

Penalaan PID pada sistem kendali ketinggian cairan menggunakan metode Cohen-Coon berbasis sistem kendali terdistribusi

Dede Irawan Saputra^{1*}, Aziz Maulana Ibrahim², Kusnandar³, Zul Fakhri⁴,
Yuda Bakti Zainal⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Jend. Sudirman, Kota Cimahi, Jawa Barat 40525, Indonesia

^{1*}dedeirawan.saputra@lecture.unjani.ac.id, ²aziz.ibrahim2015@gmail.com, ³kusnandar@lecture.unjani.ac.id,
⁴zulfakhri18@gmail.com, ⁵zainalyuda01@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu solusi dari pengendalian jarak jauh dapat menerapkan sistem kendali terdistribusi. Dengan *process plant* ketinggian air, integrasi sistem kendali terdistribusi dapat menggunakan protokol komunikasi *message queue telemetry transport* (MQTT). Broker MQTT dapat digunakan sebagai server yang menghubungkan antara *process plant* dengan *desktop* PC menggunakan *software* MQTT Explorer dan HMI yang digunakan dapat dibuat menggunakan Node-Red. Proses penalaan pada sistem pengendalian ketinggian cairan dapat menggunakan metoda Cohen-Coon. Hasil pengujian yang dilakukan dapat melihat performa kerja dari kendali ketinggian cairan dan juga menguji dari sistem komunikasi data dari HMI yang dibuat. Hasil dari pengujian kendali ketinggian air pada *process plant* dengan metode penalaan Cohen-Coon menghasilkan tanggapan sebesar $T_d = 20,5$ detik, $T_r = 67,75$ detik, dan $T_s = 88$ detik dengan nilai referensi 10 cm. Hasil tersebut lebih baik dari pada penalaan menggunakan metode Ziegler-Nichols yang menghasilkan tanggapan sebesar $T_d = 20,5$ detik, $T_r = 67,75$ detik, dan $T_s = 88$ detik. Untuk pengujian sistem komunikasi dari HMI digunakan metode *ping* dan *tracert* mendapatkan waktu tunda 0 sampai 1 ms untuk rentang pengiriman data.

Kata kunci: metode penalaan Cohen-Coon, PID, sistem kendali terdistribusi

ABSTRACT

One solution for remote control can be implementing a distributed control system. With a water level process plant, distributed control system integration can use the message queue telemetry transport (MQTT) communication protocol. The MQTT broker can be used as a server that connects the process plant with a desktop PC using MQTT Explorer software and the HMI used can be created using Node-Red. The tuning process for the liquid level control system can use the Cohen-Coon method. The results of the tests carried out can see the working performance of the liquid level control and also test the data communication system of the HMI that was created. The results of testing water level control in the process plant using the Cohen-Coon tuning method produced responses of $T_d = 20.5$ seconds, $T_r = 67.75$ seconds, and $T_s = 88$ seconds with a reference value of 10 cm. These results are better than tuning using the Ziegler-Nichols method which produces responses of $T_d = 20.5$ seconds, $T_r = 67.75$ seconds, and $T_s = 88$ seconds. To test the communication system from the HMI, the ping and tracert methods were used to obtain a delay time of 0 to 1 ms for the data transmission range.

Keywords: Cohen-Coon tuning method, PID, Distributed control system

1. PENDAHULUAN

Process plant yang sudah eksis di industri yang menggunakan pengendali PID tidak lepas dari beberapa kebutuhan seperti instrumentasi maupun infrastruktur agar dapat berkembang menyesuaikan kebutuhan pasar [1]. Revolusi 4.0 memberikan beberapa peluang perubahan yang masif pada skema yang sudah eksis atau hanya sekedar melakukan beberapa perubahan guna mencapai beberapa kebutuhan komputasi, pengamatan, dan pengendalian secara *realtime* dan terintegrasi jaringan [2]. Sistem kendali terdistribusi menjadi semakin pesat di dunia industri baik yang berskala besar maupun skala kecil karena dapat menjangkau jumlah *plant* ataupun *field device* yang banyak pada setiap proses

serta harus dapat dikendalikan secara tersendiri. Teknologi yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan sistem tersebut adalah sistem kendali terdistribusi atau skema sistem kendali berbasis teknologi jaringan [3], [4]. Berdasarkan skema tersebut dapat digambarkan hubungan antara perangkat keras seperti mikrokontroler atau PLC serta perangkat lunak pada PC yang dapat menyediakan pengguna untuk melakukan pengamatan atau pengendalian sebagai *human machine interface* (HMI).

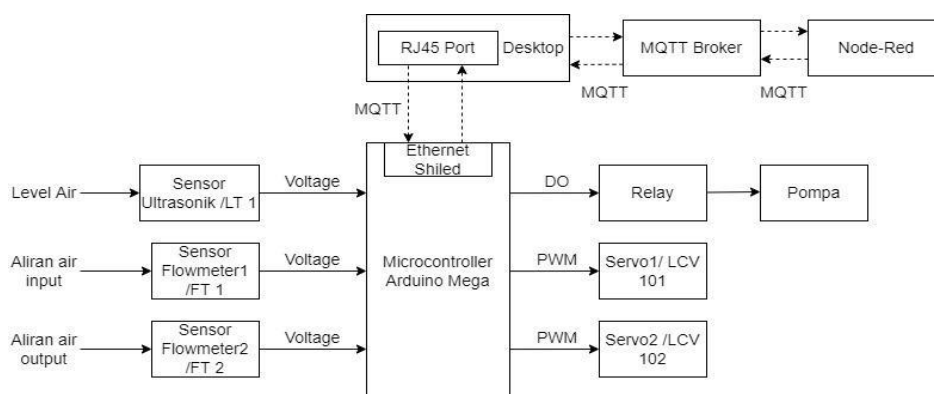
Umumnya sistem kendali terdistribusi menggunakan sebuah protokol komunikasi, protokol tersebut bergantung pada perangkat lunak yang digunakan yang mendukung untuk beberapa teknologi seperti *remote terminal unit* (RTU) [5] maupun teknologi IoT [6]. Beberapa protokol yang dapat digunakan yaitu *message queue telemetry transport* (MQTT) [7], [8], dan Modbus TCP/IP [9]. Penggunaan MQTT lebih mudah karena pada protokol yang ringan memiliki pesan yang kecil dan arsitekturnya menggunakan model *publisher-subscriber* lebih cocok untuk sistem yang memiliki sistem yang dapat mengirim data atau menulis data [10]. Perangkat lunak yang menyediakan integrasi komunikasi MQTT dan TCP/IP diantaranya adalah Node-Red [11], [12]. Node-Red merupakan perangkat lunak berbasis *web browser* yang fleksibel dan dapat dikonfigurasi berdasarkan kebutuhan baik menggunakan perangkat utama seperti mikrokontroler atau pun PLC untuk melakukan proses pengendalian.

