

PERBANDINGAN BEBAN MOTOR TERHADAP KECEPATAN RESPON SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR 3 PHASE DENGAN KONTROL PID MENGGUNAKAN METODE TUNING ZIEGLER-NICHOLS

Candra Wahyu Spotyawan, Niyar Candra Agustin, Jefry January Prastya

Universitas Pandanaran

Email: candra.wahyu@unpand.ac.id

Abstrak

Banyak proses di industri yang membutuhkan pengendali PID untuk mengontrolnya. Metode tuning pada pengendali PID yang banyak digunakan yaitu metode tuning Ziegler-Nichols. Tetapi belum dilakukan penelitian tentang seberapa cepat respon sistem ketika beban motor diberikan pada satuan beratnya sehingga dapat diketahui pada batas beban berapa respon sistem masih dapat ditoleransi. Dengan penelitian ini diharapkan mendapatkan data kecepatan respon sistem yang dihasilkan pada pengaturan kecepatan motor dengan pengendali PID menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols pada saat diberikan beban dan juga nilai beban yang diijinkan pada pengaturan kecepatan motor dengan pengendali PID menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols. Pada penelitian ini, proses terkait dengan dua variabel. Variabel yang pertama yaitu variabel nilai pembebanan yaitu 180W, 480W dan 1360W. Sedangkan variabel kedua yaitu nilai kecepatan respon yang merupakan nilai yang didapat dari timer dan oscilloscope. Hasil penelitian ini yaitu kecepatan respon sistem yang dihasilkan pada pengaturan kecepatan motor menggunakan inverter dengan pengendali PID menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols pada saat diberikan beban sangat cepat. Terbukti dari data yang dihasilkan menyatakan waktu respon yang dibutuhkan maksimal 1 detik dan beban yang diijinkan pada pengaturan kecepatan motor menggunakan inverter dengan pengendali PID menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols sesuai dengan tegangan input kontroler dan kapasitas motor yang digunakan.

Kata kunci: *Kecepatan Motor, Kontrol PID, Pengujian Beban*

PENDAHULUAN

Dalam sistem kendali terdapat komponen yang penting dan utama yaitu pengendali. Pengendali sangat penting kedudukannya karena menentukan bagaimana *respons* sistem yang akan dihasilkan. Pengendali berperan dalam memperkecil *error* sistem sehingga didapatkan performansi pada sistem yang diinginkan. Yang utama dalam sistem kendali adalah kriteria sistem yang diinginkan untuk dihasilkan oleh pengendali. Saat ini algoritma pengendali yang digunakan di industri bervariasi seperti Logika Fuzzy, Proporsional Integral Differensial (PID) dan Sistem kecerdasan buatan. Algoritma tersebut digunakan di berbagai aktuator kontrol salah satunya yang sangat penting di industri yaitu pengaturan kecepatan motor dengan inverter.

Banyak penelitian tentang pengendalian motor induksi seperti monitoring and kontrol variable frequency drive menggunakan PLC and SCADA[1]. Beberapa peneliti juga telah melakukan penelitian menggunakan sistem kontrol PID untuk beberapa aplikasi seperti sistem kotak pendingin oleh Mawar Sharon Pua[2]. Selain itu, lebih detail penelitian tentang parameter pada sistem kendali PID juga telah dilakukan penelitian oleh Amiri[3].

Faktor penting pada industri terutama pada industri proses seperti industri makanan, gas, pupuk, minyak dan kimia adalah pada pengendalian variabel-variabel proses. Sistem kendali yang biasa digunakan adalah PID controller. Pada proses pengendalian variable proses tersebut diperlukan proses *tuning*[4].

Metode *tuning* pada pengendali PID yang banyak digunakan yaitu metode *tuning* Ziegler-Nichols. Dengan metode ini dapat dihasilkan nilai parameter Kp, Ti dan Td. Dengan demikian tidak perlu dilakukan *trial and error* untuk mendapatkan nilai-nilai parameter tersebut. Tetapi belum dilakukan penelitian tentang seberapa cepat *respon* sistem ketika beban motor diberikan pada satuan beratnya sehingga dapat diketahui pada batas beban berapa *respon* sistem masih dapat ditoleransi.

