

PENGEMBANGAN SISTEM PENEREMAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL MENGGUNAKAN KONTROL PID

Ahmad Fahriannur¹, Afifah Putri Agustin², Dedy Eko Rahmanto³, Mochammad Nuruddin⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Jember

¹ahmad_fahriannur@polije.ac.id, ²h41181887@student.polije.ac.id, ³dedy_eko@polije.ac.id,

⁴m_nuruddin_polije.ac.id

Abstrak

Abstrak-- Turbin angin sumbu horizontal akan menghasilkan tegangan jika turbin berputar akibat adanya hembusan angin. Semakin besar hembusan angin, putaran turbin semakin cepat dan tegangan yang dihasilkan juga semakin besar. Sistem pengereman diperlukan untuk proteksi turbin angin ketika menerima kecepatan angin yang sangat besar. Sistem ini dibangun menggunakan kontrol PID berbasis mikrokontroler dengan mengacu pada tegangan outputnya. Resistor sebanyak 2 unit dirancang sebagai sensor tegangan yang dihubungkan dengan output turbin angin. Dalam pengujiannya, turbin angin diputar menggunakan angin buatan yang dibangkitkan melalui blower berukuran 1,3 x 1,3 x 0,3 m, dengan kecepatan angin maksimal sebesar ± 11 m/s. Penentuan parameter konstanta untuk konstanta proporsional (K_p), konstanta integral (K_i), dan konstanta Derivative (K_d) didapatkan masing-masing sebesar $K_p = 0,139$, $K_i = 0,715$, dan $K_d = 0,006$. Tegangan output turbin angin dapat mencapai 60 volt kemudian dikontrol hingga pada tegangan 24 volt menyesuaikan kebutuhan tegangan baterai. Pada hasil pengujian, sistem kontrol berhasil mengatur tegangan turbin angin sebesar 24 volt dengan *error steady state* sebesar 6,62%.

Kata Kunci: Kontrol PID, Pengereman, Proteksi, Turbin angin,

Abstract

Horizontal axis wind turbines will generate voltage if the turbine rotates due to wind gusts. The bigger the wind blows, the faster the turbine spins and the greater the voltage generated. The braking system is needed for wind turbine protection when it receives very large wind speeds. This system is built using PID control based on microcontroller with reference to the output voltage. There are 2 units resistor designed as voltage sensors to the wind turbine output voltage. In testing, the wind turbine is rotated using artificial wind which is generated through a blower measuring 1.3 x 1.3 x 0.3 m, with a maximum wind speed is 11 m/s. The sistem uses PID kontrol which is used to brake wind turbine rotation and regulate its output voltage. Determination of constant parameters for proportional constant (K_p), integral constant (K_i), and Derivative constant (K_d) were obtained for $K_p = 0.139$, $K_i = 0.715$, and $K_d = 0.006$ respectively. The output voltage of the wind turbine can reach 60 volts and then controlled up to 24 volts according to the battery voltage requirements. In the test results, the control system managed to regulate the wind turbine voltage at 24 volts with a steady state error of 6.62%