Proses penalaan pada pengendali PID umumnya menggunakan metode penalaan Ziegler-Nichols I dengan memanfaatkan hasil tanggapan sistem secara *open loop*. Selain itu, ada metode penalaan lain seperti Cohen-Coon yang merupakan versi kompleks dari metoda Ziegler-Nichols [13], [14]. Sama seperti metode Ziegler-Nichols, metode ini dapat memperoleh parameter K_p , T_i , T_d dari respons *open loop* sistem tanpa mengetahui model fungsi alih *plant* yang dikendalikan. Metode Cohen-Coon juga mengembangkan metode eksperimental agar dapat memperoleh parameter K_c , τ_i , τ_d yang memberikan overshoot yang meluruh seperempat bagian [15].

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah skema sistem kendali terdistribusi dengan mengintegrasikan sistem pada *process plant* dengan algoritma PID sebagai pengendali, mikrokontroler sebagai perangkat pengendali utama, serta terdapat perangkat komunikasi *ethernet shield* yang terpasang pada mikrokontroler akan dihubungkan ke *desktop PC* menggunakan kabel LAN. Proses integrasi antara *process plant* dengan *desktop* pada sistem menggunakan protokol MQTT. Pada *desktop PC* di-*install* Node-Red untuk *interface* dan broker MQTT sebagai *server* yang bertugas untuk menangani data yang masuk dan data yang keluar. Skema tersebut akan diimplementasikan pada sebuah prototipe sistem pengendali ketinggian permukaan cairan satu tangki. Kemudian pengendalian memanfaatkan metode PID yang akan di-*tuning* menggunakan metode penalaan Cohen-Coon dan dikomparasikan spesifikasi tanggapannya dengan metode penalaan Ziegler-Nichols.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis mengacu pada metode Verein Deutsche Ingenieur 2206 (VDI 2206) yang merupakan pedoman dalam mendesain sistem *cyber physical system*. Penelitian ini merancang sebuah prototipe dan sistem dari kendali level cairan pada *process plant* dengan metode penalaan PID Cohen-Coon berbasis sistem kendali terdistribusi dengan protokol MQTT. Adapun blok diagram dari sistem seperti pada Gambar 1.

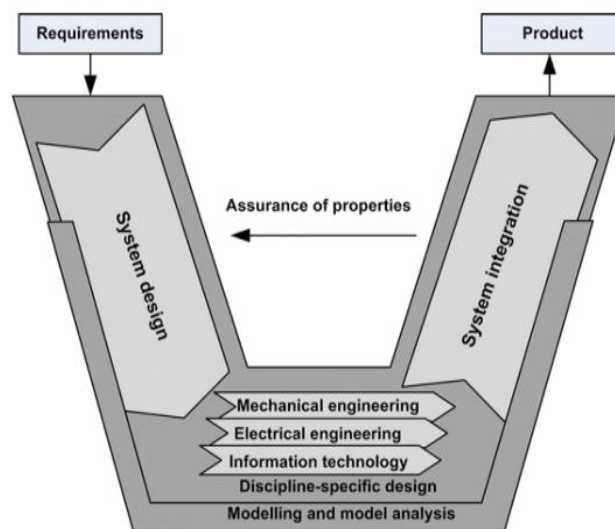


Gambar 1. Diagram blok sistem

Secara garis besar pada Gambar 1 memiliki tiga jenis masukan yang akan dibaca dan dikontrol yaitu *input* ketinggian permukaan cairan, aliran cairan masuk, dan aliran cairan keluar. Sedangkan keluaran dari sinyal kendali digunakan untuk mengendalikan motor pompa pendorong cairan dan juga *motorized valve 1* untuk mengatur bukaan *valve* masukan cairan kemudian *motorized valve 2* untuk mengatur bukaan *valve* pembuangan cairan pada tangki. Pengontrolan ketinggian air akan dilakukan menggunakan pengendali PID. *Ethernet shield* yang terpasang pada mikrokontroler berfungsi sebagai penghubung pada *desktop* menggunakan kabel LAN dengan proses pengiriman dan penerimaan data menggunakan protokol MQTT. Hasil dari bacaan sensor kemudian akan dikirim ke *broker* MQTT Explorer yang di-*install* pada *desktop*. Pada Gambar 1, Node-Red berfungsi sebagai HMI yang dapat digunakan untuk melakukan pemantauan dan pemberian *setpoint* pada *process plant* dari jarak jauh.

2.1 V-Model VDI 2206

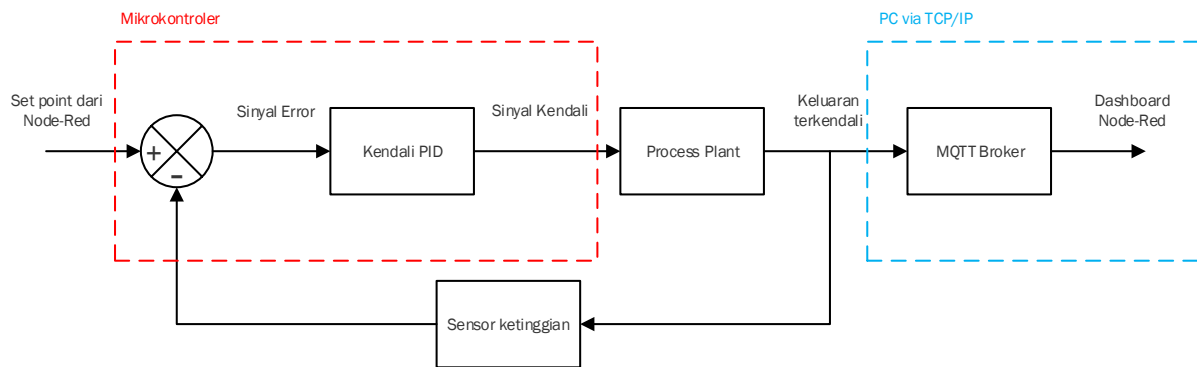
Dengan mengimplementasikan arahan dari VDI 2206 sesuai dengan Gambar 2 maka diharapkan perancangan sistem yang dilakukan dapat mempermudah menguasai aspek dari setiap komponen yang akan dipakai dan juga mengoptimalkan *Troubleshooting* dari sistem.