TINJAUAN PUSTAKA

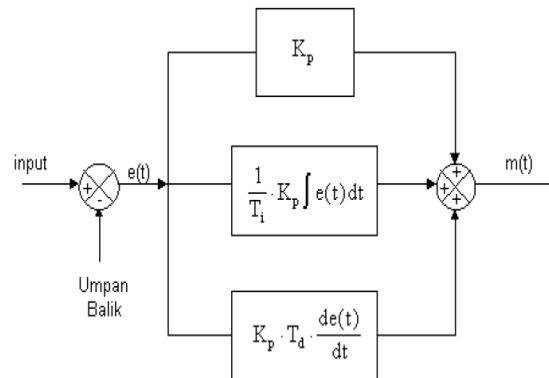
Pada rancangan ini motor yang digunakan yaitu:

No-Load Speed	= 4230 rpm
No-Load Current	= 0,20 A
Konstanta Amplifier (KA)	= 10 N-m/A
Konstanta torsi Motor (KT)	= 9,46 Nm/A
Back-EMF Kosntan (Kb)	= 6,99 (V/krpm)
Torka Beban (TL)	= 3,53 Nm
Momen Inersia (J)	= $1,13 \times 10^{-5}$ kg/m ²
Induktansi jangkar (La)	= 4,10 mH
Resistansi (Ra)	= 4,45 ohm

Dari data tersebut, nilai Transformasi Laplace dapat dicari dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini:

$$T(s) = \frac{\frac{K_T}{JL_a}}{s^2 + s(L_a T_L + J R_a) + (R_a T_L + K_b K_T)}$$
$$T(s) = \frac{\frac{9.46}{4.10 \times 1.13 \times 10^{-5}}}{s^2 + s(4.10 \times 3.53) + (1.13 \times 10^{-5} \times 4.45) + (4.45 \times 3.53 + 6.99 \times 9.46)}$$
$$T(s) = \frac{20403}{s^2 + 14.473s + 81.833}$$
(1)

PID merupakan sistem kontrol yang digunakan pada sistem kontrol *loop* tertutup. Pada kontrol PID, terdapat tiga jenis kontroller yaitu kontrol Proporsional, Integral dan derivatif yang mampy digunakan secara Bersama maupun secara menggunakan salah satu saja tergantung pada Plant dan respon yang diinginkan[5].



Gambar 1. Model Kendali PID[4]

Beberapa penelitian tentang penerapan kontrol PID telah banyak dilakukan seperti pada pengaplikasian kontroler PID pada sistem kontrol level ketinggian air menggunakan MATLAB[6], pengendalian robot roda dua dengan kendali PID[7], PI kontroller untuk pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa[8], sistem kontrol PID untuk mengatur kecepatan motor DC dengan menggunakan mikrokontroller[9] dan lainnya

Pada sistem kendali PID, Masing-masing kontrol memiliki karakteristik sendiri. Pada kendali proporsional. Output sistem kontrol berbanding lurus dengan input dan *error* yang dapat mempercepat respon sistem tetapi akan meningkatkan *overshoot*. Pada kendali integral, output sistem akan berubah cepat seiring dengan perubahan nilai *error* sehingga menghasilkan eooer *steady state* mendekati nol. Kontrol derivatif dapat meredam laju perubahan *error* sehingga menjaga kestabilan sistem.

Pada penggunaan sistem kendali PID, terdapat beberapa metode *tunning* baik dapat dilakukan *tunning* online maupun tidak. Metode *tunning* yang bisa dilakukan yaitu metode Ziegler-Nichols. Langkah *tunning* Ziegler-Nichols yaitu

