

Voltage and Frequency Controller for Wind Turbine With PID Controller, PWM and Thingspeak Monitor

Pengatur Tegangan dan Frekuensi pada Turbin Angin Dengan Kontroler PID, PWM dan Monitor Thingspeak

Yuli Hermanto¹, Agus Kiswanton²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya
E-mail: ¹neuralgin1@gmail.com, ²aguskiswanton@gmail.com

Abstract – Utilizing wind energy (wind) blowing from a certain location, which is then used to drive wind turbines and converted into electrical energy or commonly referred to as a Wind Power Plant (PLTB) which is a temporary solution in overcoming the energy crisis problem. In addition, the continuity of the use of power plants. require voltage stability. Unstable voltage and frequency can easily damage electrical equipment (load). Instability can be reduced in several ways, one of which is the use of pseudo/complementary electronic load control circuits. Basically the generator is given a load with a total load that is always constant, the consumer's load plus the additional load (appears) is equal to the generator's nominal power. The main drivers in this study are a 3-phase generator and a 3-phase squirrel cage motor, the main load uses a lamp and the dummy load uses a heater. The DSPIC30F4012 microcontroller is used as the main controller connected to the voltage sensor. The microcontroller operates with PWM (Pulse Width Modulation) and feedback by implementing PID (Proportional Integral Derivative) control, where the PWM generates data pulses to the load control loop. The application of PID in this control system produces a voltage of 220VAC and a frequency of 50Hz to the generator regardless of whether there is a load or not. From this process the voltage supplied to consumers remains constant and does not damage electronic devices..

Keywords — generator, mikrokontroler DSPIC30F4012, PID, PLTB, PWM

Abstrak – Memanfaatkan energi angin (bayu) yang bertiup dari lokasi tertentu, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin angin dan dikonversi menjadi energi listrik atau biasa dikatakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) yang merupakan solusi sementara dalam mengatasi masalah krisis energi. Selain itu, kelangsungan penggunaan pembangkit listrik. memerlukan kestabilan tegangan. Tegangan dan frekuensi yang tidak stabil mudah merusak peralatan listrik (beban). Ketidakstabilan dapat dikurangi dengan beberapa cara, salah satunya adalah penggunaan rangkaian kontrol beban elektronik semu/komplementer. Pada dasarnya Genset diberikan beban dengan beban total yang selalu konstan, beban konsumen ditambah beban tambahan (tampak) sama dengan daya nominal Genset. Penggerak utama pada penelitian ini adalah generator 3 fasa dan motor sangkar tupai 3 fasa, beban utama menggunakan lampu dan beban *dummy* menggunakan *heater*. Mikrokontroler DSPIC30F4012 digunakan sebagai pengontrol utama yang terhubung dengan sensor tegangan. Mikrokontroler beroperasi dengan PWM (*Pulse Width Modulation*) dan umpan balik dengan menerapkan kendali PID (*Proportional Integral Derivative*), dimana PWM menghasilkan data pulsa ke *loop* kontrol beban. Pengaplikasian PID pada sistem kontrol ini menghasilkan tegangan sebesar 220VAC dan frekuensi sebesar 50Hz ke generator terlepas dari apakah ada beban atau tidak. Dari proses tersebut tegangan yang dialirkan kepada konsumen tetap dan tidak merusak perangkat elektronik.

Kata Kunci — generator, mikrokontroler DSPIC30F4012, PID, PLTB, PWM

1. PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi kebutuhan dasar manusia [1]. Sumber energi primer seperti batubara, gas alam dan minyak bumi mendominasi sumber energi saat ini, meskipun ketersediaan sumber energi primer tersebut semakin lama semakin berkurang serta tidak bisa diperbarui sehingga membutuhkan sumber energi alternatif untuk keberlangsungan hidup pada masa yang akan datang. Salah satunya adalah turbin angin (PLTB). PLTB dipilih sebagai sumber energi terbarukan karena potensi angin Indonesia yang besar tercermin dari letak geografisnya. PLTB merupakan sumber energi yang penggunaan berasal dari hembusan angin pada tingkat tertentu di daerah yang kaya akan angin, yang kemudian dapat menggerakkan turbin dan dihubungkan dengan generator, sehingga menyebabkan generator mampu menghasilkan sumber energi listrik yang bisa digunakan untuk kebutuhan hidup manusia. PLTB ini beroperasi secara maksimal, salah satunya dengan mengendalikan kecepatan putaran statis motor generator sehingga menghasilkan frekuensi dan tegangan listrik yang stabil.