Gambar 2. V-model VDI 2206

A. Fase 1: Klarifikasi Tugas (*Clarification of The Task*)

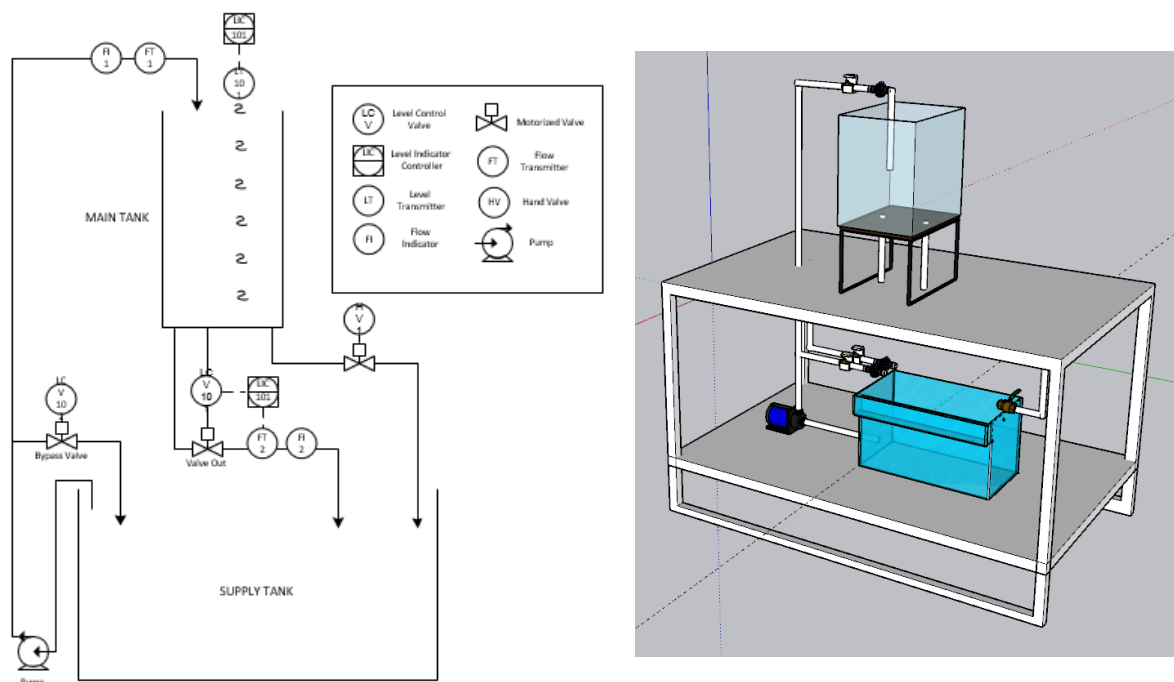
Pada fase pertama yaitu klarifikasi tugas yang merupakan tahapan perencanaan desain spesifikasi dari sistem. Desain meliputi cara kerja dari pengendalian level cairan pada satu tangki dengan mengalirkan cairan pada satu pipa aliran masukan yang dikendalikan oleh *level control variable 1* dan satu pipa aliran keluar yang dikendalikan oleh *level control variable 2*. Aliran masuk cairan menggunakan pompa 12 V DC dengan maksimal aliran 4 liter/menit. Pengendalian akan dilakukan menggunakan algoritma PID yang ditanamkan pada mikrokontroler dengan maksimum *set-point* 30 cm sesuai dengan ketinggian tangki pada prototipe. Data dari proses pengendalian akan dikirim melalui protokol MQTT ke *broker* MQTT di *desktop* kemudian akan ditampilkan pada HMI yang dibuat menggunakan Node-Red. Gambar 3 mengilustrasikan dari prototipe *process plant*. Mula-mula *set-point* dapat ditentukan dengan melakukan input ke HMI, kemudian dapat dihitung sinyal *error* dan dihasilkan sinyal kendali berupa aliran cairan yang diperlukan untuk mengisi cairan pada *process plant*. Keluaran level cairan yang terkendali akan ditampilkan pada HMI.



Gambar 3. Diagram blok sistem kendali

B. Fase 2: Perancangan Konsep Produk (*Conceptual Design*)

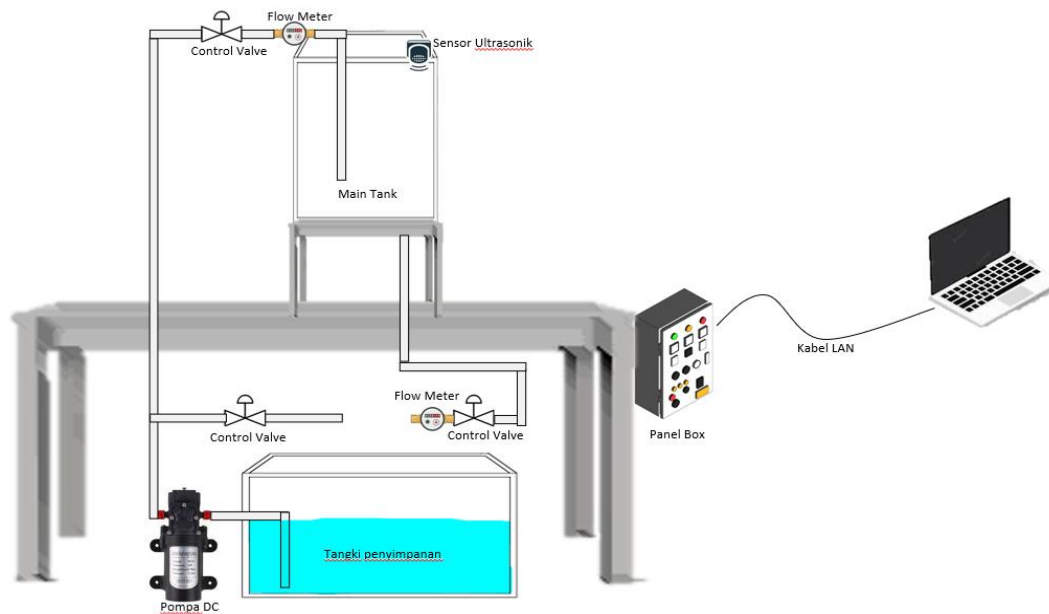
Berikutnya pada fase kedua merupakan pemecahan masalah dasar konsep dari sistem dengan memulai membuat abstraksi kemudian menemukan prinsip kerja dari komponen sistem yang akan dipilih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Secara sederhana prinsip kerja dari pengendalian ketinggian permukaan cairan pada satu tangki dengan masukan berupa aliran air yang didorong oleh pompa dari penampungan air. Kemudian diatur berdasarkan *set point* yang diatur pada Node-red. Metode penalaan PID yang di pilih menggunakan metoda Cohen-Coon. Secara garis besar sistem terdiri dari *level trasmitter*, *level control variable* 1 dan 2, serta *flow trasmitter* 1 dan 2.