Keywords: Brake, PID Control, Protection, Wind Turbine

I. PENDAHULUAN

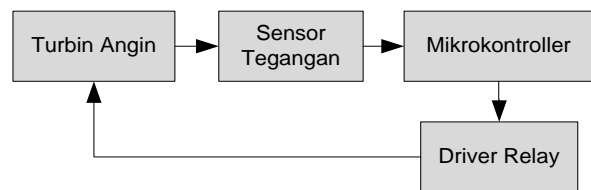
Kebutuhan energi akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan. Kemajuan yang diiringi dengan pembangunan sarana dan prasarana tidak akan terwujud tanpa ketersediaan energi yang memadai. Energi angin merupakan energi terbarukan yang berpotensi dikembangkan di Indonesia (Stepanus, 2018) Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) menunjukkan kecepatan angin rata-rata di Indonesia antara 3-6 m/s, dengan sumber daya sebesar 970 MW dan kapasitas yang terpasang sebesar 1.96 MW (BPPT,2018; Asfahanif,2022). Kecepatan angin diatas 12 m/s termasuk dalam angin kencang yang sifatnya dapat merusak. Turbin angin akan menghasilkan tegangan yang semakin besar jika menerima angin dengan kecepatan tinggi (Liklikwati,2020; Zuhail, 1991). Namun, tidak semua turbin angin dapat bertahan pada kecepatan angin diatas 12 m/s. Turbin angin yang tidak bertahan akan berakibat terjadinya kerusakan komponen seperti bilah, generator, maupun kontroler pada sistem pembangkit listrik tenaga angin. Selain itu juga akan membawa dampak buruk pada proses *charging* baterai. Baterai akan mengalami *overcharging* dan memperpendek umur baterai. Kulkarni merancang sistem pengisian baterai turbin angin menggunakan Buck DC Converter yang disimulasikan pada MATLAB (Kulkarni,2020). Sudrajat, membangun sistem kontrol pergerakan sumbu *yaw* turbin angin untuk peningkatan efisiensi turbin angin dalam menerima angin yang datang dari arah manapun. (Sudrajat,2020). Kontrol logika fuzzy yang dirancang oleh Hidayat digunakan untuk mengendalikan sudut pitch bilah turbin angin, sehingga putaran turbin angin dapat diatur ketika kondisi angin kencang (Hidayat,2022). Algoritma Kontrol PID diterapkan pada turbin angin telah dilakukan oleh Mohammed Lamine dan Habibi (Habibi ,2018; Frikh, 2021) untuk mengendalikan putaran turbin angin melalui pengaturan sudut pada bilah. Turbin angin dimodelkan dalam bentuk fungsi alih yang disimulasikan pada Simulink. Parameter kontrol PID didesain Adaptif menyesuaikan kecepatan angin.

Diperlukan suatu sistem yang dapat meminimalisasi dampak buruk akibat terjadinya putaran berlebih pada turbin angin dan *overcharging* pada baterai ketika turbin angin menerima kecepatan angin diatas 12 m/s. Sistem terdiri dari sistem kontrol elektrik dihubungkan dengan output turbin angin yang dapat mengatur putaran turbin dan tegangan outputnya. Sehingga

dapat mengoptimalkan daya terbangkit untuk kebutuhan *charging* baterai

II. METODE

Sistem dibangun menggunakan Turbin Angin horizontal skala mikro yang diberi nama A-WING (Laksana, 2021; Hiendro, 2021). Output tegangannya dibaca oleh sensor tegangan menggunakan Mikrokontroler, kemudian diteruskan ke *driver relay* (Arsyad, 2019) yang dihubungkan ke turbin angin, seperti yang ditunjukkan dalam blok diagram gambar 1.

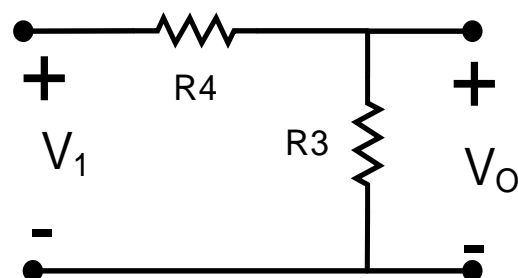


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Dalam pembuatan sistem, dibagi menjadi 2 bagian rancangan yaitu perancangan elektrik dan perancangan algoritma *software*.

