

Kontrol Kecepatan Motor Pada Prototype Lift Barang Berdasarkan Berat Beban Menggunakan Metode PID

Dewi Ayu Masitah¹, II Munadhif², Adianto³, Noorman Rinanto⁴, Ryan Yudha Adhitya⁵, Khoirul Hasin⁶
e-mail: dewiayu@student.ppns.ac.id, iimunadhif@ppns.ac.id, adianto@ppns.ac.id,
noorman.rinanto@ppns.ac.id, ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id, khoirul.hasin@ppns.ac.id

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

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 22 Juni 2024

Direvisi 29 Juli 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Beban Motor
Kecepatan Motor DC
Lift
PID

ABSTRAK

Penelitian ini dipicu oleh masalah yang sering terjadi pada lift barang di industri tertentu, di mana lift sering mengalami error dan berhenti tiba-tiba. Penyebab utamanya adalah kelebihan beban yang menyebabkan overload, sehingga putaran motor menjadi tidak stabil. Kelebihan beban ini tidak hanya mengganggu operasional lift tetapi juga berpotensi merusak komponen. Oleh karena itu, tujuan utama penelitian ini adalah mendeteksi jumlah beban dan memberikan batasan beban agar kapasitas angkut tetap dalam batas maksimum yang aman, serta mencegah terjadinya kelebihan beban yang dapat merusak motor. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menstabilkan kecepatan motor dengan mengimplementasikan metode PID sebagai pengontrol kecepatan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem lift barang. Solusi yang diajukan melibatkan pembuatan prototipe lift barang dengan penambahan sensor *loadcell* sebagai detektor berat dan pembatas beban. Sensor *loadcell* ini akan memonitor berat beban yang diangkut oleh lift dan memberikan umpan balik kepada sistem kontrol. Metode PID diterapkan sebagai pengontrol kecepatan motor, memastikan agar lift dapat beroperasi dengan kecepatan yang stabil meskipun terjadi variasi beban. Dengan integrasi sensor *loadcell* dan metode PID, sistem diharapkan dapat secara efektif mendeteksi jumlah beban, memberikan batasan beban, dan menjaga kecepatan motor agar tetap stabil. Hal ini diharapkan dapat mengurangi risiko kelebihan beban, serta meningkatkan keamanan dan kinerja lift barang secara keseluruhan. Selain itu, sistem ini juga diharapkan dapat membatasi beban dan agar lift tetap *safety*, sehingga akan lebih baik dalam manajemen pemeliharaan. Hasil dari penerapan PID didapatkan nilai $K_p=6.6617$ $K_i=3.1129$ $K_d=3.564$ yang dapat diterapkan pada *hardware* sebagai pembatas lift agar tidak *overspeed*. Pada penelitian kali ini, penerapan PID tidak dapat mencapai *Setpoint* dikarenakan lift tidak bersifat kontinu.

Keywords:

Motor Load
Motor Speed
Elevator
PID

ABSTRACT

This research was triggered by a problem that often occurs in freight elevators in certain industries, where the elevator often experiences errors and stops suddenly. The main cause is overload that causes overload, so that the motor rotation becomes unstable. This overload not only disrupts elevator operations but also has the potential to damage components. Therefore, the main objective of this research is to detect the amount of load and provide load limits so that the transport capacity remains within safe maximum limits, as well as prevent overloads that can damage the motor. In addition, this research also aims to stabilize the motor speed by implementing the PID method as a speed controller, so as to improve the efficiency and reliability of the freight elevator system. The proposed solution involves building a prototype freight elevator with the addition of a loadcell



sensor as a weight detector and load limiter. This loadcell sensor will monitor the weight of the load being transported by the elevator and provide feedback to the control system. The PID method is applied as a motor speed controller, ensuring that the elevator can operate at a stable speed despite load variations. With the integration of the loadcell sensor and PID method, the system is expected to effectively detect the amount of load, provide load limitation, and keep the motor speed stable. This is expected to reduce the risk of overloading, as well as improve the overall safety and performance of the freight elevator. In addition, the system is also expected to limit the load and keep the elevator safe, so that it will be better in maintenance management. The results of the PID application obtained the value of $K_p = 6.6617$ $K_i = 3.1129$ $K_d = 3.564$ which can be applied to hardware as an elevator limiter so as not to overspeed. In this research, the application of PID cannot reach the Setpoint because the elevator is not continuous.

