Generator

No	Tekanan Uap (Bar)	Generator			
		Tegangan (V)	Beban (k Ω)	Arus (mA)	Daya (mW)
1	0,57	0	2,1	0	0
2	0,79	0	2,1	0	0
3	0,92	0	2,1	0	0
4	1,16	0	2,1	0	0
5	1,52	2,83	2,1	0,059	0,16697
6	1,95	3,82	2,1	0,73	2,7886
7	2,24	4,41	2,1	1,099	4,84659
8	2,34	5,01	2,1	1,383	6,92883
9	2,63	5,71	2,1	1,574	8,98754
10	2,81	5,55	2,1	1,553	8,61915

Berdasarkan hasil pengujian didapat bahwa hasil terbesar didapat 5,71 V dengan arus 1,553 mA maka didapat daya sebesar 8,86763 mW. Jadi, dapat disimpulkan semakin tinggi tekanan uap maka akan memperbesar tegangan dan daya pada generator.

4. Kesimpulan

Berdasarkan desain, implementasi dan uji coba perancangan kontrol katup *inlet* turbin pada pembangkit listrik tenaga sampah pada tugas akhir ini, didapat beberapa kesimpulan:

1. Semakin tinggi tekanan uap yang terbaca maka akan membuka katup kontrol. Katup baru terbuka saat diputar 30 derajat.
2. Perbandingan rata – rata nilai keluaran simulasi Fuzzy Logic pada Matlab dengan pembacaan Arduino Uno memiliki nilai kepresisian 1.53 dan akurasi 89.55 %.
3. Pada pengujian respon sistem jika nilai *setpoint* dan *output* diperkecil maka nilai *settling time* semakin rendah.
4. Pada pengujian putaran turbin didapat bahwa semakin tinggi nilai tekanan uap yang terbaca maka semakin besar RPM yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Safrizal. (2014). Distributed Generation Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (Pltsa) Type Incinerator Solusi Listrik Alternatif Kota Medan. *Prosiding SNATIF Ke-1 Tahun*, (3), 121–128.
- [2] Daryanto. 2001. *Keterampilan Kejuruan Teknik Konversi Energi*. Bandung: Satu Nusa.
- [3] Berahim, Hamzah. 1991. *Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- [4] Sentosa, A. C. (2015, December 10). *Pengertian Valve dan Jenis-Jenisnya*. Retrieved from <https://id.linkedin.com/pulse/pengertian-valve-dan-jenis-jenisnya-alvindo-catur-sentosa>.
- [5] Setiawan, F. (2014, April 3). *Sensor Tekanan*. Retrieved from <http://fajarsetiawan1994.blogspot.com/2014/03/sensor-tekanan.html>
- [6] Dr. Eng. Agus Naba. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*. Malang: Andi Offset