Gambar 4. Ilustrasi process plant

C. Fase 3: Perancangan Wujud Produk (*Embodiment Concept*)

Pada fase ketiga ini merupakan bentuk nyata dari sistem dengan mengkaji ulang konsep yang dipilih dapat direalisasikan dan telah sesuai dengan spesifikasi pada fase 1. Pengkajian ini meliputi proses komunikasi antara *process plant* dengan pengendali utama dan HMI. Kemudian komponen yang digunakan merupakan komponen yang tersedia di pasaran. Kemudian untuk pemantauan dan pengendalian menggunakan Node-Red dapat berjalan secara *real time* seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 5.

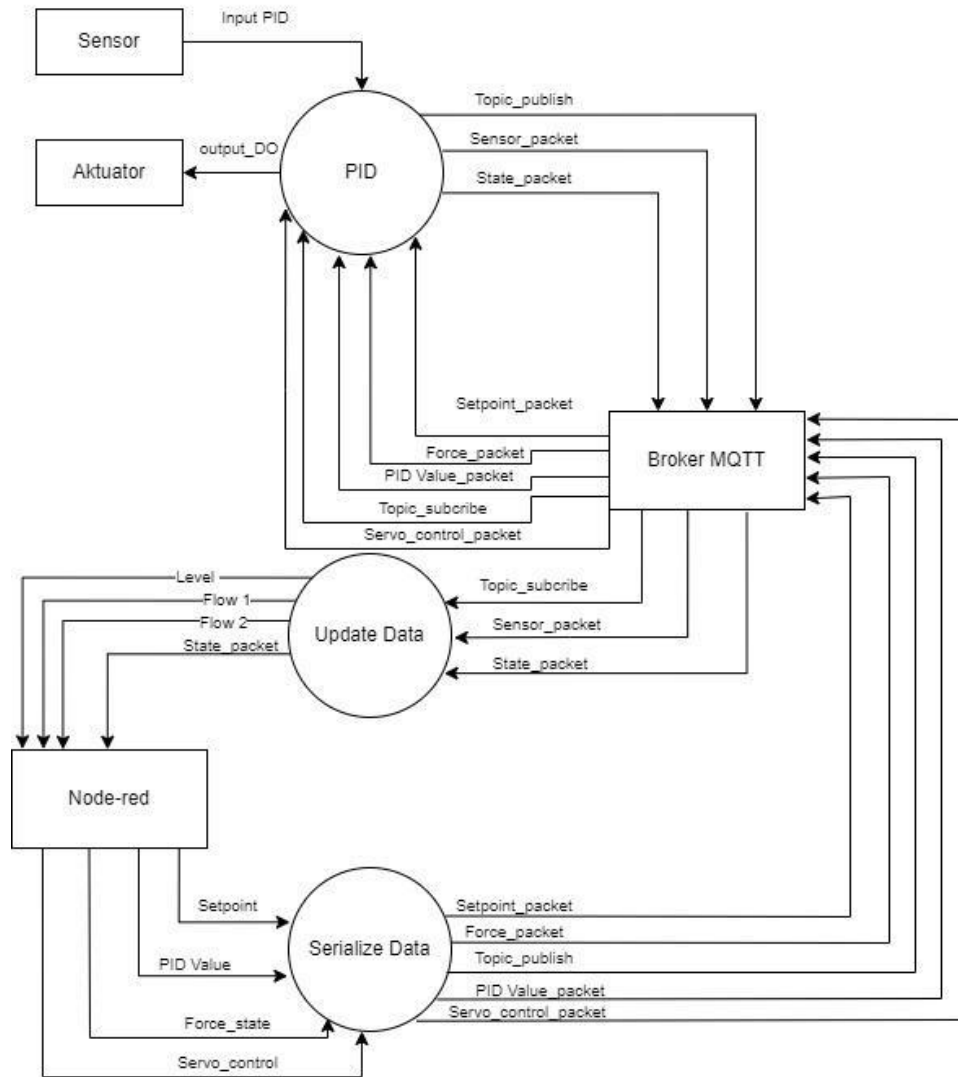


Gambar 5. Ilustrasi wujud produk

D. Fase 4: Perancangan Terperinci (*Design Detail*)

Pada tahap ini merupakan bagian akhir dari fase perancangan. Pada tahap ini semua sistem akan didokumentasikan yang meliputi diagram, daftar spesifikasi komponen perangkat keras, metode penalaan PID, dan percobaan. Spesifikasi singkat dari perancangan yang dibuat untuk sensor ketinggian permukaan cairan menggunakan HC-SR04 dan untuk sensor aliran cairan menggunakan YF-S201 kemudian untuk sistem komunikasi mikrokontroler Mega 2560 dipasang *ethernet shield* agar dapat terhubung dengan *desktop PC* via protokol MQTT.