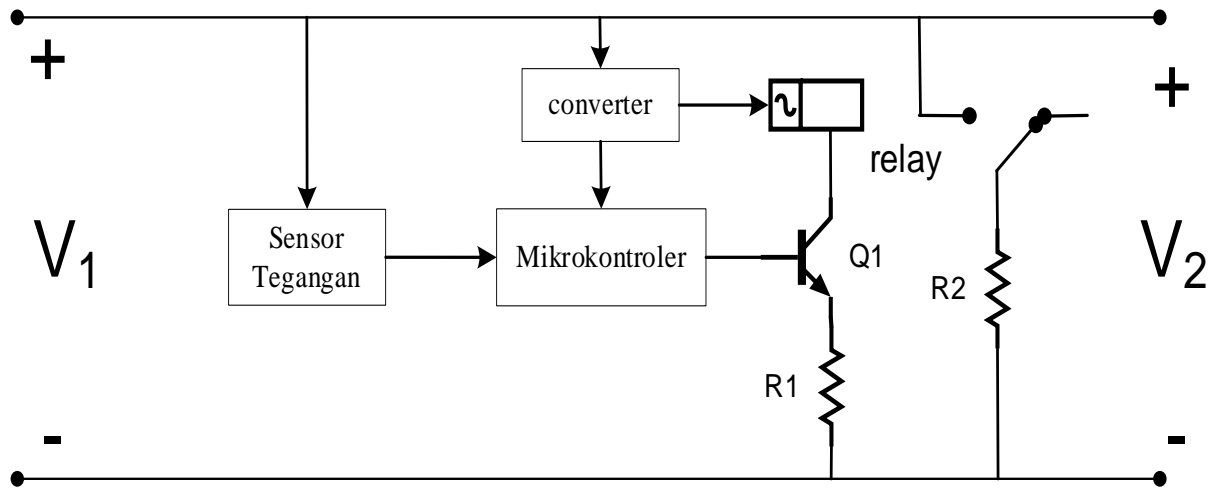
Perancangan Elektrik

Turbin angin horizontal yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas daya maksimum 1000 watt dan dapat mencapai output tegangan DC sebesar 60 volt. Sehingga diperlukan sensor tegangan DC yang dapat mendeteksi nilai tegangan 60 volt. Sensor dibangun menggunakan Rangkaian Pembagi Tegangan (Fuada, 2022; Fauzi, 2021) dimana rancangan resistornya ditunjukkan dalam gambar 2. Variable V_1 adalah tegangan output turbin angin sebesar 60 volt dan V_o adalah tegangan output rangkaian sensor sebesar 5 volt sesuai tegangan maksimum pada mikrokontroler. Nilai R_3 dan R_4 diperoleh menggunakan persamaan 1.



Gambar 2. Rangkaian Sensor

Diketahui $V_o = 5$ volt, $V_1 = 60$ volt. Untuk mendapatkan nilai kedua resistor diperlukan satu resistor yang sudah diketahui. Ditentukan nilai $R_4 = 200$ ohm. Sehingga diperoleh nilai $R_3 = 18$ ohm.



Gambar 3. Rangkaian elektrik sistem

$$V_o = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_1 \quad (1)$$

$$5 = \frac{R_3}{R_3 + 200} 60$$

$$5 R_3 + 1000 = 60 R_3$$

$$1000 = 55 R_3$$

$$R_3 = 18,18 \Omega$$

Relay melalui kaki basis transistor Q1 ketika tegangan yang terbaca melebihi ketentuan. Switch pada relay akan berpindah dan polaritas tegangan akan terhubung mengakibatkan putaran turbin angin akan menurun. Jadi, V_o akan bernilai 5 volt Ketika V_1 bernilai pada tegangan maksimal yaitu 60 volt. Jika tegangan pada turbin angin V_1 bernilai kurang 60 volt, maka V_o juga akan bernilai kurang dari 5 volt.

Generator turbin angin dalam sistem ini memiliki output tegangan DC (Nongdhar,2018). Tegangan akan semakin besar jika putaran turbin semakin cepat sesuai dengan persamaan 2 (Liklikwatil,2020; Zuhail, 1991).

$$e = BLV \quad (2)$$

Dimana :

e = tegangan listrik (volt)

B = kuat medan magnet (tesla)

V = kecepatan putar generator (rpm)

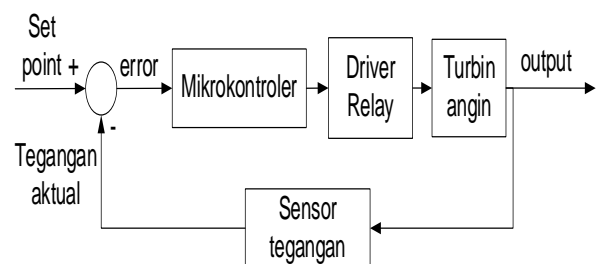
Jika kedua polaritas output turbin angin dihubungkan singkat, maka kecepatan turbin angin akan semakin menurun (Rozegnal, 2021; Wang,

2020). Pada gambar 3, V_1 adalah tegangan output turbin angin. Mikrokontroler akan mengaktifkan.