Dalam penelitian oleh Ingeng Surya Permana dkk. (2010). Artikel “Rancangan kontrol beban elektronik pada pembangkit listrik” menyebutkan bahwa tingkat kinerja suatu sistem pembangkit listrik khususnya pada pembangkit listrik ditentukan oleh hasil frekuensi keluarannya. Penggunaan beban yang tidak rata dan frekuensi yang berubah-ubah, menjadikan peralatan listrik (beban) menjadi mudah rusak. Kontrol beban elektronik yang dipasang pada pembangkit listrik ini dapat mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh frekuensi *output* dari sistem pendistribusian yang tidak stabil, kontrol beban elektronik yang digunakan lebih murah daripada menggunakan kontrol metode mekanik. Selain itu, dimensi muka lebih kompak dan praktis [2].

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dibutuhkan solusi multimetode. Salah satunya solusi adalah (Pengontrol Generator Asinkron). (*Induction Generator Controller*) IGC 3 fasa adalah pengontrol pengaturan beban elektronik yang bekerja sedemikian rupa sehingga generator dibebani dengan beban total frekuensinya tetap konstan [3]. Beban konsumen ditambah dengan beban tambahan (tampak) sama dengan daya nominal generator [4]. Akibatnya, kecepatan generator tetap konstan. Sehingga tegangan dan frekuensi yang dikeluarkan oleh generator tetap pada 220V dan 50Hz. Untuk pengawasan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator dilakukan secara jarak jauh berbasis IoT (*Internet of Things*) dengan memanfaatkan *ThingSpeak*. Dengan memanfaatkan *ThingSpeak* pengguna data pemantauan sebelumnya dapat dilihat dan data pemantauan saat ini dapat dilihat secara *realtime* [5]. Pemanfaatan PID pada sistem kontrol diharapkan dapat memperoleh nilai yang sesuai dengan yang diinginkan.

1.1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

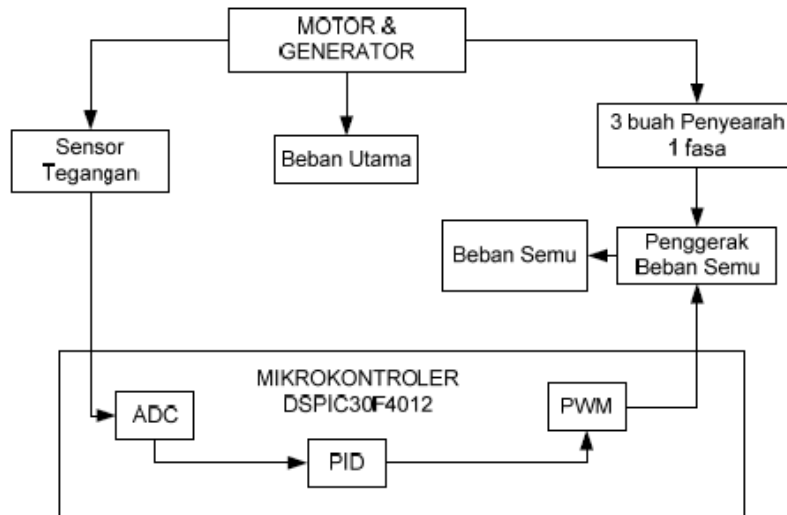
Menurunkan ketergantungan pada sumber energi fosil dengan menggunakan sumber energi alternatif merupakan salah satu upaya dalam mengatasi krisis energi. Angin merupakan salah satu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan. Pembangkit listrik tenaga angin adalah metode pembangkitan energi listrik dengan memutar turbin angin untuk menggerakkan generator, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Desain turbin angin ini disesuaikan dengan karakteristik angin khatulistiwa atau angin berkecepatan rendah. Turbin angin *Savonius* merupakan turbin angin terbaik yang digunakan pada kecepatan angin rendah [6]. Turbin angin dihubungkan dengan generator, Ketika rotor berputar, generator secara otomatis mengalirkan energi listrik.

1.2. Monitoring *ThingSpeak*

Pengoperasian sistem *monitoring* ini sedemikian rupa sehingga tegangan dan frekuensi dapat dikontrol dari jarak jauh. Sebelumnya jaringan yang akan diaplikasikan dikonfigurasi terlebih dahulu agar dapat berkomunikasi. Saat ini penulis sedang menyiapkan sistem pengawasan yang terkoneksi dengan jaringan WiFi. Kedua, sistem pengawasan tinggal dihidupkan dan terhubung langsung dengan internet. Ketiga, sistem pemantauan terhubung langsung ke beban. Setelah itu, sistem pemantauan membaca informasi beban. Hasil baca dikirim ke server untuk dilihat. Keempat, masuk pada akun yang tersedia di server *Thingspeak* dan di mana Anda dapat melihat hasil pengiriman data ke sistem pelacakan [7], [8].