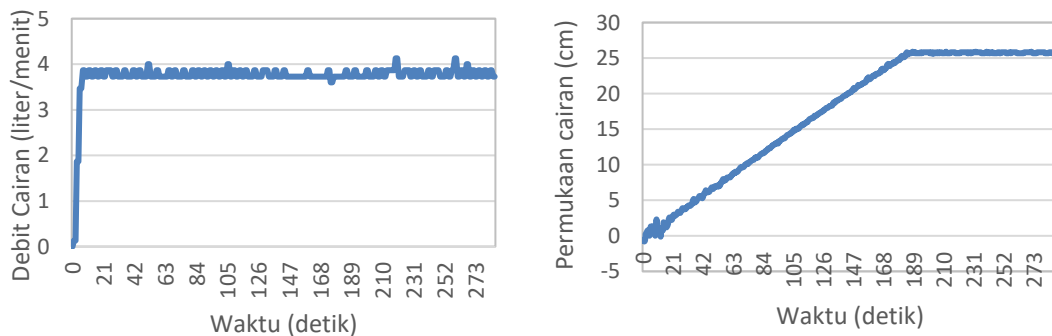
Gambar 6 merupakan *data flow diagram*. Pada gambar tersebut dapat dijelaskan aliran data yang terjadi pada sistem. Sistem terdiri dari tiga entitas utama yaitu sensor, aktuator, MQTT *broker*, dan Node-Red. Data yang dikirim ke MQTT dibuat dalam sebuah *topic* yang dapat dipublikasikan pada *broker* MQTT. Hasil bacaan sensor merupakan nilai yang menjadi umpan balik yang menjadi masukan ke algoritma pengendali PID. Hasil proses pengendalian berupa data sinyal kendali, *output* terkendali akan dikirimkan ke HMI melalui *broker*. Data-data yang dikirimkan atau di-*publish* ke *broker* diantaranya adalah topik sensor dan topik keadaan pompa. Sedangkan pada proses yang sama *broker* juga mem-*publish* topik yang akan di-*subscribe* oleh mikrokontroler berupa topik mode pengendalian, topik parameter PID, dan topik pengendalian *motorized valve*. Entitas Node-Red akan mengambil data yang diperlukan dengan mengakses *broker* MQTT. Proses yang diterima oleh *broker* tidak lepas dari entitas Node-Red yang mengirimkan data berupa data *set-point*, nilai PID *control*, *servo control*, dan juga nilai *state* pada *switch auto* dan *manual*. Kemudian data tersebut akan diolah oleh proses *serialized data* kemudian di-*publish* ke *broker* MQTT dan dapat di-*subscribe* oleh mikrokontroler.



Gambar 6. Data flow diagram sistem

2.2 Perhitungan Parameter PID

Berikutnya merupakan proses perhitungan parameter PID menggunakan metode Cohen-Coon. Dalam metode ini penalaan PID dilakukan dengan mengamati dinamika sistem secara *open loop*. tangki pada *process plant* memiliki tinggi maksimum 26 cm sehingga apabila lebih dari nilai tersebut air servo 2 akan terbuka dan air akan mengalir keluar ke tangki dasar. Hasil pembacaan sistem secara *open loop* dengan input berupa aliran cairan (liter/menit) ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik input sistem open loop ketinggian permukaan cairan (kiri) dan grafik tanggapan sistem open loop ketinggian permukaan cairan (kanan)

Berdasarkan pengujian *open loop* didapatkan parameter performansi berupa *delay time* (T_d) sebesar 6,5 detik, titik infleksi (T) pada 58 detik dengan target (Bu) pada 26 cm berdasarkan input berupa aliran air rata-rata (M) 3,87 liter/menit. Sistem memberikan respon *open loop* yang stabil sehingga berdasarkan nilai-nilai yang sudah di dapat kemudian dapat dicari parameter K_p , K_c , τ_i , dan τ_d menggunakan metode dari Cohen-Coon sebagai berikut:

$$K = \frac{Bu}{M} \quad (1)$$

$$K_c = \frac{1}{K_p} \frac{T}{T_d} \left(\frac{4}{3} + \frac{T_d}{4T} \right) \quad (2)$$

$$\tau_i = T_d \frac{32 + 6 \frac{T_d}{T}}{13 + 8 \frac{T_d}{T}} \quad (3)$$

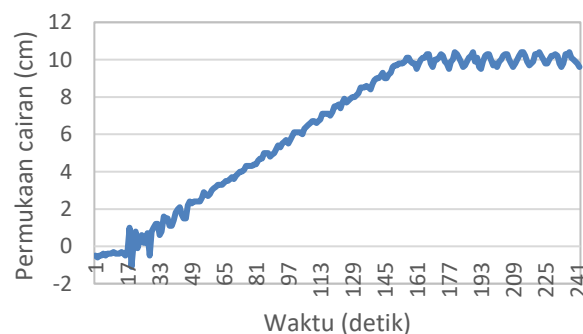
$$\tau_d = T_d \frac{4}{11 + 2 \frac{T_d}{T}} \quad (4)$$

Hasil dari perhitungan pada persamaan (1) sampai dengan persamaan (4) selanjutnya dikonversi menjadi $K_p = K_c = 1,808$, $K_i = K_c/\tau_i = 0,118$, dan $K_d = K_p \times \tau_d = 4,1873$. Parameter tersebut merupakan parameter yang dimasukkan kedalam Node-Red dan akan menjadi parameter kontroler PID untuk mendapatkan nilai respon yang *closed loop*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sistem *Closed Loop* dengan *Feedback Gain* $K = 1$

Gambar 8 menunjukkan respon pengujian sistem *closed loop* dengan *feedback gain* $K = 1$. Pada pengujian sistem *closed loop*, mula-mula ditentukan nilai penguatan yang diberikan adalah $K = K_p = 1$. Nilai *set point* yang diinginkan adalah 10 cm. Sistem dapat memberikan tanggapan ketinggian permukaan cairan pada 10 cm akan tetapi output sinyal yang terbaca masih terdapat osilasi yang ditunjukkan dengan naik dan turunnya tinggi permukaan cairan. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa pengontrolan masih kurang baik dan diperlukan proses penalaan untuk menghilangkan osilasi tersebut. Proses penalaan yang diperlukan diantaranya adalah menambahkan kendali derivatif untuk menurunkan osilasi. Pada penelitian akan dilakukan proses penalaan menggunakan metode yang sudah banyak dipakai diantaranya adalah Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon. Proses penalaan tersebut diharapkan dapat memberikan respon yang lebih baik dengan spesifikasi sistem memiliki $Ess = 0$ dan persentase OS yang kecil.



