

Simulasi Sistem Kontrol PID *Cohen-Coon* Pada Mesin *Stone Crusher* dengan Motor 1/4HP

Fonda Jiwa Arkananta Tusila¹, Ryan Yudha Adhitya², Mat Syai'in³, Noorman Rinanto⁴, Agus Khumaidi⁵, Dimas Pristovani Riananda⁶, Joko Endrasmono⁷, Isa Rachman⁸, Rizal Indrawan⁹
e-mail: fondajiwa@studen.ppns.ac.id¹, ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id²,
matsyai'in@ppns.ac.id³, aguskhumaidi@ppns.ac.id⁴, dimaspristovani@ppns.ac.id⁵,
jokoendrasmono@ppns.ac.id⁶, isarachman@ppns.ac.id⁷, rizalindrawan@ppns.ac.id⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8}Jurusan Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Indonesia

⁹Jurusan Teknik Desain dan Manufaktur, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 18 Juli 2024

Direvisi 28 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

PID cohen-coon

Transfer function

Motor Induksi 3 Fasa

Matlab

Keywords:

PID cohen-coon

Transfer function

3-Phase Induction Motor

Matlab

Penulis Korespondensi:

Fonda Jiwa Arkananta Tusila,

Jurusan Teknik Otomasi,

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,

Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111.

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada simulasi metode kontrol PID Cohen-Coon untuk pengendalian otomatis mesin crusher batu. Dengan parameter PID yang diperoleh dari metode PID Cohen-Coon yaitu $K_p=0,042$, $K_i=0,365$, dan $K_d=2,47$, mesin crusher diharapkan dapat merespons secara stabil dalam waktu 1 detik setelah terjadi osilasi. Pada simulasi MATLAB, meskipun masih terjadi osilasi pada awalnya, sistem menunjukkan overshoot sekitar 50% dan undershoot sekitar 30%. Metode PID dipilih karena kemampuannya mengontrol sistem secara otomatis dengan mengombinasikan proporsional, integral, dan derivatif dari kesalahan sistem. Hasil simulasi penelitian menunjukkan bahwa pengendalian motor pada mesin crusher dengan metode PID Cohen-Coon memberikan kinerja yang efisien dan stabil, meningkatkan keandalan proses penghancuran batu secara keseluruhan, serta memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pengendalian otomatis untuk industri pemecahan batu koral yang membutuhkan tingkat presisi dan efisiensi yang tinggi.

ABSTRACT

This research focuses on simulating the Cohen-Coon PID control method for the automatic control of a stone crusher machine. With PID parameters obtained from the Cohen-Coon method, namely $K_p=0.042$, $K_i=0.365$, and $K_d=2.47$, the crusher machine is expected to respond stably within 1 second after oscillations occur. In the MATLAB simulation, although there are initial oscillations, the system shows an overshoot of around 50% and an undershoot of about 30%. The PID method was chosen for its ability to automatically control the system by combining the proportional, integral, and derivative of the system error. The simulation results show that motor control in the crusher machine using the Cohen-Coon PID method provides efficient and stable performance, enhancing the overall reliability of the stone crushing process. It also makes a significant contribution to the development of automatic control systems for the stone crushing industry, which requires high levels of precision and efficiency.



Email: fondajiwa@student.ppns.ac.id

1. PENDAHULUAN

Dalam era industri yang terus berkembang, permintaan akan batuan kecil atau kerikil semakin meningkat untuk memenuhi kebutuhan dalam bidang pembangunan dan material konstruksi. Untuk mengatasi permintaan ini, mesin penghancur batu atau stone crusher dibuat.[1] Stone crusher merupakan sebuah alat atau mesin khusus yang dirancang untuk mengubah batuan dari ukuran besar menjadi ukuran yang lebih kecil, sesuai dengan kebutuhan yang spesifik.[2] Mesin ini memainkan peran penting dalam industri konstruksi dengan memproses bahan mentah menjadi produk yang siap digunakan dalam proyek-proyek pembangunan.[3]

Namun, mesin stone crusher yang ada di lapangan saat ini masih belum dapat bekerja dengan optimal. Salah satu contohnya adalah pada produksi batu kerikil menggunakan mesin crusher milik salah satu pengusaha batu kerikil yang ada di Pare.[4] Cara kerja mesin tersebut dimulai dari penampungan batu besar yang kemudian dipindahkan menggunakan konveyor ke crusher pertama atau primary crusher. Setelah hasil dari crusher pertama keluar, batu-batu tersebut dipindahkan ke mesin pengayakan untuk disaring.[5] Batu-batu yang lolos dari pengayakan akan dilanjutkan ke proses penghancuran pada mesin crusher kedua atau secondary crusher.[6]

Pada sistem penghancur batu tersebut, masih terdapat kekurangan dalam hal efisiensi tenaga dan otomatisasi.[7] Efisiensi tenaga yang rendah dapat menyebabkan pemborosan energi dan meningkatkan biaya operasional. Selain itu, kurangnya otomatisasi mengharuskan lebih banyak intervensi manusia dalam proses, yang tidak hanya meningkatkan risiko kecelakaan kerja tetapi juga memperlambat proses produksi secara keseluruhan.[8] Ketidakefisienan ini dapat menghambat kapasitas produksi dan menyebabkan peningkatan waktu henti mesin yang tidak diinginkan.[9]