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengatasi masalah di atas, diperlukan rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen utama dari kontroler IGC yang harus ada adalah beban semu (suplemen) dan kontroler itu sendiri [9]. Gambaran blok kerja dari sistem ditunjukkan oleh Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Blok Kerja

Pada umumnya, pengoperasian sistem kontrol untuk menstabilkan frekuensi dan tegangan generator PLTB adalah sebagai berikut: Pada saat generator berotasi sekaligus menghasilkan sumber tegangan untuk beban utama, sensor tegangan mengukur data tegangan tersebut dan selanjutnya dikirimkan ke mikrokontroler yang sebelumnya dikonversi menjadi data digital menggunakan ADC. Selanjutnya algoritma PID diaktifkan oleh mikrokontroler kemudian diteruskan ke PWM. PWM menghasilkan sinyal pulsa yang diteruskan menuju rangkaian kontrol beban semu (bertindak menjadi saklar) untuk kendali *ON/OFF* beban semu. Sistem *loop* tertutup dirancang untuk menjaga agar tegangan yang dihasilkan generator tetap konstan pada 220 VAC. Sehingga ketika tegangan naik/turun, sensor membacanya dan mikrokontroler membalikkannya, PID mulai bekerja untuk mengatur agar nilai *error* yang dihasilkan sekecil mungkin dan mentransfernya ke PWM yang selanjutnya memberikan sinyal ke penggerak beban semu. Rangkaian *driver* digunakan untuk kendali *ON/OFF* beban semu. Beban semu diaplikasikan sebagai penyeimbang beban utama, dalam hal ini generator bekerja dengan menghasilkan tegangan 220 VAC.

2.1. Metode Pengumpulan Data

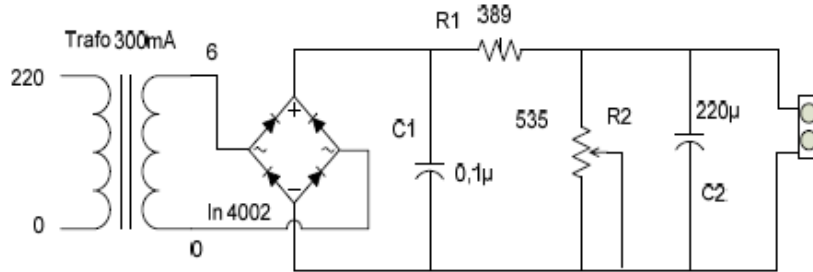
Rangkaian penunjang yang dipakai untuk mendapatkan data pada penelitian ini antara lain: rangkaian sensor tegangan, rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa, *dummy load driver circuit* dan rangkaian Mikrokontroler DSPIC 30F4012

2.1.1. Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan sebagai pembaca tegangan yang dikeluarkan oleh generator. Cara kerja dari sensor tegangan adalah sumber tegangan generator VAC dihubungkan dengan transformator gulungan primer sedangkan transformator gulungan sekunder dihubungkan dengan *diode bridge*. Tegangan 220VAC diubah menjadi 6VDC yang kemudian diperbaiki oleh jembatan dioda gelombang penuh. Dengan menggunakan nilai $R1 = 551\Omega$ dan $R2 = 389\Omega$, batas tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan ditentukan dihitung dengan Persamaan 1 berikut.

$$\frac{R2}{R2+R1} \times Vs = \frac{389\text{ ohm}}{389\text{ ohm}+551\text{ ohm}} \times 6\text{ VDC} = 2,52\text{ VDC} \dots\dots\dots(1)$$

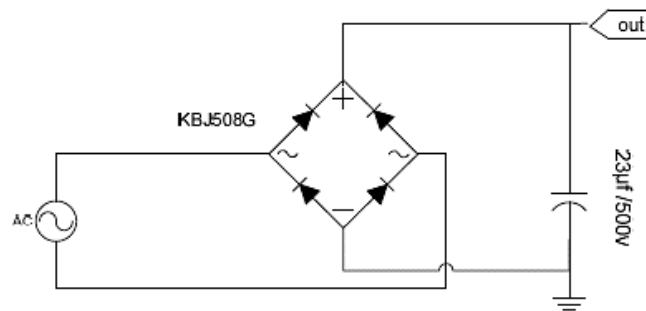
Dari Persamaan 1 tegangan yang dihasilkan adalah 2,52 VDC pada tegangan *input* sebesar 220 VAC. Nilai ini digunakan sebagai acuan nilai sensor mikrokontroler. Rangkaian sensor tegangan ditunjukkan oleh Gambar 2 dan $R2 = 389 \Omega$, batas tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan ditentukan dihitung dengan Persamaan 1 berikut.