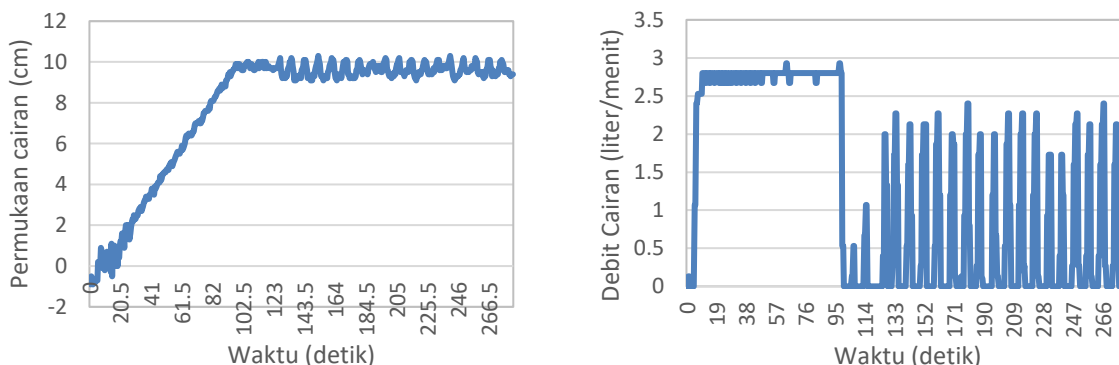
Gambar 8. Grafik tanggapan sistem *closed loop* dengan $K = 1$

3.2 Pengujian Sistem *Closed Loop* dengan Penalaan Ziegler-Nichols

Pada pengujian berikutnya dilakukan dengan menggunakan *tuning* menggunakan metode Ziegler-Nichols sehingga dapat dikomparasikan perbedaan respon dari *tuning* yang dilakukan oleh metode

Cohen-Coon. Parameter K_p , K_i , dan K_d yang didapat menggunakan metode Ziegler-Nichols ini adalah parameter dari pendekatan yang pertama berdasarkan pengamatan dari tanggapan sistem secara *open loop*. Hasil dari perhitungan yang didapat menggunakan metode Ziegler-Nichols I adalah $K_p = 6,25$, $K_i = 0,4807$ dan $K_d = 20,3125$. Maka dapat dilihat pada Gambar 9 untuk perubahan level air yang terjadi memiliki nilai $T_d = 26,75$ detik, $T_r = 52,5$ detik dan $T_s = 116,25$ detik. Dapat dilihat pula pada Gambar 9 (kiri) memperlihatkan grafik yang masih memiliki osilasi dan sulit mencapai *set point*. Hal ini mengharuskan proses penalaan ulang pada parameter PID agar mendapatkan respon yang lebih baik atau dilakukan *fine tuning*. Pada penelitian ini akan dilakukan proses perbandingan hasil perhitungan parameter PID Ziegler-Nichols I dengan metode penalaan berikutnya yaitu metode Cohen-Coon.

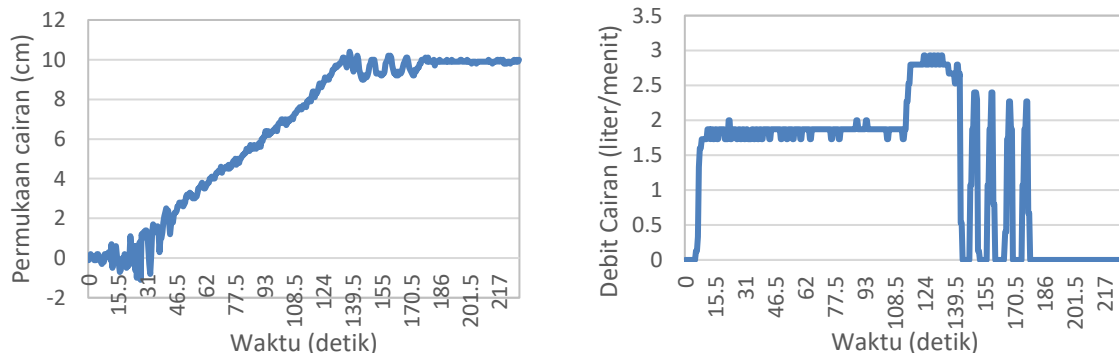
Pada Gambar 9 (kanan) memperlihatkan sinyal kendali dari aliran cairan input menuju ke dalam tangki utama terlihat aliran cairan input mula-mula memberikan nilai konstan pada debit 3 liter/menit. Sampai pada detik ke 125 sistem masih dapat dikendalikan dan tidak memiliki overshoot. Akan tetapi pada detik berikutnya sistem mencoba mempertahankan nilai *set point* yang diinginkan dengan membuka *level control variable 2* sehingga sistem akan terus berusaha mempertahankan pada nilai set point. Pada akhirnya sistem akan terjadi perubahan input sinyal kendali yang mengakibatkan sistem berosilasi yang ditandai dengan air akan di buang sedikit demi sedikit sampai mencapai *set point*.



Gambar 9. Grafik tanggapan sistem *closed loop* penalaan PID Z-N (kiri) dan grafik sinyal kendali *closed loop* penalaan PID Z-N (kanan)

3.3 Pengujian Sistem *Closed Loop* dengan Penalaan Cohen-Coon

Dengan menggunakan nilai *set point* yang sama yaitu 10 cm, pengujian berikutnya menggunakan hasil dari perhitungan parameter PID dengan $K_p = 1,808$, $K_i = 0,1182$, dan $K_d = 4,1873$. Maka dapat dilihat pada Gambar 10 (kiri) grafik tanggapan ketinggian permukaan cairan memiliki nilai $T_d = 20,5$ detik, $T_r = 38,5$ detik dan $T_s = 40$ detik dengan $M_p = 0\%$. Dengan melakukan penalaran sebanyak 1 kali terlihat grafik lebih baik dari penalaran yang menggunakan metoda Z-N dan dapat mempertahankan nilai *set point*.