Penulis Korespondensi:

Dewi Ayu Maasitah,
Progam Studi Teknik Otomasi,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo No. 9, Jawa Timur, Indonesia, 60111
Email: dewiayu@student.ppons.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62 856-08749427

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin pesat dengan diiringi berkembangnya jaman khususnya pada dunia industri. Beberapa teknologi yang harus diperhatikan pada industri yaitu sistem kendali dan sistem kontrol. Sistem kontrol merupakan proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran [1]. Dalam penelitian kali ini, akan dilakukan pengendalian kecepatan motor pada *lift* barang. *Lift* barang merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lain atau dari lantai ke lantai lainnya yang dilakukan secara vertikal dengan menggunakan seperangkat mekanik untuk *support* gerak *lift* ke atas dan ke bawah.[2] *Lift* merupakan salah satu alat yang aman dan efisien dalam proses pengangkutan barang yang memiliki beban berlebih dari tempat rendah ke tempat yang lebih tinggi. [3]

Penulis menemukan permasalahan dari hasil pengamatan di lingkungan industri yaitu pada *lift* barang sering terjadi *error* yang mengakibatkan *lift* tiba-tiba berhenti. Hal tersebut disebabkan oleh kelebihan berat beban sehingga dapat menyebabkan *Overload* sehingga akan mempengaruhi kecepatan motor. Pada penelitian kali ini sistem dibuat dengan menggunakan driver motor sebagai pengontrol kecepatan, *loadcell* atau sensor berat yang mendeteksi sekaligus membatasi berat barang yang akan di angkut, dan *Proximity* sebagai sensor posisi untuk mendeteksi keberadaan keranjang lift [4] . Pada penelitian ini mengimplementasikan metode PID Untuk kestabilan kecepatan putaran motor.

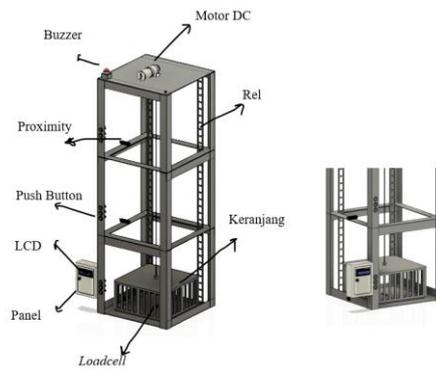
Sistem kontrol PID merupakan suatu pengontrol yang dapat membandingkan nilai terukur dari suatu proses dengan nilai yang diinginkan dan nantinya akan memproses sinyal *error* yang dihasilkan untuk mengubah beberapa *input* ke proses, sedemikian rupa sehingga proses tetap pada *setpoint* yang diinginkan [5]. Dengan sistem kontrol otomatis dapat diharapkan menghasilkan *output* proses atau respon yang tepat, serta keakuratan yang tinggi dan probabilitas *error* yang rendah. Penelitian *Prototype Lift* barang akan dirancang 3 lantai dengan menggunakan motor DC. Dari sistem dan alat yang dirancang ini dapat digunakan sebagai penunjang perkembangan teknologi saat ini yang semakin canggih dan dapat dijadikan sebagai referensi dalam mempelajari sistem kontrol yang ada pada industri[6].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Sistem Mekanik

Rancangan sistem mekanik *lift* barang terdiri dari desain prototipe *lift*, rancangan sistem, dan tata letak komponen pendukung.





Gambar 1 Desain *Lift* Barang

Gambar 1 menunjukkan perancangan mekanik *lift* barang, di mana rangka model *lift* menggunakan holo dengan tinggi 100 mm yang diberikan sekat untuk tiap lantainya dan memiliki lebar 40 cm. Selain itu, *lift* dilengkapi dengan motor DC yang memiliki *breaker* sebagai aktuator penggerak dan menahan keranjang pada tiap lantainya agar keranjang tidak jatuh ke bawah saat diberhentikan pada lantai dua atau tiga[7]. Pada keranjang *lift* dilengkapi dengan sensor *loadcell* yang digunakan sebagai sensor berat untuk mendeteksi dan membatasi berat[8]. Sensor *proximity* dipasang pada tiap lantai sebagai sensor posisi untuk memberhentikan keranjang *lift* sesuai dengan perintah *pushbutton*. Keranjang *lift* dilengkapi dengan rel untuk membantu keranjang saat naik turun [9].