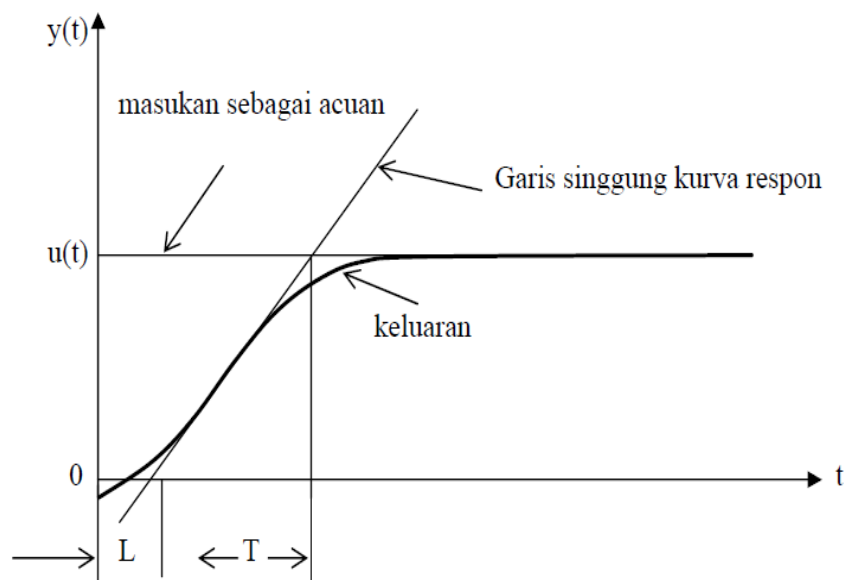
1. Mengatur nilai konstanta gain Integral dan derivatif menjadi nol.
2. Naikan nilai gain proporsional sampai terjadi osilasi yang *steady state* mendekati nilai output yang diinginkan.
3. Tentukan nilai L dan T dengan gambar kurva respon sistem.
4. Tentukan Kp, Ti dan Td dengan table aturan penalaran Ziegler-Nichols.

Tabel 1. Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Didasarkan Pada Respons Tangga

Perbandingan Beban Motor Terhadap Kecepatan Respon Sistem Kendali Kecepatan Motor 3 Phase Dengan Kontrol Pid Menggunakan Metode Tuning Ziegler-Nichols

Tipe Kontroller	K_p	T_i	T_d
P	T/L		0
PI	$0,9(T/L)$	$L/0,3$	0
PID	$1,2(T/L)$	$2L$	$0,5L$

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian seperti Penalaan parameter PID dengan metode Ziegler-Nichols untuk optimasi kontrol kecepatan motor pada alat *spin coater*[10] dan metode Zigler-Nichole merupakan metode *tuning* yang memiliki indeks perfomansi terbaik dibandingkan dengan metode yang lain[11].



Gambar 2. Kurva Respon Unit Tangga[4]

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimen. Dengan cara memberikan beban kepada motor yang berputar dengan kontrol PID. Pemberian beban dilakukan bertahap dan dilihat respon sistemnya. Data yang diambil adalah data kecepatan respon sistem ketika diberi beban untuk kempali ke *set poin* atau kecepatan yang diinginkan. Dalam pelaksanaan penelitian ini secara umum dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

a. Langkah Eksperimen

Eksperimen dilakukan pada motor yang diberikan beban dengan nilai yang telah ditentukan. Setelah itu data diambil dari oscilloscope dan timmer. Data tersebut itulah

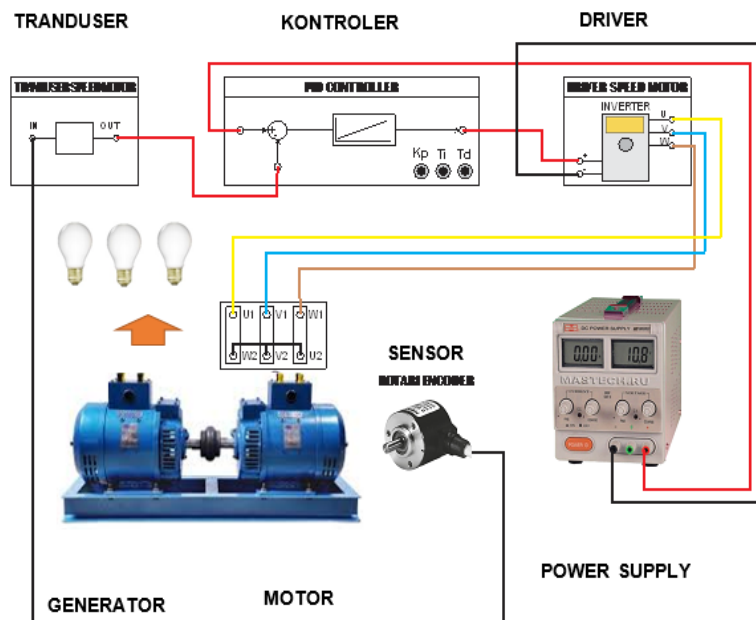
yang nantinya dianalisa untuk diambil suatu kesimpulan Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan alat
- 2) Merakit semua peralatan
- 3) Melakukan proses *tunning*
- 4) Memberikan pembebanan pada motor dengan nilai beban berturut-turut 180W, 480W dan 1360W dan masing-masing dilakukan pengujian 3 kali dengan memeriksa beban dengan *oscilloscope* dan *timmer* untuk memastikan nilai beban akurat
- 5) Catat masing-masing nilai kecepatan respon sistem dari masing-masing nilai beban