Perancangan Sistem Kontrol

Perangkat lunak dirancang menggunakan algoritma berdasarkan diagram blok sistem kontrol seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4. Algoritma kontrol menggunakan Proportional-Integral-Derivative (PID) (Purnata, 2022; Budiastira, 2020; Mustafa,2021; Popescu, 2022; Agrawal, 2020) yang dituliskan melalui Bahasa pemrograman di perangkat mikrokontroler. Sistem dirancang supaya turbin angin dapat menghasilkan tegangan tidak melebihi nilai 24 volt. Sensor tegangan membaca kondisi aktual tegangan turbin angin. Kemudian dihitung *error* nya menggunakan persamaan 3. Dimana *set point* adalah 24 volt. Jika nilai *error* kurang dari nol, maka kontroler memerintahkan turbin angin untuk mengurangi kecepatannya melalui driver relay.

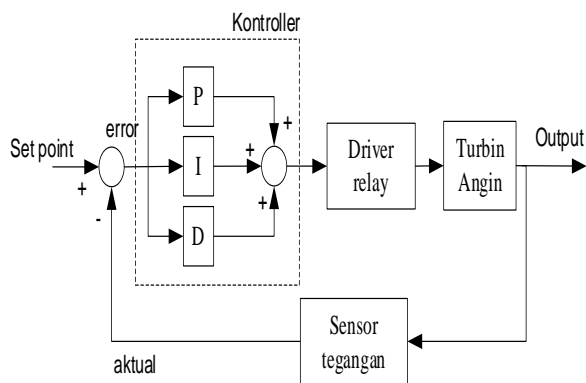
$$error = set\ point - \text{tegangan aktual} \quad (3)$$



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Kontrol

Kontrol Proporsional, Integral dan Derivative dihitung menggunakan persamaan 4,5, dan 6. Dimana nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d ditentukan

dengan *trial and error*. Kemudian hasil dari perhitungan tersebut, dijumlahkan seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5, dan e_g adalah variable hasil penjumlahan persamaan 4,5 dan 6