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kinerja mesin penghancur batu dan mengimplementasikan tingkat otomatisasi yang lebih tinggi pada mesin tersebut dengan penggunaan sensor dan Programmable Logic Controller (PLC).[10] Dengan peningkatan ini, diharapkan mesin penghancur batu dapat beroperasi dengan lebih efisien dan optimal, memaksimalkan penggunaan energi, serta meningkatkan proses produksi secara keseluruhan.[11] Penggunaan sensor akan memungkinkan deteksi otomatis ukuran dan jumlah batu yang masuk, sehingga mesin dapat menyesuaikan proses penghancuran secara real-time. Selain itu, integrasi PLC akan memungkinkan kontrol yang lebih tepat dan terkoordinasi antara berbagai komponen mesin, termasuk konveyor, crusher, dan sistem pengayakan. Dengan demikian, akan terjadi pengurangan waktu henti dan peningkatan kecepatan produksi.[12]

Peningkatan efisiensi ini juga akan berdampak pada pengurangan emisi karbon, sejalan dengan upaya global untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dan mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan industri. Selain itu, otomatisasi dapat memperbaiki konsistensi kualitas produk akhir, memastikan bahwa batu kerikil yang dihasilkan memenuhi standar yang diperlukan untuk berbagai aplikasi konstruksi.[13] Selain aspek teknis, penelitian ini juga mencakup analisis biaya-manfaat untuk memastikan bahwa investasi dalam teknologi baru ini dapat memberikan pengembalian yang signifikan bagi perusahaan. Ini termasuk pengurangan biaya operasional, peningkatan output produksi, dan pengurangan risiko kecelakaan kerja. Dengan kata lain, implementasi teknologi ini tidak hanya akan meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga mengurangi biaya produksi dalam jangka panjang.[14]

Selain itu, penggunaan sistem otomatisasi akan meningkatkan keselamatan kerja, karena pengurangan intervensi manusia dalam proses yang berpotensi berbahaya. Ini akan membantu mengurangi insiden kecelakaan kerja dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan lebih produktif.[15] Dengan kata lain, peningkatan kinerja mesin penghancur batu ini akan membawa manfaat signifikan bagi industri konstruksi, baik dari segi produktivitas maupun keselamatan kerja. Lebih jauh lagi, ini akan memberikan keunggulan kompetitif bagi perusahaan yang mengadopsi teknologi ini, memungkinkan mereka untuk bersaing lebih efektif dalam pasar yang semakin kompetitif.[16]

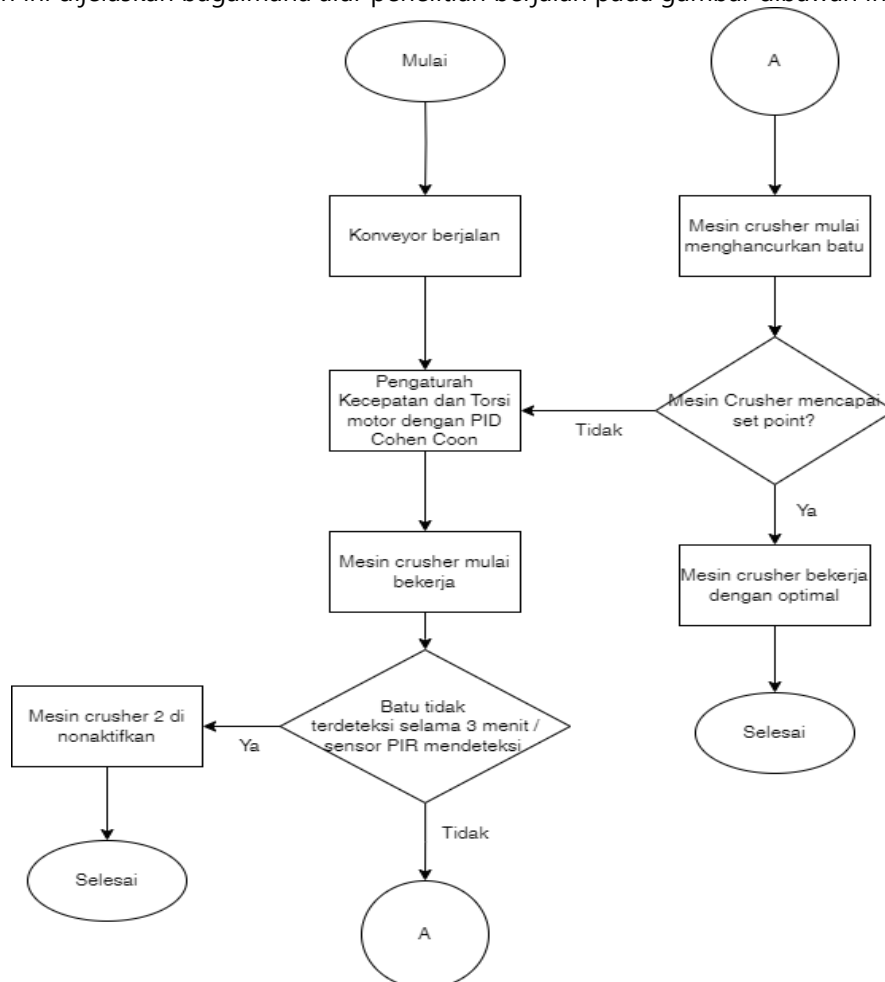
Pada akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan solusi yang inovatif dan praktis bagi industri konstruksi, membantu mereka untuk mengatasi tantangan operasional dan memanfaatkan peluang baru yang muncul



dari kemajuan teknologi. Dengan menggabungkan keahlian teknis dan analisis bisnis yang komprehensif, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan panduan yang berharga bagi implementasi teknologi otomatisasi dalam industri penghancur batu.

2.1 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini dijelaskan bagaimana alur penelitian berjalan pada gambar dibawah ini.