Gambar 2. Sensor Tegangan

2.1.2. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa

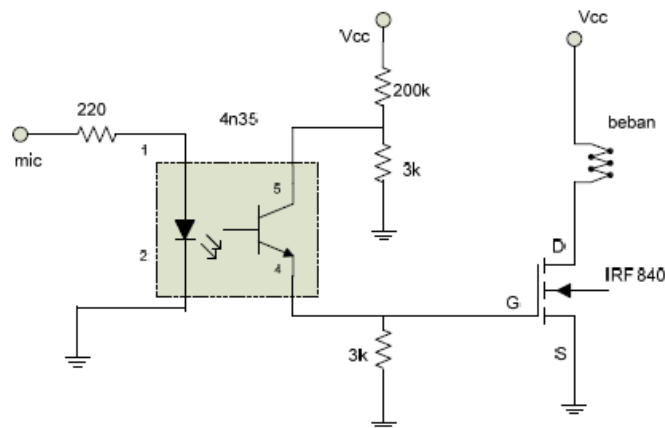
Rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasa digunakan sebagai rangkaian penyearah yang mengubah sumber tegangan AC dari generator menjadi tegangan DC dengan memakai dioda jembatan tipe KBJ508 5 ampere. Gambar 3 adalah rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa.



Gambar 3. Rangkaian Penyearah 1 Fasa

2.1.3. Dummy Load Driver Circuit

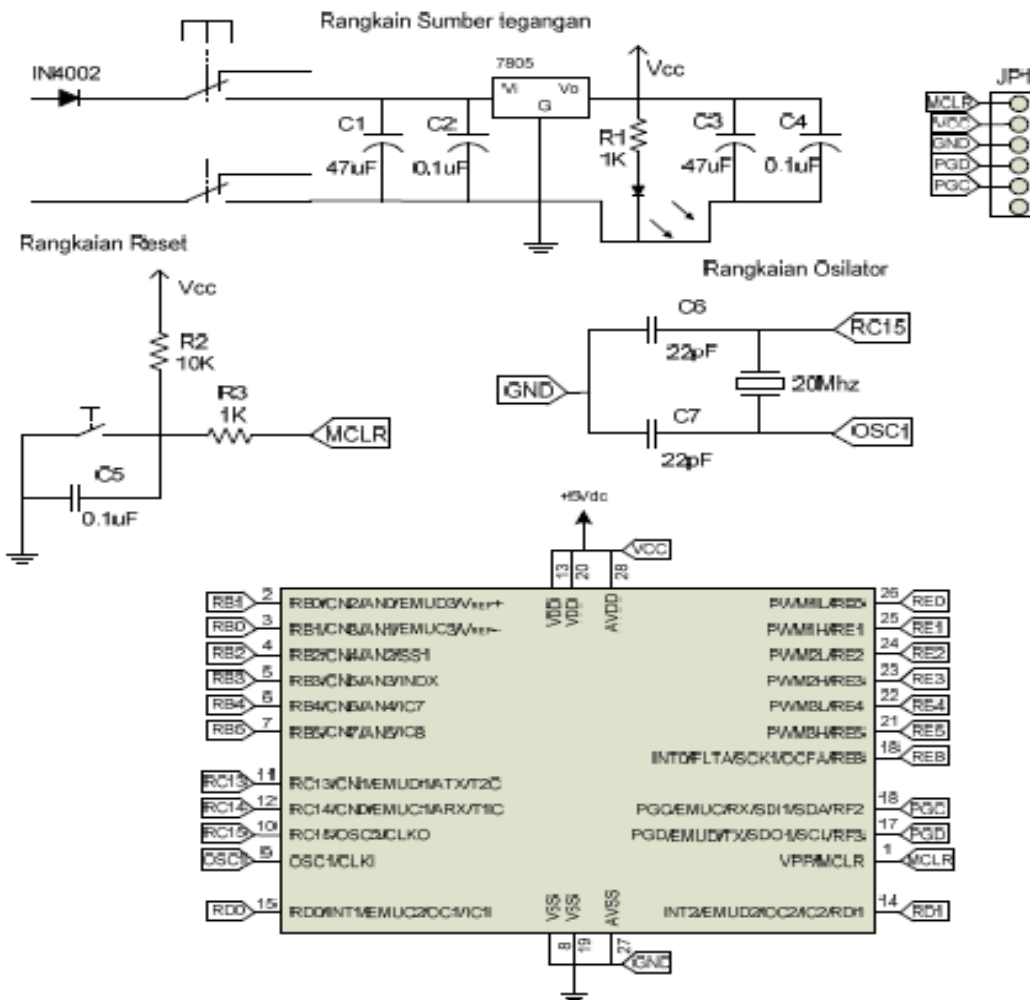
Optocoupler 4N35 digunakan sebagai isolator antara sumber 5VDC pada rangkaian kontrol beban *dummy* dan saklar MOSFET digunakan sebagai saklar beban *dummy*. MOSFET dipilih sebagai saklar karena dapat beroperasi pada daya tinggi dan tegangan tinggi dibandingkan dengan transistor. Rangkaian penggerak beban semu ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Penggerak Beban Semu