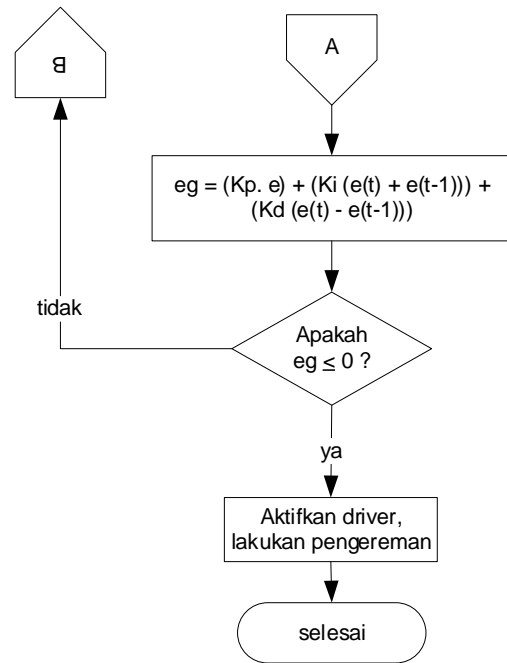
Gambar 5. Diagram Blok Kontrol PID

$$P = K_p \cdot e \tag{4}$$

$$I = K_i (e(t) + e(t-1)) \tag{5}$$

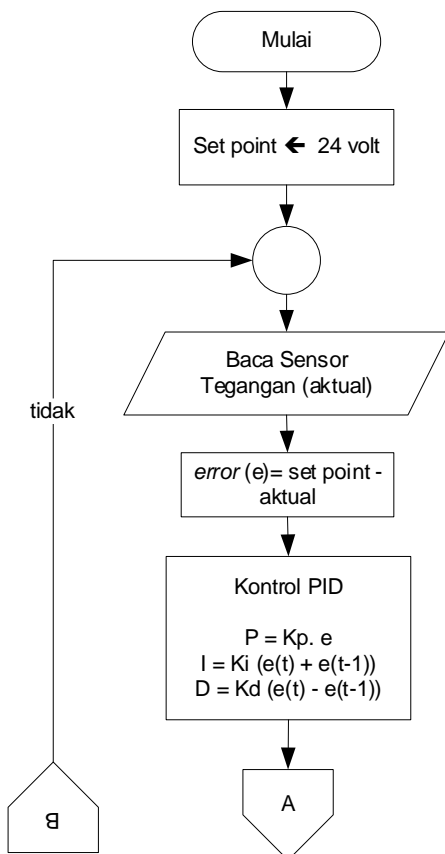
$$D = K_d (e(t) - e(t-1)) \tag{6}$$

$$e_g = K_p \cdot e + K_i (e(t) + e(t-1)) + K_d (e(t) - e(t-1))$$



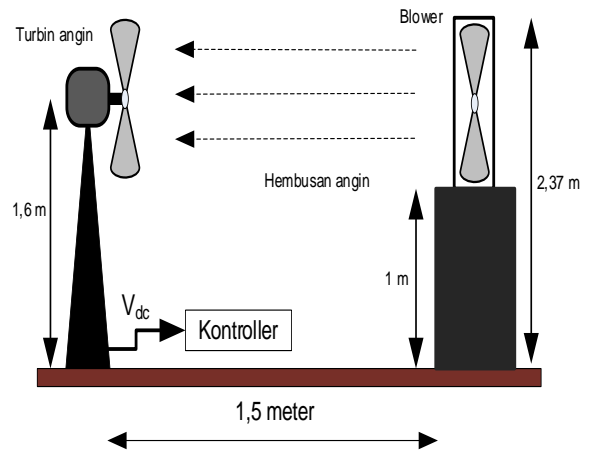
Gambar 6. Diagram alir perancangan perangkat lunak

Kontrol PID dirancangan menggunakan persamaan 4,5,dan 6. Variabel K_p , K_i , dan K_d ditentukan dengan cara *trial and error* sampai diperoleh performa terbaik (Allu, 2019; Sarif, 2018). Berdasarkan persamaan tersebut, e_g adalah variabel kontrol sebagai penentu untuk pengaktifan pengereman turbin angin.



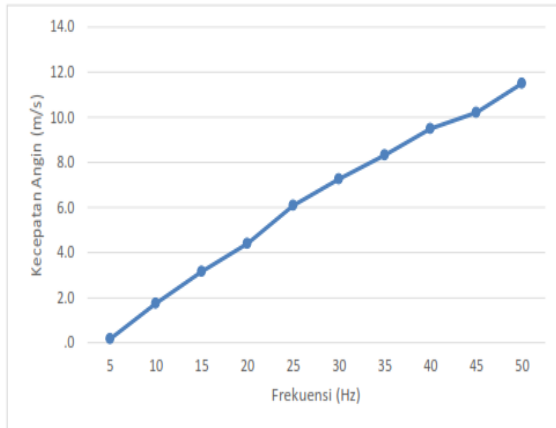
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Turbin angin horizontal berputar karena adanya dorongan angin yang dihasilkan melalui blower berukuran 1,3 meter. Blower dan turbin angin di instal berhadapan pada jarak 1,5 meter seperti yang ditunjukkan dalam gambar 7.



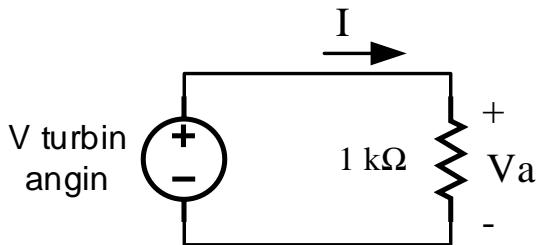
Gambar 7. Instalasi pengujian sistem

Hembusan angin yang dihasilkan blower, diatur dengan frekuensi yang berbeda-beda sehingga kecepatan putar turbin angin juga akan bervariasi, seperti yang ditunjukkan dalam grafik uji pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pengujian Frekuensi

Turbin angin dihubungkan dengan resistor bernilai 1 kΩ seperti yang ditunjukkan dalam gambar 9.