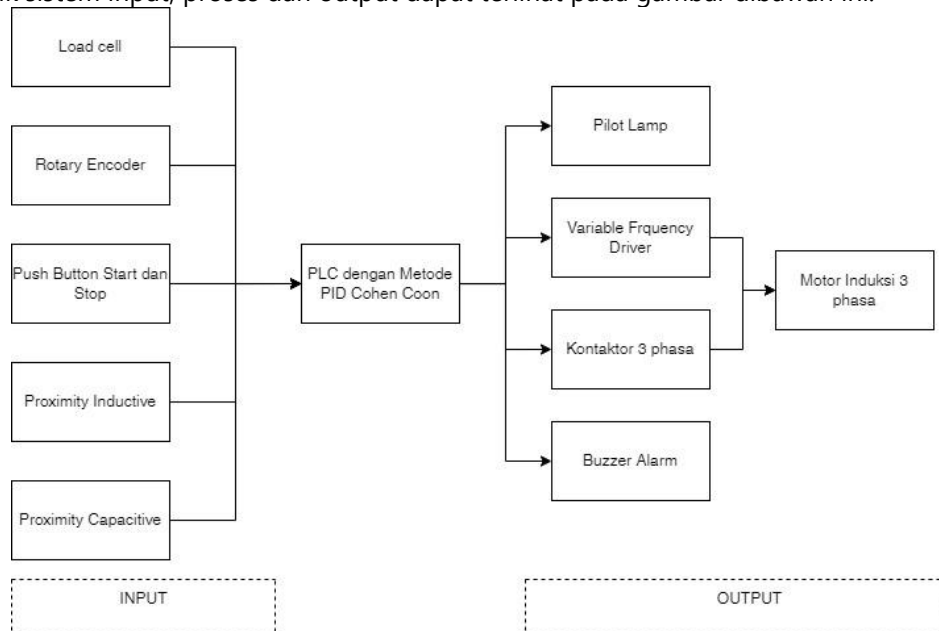


Gambar 1 Blok Diagram Sistem

Tahapan awal dimulai dengan menerima hasil penyaringan dari crusher pertama dengan konveyor, setelah itu batu bergerak dengan konveyor menuju mesin secondary crusher dan mesin stone crusher mulai bekerja. Setelah mesin stone crusher bekerja PLC memberikan instruksi untuk mengatur kecepatan dan torsi motor induksi dengan VFD. Sensor proximity induktif bekerja untuk mendeteksi ada atau tidaknya batu yang masuk kedalam mesin secondary crusher dan sensor proximity capacitive digunakan untuk mendeteksi tangan pekerja jika tidak sengaja masuk ke dalam mesin crusher, jika proximity induktif tidak mendeteksi adanya batu yang masuk selama 3 menit atau sensor proximity capacitive mendeteksi maka mesin secondary crusher secara otomatis di nonaktifkan. Setelah batu masuk kedalam mesin stone crusher, mesin mulai menghancurkan batu dan PLC menstabilkan kecepatan motor induksi menggunakan metode PID cohen coon. Apabila motor sudah stabil dan mencapai setpoint yang telah ditentukan maka mesin crusher bekerja dengan optimal.



Adapun untuk sistem input, proses dan output dapat terlihat pada gambar dibawah ini.



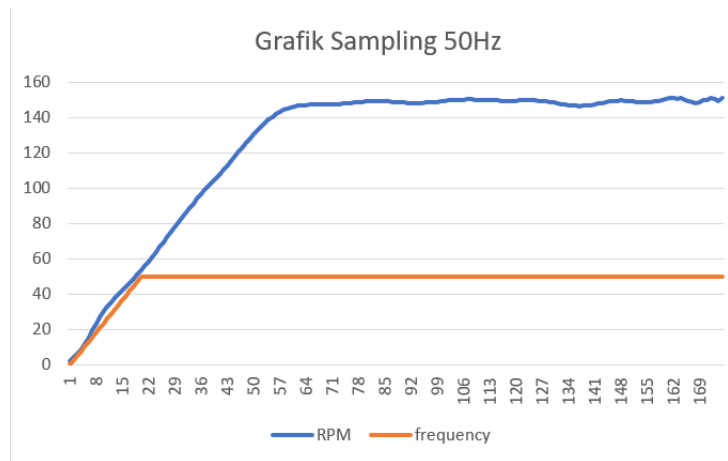
Gambar 2 Blok Diagram Input dan Output

Pada gambar diatas menunjukkan diagram blok sistem penelitian ini, untuk input menggunakan rotary encoder sebagai pendeteksi rpm pada motor, proximity inductive untuk mendeteksi ada atau tidaknya batu yang akan masuk ke dalam mesin crusher, sensor proximity capacitive untuk mendeteksi tangan pekerja yang masuk kedalam mesin crusher, dan push button untuk tombol start dan emergency stop mesin crusher. Lalu pemrosesan dilakukan dengan PLC menggunakan metode PID Cohen Coon untuk mengatur kecepatan dan torsi motor melalui Variable Frequency Driver (VFD), lalu pilot lamp digunakan untuk indikator mesin crusher menyala atau mati.