2.1.4. DSPIC 30F4012 Mikrokontroler

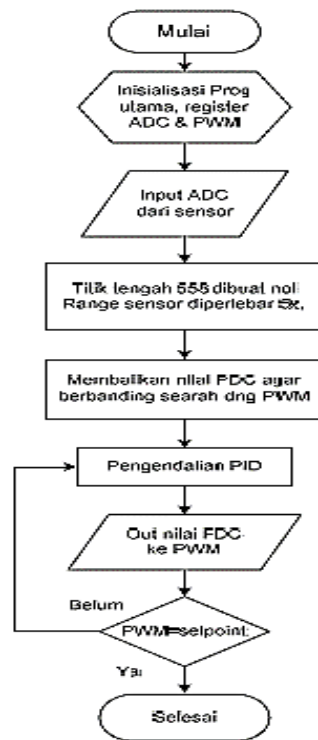
Mikrokontroler DSPIC 30F4012 berasal dari perusahaan microchip yang memiliki lebar data 16-bit. Mikrokontroler DSPIC 30F4012 memiliki struktur utama antara lain inti CPU, integrasi dan dukungan sistem, CPU, memori program, memori data, mesin DSP, dan interupsi terletak di inti prosesor. Dalam rangkaian sistem minimum yang terhubung ke rangkaian catu daya, rangkaian pemulihan dan rangkaian osilator 20MHz digunakan untuk osilator. sedangkan pada rangkaian beban mikro hanya dihubungkan ke terminal seperti Gambar 4.



Gambar 5. Sistem Mikrokontroler Minimal

2.1.5. Algoritma. Pemrograman

Mikrokontroler DSPIC 30F4012 digunakan sebagai kontroler utama pada sistem ini dengan fungsi PWM internal, bahasa pemrogramannya adalah bahasa C. Gambar 6 merupakan flowchart pemrograman mikrokontroler.



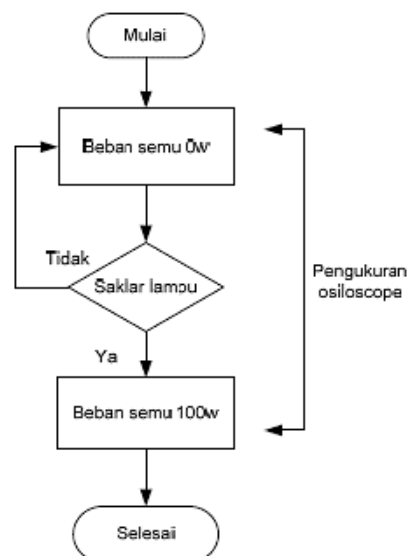
Gambar 6. Flowchart Pemrograman Mikrokontroler

2.1.6. Penalaan PID

Pembuatan program pada algoritma PID membutuhkan nilai untuk parameter K_p , K_i dan K_d . Teknik yang diterapkan dalam penentuan setting nilai PID adalah waktu respon *Ziegler-Nichols* dan metode performa yang paling baik. Karena cara ini mudah dan bisa mendapatkan nilai yang paling baik.

A. Respon Waktu *Open Loop Ziegler Nichols*

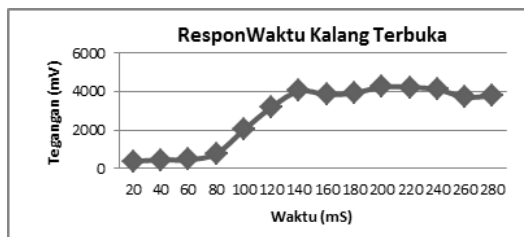
Pada metode Kalang Terbuka *Ziegler Nichols*, tahapan-tahapan pengukuran metode respon waktu ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Pengambilan Data Metode Respon Waktu

Pengujian metode respon waktu dilaksanakan ketika loop terbuka, pengukuran ini dilakukan belum menggunakan algoritma PID. Pengukuran dilakukan hanya pada ADC dan PWM saja. Pengukuran berikutnya dilaksanakan pada rangkaian kontrol beban virtual, karena rangkaian tersebut paling dekat dengan beban virtual, yaitu titik yang akan diperiksa. *Dummy load* tidak dapat diukur karena *dummy load* mengkonsumsi 220 volt sedangkan fungsi osiloskop hanya dapat mengukur tegangan 20 volt. Pengukuran ketiga dilakukan dengan beban utama sebesar 100 watt, karena hasil pengukuran lebih jelas terlihat dengan beban maksimal dibandingkan dengan beban 25 watt.

Hasil pengukuran yang diperoleh dari metode respon waktu pada *loop* terbuka ditunjukkan pada Gambar 8.



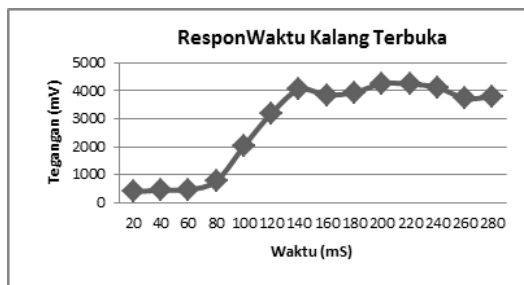
Gambar 8. Diagram Pengukuran Respons Waktu Loop Terbuka

B. Penyetelan PID dengan kinerja paling baik

Prosedur ini diulangi dengan pengujian secara berulang hingga nilai penalaan PID dengan kinerja terbaik tercapai.