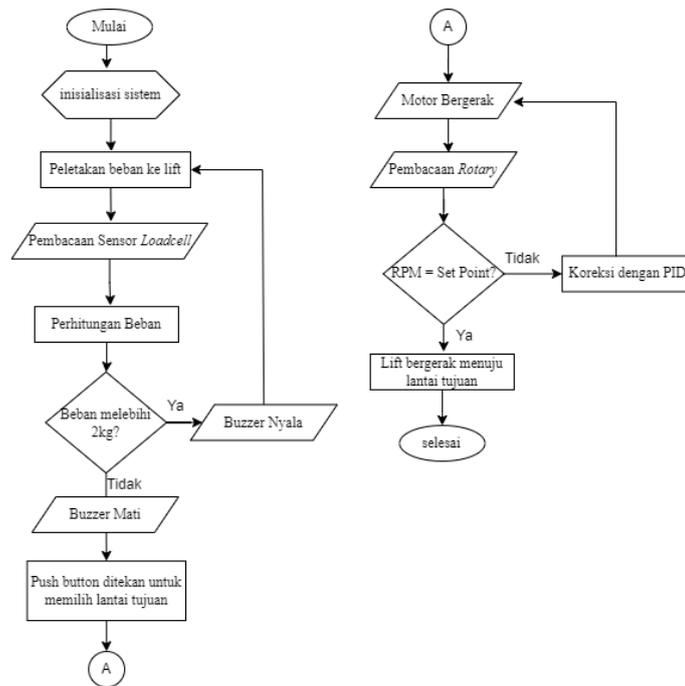
2.2 Diagram Blok Sistem

Mekanisme pergerakan *lift* barang berdasarkan berat beban, apabila beban melebihi batas maksimum, maka *lift* akan berhenti. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga *lift* agar tetap *safety*. Kecepatan motor ideal yaitu 30rpm, sistem *lift* dibuat dengan kontrol PID yang dapat membatasi *speed* motor agar tidak melebihi batas kecepatan ideal[10].

Gambar 2 merupakan diagram kerja sistem disertai dengan prinsip kerja sistem PID yang akan diterapkan pada penelitian ini serta dapat dipahami melalui langkah-langkah berikut:

1. Langkah awal melibatkan inisialisasi sistem.
2. Pemberian beban pada keranjang lift, kemudian akan dibaca oleh sensor *Loadcell* dan beban dan dipastikan tidak melebihi batas maksimum. Apabila beban terdeteksi melebihi maksimum buzzer akan menyala sehingga perlu adanya pengurangan beban.
3. Menekan *Push Button* untuk memilih kemana lift akan menuju lantai tujuan.
4. Setelah *Push Button* ditekan, keranjang lift akan bergerak naik atau turun sesuai dengan perintah.
5. Saat lift bergerak naik atau turun, kecepatan putar motor telah di set optimal. Nilai ideal kecepatan motor ditentukan dengan melakukan percobaan berulang agar mendapatkan nilai yang ideal. Kecepatan ideal yang telah ditentukan dapat menjadi acuan untuk dilakukan kestabilan oleh PID.
6. Pembacaan nilai kecepatan dari pergerakan motor oleh *Rotary Encoder*, apabila nilai kecepatan belum stabil, maka akan kembali dikontrol oleh PID.
7. Apabila kecepatan sudah stabil dan tidak mengalami *overspeed* maka prinsip kerja PID telah selesai.