2.2 Perancangan Transfer Function Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Matlab

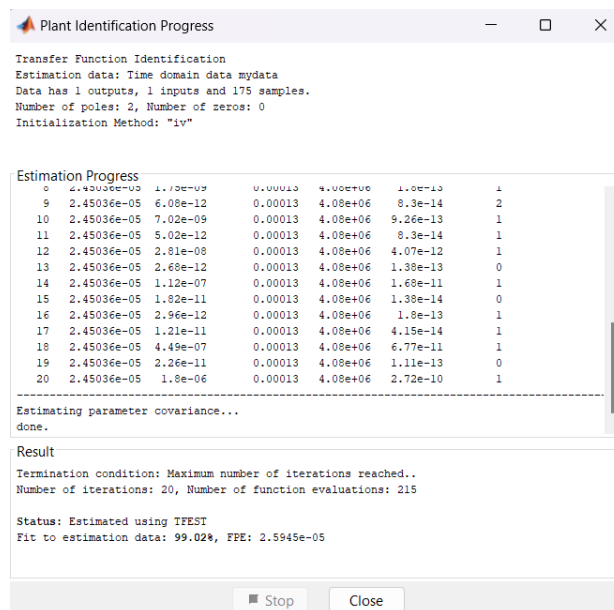
Pada penentuan transfer function, data log sistem open loop diambil dengan memberi input pada sistem dan kemudian mengamati respon outputnya. Dalam kasus ini, pengambilan data log dilakukan dari respon output RPM terhadap input frekuensi dengan sampling setiap 10 ms, dan input frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz. Data log dari respon output pada frekuensi 50 Hz kemudian ditampilkan dalam grafik yang tertera pada Gambar 3 .





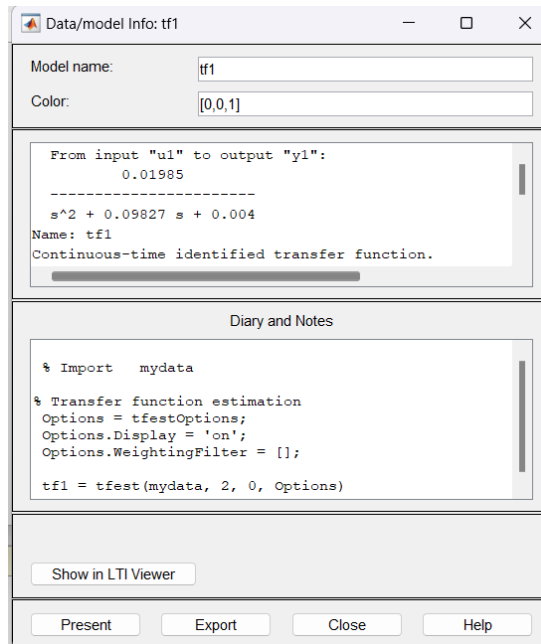
Gambar 3 Grafik Sampling Input dan Output Motor 3 Fasa

Kemudian, dari data log dengan sampling 50 Hz digunakan untuk mencari transfer function dengan menggunakan toolbox System Identification pada MATLAB. Data log ini dianalisis untuk mendapatkan informasi penting tentang respon sistem terhadap input frekuensi. Proses ini melibatkan langkah-langkah seperti mengimpor data log ke MATLAB, prapemrosesan data untuk menghilangkan noise atau anomali, dan menggunakan toolbox System Identification untuk memodelkan sistem.



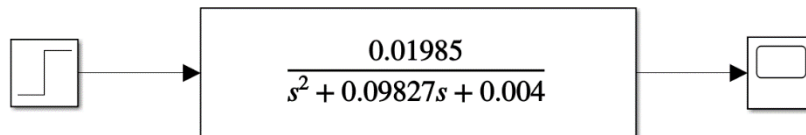
Gambar 4 Proses identification system





Gambar 5 Hasil system identification data log 50Hz

Setelah memperoleh transfer function, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap transfer function tersebut menggunakan Simulink MATLAB dalam kondisi open loop. Pada tahap ini, hasil respon dari transfer function yang telah diperoleh akan diamati dan dianalisis. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa transfer function bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan memberikan respons yang tepat terhadap input yang diberikan.

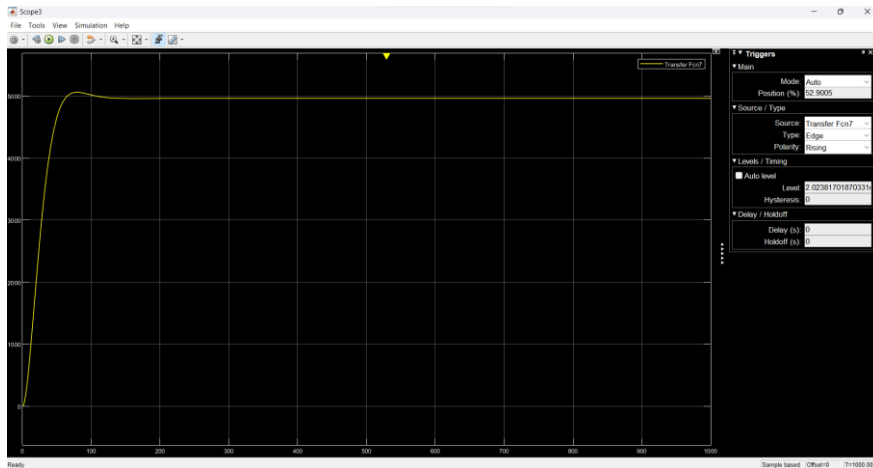


Gambar 6

function di Simulink

Simulasi transfer



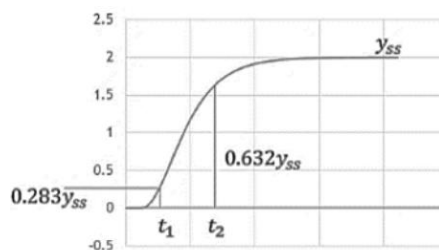


Gambar 7 Hasil respon transfer function open loop

2.3 Perancangan PID Cohen-Coon

Penentuan parameter kontroler PID selalu bergantung pada pemahaman tentang karakteristik yang diatur oleh sistem (Plant). Oleh karena itu, tak peduli seberapa kompleksnya sistem tersebut, perilaku sistem harus dipahami dengan baik sebelum menentukan parameter PID. Karena menyusun model matematik untuk sistem tidaklah sederhana, maka dikembangkan suatu pendekatan eksperimental. Pendekatan ini menggunakan respons sistem terhadap perubahan tertentu. Dengan memanfaatkan pendekatan ini, penyesuaian kontroler PID dapat dilakukan dengan lebih mudah.