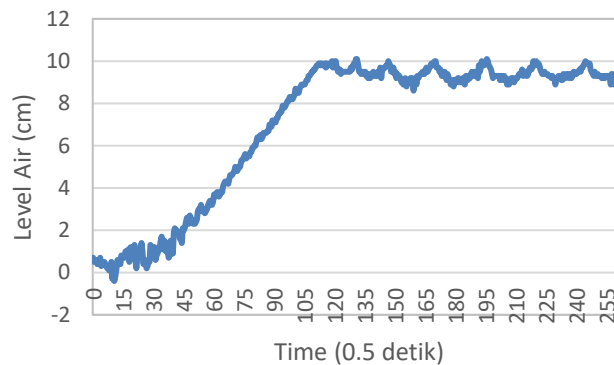


Gambar 10. Grafik tanggapan sistem *closed loop* penalaan PID C-C (kiri) dan grafik sinyal kendali *closed loop* penalaan PID C-C (kanan)

Pada Gambar 10 (kanan) memperlihatkan input aliran air yang memiliki osilasi yang tidak terlalu banyak sinyal kendali yang diberikan mula-mula berada pada nilai 1,9 liter/menit kemudian naik ke 3 liter/menit dan berikutnya sinyal kendali input tersebut memberikan nilai osilasi tapi lebih sedikit dibandingkan pada proses penalaan sebelumnya. Untuk aliran air input berhenti mengisi tangki karena *set point* yang dituju telah tercapai dengan $Ess = 0$ dan sinyal kendali untuk aliran air output terlihat berhenti pada akhir grafik untuk menutup aliran air keluar dari tangki.

3.4 Pengujian Sistem *Closed Loop* dengan Gangguan

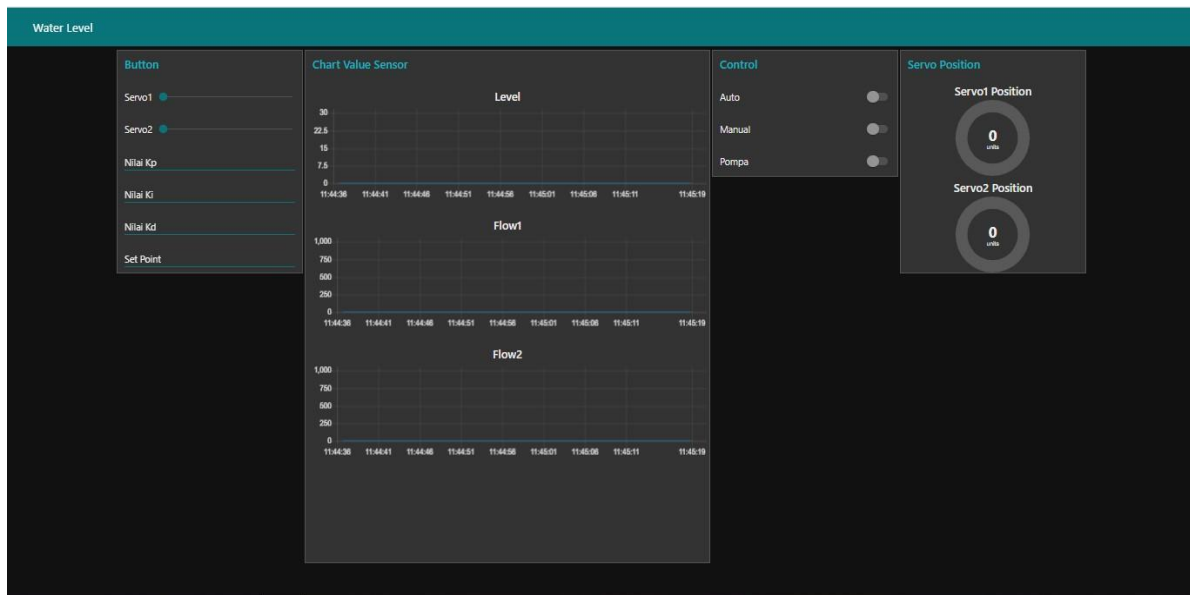
Pada pengujian selanjutnya dilakukan penambahan gangguan pada tangki utama dengan membuka *valve* pembuangan cairan dan mengamati output tanggapan dari sistem. Bukaan dari *valve* pembuangan sebesar 50% menghasilkan grafik pada Gambar 11. Dapat dilihat bahwa respon tetap mempertahankan *set point* walaupun mendapatkan osilasi yang cukup besar. Osilasi terjadi karena bukaan pada *level control valve 1* akan bergerak menutup apabila nilai *error* PID pembacaan pada sistem lebih besar dari 0,20 cm. Jika air telah berkurang *level control valve 1* akan menutup dan mengalirkan cairan kembali sesuai kalkulasi sinyal kendali yang dihasilkan dari algoritma PID sehingga mendapatkan nilai sesuai dengan *set point*. Dikarenakan gerakan dari *Level Control Valve 1* yang hanya dapat bergerak 0 sampai 90 derajat grafik memiliki osilasi yang tinggi tapi nilai *set point* masih dapat dicapai.



Gambar 11. Grafik tanggapan sistem dengan gangguan bukaan *valve* 50%

3.5 Implementasi HMI Node-Red

Tanggapan sistem secara keseluruhan akan terekam pada HMI dan langsung berbentuk grafik. Hal ini akan mempermudah untuk mengamati pergerakan dari sinyal kendali dan juga output dari nilai ketinggian permukaan cairan yang diinginkan. Pada Gambar 12 dapat ditunjukkan 3 buah grafik *time series* yang diambil yaitu ketinggian permukaan cairan, sinyal kendali input aliran cairan dan aliran cairan yang keluar dari tangki. Berdasarkan informasi tersebut melihat nilai sinyal kendali apabila nilai dari *set point* telah tercapai. Pada gambar tersebut juga dapat ditentukan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d yang diperlukan tanpa melakukan program ulang pada kontroler utama. Dengan menggunakan HMI dapat pula diakses sistem kendali secara otomatis atau manual dengan mengatur knob yang tersedia yang dapat ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Pada pengujian berikutnya yaitu pengiriman data pada Node-Red dengan protokol komunikasi MQTT dengan menggunakan parameter PID yang sudah dilakukan penalaan menggunakan metode Cohen-Coon. Respon dari sistem dapat dilihat pada Gambar 13 yang menunjukkan data *time series* tanggapan sistem beserta sinyal kendali yang diolah oleh kontroler utama. Pengujian juga meliputi pengujian waktu tunda pada alamat IP sistem di 123.45.0.107 dan pada alamat IP *broker* MQTT di 123.45.0.10 menghasilkan waktu tunda sebesar 0-1ms. Nilai tersebut relatif kecil karena *broker* MQTT terinstal pada PC dan tersambung menggunakan *ethernet* untuk menjalankan skema sistem kendali terdistribusi.