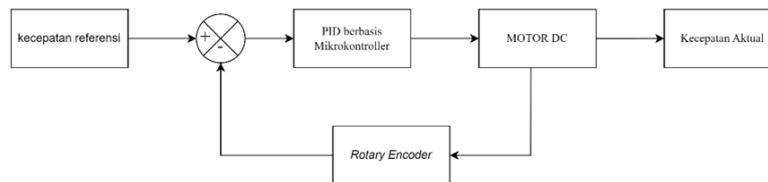




Gambar 2 Diagram Blok Sistem

2.3 Metode PID

2.3.1 Diagram Blok Kontrol PID



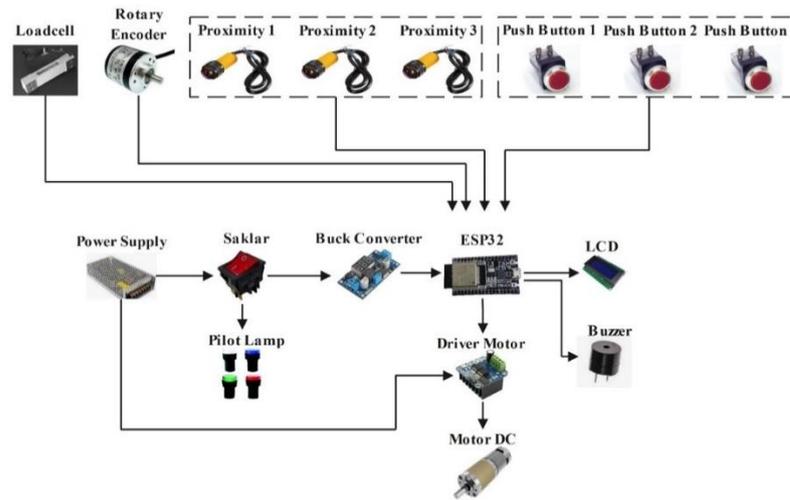
Gambar 3 Diagram Blok Kontrol PID

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa yang harus dilakukan pertama yaitu memberi *input* berupa *Set Point* untuk kecepatan putar motor, kemudian dari nilai tersebut akan diolah oleh controller berupa ESP32 sehingga dapat memberikan nilai kecepatan pada motor DC. Kemudian diperlukan *feedback* dari *Rotary Encoder* untuk mendeteksi adanya perubahan nilai atau *error*. Nilai yang didapatkan dari *rotary encoder* berupa *pulse*, yang kemudian harus dilakukan konversi menjadi RPM. Apabila ada *Error* yang terdeteksi, maka akan diolah oleh controller dengan metode PID dengan parameternya[11]. Sehingga akan menghasilkan keluaran dari hingga nilai mencapai kecepatan optimal.

2.4 Perancangan Hardware

Gambar 4 merupakan perancangan hardware keseluruhan pada penelitian ini. Tujuan perancangan *hardware* adalah untuk mengetahui rangkaian sensor dan aktuator yang akan digunakan. Kemudian akan dirangkai dan dilakukan pengujian setiap sensor dan aktuatornya.





Gambar 4 Perancangan *Hardware*

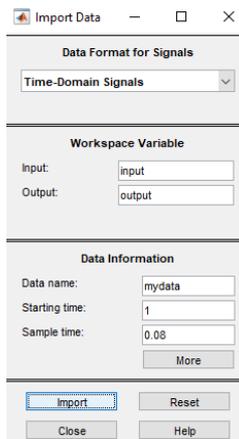
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi PID pada Matlab

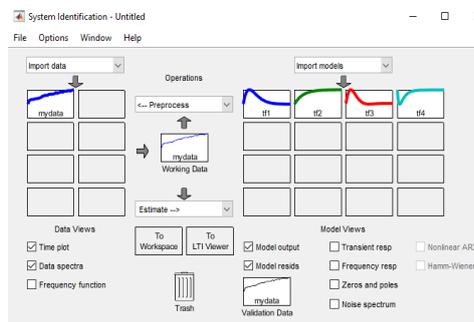
Percobaan simulasi penerapan metode PID dilakukan dengan menggunakan *software matlab* kemudian dapat diketahui perbandingan antara menggunakan PID dan tanpa menggunakan PID.

3.1.1 Transfer Function

Langkah pertama yang dilakukan yaitu dengan mencari *Transfer Function*. Pada penelitian kali ini, dilakukan dengan memasukkan dapat *input dan output* kemudian melakukan pendekatan dengan memasukkan nilai *input dan output* ke dalam identifikasi sistem.



Gambar 6 import data



Gambar 7 sistem identifikasi



Pada Gambar 7 merupakan tahapan memasukkan data *input* dan *output* pada *workspace variable* untuk mendapatkan gelombang *transfer function* kemudian mendapatkan *fit to best estimation* data sebesar 83,75% dan didapatkan nilai *transfer function*.

```

Model name: tf1
Color: [0,0,1]

From input "u1" to output "y1":
0.07642
-----
s^2 + 0.7747 s + 0.1812
Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

Parameterisation:
Number of poles: 2   Number of zeros: 0
Number of free coefficients: 3
Use "tfdata", "getprec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 83.75% (stability enforced)

% Import mydata
% Transfer function estimation
Options = tfestOptions;
Options.Display = 'on';
Options.WeightingFilter = [];
tf1 = tfest(mydata, 2, 0, Options)
    
```