Ada beberapa metode untuk menentukan nilai yang digunakan untuk proportional, integral, dan derivative dari parameter kontroler PID. Salah satu dari metode tersebut adalah metode penyetelan Cohen-Coon. Respon sistem dimodelkan menjadi respons orde pertama ditambah waktu mati (dead time) saat terjadi perubahan langkah (step change), menggunakan metode Cohen-Coon (Gambar 3.11). Dari respons ini, ditemukan tiga parameter: K , τ_m , dan τ_d . K merupakan nilai kestabilan output dibagi dengan perubahan langkah input, τ_m adalah konstanta waktu efektif dari respons orde pertama, dan τ_d adalah waktu mati (dead time).



Gambar 8 Cohen Coon Tuning Rule

$$\tau_m = \frac{3}{2}(t_2 - t_1)$$

$$\tau_d = \frac{3}{2}(t_2 - \tau_m)$$

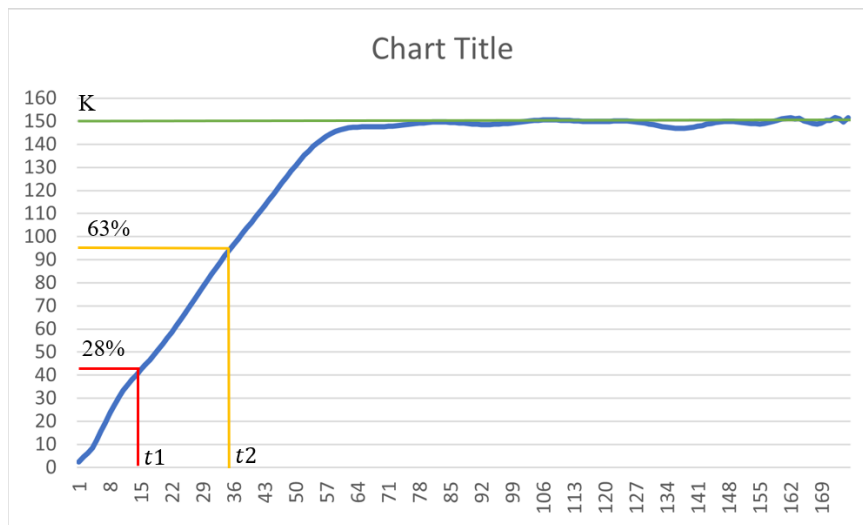


Tabel aturan Cohen-Coon ditampilkan pada Tabel 3.1. Pada aturan Cohen-Coon, waktu mati (dead time) kurang dari dua kali lipat panjang konstanta waktu. Hubungan-hubungan ini dikembangkan secara empiris untuk memberikan respons loop tertutup dengan rasio penurunan (decay ratio) ¼.

Tabel 1 PID Cohen Coon tuning formula

Tipe Kontrol	Kc	Ti	Td
P	$\frac{\tau_m}{Kt_d}(1+\frac{t_d}{3\tau_m})$	-	-
PI	$\frac{\tau_m}{Kt_d}(0.9+\frac{t_d}{12\tau_m})$	$t_d(\frac{30+3t_d/\tau_m}{9+20t_d/\tau_m})$	-
PD	$\frac{\tau_m}{Kt_d}(1.25+\frac{t_d}{6\tau_m})$	-	$t_d(\frac{6-2t_d/\tau_m}{22+3t_d/\tau_m})$
PID	$\frac{\tau_m}{Kt_d}(1+\frac{t_d}{3\tau_m})$	$t_d(\frac{32+6t_d/\tau_m}{13+8t_d/\tau_m})$	$t_d(\frac{4}{11+2t_d/\tau_m})$

Penentuan parameter PID dilakukan dengan melihat grafik perubahan dari output dengan set point 150 RPM, lalu memasukkan rumus tuning metode cohen coon yang ada pada table diatas.



Gambar 9. Nilai K, t1, dan t2

- $t1 = 0,15s$
- $t2 = 0,35s$
- $K = 150$



- $tm = \frac{3}{2} (t2 - t1)$
 $= \frac{3}{2} (0,35 - 0,15)$
 $= 0,3$
- $td = t2 - tm$
 $= 0,05$

1. Perhitungan Parameter PID

- **Kp** $= \frac{tm}{Ktd} (1 + \frac{td}{3tm})$
 $= \frac{0,3}{7,5} (1 + \frac{0,05}{0,9})$
 $= 0,042$
- **Ti** $= td (\frac{32+6td/tm}{13+8td/tm})$
 $= 0,05 (\frac{32+0,3/0,3}{13+0,4/0,3})$
 $= 0,115$
- **Ki** $= \frac{Kp}{Ti}$
 $= 0,365$
- **Td** $= td (\frac{4}{11+2td/tm})$
 $= 0,05 (\frac{4}{11+0,1/0,3})$
 $= 0,017$
- **Kd** $= \frac{Kp}{Td}$
 $= \frac{0,042}{0,017}$
 $= 2,47$