2.2. Metode Analisis Data

Pada metode *tuning* PID dengan menerapkan *open loop response time*, diperoleh grafik seperti Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. Diagram pengukuran respons waktu *loop* terbuka dengan penyetelan PID

Dari Gambar 9 dapat digambarkan nilai yang diperoleh yaitu:

$$L = 20\text{ms} = 0,02\text{s}$$

$$T = 60\text{ms} = 0,06\text{s}$$

Menurut hasil yang diperoleh di atas, dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut.

$$G(s) = \frac{4 e^{-0,02s}}{1+0,06s} \dots\dots\dots(2)$$

Parameter *tuning* yang dinunakan pada metode respon waktu kalang terbuka disajikan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Parameter *Tuning* Pada Metode Respon Waktu *Loop* Terbuka

	P	PI	PID
K _p	T/K.L	0,9 T/K.L	1,2 T/K.L
T _i	0	3,3 T	2 L
T _d	0	0	0,5 L

Dari parameter *tuning* menggunakan metode yang disajikan oleh Tabel 1 diperoleh nilai parameter *K_p*, *K_i*, dan *K_d* untuk PID adalah sebagai berikut.

$$K_p = 1,2 \frac{T}{K.L} = 1,2 \frac{0,06}{4 \times 0,02} = 0,9 \dots\dots\dots(3)$$

$$K_i = \frac{1}{T_i} = \frac{1}{2L} = \frac{1}{2 \times 0,02} = \frac{1}{0,04} = 25 \dots\dots\dots(4)$$

$$K_d = T_d = 0,5L = 0,5 \times 0,002 = 0,001 \dots\dots\dots(4)$$

Sehingga persamaan pemerintahan yang ideal adalah.

$$G(s) = 0,9 \left(1 + \frac{1}{0,04s} + 0,001s \right) \dots\dots\dots(2)$$

Nilai-nilai dimasukkan dari persamaan pada Tabel 1 untuk mendapatkan nilai parameter *K_p* = 0,9, *K_i* = 25 dan *K_d* = 0,001. Tahap berikutnya yaitu memasukkan nilai *setting* ke dalam algoritma PID.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sensor tegangan dan frekuensi

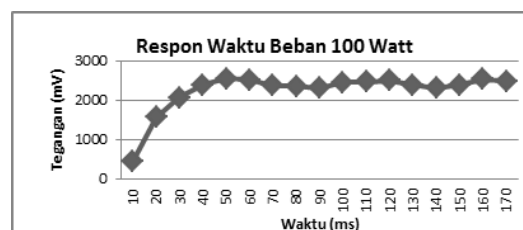
Tahapan pertama dalam melaksanakan pengujian ini adalah mengukur sensor tegangan, operasi ini dilaksanakan saat sistem masih *loop* terbuka tanpa kontrol PID, data yang diperoleh dari hasil pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran sensor tegangan

Beban Utama (Watt)	Beban Semu (Watt)	Tegangan Input (Vac)	Tegangan Output (Vdc)	Frekuensi (Hz)
0	100	296	3,54	56,9
25	75	282	3,35	55,6
50	50	260	3,17	53,5
75	25	237	2,83	51,2
100	0	221	2,6	50

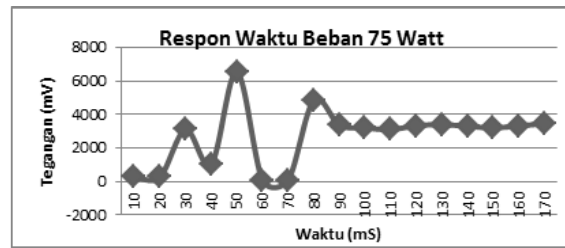
3.2. Waktu respon Waktu respon hasil pengukuran PID metode Ziegler Nichols

Dari hasil *tuning* PID dengan nilai parameter *K_p* = 0.9, *K_i* = 25 dan *K_d* = 0.001, respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 100 watt ditunjukkan oleh Gambar 10.



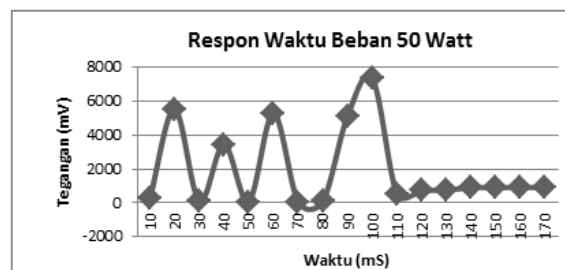
Gambar 10. Kurva respons waktu dengan beban 100W

Respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 75 watt ditunjukkan oleh Gambar 11.