Gambar 8 identifikasi *transfer function*

Gambar 8 merupakan hasil dari *estimate* menggunakan *toolbox* identifikasi sistem dan menghasilkan *best estimation* sebesar 83,75%. Kemudian nilai *transfer function* yang didapatkan dimasukkan ke dalam program matlab untuk mendapatkan grafik respon untuk diambil nilai L dan T. Pada Listing Program 1, telah didapatkan nilai *transfer function*, kemudian akan dicoba dengan simulasi agar memunculkan grafik seperti gambar 9 untuk mendapatkan nilai T dan L.

```

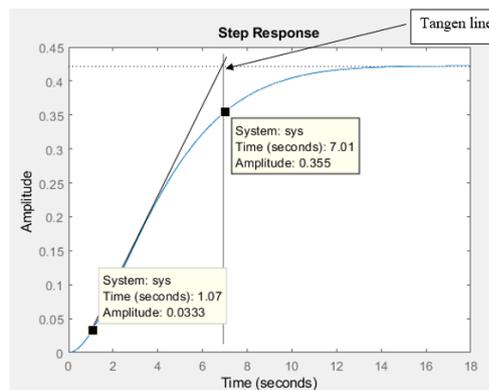
s = tf('s');

sys = 0.07642 / ((s^2 + 0.7747*s + 0.1812)); % transfer function

figure

step(sys);
    
```

Listing 1 Program Transfer Function



Gambar 9 Respon dalam mencari nilai L dan T

Gambar 9 merupakan hasil yang didapat yaitu nilai $L = 1.07$ dan $T = 7.01 - L$ setelah nilai L dan T diketahui, dapat dimasukkan pada rumus untuk mendapatkan nilai K_i , K_p , K_d . Dibawah ini merupakan hasil perhitungan dengan rumus PID ZN1.



$$L = 1.07$$

$$K = 1$$

$$T = 7.01 - 1.07 = 5.94$$

$$Kp = 1.2 \frac{5.94}{1.07} \tag{1}$$

$$Kp = 6.6617$$

$$Ti = 2L \tag{2}$$

$$Ti = 2 \times 1.07$$

$$Ti = 2.14$$

$$Ki = \frac{Kp}{2L}$$

$$Ki = \frac{6.6617}{2.14} \tag{3}$$

$$Ki = 3.1129$$

$$Td = 0.5 L$$

$$Td = 0.5 \times 1.07 \tag{4}$$

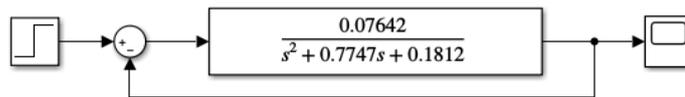
$$Td = 0.535$$

$$Kd = Kp \times 0.5 \times L$$

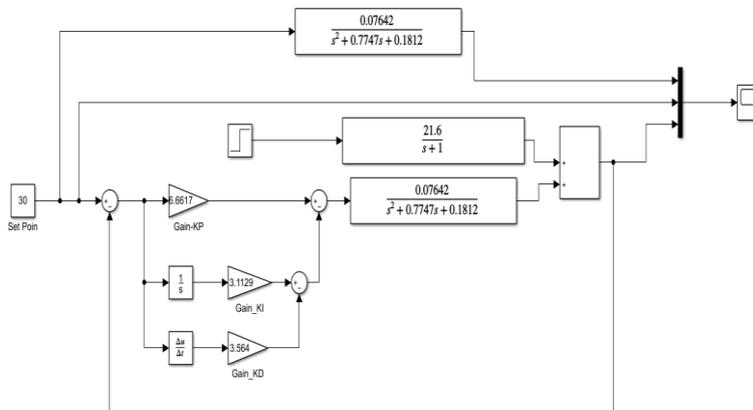
$$Kd = 6.6617 \times 0.5 \times 1.07 \tag{5}$$