2. Perhitungan Parameter PI

- **Kp** $= \frac{tm}{Ktd} (0,9 + \frac{td}{12tm})$
 $= \frac{0,3}{7,5} (0,9 + \frac{0,05}{3,6})$
 $= 0,0365$



$$\begin{aligned} \bullet \quad T_i &= td \left(\frac{30+3td/tm}{9+20td/tm} \right) \\ &= 0,05 \left(\frac{30+0,15/0,3}{9+1/0,3} \right) \\ &= 0,123 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_i &= \frac{K_p}{T_i} \\ &= 0,296 \end{aligned}$$

3. Perhitungan parameter PD

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_p &= \frac{tm}{Ktd} \left(1,25 + \frac{td}{6tm} \right) \\ &= \frac{0,3}{7,5} \left(1,25 + \frac{0,05}{1,8} \right) \\ &= 0,051 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_d &= td \left(\frac{6-2td/tm}{22+3td/tm} \right) \\ &= 0,05 \left(\frac{6-0,1/0,3}{22+0,15/0,3} \right) \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

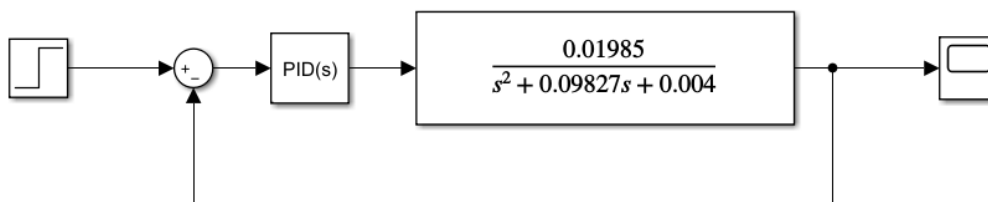
$$\begin{aligned} \bullet \quad K_d &= \frac{K_p}{T_d} \\ &= \frac{0,051}{0,013} \\ &= 3,92 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat ditemukan beberapa parameter PID yaitu konstanta proporsional, time integral, konstanta integral, time derivatif, dan konstanta derivatif. Hasil dari perhitungan diatas diperoleh nilai Kp sebesar 0,042, Ti sebesar 0,115s, Ki sebesar 0,365, Td sebesar 0,017s, dan Kd sebesar 2,47.



2. HASIL DAN PEMBAHASAN

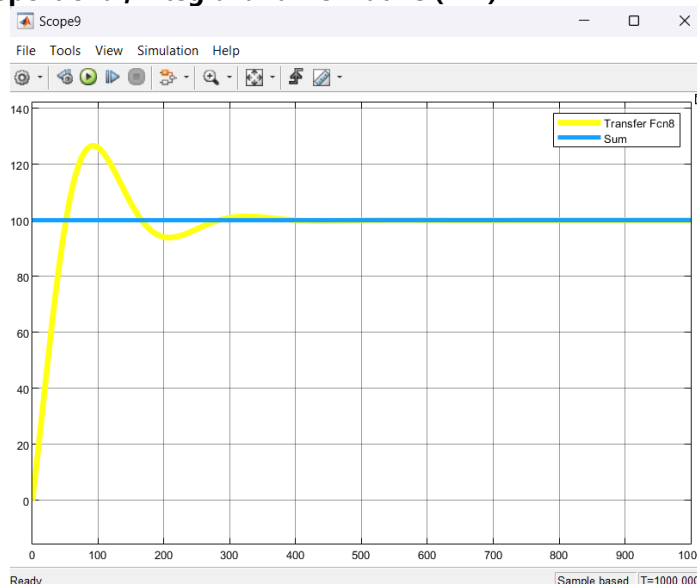
3.1 Simulink



Gambar 10 Model simulink pengujian sistem

Pada Gambar diperlihatkan model sistem Simulink yang digunakan untuk pengujian. Model ini memanfaatkan beberapa blok fungsi. Pertama, blok "Step Response" berfungsi untuk memodelkan respons sistem terhadap sinyal masukan berbentuk langkah. Kemudian, blok "Sum" digunakan untuk melakukan operasi penambahan atau pengurangan pada beberapa sinyal masukan. Blok "PID" berperan dalam menerapkan kontrol PID dalam model Simulink dengan mengatur parameter seperti KP, KI, dan KD. Selain itu, terdapat blok "Transfer Function" yang digunakan untuk merepresentasikan fungsi transfer sistem dalam domain Laplace. Terakhir, blok "Scope" berfungsi untuk menampilkan hasil simulasi dalam bentuk grafik.

3.2 Pengujian kontrol Proportional, Integral and Derivative (PID)

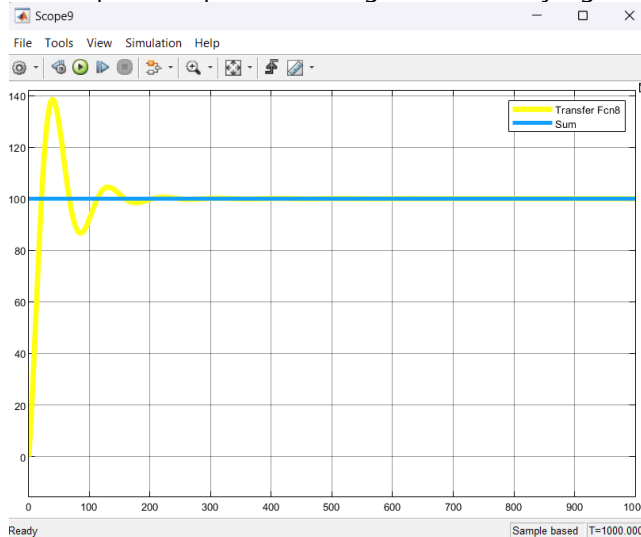


Gambar 11 Grafik Simulink PID dengan set point 100

Pada Gambar 12 ditampilkan grafik respons sistem dengan set point 100. Sistem mengalami osilasi pada awal pengujian dengan overshoot sebesar 26% dan undershoot sebesar 6%, serta rise time 97 detik. Sistem mencapai keadaan tunak pada detik ke-348 dan tetap stabil meskipun terdapat osilasi pada variasi input. Grafik menunjukkan