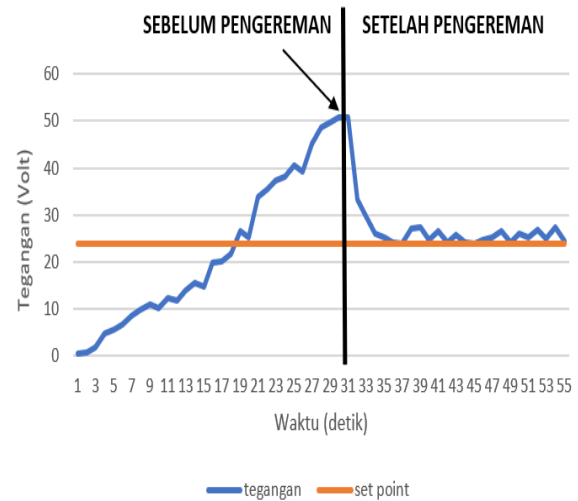
Gambar 9. Rangkaian turbin angin dengan beban

Selanjutnya dilakukan pengujian sistem pengereman menggunakan controller PID berdasarkan persamaan 4,5, dan 6, kontrol PID memiliki nilai konstanta yang ditentukan melalui metoda *trial and error* dan diperoleh nilai terbaiknya adalah $K_p = 0,139$, $K_i = 0,715$, dan $K_d = 0,006$.

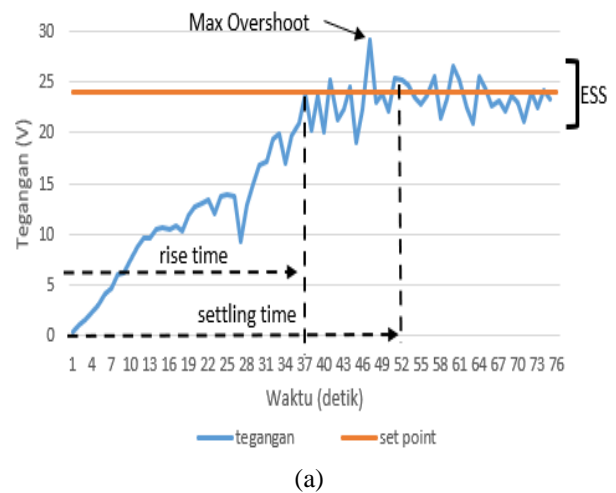
Garis warna kuning pada gambar 10 adalah nilai tegangan yang diinginkan (set point) yaitu sebesar 24 volt. Tegangan turbin angin (garis warna biru) semakin meningkat sampai melewati batas set point ketika controller pengereman belum diaktifkan. Kemudian, tegangan akan menuju ke nilai set point Ketika pengereman telah diaktifkan. Sehingga tegangan output turbin angin dapat stabil pada tegangan 24 volt dengan *error steady state* (ess) sebesar 6,62%.

Pada pengujian berikutnya, dilakukan dengan cara mengaktifkan controller sejak awal turbin

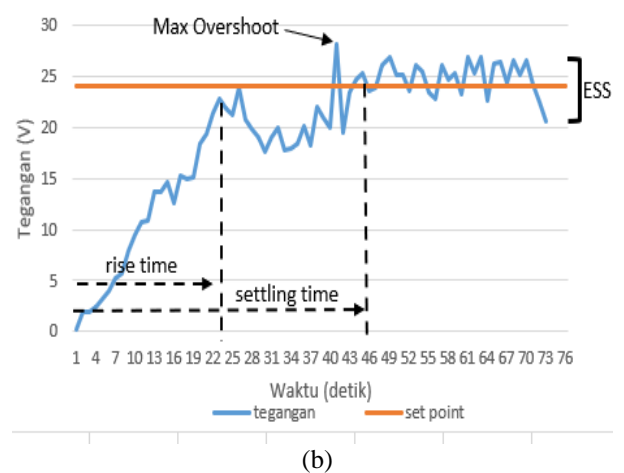
berputar dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 10. Hasil Respon Sistem



(a)



(b)

Gambar 11. (a) dan (b) Hasil Pengujian Sistem Ketika diaktifkan diawal

Gambar 11 menunjukkan bahwa ketika controller diaktifkan sejak awal, kecepatan turbin angin terjaga pada tegangan ± 24 volt sesuai dengan nilai *set point* / target yang telah ditentukan.