$$Kd = 3.564$$

3.1.3 Simulasi Penerapan PID dengan *software Matlab*



Gambar 10 Model Simulink Sistem *Close Loop*

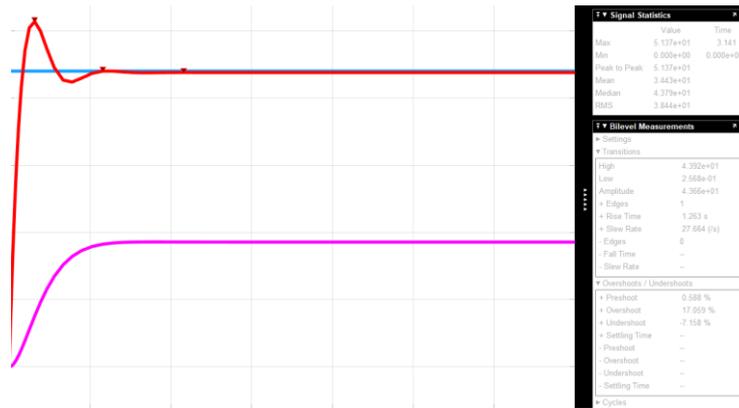


Gambar 11 Model Simulink Penerapan kontrol PID

Gambar 10 merupakan model simulink untuk pengujian sistem. Pada model seperti gambar merupakan sistem *close loop*. Gambar 11 merupakan model simulink untuk pengujian sistem. Pada model dengan nilai $K_i = 6.6617$ $K_p = 3.119$ dan $K_d = 3.564$ dengan noise berupa massa dan gravitasi yang telah ditransformasi *laplace*. Massa yang diinput yaitu 0.5 yang merupakan beban didalam kerancang, dan 1,7 merupakan berat dari keranjang. Setelah itu dilakukan simulasi untuk mengetahui respon sitem yang dihasilkan dari penerapan kontrol PID. Set poin yang digunakan dalam simulasi kali ini yaitu 30.



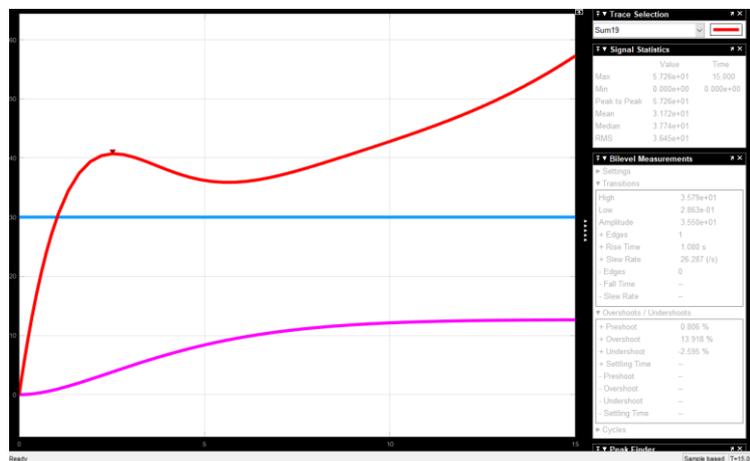
3.1.4 Hasil *running* Simulasi Penerapan PID dengan Beban 2.2kg dan *Set Point* 30 rpm



Gambar 12 Simulasi kontrol PID dengan Beban 2.2 kg dan *Set Point* 30 rpm

Gambar 12 merupakan hasil simulasi yang telah dilakukan, dengan beban 2.2 dari berat keranjang 1.7 kg dan berat benda di keranjang yaitu 0.5 kg, sehingga menghasilkan tampilan grafik yaitu garis biru merupakan set point, garis ungu merupakan gelombang tanpa PID atau respon sistem *open loop*, garis merah merupakan gelombang yang telah ditambah dengan PID dengan beban dan gaya gravitasi sebagai *noise* nya. Telah terlihat perbedaan antara menggunakan PID dan tidak. Seperti pada gambar di atas yaitu dapat diketahui bahwa hasil simulasi dengan menggunakan PID yaitu mengalami *preshoot* sebesar 0.588%, *overshoot* 17.059%, dan *undershoot* sebesar -7.158%. Respon grafik sudah mencapai set point.

3.1.5 Hasil *running* Simulasi Penerapan PI dengan Beban 2.2kg dan *Set Point* 30 rpm



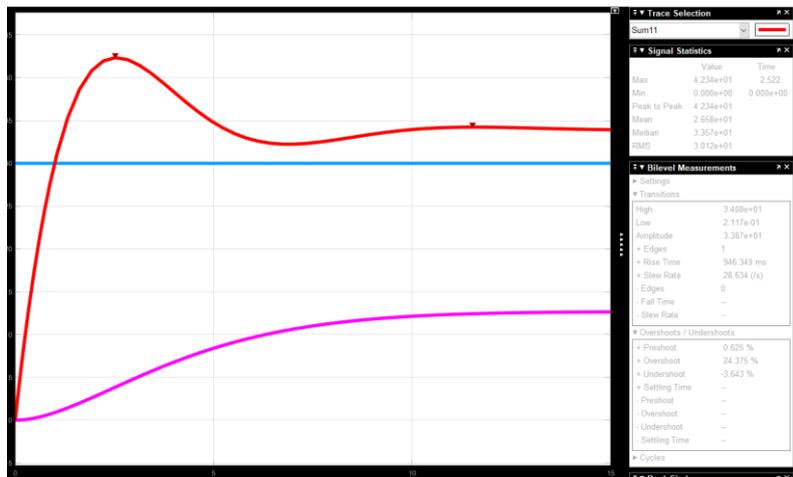
Gambar 13 Simulasi Kontrol PI dengan beban 2.2 kg dan *Set Point* 30 rpm