Gambar 12. HMI berbasis Node-Red

Gambar 13. Grafik *time series* pada HMI

4. KESIMPULAN

Perancangan kendali tinggi permukaan cairan dengan menerapkan sistem kendali terdistribusi dapat direalisasikan dengan menggunakan mikrokontroler Mega 2560 dan *ethernet shield* sebagai modul komunikasi. Protokol MQTT dapat dipilih karena memiliki spesifikasi yang ringan dan dapat diintegrasikan dengan HMI berbasis Node-Red dengan waktu tunda pengiriman data 0-1 ms dan dapat digunakan sebagai antar muka dengan variasi dashboard yang informatif dan time series. Hasil pengujian yang dilakukan dapat melihat performa kerja dari kendali ketinggian cairan dan juga menguji dari sistem komunikasi data dari HMI yang dibuat. Hasil dari pengujian kendali ketinggian air pada process plant dengan metode penalaan Cohen-Coon mendapatkan nilai penguatan $K_c = 1,808$, $\tau_i = 15,282$, dan $\tau_d = 2,316$ menghasilkan tanggapan sebesar $T_d = 20,5$ detik $T_r = 67,75$ detik dan $T_s = 88$ detik dengan nilai referensi 10 cm. Hasil tersebut lebih baik dari pada penalaan menggunakan metode Ziegler-Nichols yang menghasilkan nilai penguatan $K_p = 6,25$, $T_i = 0,4807$, dan $T_d = 20,3125$ menghasilkan tanggapan sebesar $T_d = 20,5$ detik $T_r = 67,75$ detik dan $T_s = 88$ detik. Sistem tersebut

juga dapat merespon dengan baik apabila terdapat gangguan. Pada penelitian berikutnya diharapkan dapat merancang sistem kendali terdistribusi dengan berbagai topologi dan reduksi guna menghindari hal-hal teknis seperti adanya gangguan pada infrastruktur. disarankan pula untuk menambahkan kontrol pada motor pompa secara variabel agar input aliran dapat diatur dari kecepatan motor bukan hanya *valve* saja atau menggunakan teknik pengendalian secara *cascade* untuk mengendalikan aliran output.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Universitas Jenderal Achmad Yani yang telah mendanai penelitian ini pada Hibah Kompetitif Internal Unjani.

REFERENSI

- [1] A. Alawiah and A. R. Al Tahtawi, "Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik," *Kopertip*, vol. 01, no. 01, pp. 25–30, 2017.
- [2] S. Hadi and H. W. Murti, "Kajian Industri 4.0 Untuk Penerapannya Di Indonesia," *J. Manaj. Ind. dan Logistik*, vol. 3, no. 1, pp. 01–13, 2019.
- [3] I. G. S. Widharma, I. W. W. Kusuma, P. K. Paramarta, I. P. A. K. Suika, M. A. Pradnyana, and I. G. A. N. C. Wardhana, "Sistem Kontrol Terdistribusi Pada Pembangkit listrik tenaga Air Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)," *Politeknik Negeri Bali*, 2021.
- [4] D. Wicaksono, "Design and Analysis Automatic Temperature Control in The Broiler Poultry Farm Based on Wireless Sensor Network," in *2nd International Conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, 2017, pp. 450–455.
- [5] O. M. R. Sustika, "Pengembangan RTU (Remote Terminal Unit) untuk Sistem Kontrol Jarak Jauh Berbasis IP," *INKOM*, vol. IV, no. 2, pp. 88–94, 2010.
- [6] P. S. Rudati, F. Feriyonika, Y. Sudarsa, F. Ruyadi, and N. W. Santoso, "Distributing PID Controllers Applied in Water-Mixing Process," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, no. 3, pp. 0–7, 2020.
- [7] R. A. Atmoko, R. Riantini, and M. K. Hasin, "IoT Real Time Data Acquisition Using MQTT Protocol," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 853, no. 1, pp. 0–6, 2017.
- [8] Y. Aprinaldi and D. I. Saputra, "Sistem Pemantauan dan Pengisian Cairan Pada Mesin Hemodialisa Berbasis IoT Dengan Protokol MQTT," *JITEL (Jurnal Ilm. Telekomun. Elektron. dan List. Tenaga)*, vol. 1, no. 1, pp. 9-16, 2021.
- [9] F. Y. Aslan and B. Aslan, "Comparison of IoT Protocols with OSI and TCP / IP Architecture," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, vol. 15, no. 1, pp. 333-343, 2023.
- [10] R. K. Kodali and K. S. Mahesh, "A low Cost Implementation of MQTT Using ESP8266," in *Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016*, 2016, pp. 404–408.
- [11] S. Mulyono, M. Qomaruddin, and M. Anwar, "Penggunaan Node-RED pada Sistem Monitoring dan Kontrol Green House berbasis Protokol MQTT," *J. Transistor Elektro dan Inform. (TRANSISTOR EI)*, vol. 3, no. 1, pp. 31–44, 2018.
- [12] M. Lekić and G. Gardašević, "IoT Sensor Integration to Node-RED Platform," *2018 17th Int. Symp. INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2018 - Proc.*, vol. 2018-January, no. March, pp. 1–5, 2018.
- [13] N. Nurhaimi, A. Herlina, and M. Bachrudin, "Analisis Pengaturan Level Air Pada Degasifier Tank Unit 5 Dan 6 Paiton Menggunakan Metode Proportional Integratif Derivatif (Pid)," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 163, 2020.
- [14] N. Allu and A. Toding, "Tuning with Ziegler Nichols Method for Design PID Controller at Rotate Speed DC Motor," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 846, no. 1, pp. 0–6, 2020.
- [15] F. Isdaryani, F. Feriyonika, and R. Ferdiansyah, "Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1450, no. 1, pp. 0–10, 2020.