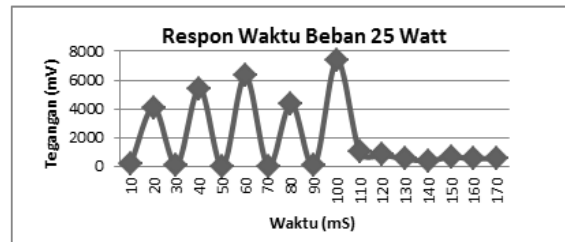
Gambar 11. Kurva respons waktu pada beban 75 W

Respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 50 watt ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Kurva respons waktu pada beban 50 W

Respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 25 watt ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Kurva respons waktu pada beban 25 W

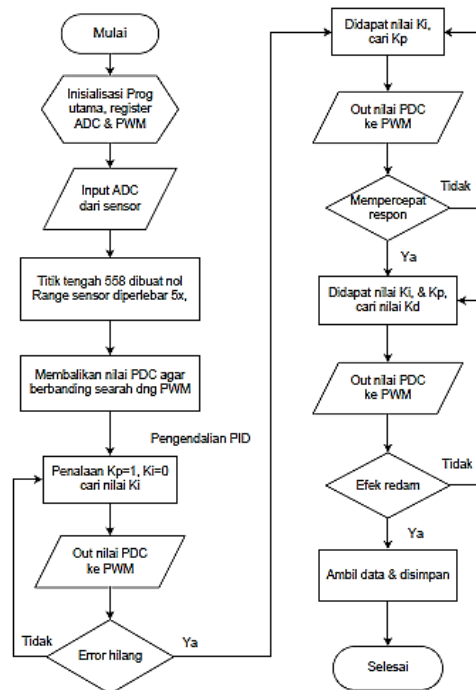
Hasil pengukuran tegangan dan frekuensi pada loop tertutup diperoleh data seperti yang disajikan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran sensor tegangan

Beban Utama (Watt)	Beban Semu (Watt)	Tegangan Generator (VDC)	Frekuensi Generator (Hz)
0	100	235	53
25	75	226	51,3
50	50	222,5	50,5
75	25	218	49,8
100	0	214	48,9

3.3. Sensor tegangan dan frekuensi

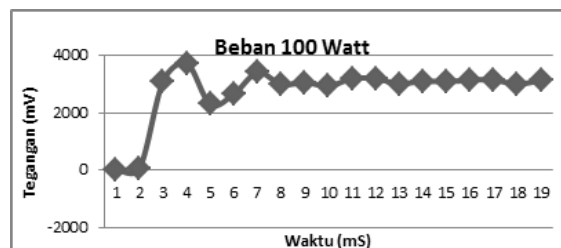
Pada tahap pengujian sensor tegangan dan frekuensi, dilakukan percobaan berulang dengan mengikuti langkah-langkah pada Gambar 14 untuk menentukan konfigurasi PID terbaik:



Gambar 14. Bagan alur penyetelan PID untuk performa terbaik

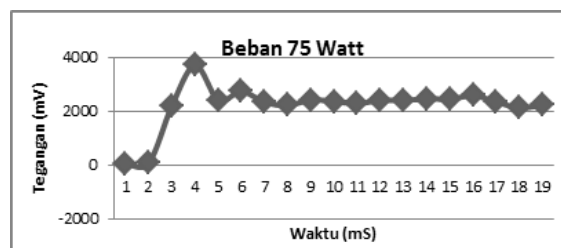
Pengaturan pertama $K_p = 1$, $K_d = 0$, selanjutnya nilai K_i naik turun, Pada saat K_i mendapat nilai, maka terjadi osilasi bahkan ketika nilai yang diberikan sangat kecil, maka $K_i = 0$ diputuskan. Pengaturan kedua adalah pengaturan K_p , dengan $K_i = 0$ dan $K_d = 0$, nilai K_p dinaikkan dan diturunkan untuk mendapatkan hasil yang paling baik yaitu $K_p = 5$. Pengaturan ketiga adalah pengaturan K_d dengan $K_p = 5$ dan $K_i = 0$, K_p dinaikkan dan diturunkan untuk memperoleh respon yang paling baik adalah dengan $K_d = 3$

Dari percobaan tersebut didapatkan nilai $K_p = 5$, $K_i = 0$, $K_d = 3$. Gambar 15 adalah respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 100 watt.



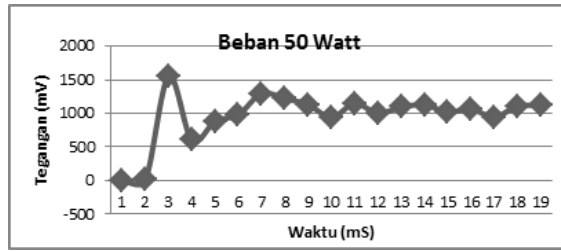
Gambar 15. Performa terbaik untuk beban 100 watt

Respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 75 watt ditunjukkan oleh Gambar 16.