b. Desain Eksperimen

Desain eksperimen adalah langkah - langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan supaya data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh, sehingga akan membawa kepada analisa obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan - persoalan yang sedang dibahas[12].

Pada penelitian ini proses terkait dengan dua variabel. Variabel yang pertama yaitu variabel nilai pembebanan yaitu 180W, 480W dan 1360W. Sedangkan variabel kedua yaitu nilai kecepatan respon yang merupakan nilai yang didapat dari *timmer* dan *oscilloscope*. Pengujian pada variabel pertama ini masing-masing dilakukan 7 kali percobaan dengan nilai PID yang berbeda. Jadi jika dijumlahkan seluruh pengujian yaitu berjumlah $7 \times 3 = 21$ pengujian. Datanya pun diambil dari dua alat pengambil data yaitu *timmer* dan *oscilloscope*. Ini dilakukan dengan harapan hasil pengujian akurat.



Gambar 3. Desain Peralatan Testing

c. Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif yaitu mengamati secara langsung hasil eksperimen. Pengambilan data percobaan dari semua parameter beban yang telah

Perbandingan Beban Motor Terhadap Kecepatan Respon Sistem Kendali Kecepatan Motor 3 Phase Dengan Kontrol Pid Menggunakan Metode Tuning Ziegler-Nichols

dilakukan dimasukan kedalam data hasil. Data dirata – rata dari masing – masing percobaan yang dilakukan yang kemudian dibandingkan dengan data yang didapat pada *timmer*. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen dimasukkan ke dalam tabel yang kemudian akan danalisis dan ditarik kesimpulannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, hasil yang dijelaskan akan berhubungan dengan tujuan penelitian ini. Tujuan dalam penelitian ini yaitu mengetahui kecepatan *respon* sistem yang dihasilkan pada pengaturan kecepatan motor dengan pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols pada saat diberikan beban. Selanjutnya, menentukan nilai beban yang diijinkan pada pengaturan kecepatan motor dengan pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols.

A. Hasil *Tunning* dan Pengamatan

Langkah pertama untuk men-*tunning* dengan metode zegler-nicole adalah mengatur konstanta *gain* I dan D menjadi nol, tingkatan terus nilai penguatan P sampai terjadi osilasi yang stabil dan tanpa henti-hentinya (sebisa mungkin mendekati nilai yang diinginkan) pada output. Kemudian critical *gain* Kc(nilai Kp ketika sistem berosilasi terus-menerus secara teratur) dan perioda osilasi tersebut Pc sudah terekam dan nilai P, I dan D

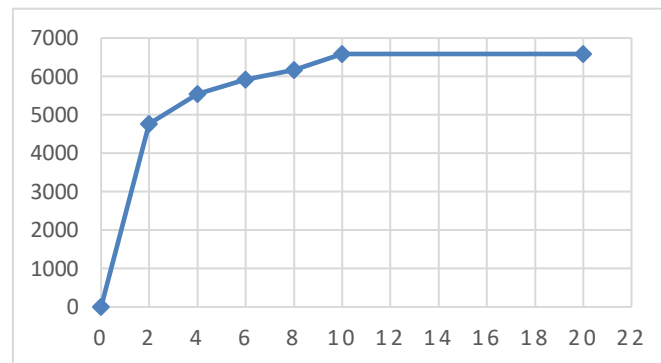
Disini penulis melakukan *tunning* dengan menaikkan nilai *gain* (penguatan) dari nilai 0 sampai menghasilkan respon osilasi. Hasil yang didapatkan yaitu kecepatan motor yang diukur dengan menggunakan *tachometer* dan nilai frekuensi inverter tidak mencapai kecepatan yang diinginkan tetapi frekuensi inverter berbanding lurus dengan penambahan nilai *gain* (Kp) yang diberikan pada sistem. Berikut data yang didapatkan:

Tabel 3. Data Respon Frekuensi Inverter dan Kecepatan Motor saat Kenaikan Nilai *Gain* (Kp)

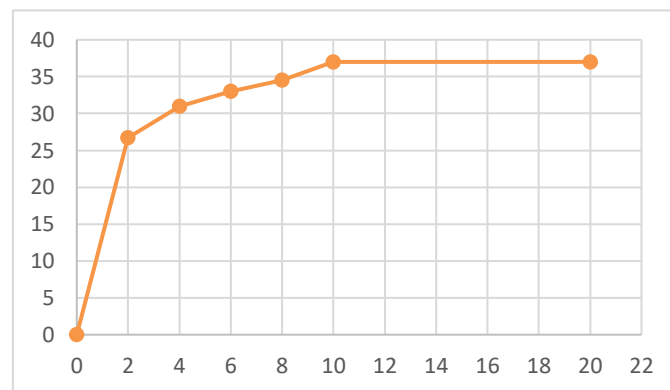
NILAI Kp	NILAI Ti	NILAI Td	WAKTU RESPON AWALAN (s)	SPEED MOTOR (rpm)	FREKUENSI INVERTER
0	0	0	0	0	0
2	0	0	5	4770	26.7
4	0	0	6	5542	31
6	0	0	7	5924	33
8	0	0	7	6163	34.5
10	0	0	7	6585	37
20	0	0	7	6585	37

Dari tabel data respon frekuensi inverter dan kecepatan motor saat kenaikan nilai *gain* (Kp) didapat hasil kecepatan motor akan sama ketika melewati batas nilai *gain* (Kp) 10 dan tidak dihasilkan bentuk grafik osilasi. Ini dibuktikan ketika pengendali PID diberikan nilai penguatan 20 maka nilai frekuensi dari inverter tetap menunjukan nilai

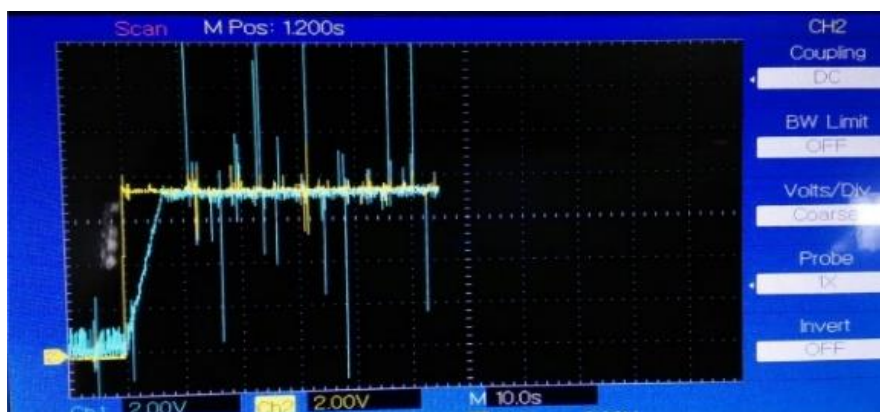
yang sama dengan pada saat diberikan nilai penguatan 10 yaitu sebesar 37 atau pada pengukuran menggunakan *tachometer* menunjukan nilai 6585rpm.



Gambar 4. Grafik Kecepatan Motor Terhadap Perubahan Nilai Kp



Gambar 5. Grafik Frekuensi Inverter Terhadap Perubahan Nilai Kp

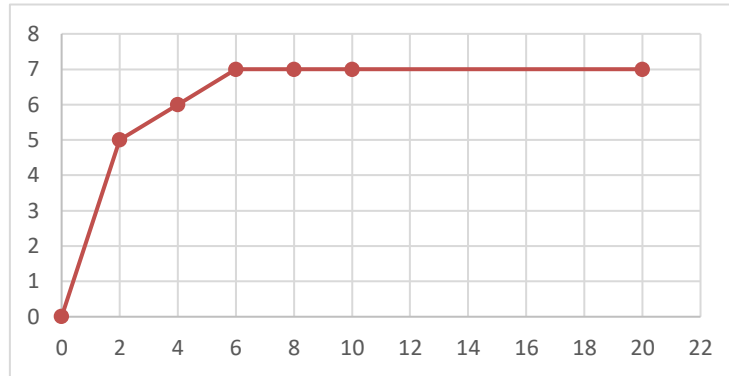


Gambar 6. Grafik Respon Sistem pada Kp=10

Sedangkan waktu respon yang didapatkan adalah ketika nilai penguatan (K_p)=5 menghasilkan waktu respon awalan system 7 detik dan ketika nilai penguatan (K_p) ditambah lagi tetap menghasilkan waktu respon awalan yang sama yaitu 7 detik. Jadi