Untuk mengevaluasi performa sistem kontrol dapat dianalisis menggunakan 4 parameter respon sistem (A. Fahriannur, 2023). Diantaranya adalah

- Rise time : Respon waktu naik
- Settling time : respon waktu naik sampai mencapai steady state
- Maximum Overshoot : Kondisi maksimal respon sistem melebihi nilai set point
- Error steady state : Besar kesalahan pada kondisi *steady*

Respon sistem pada gambar 11(a) dan gambar 11(b) berturut-turut ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1. Hasil Respon Sistem Gambar 11(a)

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Rise time	detik	36
2.	Settling time	detik	53
3.	Maximum overshoot	volt	0,17
4.	Error steady state	%	2,78

Tabel 2. Hasil Respon Sistem Gambar 11(b)

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Rise time	detik	38
2.	Settling time	detik	52
3.	Maximum overshoot	volt	0,21
4.	Error steady state	%	1,48

Pengujian terakhir dilakukan dengan cara menaikkan kecepatan angin yang mengenai turbin angin untuk dilakukan pengukuran Arus dan Tegangan output turbin angin sehingga diperoleh nilai Dayanya. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dicantumkan dalam tabel 3 dan tabel 4, dapat dianalisis bahwa ketika kecepatan semakin naik, tegangan output turbin angin teteap bertahan pada nilai ± 24 volt dengan daya maksimal adalah sebesar 36,89 watt dengan menggunakan beban resistor 1 k Ω .

Tabel 3. Hasil Pengujian ke 1 Turbin Angin Tanpa Beban

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
1.	4,4	12,46	0,69	8,63
2.	6,1	19,15	1,06	20,37
3.	7,27	24,82	1,38	34,22
4.	8,33	24,41	1,36	33,1
5.	9,5	24,82	1,38	34,22
6.	10,21	24,05	1,34	32,13
7.	11,5	24,56	1,36	33,51

Tabel 4. Hasil Pengujian ke 1 Turbin Angin Tanpa Beban

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya (watt)
1.	4,4	13,17	0,73	9,64
2.	6,1	18,14	1,01	18,28
3.	7,27	24,05	1,34	32,13
4.	8,33	24,59	1,37	33,59
5.	9,5	24,7	1,37	33,89
6.	10,21	24,7	1,37	33,89
7.	11,5	25,77	1,43	36,89

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Sistem kontrol PID yang dibangun dalam penelitian ini berhasil mengatur kecepatan putar turbin dan tegangannya. Sistem dapat menstabilkan tegangan pada 24 volt dalam waktu 5 detik dimulai ketika kontrol diaktifkan dan dengan *error steady state* sebesar 6,662%.

Saran

Dalam pengembangan selanjutnya, diperlukan pengujian sistem dengan membawa sistem ke lepas pantai untuk mengetahui kecepatan angin pada kondisi nyata, Sehingga kinerja sistem pengereman dapat lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Laboratorium Listrik dan Pembangkitan Daya Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

- A. Fahriannur, R. G. Putra, and D. E. Rahmanto, 2023. Perancangan Kontrol Zoom Pada Kamera PTZ Untuk Aplikasi Object