Gambar 13 merupakan hasil simulasi yang telah dilakukan, beban 2.2 tersebut dari berat keranjang 1.7 kg dan berat benda di keranjang yaitu 0.5 kg, sehingga menghasilkan tampilan grafik yaitu garis biru merupakan set point, garis kuning merupakan gelombang tanpa PID, garis merah merupakan gelombang yang telah ditambah dengan PID. Telah terlihat perbedaan antara menggunakan PID dan tidak. Seperti pada gambar 4.12 yaitu dapat diketahui bahwa



hasil simulasi yaitu mengalami *preshoot* sebesar 0.595%, *overshoot* 12.505% , dan *undershoot* sebesar -1,131 %. Respon di atas set point sehingga diprediksi kecepatan akan *overspeed*.

3.1.6 Hasil running Simulasi Penerapan P dengan Beban 2.2kg dan Set Point 30 rpm



Gambar 14 Simulasi Kontrol P dengan beban 2.2 kg dan set point 30 rpm

Berdasarkan gambar 14 merupakan hasil simulasi yang telah dilakukan, beban 2.2 tersebut dari berat keranjang 1.7 kg dan berat benda di keranjang yaitu 0.5 kg, sehingga menghasilkan tampilan grafik yaitu garis biru merupakan set point, garis ungu merupakan gelombang tanpa PID, garis merah merupakan gelombang yang telah ditambah dengan PID. Telah terlihat perbedaan antara menggunakan PID dan tidak. Seperti pada gambar 4.10 yaitu dapat diketahui bahwa hasil simulasi yaitu mengalami *preshoot* sebesar 0.658%, *overshoot* 30.921% , dan *undershoot* sebesar 0.429 %. Respon tidak mencapai *set point*. Respon di atas set point sehingga diprediksi kecepatan akan *overspeed*.

3.2 Hasil Perakitan *Hardware*



Gambar 15 Lift Tampak Depan

Gambar 15 merupakan hasil perakitan *hardware* dari tampak depan dan posisi keranjang berada pada lantai tiga. Posisi keranjang berada pada lantai tiga, yang memudahkan akses pengguna untuk memasukkan dan



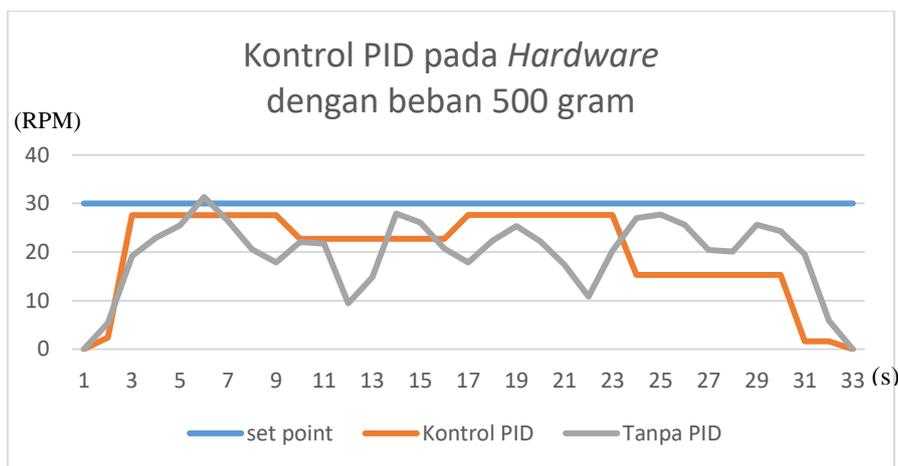
mengambil barang. Desain ini memastikan efisiensi ruang dan kemudahan operasional dalam penggunaan sehari-hari.

Gambar 16 Lift Tampak Samping

Berdasarkan Gambar 16 merupakan hasil perakitan dari tampak samping dan posisi keranjang lift pada lantai tiga. Hasil perakitan dari tampak samping memperlihatkan detail struktur mekanik yang kokoh dan terintegrasi dengan baik. Posisi keranjang lift pada lantai tiga menunjukkan sistem pengangkatan yang efisien dan stabil. Desain ini memastikan keselamatan dan kenyamanan saat pengoperasian lift.

3.2.3 Penerapan PID pada *Hardware* dengan Beban 500 gram

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan aplikasi matlab, respon yang baik adalah dengan menggunakan control PID dengan beban keranjang = 1.7 kg dan beban isi keranjang 0.5 kg dengan set poin 30 rpm. Sehingga yang diterapkan dalam *hardware* yaitu control PID dengan berat beban 0.5kg dengan set poin 30 rpm. Implementasi Kontrol PID dilakukan dengan menggunakan program mikrokontroler berupa ESP 32.