Perbandingan Beban Motor Terhadap Kecepatan Respon Sistem Kendali Kecepatan Motor 3 Phase Dengan Kontrol Pid Menggunakan Metode Tuning Ziegler-Nichols

maksimal waktu respon awalan sisten untuk pengaturan kecepatan motor 3 phase menggunakan inverter dengan *tunning* zigler Nicole yaitu 7 detik. Respon ini dikarenakan pengaturan kecepatan motor 3 phase menggunakan pengaturan frekuensi inverter. Berikut grafuk data percobaan waktu respon awalan sistem terhadap nilai Kp:



Gambar 7. Grafik Waktu Respon Awal Terhadap Perubahan Nilai Kp

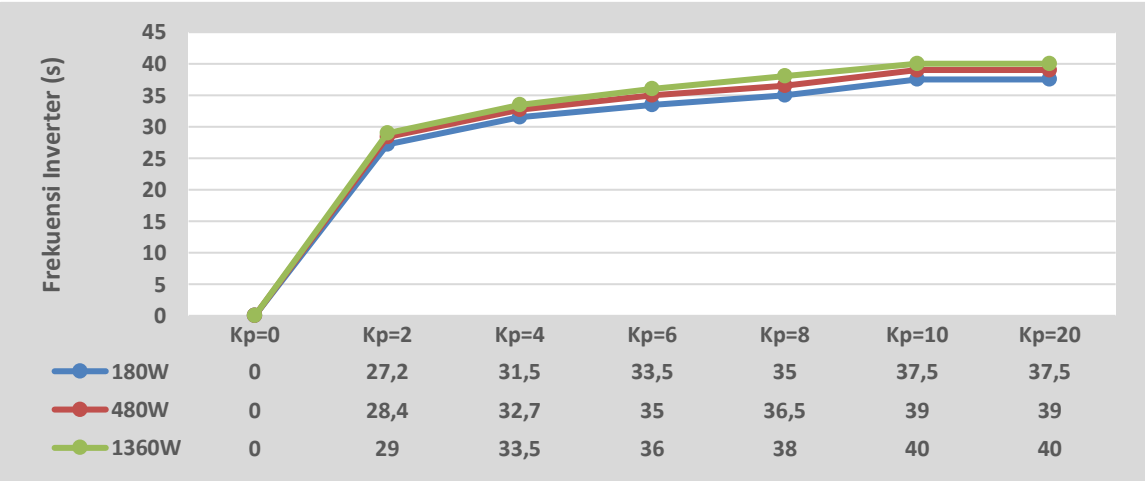
B. Hasil Pengamatan

Setelah proses *tunning* dilakukan, selanjutnya penulis melakukan pengujian terhadap beban yang dalam hal ini menggunakan beban lampu yang dinyalakan dengan putaran generator. Generator tersebut disambung seporos dengan poros motor sehingga putaran motor menggerakkan generator dan selanjutnya menyalakan lampu. Lampu tersebut dirangkai dengan saklar sehingga dapat dihidupkan secara bergantian maupun bersamaan atau bersamaan sebagian. Ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh beban yang diberikan terhadap respon sistem dalam hal ini kecepatan motor yang diukur dengan *tachometer* dan frekuensi inverter. Setelah percobaan dilakukan, didapatkan hasil pengujian seperti berikut:

Table 4. Data Percobaan Beban Terhadap Waktu Respon dan Kecepatan

No	Nilai Kp	Nilai Ti	Nilai Td	Waktu Respon Awal (s)	Speed Motor (rpm)	Frekuensi Inverter	Perubahan Kecepatan Saat Diberi Beban				Waktu Respon
							Beban	Speed Respon (rpm)	Frekuensi Inverter	Kondisi Beban	
1	0	0	0	0	0	0	180W	0	0	REDUP	0
							480W	0	0	REDUP	0
							1360W	0	0	MATI	0
2	2	0	0	5	4770	26.7	180W	4743	27.2	REDUP	0
							480W	4663	28.4	REDUP	0
							1360W	4612	29	REDUP	1
3	4	0	0	6	5542	31	180W	5520	31.5	REDUP	0