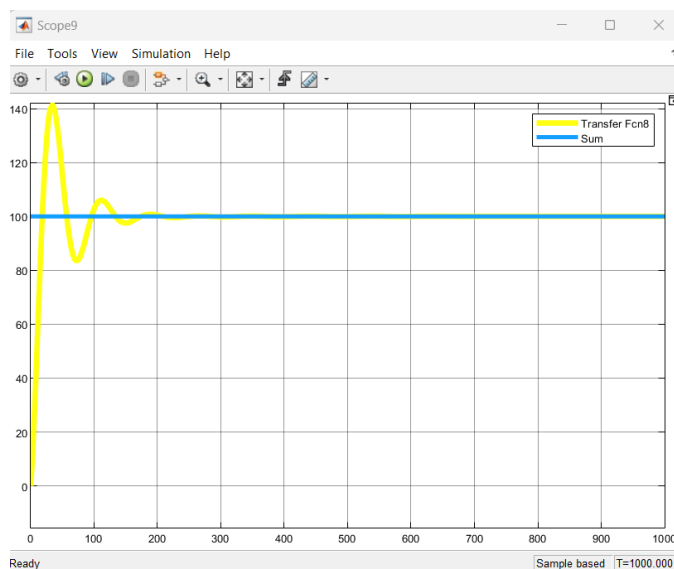


bahwa sistem memiliki kinerja baik, karena mampu mencapai set point dengan cukup cepat dan stabil. Meskipun ada overshoot dan undershoot awal, sistem berhasil stabil dalam waktu singkat. Ini menunjukkan bahwa parameter PID telah dioptimalkan dengan baik, memungkinkan sistem merespons perubahan input secara efektif dan mempertahankan performa yang diinginkan. Kestabilan sistem meskipun ada osilasi menunjukkan bahwa kontrol PID berhasil menjaga sistem pada nilai set point tanpa fluktuasi signifikan dalam jangka waktu yang panjang.



Gambar 12 Grafik simulink PI dengan set point 100

Pada Gambar 13 ditampilkan grafik respons system dengan control PI dengan set point 100. Terlihat bahwa sistem mengalami osilasi dengan overshoot sebesar 39.12% dan undershoot sebesar 16.32%, dengan rise time 48 detik. Sistem mencapai keadaan tunak (steady state) pada detik ke-201 dan tetap stabil meskipun terdapat osilasi pada variasi input. Analisis grafik ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang cepat mencapai setpoint daripada control PID, namun mengalami overshoot dan undershoot lebih besar dari control PID. Kontrol PI dapat dikatakan lebih baik daripada PID tergantung dari plant yang akan dipakai untuk control ini. Jika plant yang membutuhkan rise time yang cepat, control PI mungkin pilihan yang cocok untuk plant tersebut.



Gambar 13 Grafik simulink PD dengan set point 100



Pada Gambar 14 ditampilkan grafik respons system control PD dengan set point 100. Terlihat bahwa sistem mengalami osilasi dengan overshoot sebesar 41.23% dan undershoot sebesar 18.34%, dengan rise time 35 detik. Sistem mencapai keadaan tunak (steady state) pada detik ke-185 dan tetap stabil meskipun terdapat osilasi pada variasi input. Analisis grafik ini menunjukkan bahwa sistem ini dapat mencapai steady state lebih cepat daripada control PID dan PI, namun memiliki overshoot dan undershoot lebih besar daripada kedua control sebelumnya. Kontrol PD dapat digunakan untuk plant yang membutuhkan steady state yang cepat tanpa memedulikan overshoot dan undershoot yang besar.