Gambar 17 Grafik respon sistem PID pada *Hardware*.



Berdasarkan gambar grafik 17 merupakan pengambilan data pada lantai satu ke lantai tiga, dapat dilihat bahwa respon sebelum menerapkan kontrol PID masih naik turun tidak stabil, hal tersebut dapat menghambat kinerja sistem lift, bahkan lift akan berhenti atau tidak dapat mengangkut beban naik atau turun ke lantai tujuan, sehingga perlu adanya penerapan PID untuk kontrol kecepatan agar naik turun lift dapat lebih stabil dan saat berhenti tidak mendadak. Penerapan PID dengan nilai $K_i = 6.6617$ $K_p = 3.119$ dan $K_d = 3.564$ yang di masukkan pada *Hardware* merupakan nilai hasil dari perhitungan dengan penambahan beban 0,5 kg mendapatkan respon seperti pada gambar 17. Semakin mendekati lantai tujuan, atau posisi pemberhentian, maka respon kecepatan akan semakin turun secara perlahan. Sehingga lift tidak secara mendadak saat berhenti.

4. KESIMPULAN

Penerapan metode Proportional-Integral-Derivative (PID) pada sistem lift barang bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi dalam pengendalian lift. Dengan metode PID, sistem kontrol dapat menyesuaikan kecepatan motor berdasarkan error atau perbedaan antara posisi aktual. Hasil penerapan Kontrol PID menunjukkan bahwa lift barang mampu mencapai stabilitas yang diinginkan, dengan mengurangi getaran dalam keadaan naik dan saat akan berhenti. Selain itu membuat lift lebih kuat dalam mengangkat beban yang bervariasi. Implementasi PID juga membantu dalam mengatasi gangguan dan variasi beban. PID dalam penelitian kali ini tidak dapat mencapai set poin dikarenakan sistem lift tidak kontinu. Hasil penerapan nilai $K_i = 6.6617$ $K_p = 3.119$ dan $K_d = 3.564$ sudah sesuai dengan nilai simulasi pada Matlab.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam kelancaran penelitian ini, semoga kebaikan doa dan dukungan kalian akan menjadi berkah bagi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. I. Soehartono and B. Suprianto, "Sistem Kontrol Mini Lift Barang Menggunakan Fuzzy Logic Controller Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Dc Berbasis Labview," *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 01, pp. 203–211, 2020.
- [2] Muhammad Arsyad Budiman, "Muhammad Arsyad Budiman," *Kontrol Posisi Dan Kecepatan Lift Menggunakan Kendali Pid Lift Position Speed Control With Pid Controll*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [3] G. Rahmatillah and B. Suprianto, "Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC Pada Prototipe Lift Menggunakan Kontroler Pi Berbasis Arduino," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 269–276, 2020.
- [4] U. Achlisson and B. Suhartono, "Analisis Hasil Ukur Sensor Load Cell untuk Penimbang Berat Beras, Paket dan Buah berbasis Arduino," vol. 13, no. 1, pp. 96–101, 2020.
- [5] F. Isdaryani, F. Feriyonika, and R. Ferdiansyah, "Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1450, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1450/1/012033.
- [6] "Three-phase AC Induction Motor Speed Control Based on Variable Speed Driver," *Makara J. Technol.*, vol. 26, no. 2, pp. 54–58, Aug. 2022, doi: 10.7454/mst.v26i2.1523.
- [7] N. B. Dharmawan, W. G. Ariastina, and A. A. N. Amrita, "STUDI SISTEM PROTEKSI LINE CURRENT DIFFERENTIAL RELAY PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV," vol. 7, no. 1, pp. 152–161, 2020.
- [8] I. L. Siregar, R. Silaen, and J. L. Hutabarat, "Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Putaran Dan DayaMasuk Motor Induksi Tiga Fasa (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-UHN)," vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2021.
- [9] D. Rahmawati, M. Farisal, K. Joni, K. Kunci, and B. Converter, "Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596".
- [10] J. Juni, "Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode V / F Konstan Dan Kontrol Pid-Chr Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah," vol. 14, no. 1, pp. 62–71, 2022.
- [11] F. B. Lubis and A. Yanie, "Implementasi Pulse Width Modulation (PWM) Pada Penyaluran Limbah Cair Pupuk Kelapa Sawit Berbasis Arduino," vol. 1099, pp. 39–46.