							480W	5465	32.7	REDUP	0
							1360W	5418	33.5	REDUP	1
							180W	5905	33.5	REDUP	0
4	6	0	0	7	5924	33	480W	5862	35	REDUP	0
							1360W	5825	36	REDUP	1
							180W	6147	35	REDUP	0
5	8	0	0	7	6163	34.5	480W	6104	36.5	REDUP	0
							1360W	6068	38	REDUP	1
							180W	6566	37.5	TERAN G	0
6	10	0	0	7	6585	37	480W	6552	39	TERAN G	0
							1360W	6536	40	TERAN G	1
							180W	6566	37.5	TERAN G	0
7	20	0	0	7	6585	37	480W	6552	39	TERAN G	0
							1360W	6536	40	TERAN G	1
							180W	6566	37.5	TERAN G	0

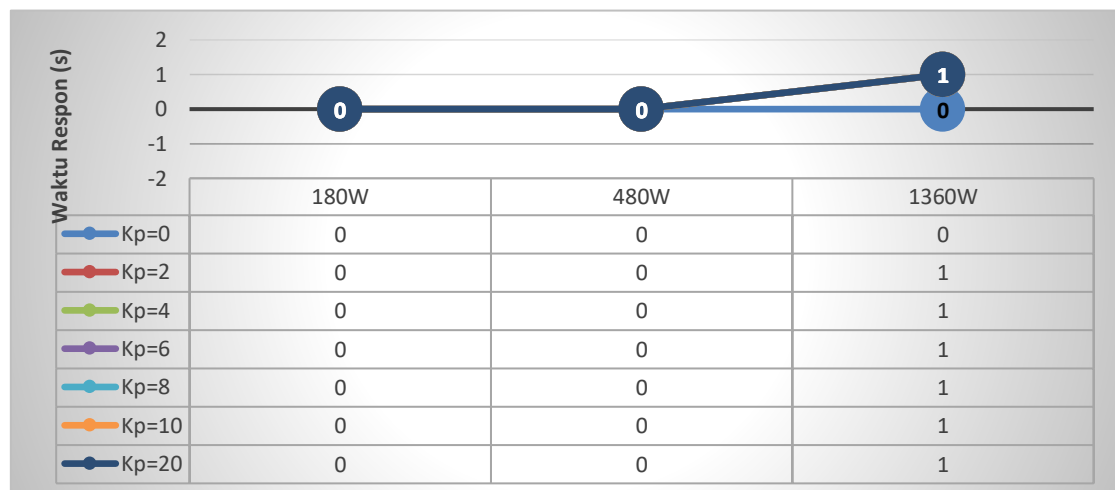


Gambar 8. Grafik Nilai Frekuensi Pada Perubahan Nilai Kp dan Pembebanan

Dari tabel percobaan beban terhadap waktu respond kecepatan motor diatas didapat inlai frekuensi inverter, kecepatan motor dan respon waktu ketika diberi masing-masing nilai pembebanan pada tiap nilai Kp pengujian dari proses *tunning* yang telah

dilakukan. Berdasarkan data yang didapat, pada saat K_p tetap dan beban dinaikan maka frekuensi inverter mengalami kenaikan kecuali pada nilai $K_p=0$ karena pada saat itu motor belum berputar sedangkan kecepatan motor mengalami penurunan kecepatan yang sangat kecil. Ini menandakan bahwa system mengakomodir kenaikan beban dengan menaikkan frekuensi inverter. Pada nilai $K_p \geq 10$ maka hasil dari respon sistem memiliki nilai tetap atau sama. Ini menunjukan nilai K_p yang disarankan agar kecepatan motor mencapai kecepatan yang diinginkan yaitu lebih dari atau sama dengan 10.