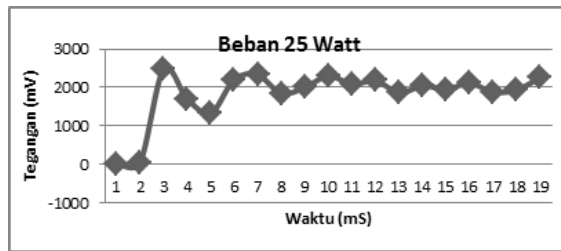
Gambar 16. Performa terbaik untuk beban 75 watt

Respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 50 watt ditunjukkan oleh Gambar 17.



Gambar 17. Performa terbaik untuk beban 50 watt

Respon waktu yang diperoleh saat beban semu sebesar 25 watt ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 18. Performa terbaik untuk beban 25 watt

Hasil dari pengukuran tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Pada Generator

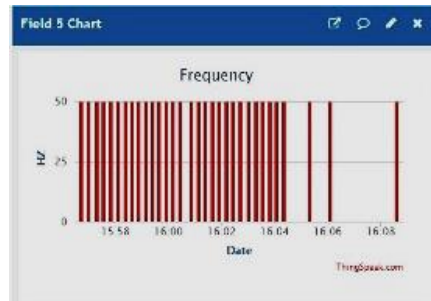
No	Beban Semu (Watt)	Tegangan Generator (VAC)	Frekuensi Generator (Hz)
1	0	220	50
2	25	220	50
3	75	220	50
4	100	220	50

3.4. Tampilan Hasil Pengujian Tegangan dan frekuensi di ThingSpeak

Hasil tampilan dari pengujian tegangan dan frekuensi melalui *ThingSpeak* ditunjukkan pada Gambar 19 berikut.



(a)



(b)

Gambar 19. a. Hasil tampilan dari pengujian tegangan melalui *ThingSpeak*; b. Hasil tampilan dari pengujian frekuensi melalui *ThingSpeak*

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan kendali tegangan dan frekuensi turbin angin dengan kontroler PID, PWM, dengan pengontrol IGC, pengontrol generator bisa dibuat secara otomatis menggunakan Mikrokontroler DSPIC 30F4012 sehingga mudah digunakan baik untuk pemrograman maupun *hardware*. Penentuan setting PID dengan metode *time response* tidak menunjukkan kinerja yang maksimal karena tegangan yang dihasilkan generator tidak bisa stabil pada 220 VAC. Penyesuaian *tunning* PID bertujuan untuk mencapai kinerja yang paling baik untuk memperoleh tegangan keluaran dan frekuensi generator yang stabil pada 220VAC dan 50Hz pada beban dan beban penuh. Sistem IoT yang terintegrasi *web* dan *Thingspeak* dapat menampilkan dan memberikan notifikasi kondisi *real* tegangan dan frekuensi listrik dimana saja dan kapan saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. -Alfariski, M. Dhandi, dan A. Kiswantono, "Automatic Transfer Switch (ATS) Using Arduino Uno, IoT-Based Relay and Monitoring," *JTECS: Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem dan Komputer*, vol. 2, no. 1, hlm. 1, Feb 2022, doi: 10.32503/jtecs.v2i1.2238.
- [2] I. S. Permana, I. Y. C. Arief, I. MT, dan M. T. Suryono, "Rancang bangun pengontrolan beban secara elektronik pada pembangkit listrik," 2010.
- [3] D. K. Palwalia dan S. P. Singh, "Design and implementation of induction generator controller for single phase self excited induction generator," dalam *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Jun 2008, hlm. 400–404. doi: 10.1109/ICIEA.2008.4582547.
- [4] A. Soeprijanto, *Analisa Kestabilan Multi Generator dengan Konsep Mesin Tunggal*. Deepublish, 2018.
- [5] D. Erwanto, T. Sugiarto, dan others, "Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things," *MULTITEK INDONESIA*, vol. 14, no. 1, hlm. 1–12, 2020.
- [6] A. Nurdianto, "Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 09, no. 01, 2020.
- [7] M. A. G. Maureira, D. Oldenhof, dan L. Teernstra, "ThingSpeak—an API and Web Service for the Internet of Things," *World Wide Web*, vol. 25, hlm. 1–4, 2011.
- [8] M. A. A. Razali, M. Kassim, N. A. Sulaiman, dan S. Saaidin, "A ThingSpeak IoT on Real Time Room Condition Monitoring System," dalam *2020 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, Jun 2020, hlm. 206–211. doi: 10.1109/I2CACIS49202.2020.9140127.
- [9] A. Ningsih, O. Wahyunggoro, dan M. Isnaeni, "Kendali Penstabil Frekuensi Dan Tegangan Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro Menggunakan Beban Komplemen Dengan Pengendali Pid Dan Pwm," *ReTHI*, 2014.