- Tracking. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 25, no. 2, pp. 58-63
- Agrawal, Meena, Mukesh Kumar Rathore. 2020. "Pitch Angle Control through PI and PID Controller based for Wind Energy Conversion System". *International Journal of Recent Technology and Engineering*.
- Allu, Nicholas. Apriana Toding. 2019. "Tuning With Ziger Nichols Method For Design PID Controller at Rotate Speed DC Motor". *IOP Conference Series : Material Science and Engineering* Vol. 846, pp. 1 - 6
- B. M. Arsyad, A. Sofwan, and A. Nugroho. 2019. Perancangan Sistem Kontrol Over/under Voltage Relay Berbasis Mikrokontroler Pada Saluran Tegangan 220 VAC. *Transmisi : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, Vol. 21. No. 1, pp. 25-36
- Asfahanif, Fikri, Sayful Amri. 2022. Analisis Peristiwa Angin Kencang dengan Citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Bangkalan, 17 Oktober 2021). *Jurnal Geografi*, vol. 19. No. 2. Pp. 83-91
- Budiastra, Nyoman. A.A Maharta Pelayun. 2020. "Prototype Design of Water Level Kontrol Sistem Based on PID Kontroller in PLTMH". *Journal of Electrical, Electronics, and Informatics*, vol. 4 no. 2. Pp. 53-56
- BPPT. 2018. "Outlook Energi Indonesia 2018 : Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat". In *Development*. Indonesia.
- H. Habibi, H. Rahimi Nohooji and I. Howard. 2018. "Adaptive PID Control of Wind Turbines for Power Regulation With Unknown Control Direction and Actuator Faults," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 37464-37479
- Hidayat, M. N., Hasanuddin, & Wibowo, S. 2022. Sistem Kontrol Sudut Pitch Bilah Turbin Angin Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Variable Speed Vertical Axis Wind Turbine (VAWT). *Jurnal ELTIKOM : Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi Dan Komputer*, Vol. 6 No. 2 Pp. 210–225
- Hiendro, Ayong. Ismail Yusuf. 2021. Penerapan Turbin AWI-E1000T untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Desa Temanjuk. *Jurnal Pengabdian*. Vol. 4. No. 2. Pp. 169 - 176
- Kulkarni, Aboli A. 2020. "Control of Battery Banks for Wind Energy Conversion Sistem". *IOP Conference Series : Material Science and Engineering*. Vol. 906. Pp. 1 - 8
- Laksana, Angga, Sutisna, Firmansyah M S. 2021. Kontrol Sistem Charging Pembangkit Listrik Tenaga Bayu PT. Lentera Bumi Nusantara Berbasis Internet of Things (IoT). *Journal of Energy and Electrical Engineering*. Vol. 03. No. 1. Pp. 19 - 26
- Liklikwatil, Yakob. 2020. Analisa Pergerakan Fluks Magnet Eksitasi Di Dalam Generator Listrik Terhadap Tegangan Keluaran. *ISU Teknologi STT Mandala*. Vol. 15. No. 2. Pp. 51 - 55
- Mohamed Lamine Frikh, Fatma Soltani, Nadia Bensiali,, Nadir Boutasseta, Nadir Fergani, 2021. "Fractional order PID controller design for wind turbine systems using analytical and computational tuning approaches". *Computers and Electrical Engineering*. Vol. 95. Pp. 1-7
- Mustafa, Mohammed Obaid. 2021. "Optimal Parameter Value of PID Controller for DC Motor Modified Particle Swarm Optimization With Adaptive Inertia Weight". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 1. No. 109. Pp. 34 - 45
- Nongdhar, Deibanehbok, Bikramjit Goswami. 2018. "Design of Micro Wind Turbine for Low Wind Speed Areas: A Review". *ADB Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*. Vol. 2 No. 1. Pp. 36-41
- Popescu, Radoi, Baci, S Sefu, A P Chirita. 2022. "Power Control of Wind Turbine Using an Electrohydraulically controlled active pitch control mechanism". *IOP Conference Series : Material Science and Engineering*. Vol 1262. Pp. 1 - 10
- Purnata, Hendi, Syahrul R. Muhammad AH, Irvan M. 2022. "PID Control Schematic Design for Omni-directional wheel mobile robot Cilacap State of Polytechnic". *Journal of Telecommunication Network*. Vol. 12. No. 2. Pp. 89 - 94
- Rozegnał, B.; Albrechtowicz, P.; Mamcarz, D.; Radwan-Pragłowska, N.; Cebula, A. 2021. "The Short-Circuit Protections in Hybrid

- Systems with Low-Power Synchronous Generators”. *Energies*. Vol. 14. No. 1. Pp. 1 - 6
- S. Fauzi, S. Fuada, NTA Sari, T Emaniar. 2021. “Preliminary Design of An Android-based Voltage Divider Calculator to Support Extracurricular Program in Elementary School”. *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 1987, pp. 1 - 7
- Sarif Mabu, D V Ashok Kumar, M V Gopala Rao. 2018. “Comparison Study of PID Controller Tuning using Classical/Analytical Methods”. *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol. 13. No. 8. Pp. 5618 - 5625
- Stepanus, Iskandar Z, Arya M, Fendy M. 2018. Energi Angin Sebagai Sumber Daya Listrik Data Recovery Center. *Jurnal Lektrokom*. Vol. 1. No. 1. Pp. 98 - 102
- Sudrajat, Ajat, F Hidayanti,, Viktor V R Repi, Derrian W. 2020. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Turbin Angin Yaw Direction. *Jurnal Ilmiah GIGA* Vol. 23. No. 2. Pp. 83 - 90
- Wang, Hongtao. 2020. “Simulation of three phase generator short circuit electromagnetic transient process of synchronous generator”. *Vibroengineering Procedia*. Vol. 35. Pp. 33-38
- Zuhal. 1991. “Dasar Tenaga Listrik”. ITB Press