Sedangkan waktu respon yang dibutuhkan untuk sistem mengakomodir penambahan beban pada setiap nilai penguatan (K_p) maksimal 1 detik. Ini dikarenakan juga penggunaan inverter pada pengaturan kecepatan motor. Berbeda dengan pengaturan kecepatan motor menggunakan pengaturan tegangan. Pengaturan kecepatan motor menggunakan inverter memiliki waktu respon sistem yang sangat singkat. Ini dibuktikan melalui penelitian ini. Data waktu respon sistem terhadap penaikan beban langsung dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 9. Grafik Waktu Respon Pada Perubahan Nilai K_p Dan Pembebanan

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan respon sistem yang dihasilkan pada pengaturan kecepatan motor menggunakan inverter dengan pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols pada saat diberikan beban sangat cepat. Terbukti dari data yang dihasilkan menyatakan waktu respon yang dibutuhkan maksimal 1 detik.
2. Beban yang diijinkan pada pengaturan kecepatan motor menggunakan inverter dengan pengendali PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols pada input tegangan 7,5V dengan beban 1360W menyala terang pada nilai $K_p \geq 10$ tetapi nilai $K_p \leq 10$ lampu redup sehingga bias disimpulkan beban ijin sesuai dengan tegangan input kontroler dan kapasitas motor yang digunakan.

B. Saran

Adapun saran yang penulis sampaikan setelah melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. *Tunning* PID untuk pengaturan kecepatan motor hanya dilakukan pada parameter gain (Kp) saja dinaikan hingga mencapai kecepatan yang diinginkan
2. Kontroler PID sudah cukup dengan rangkaian penguat sata dan tidak perlu menambahkan rangkaian Integral dan derivative.

Bibliografi

- [1] Soleh Uddin, D. Alia, and D. Suharso, "Monitoring and Control of a Variable Frequency Drive Using Plc and Scada," *J. 7 Samudra*, vol. 8, no. 2, pp. 19–24, 2023, doi: 10.54992/7samudra.v8i2.119.
- [2] M. S. Pua, A. H. J. Ontowirjo, and P. D. K. Manembu, "Studi Perbandingan Kontrol PID dan Metode ON-OFF Pada Sistem Kotak Pendingin Menggunakan Thermoelectric," *J. Teknol. dan Sains*, pp. 1–13, 2019.
- [3] I. S. Amiri, F. J. Rahim, A. S. Arif, S. Ghorbani, and P. Naraei, "Single Soliton Bandwidth Generation and Manipulation by Microring Resonator," *Life Sci. J.*, vol. 10, pp. 904–910, 2013.
- [4] R. D. Setiawan and S. Bapak, *KONTROL PID UNTUK PROSES INDUSTRI*. PT Elex Media Komputindo, 2008.
- [5] K. Ogata and J. W. Brewer, *Modern Control Engineering(5th Edition)*. 2010. [Online]. Available: New York
- [6] S. Rahmani, S. A. Rosana, and G. H. Tian, "Sistem Kontrol Level Air Dengan Pengontrol PID," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 10, no. 2, pp. 174–181, 2023, doi: 10.34010/telekontran.v10i2.9330.
- [7] L. F. Viera Valencia and D. Garcia Giraldo, "PENGENDALIAN ROBOT RODA DUA DENGAN KENDALI PID," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., vol. 2, no. 1, pp. 214–222, 2019.
- [8] S. N. Alima, M. Fauziyah, and D. Dewatama, "PI Controller Untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa," *Avitec*, vol. 2, no. 2, pp. 161–169, 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i2.647.
- [9] S. Sudimanto and K. Kevin, "Perancangan Robot Pemindah Barang Berbasis Line Follower," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7807.
- [10] N. Hamid and A. Mansur, "Penalaan Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols untuk Optimasi Kontrol Kecepatan Motor pada Alat Spin Coater," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, no. September, pp. 315–319, 2021.

- [11] Y. A. K. Utama and T. Tamaji, “Perbandingan Metode Tuning PID pada Pengaturan Kecepatan Parallel Hybrid Electric Vehicle,” *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, 2022, doi: 10.34010/telekontran.v10i1.7411.
- [12] Nana Sudjana, *Penilaian Hasil Belajar Mengajar*, Cet.15. Bandung: Remaja Rosdakarya, 1995. [Online]. Available: https://www.google.co.id/books/edition/Penilaian_hasil_proses_belajar_mengajar/eBTLsgEACAAJ?hl=id