3.3 ANALISA HASIL

Analisis ketiga grafik respons sistem menunjukkan bahwa kontrol PID, PI, dan PD masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri. Sistem dengan kontrol PID menunjukkan kinerja yang baik dengan overshoot 26%, undershoot 6%, rise time 97 detik, dan mencapai steady state pada 348 detik, menunjukkan stabilitas yang baik meskipun terdapat osilasi awal. Sistem dengan kontrol PI mencapai set point lebih cepat dengan rise time 48 detik dan mencapai steady state pada 201 detik, tetapi dengan overshoot 39.12% dan undershoot 16.32%, yang lebih besar dibandingkan PID. Kontrol PD memiliki rise time tercepat yaitu 35 detik dan mencapai steady state pada 185 detik, tetapi dengan overshoot 41.23% dan undershoot 18.34%, yang terbesar di antara ketiganya. Kontrol PID menawarkan keseimbangan antara stabilitas dan kecepatan, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan stabilitas jangka panjang. Kontrol PI cocok untuk plant yang membutuhkan waktu naik cepat meskipun ada overshoot dan undershoot yang lebih besar. Kontrol PD dapat digunakan untuk plant yang memprioritaskan kecepatan mencapai steady state dengan asumsi bahwa fluktuasi awal yang besar dapat ditoleransi. Pemilihan kontrol harus mempertimbangkan kebutuhan spesifik dari plant, termasuk toleransi terhadap overshoot dan undershoot serta kebutuhan terhadap waktu naik dan stabilitas jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Kontrol PID Cohen-Coon dipilih untuk sistem plant stone crusher karena memiliki overshoot dan undershoot yang lebih kecil dibandingkan dengan kedua kontrol lainnya. Plant stone crusher memerlukan overshoot dan undershoot yang minimal untuk menjaga kestabilan operasi dan menghindari kerusakan mekanis akibat fluktuasi yang berlebihan. Oleh karena itu, kontrol PID yang mampu menawarkan keseimbangan antara respons cepat dan stabilitas tinggi menjadi pilihan yang paling tepat untuk plant ini. Kontrol PID Cohen-Coon memberikan kemampuan pengaturan yang lebih halus dan presisi, memastikan bahwa plant stone crusher dapat beroperasi dengan efisiensi maksimal tanpa mengalami gangguan yang signifikan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada pembimbing saya dalam mengerjakan jurnal ini yaitu pak mat, pak ryan dan pak noorman yang selalu membantu saya dalam menyelesaikan penelitian saya ini, dan tak lupa juga saya ucapkan terima kasih pada teman-teman saya yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini dan tidak dapat saya sebut satu persatu, tanpa bantuan mereka semua, penelitian ini tidak akan berhasil. Semoga kebaikan dan bantuan dari mereka semua dapat dibalaskan dengan kesuksesan dan kebahagiaan selalu, amin. Sekian dan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ambabunga, Y. (2020). PENINGKATAN EFFISIENSI KERJA MOTOR INDUKSI 3 PHASA (PENGUJIAN KARAKTERISTIK MOTOR INDUKSI 3 PHASA) (Nomor 1).
- [2] Anuar, K., Herisiswanto, H., & Fahrizqa, A. (2022). Study of Vibrating Screen Machine Damage in Stone Crusher and Its Effect on Production Loss in Cement Factory. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 75–84. <https://doi.org/10.46574/motivection.v5i1.133>
- [3] Anuar, K., & Nur Kholizah, M. (2023). Efisiensi mesin pemecah batu split (stone crusher) dan pengaruhnya terhadap kerugian (losses) produksi. <https://doi.org/10.24127/trb.v12i1.2084>.
- [4] Aribowo, D., & Puspitasari, F. (2019). ANALISIS PERANCANGAN PROGRAM PLC SCHNEIDER TM221CE24R PADA SISTEM PEMINDAH BARANG OTOMATIS. 6(1). <https://oceancontrols.com.au/IBS-1181.html>.



- [5] Ariya Arsyad, Listiana, R., & Arsyad, A. (2023). RANCANG BANGUN PEMECAH BATU BERBASIS PLC (Vol. 17, Nomor 1)..
- [6] Aswad Alfian, M. M., Fitriati, A., Mustafa, S., & Studi Teknik Listrik Politeknik Bosowa, P. (2023). PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI DALAM SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD) TERHADAP ARUS KUMPARAN MOTOR. *Journal Of Electrical Enginering (Joule)*, 4(2)..
- [7] Bodke, S., Patil, D., & Salgar C , N N Ghuge D, R. (2020). International Conference on Communication and Information Processing Application of VFD For Three Phase Induction Motor. <https://ssrn.com/abstract=3645305>.
- [8] Bosowa, P., Muhammad, U., Mansur, A., Aditya Bachri Maulana, M., Studi Teknik Listrik, P., & Bosowa Jl Kapasa Raya, P. (2021). Rancang Bangun Power Supply Adjustable Current pada Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik. *Journal Of Electrical Enginering (Joule)*, 2(2).
- [9] Danindra Riski, M., Teknik Pesawat Udara, J., & Penerbangan Surabaya Jl Jemur Andayani, P. I. (2019). RANCANG ALAT LAMPU OTOMATIS DI CARGO COMPARTMENT PESAWAT BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN PUSH BUTTON SWITCH SEBAGAI PEMBELAJARAN DI POLITEKNIK PENERBANGAN SURABAYA..
- [10] Irawan, D., & Perdana SS, P. (2020). Kontrol Motor Brushless DC (BLDC) Berbasis Algoritma AI - PID. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, 2(1), 41–48. <https://doi.org/10.32528/elkom.v2i1.3146>.
- [11] Irfan, M., Anwar, S., Murti, M. A., Mukhtar, H., & Si, S. (2020). PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN SENSOR ROTARY ENCODER BERBASIS IoT DESIGN LANDSLIDE DETECTION SYSTEM WITH ROTARY ENCODER SENSOR BASED ON IoT.
- [12] Juliansyah, A., & Nadiani, D. (2021). Sistem Pendeteksi Gerak Menggunakan Sensor PIR dan Raspberry Pi (Motion Detection System Using PIR Sensors and Raspberry Pi). 2(4), 199–205.
- [13] Lumban Batu, F., Hutabarat, J., & Tua Pangihutan Sibarani, M. (2019). PERANCANGAN MESIN PEMECAH BATU DOLOMIT KAPASITAS 500 KG/JAM. 8(2).
- [14] Mohammad Syafri, H. D. S. A. T. N. (2022). Sistem Monitoring Air Compressor pada Sistem Pendistribusian Udara Berbasis IoT. <https://doi.org/10.47709/elektriase.v12i2.1685>.
- [15] Nugraha, R. B., Saragih, Y., Nurpulaela, L., Karawang, S., Ronggo Waluyo, J. H., Timur, T., & Karawang, K. (2021). Implementasi Sensor Proximity Kapasitif Pada Alat Pemberian Pakan Ayam Otomatis.
- [16] Susanto, M. F., Azam, M., Mahendra, G., Nugraha, A. T., & Anggraeni, R. D. (2020). Prosiding The 11 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung.

