

## ANALISIS KELAYAKAN IMPLEMENTASI ADVANCED PROCESS CONTROL (APC) PADA REBOILER 212-H3 UNIT HYDROCRACKER KILANG MINYAK

Alifia Ananda Aisyah<sup>1</sup>, Herry Purnama<sup>1\*</sup>, Moh Fuad Rofiqi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Surakarta

<sup>2</sup>PT Kilang Pertamina Internasional RU II Dumai, Riau

E-mail: [hp269@ums.ac.id](mailto:hp269@ums.ac.id)

### Abstract

The Dumai oil refinery plays a strategic role in meeting national energy demand, particularly through the Hydrocracking Unit (HCU), which converts heavy fractions into high-value products. The complexity of HCU operations requires precise control systems to maintain process stability and energy efficiency. This study aims to evaluate the feasibility of implementing Advanced Process Control (APC) on Reboiler 212-H3 by identifying process dynamics through mathematical modelling. A quantitative approach was applied using step tests on historical operational data from June 2025. Model identification employed the Reaction Curve method to determine First Order Plus Dead Time (FOPDT) parameters for two variable pairs: Bottom Flow and Automotive Diesel Oil (ADO) Flow as manipulated variables, and H-3 Coil Outlet Temperature (COT) as the controlled variable. The results show distinct dynamic characteristics. The Bottom Flow model produced  $K = 2.465$ ,  $\theta = 106.420$  minutes, and  $\tau = 20.082$  minutes, while the ADO Flow model yielded  $K = -5.214$ ,  $\theta = 0$  minutes, and  $\tau = 1,715.412$  minutes. Graphical overlay validation indicates that the FOPDT models accurately represent actual process responses and are suitable as a basis for further APC strategy development.

**Keywords:** advanced process control; FOPDT; hydrocracker; reboiler; step test

### Abstrak

Kilang minyak di Dumai berperan strategis dalam pemenuhan energi nasional, terutama melalui unit Hydrocracking (HCU) yang mengolah fraksi berat menjadi produk bernilai tinggi. Kompleksitas operasi HCU memerlukan sistem kendali yang akurat agar stabilitas proses dan efisiensi energi tetap terjaga. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan penerapan Advanced Process Control (APC) pada Reboiler 212-H3 dengan mengidentifikasi dinamika proses melalui pemodelan matematis. Metode kuantitatif digunakan dengan melakukan step test pada data historis operasional Juni 2025. Identifikasi model memakai metode Reaction Curve untuk memperoleh parameter First Order Plus Dead Time (FOPDT) pada dua pasangan variabel: Flow Bottom dan Flow Automotive Diesel Oil (ADO) sebagai variabel manipulasi terhadap Coil Outlet Temperature (COT) H-3 sebagai variabel terkontrol. Hasil menunjukkan perbedaan karakteristik dinamika. Model Flow Bottom memiliki  $K = 2,465$ ;  $\theta = 106,420$  menit; dan  $\tau = 20,082$  menit, sedangkan Flow ADO memiliki  $K = -5,214$ ;  $\theta = 0$  menit; dan  $\tau = 1.715,412$  menit. Validasi overlay grafik menunjukkan model cukup akurat dan layak menjadi dasar perancangan APC lanjutan.

**Kata Kunci:** advanced process control; FOPDT; hydrocracker; reboiler; step test

## 1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berpenduduk terbesar keempat di dunia mengalami peningkatan kebutuhan energi setiap tahunnya, terutama dalam bentuk bahan bakar minyak sebagai penunjang aktivitas ekonomi dan transportasi [1]. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor serta memperkuat ketahanan energi nasional, pemerintah mendorong kebijakan hilirisasi dan pengembangan industri pengolahan dalam negeri [2]. Upaya tersebut menuntut peningkatan efisiensi dan keandalan operasi pada fasilitas pengolahan minyak dan gas.

Salah satu fasilitas strategis adalah PT Kilang Pertamina Internasional (KPI) RU II Dumai yang berperan penting dalam penyediaan bahan bakar, khususnya produk *Automotive Diesel Oil* (ADO) dengan standar sulfur rendah [3]. Di dalam kilang tersebut, *Hydrocracking Unit* (HCU) berfungsi mengonversi fraksi berat menjadi produk bernilai tinggi seperti diesel, *naphtha*, dan LPG melalui reaksi katalitik pada kondisi suhu dan tekanan tinggi [4]. Kompleksitas operasi HCU menyebabkan proses sangat sensitif terhadap gangguan, sehingga memerlukan sistem pengendalian yang andal dan adaptif [5].

APC merupakan teknologi pengendalian lanjutan berbasis model matematis dan optimasi yang mampu mengatur variabel proses secara otomatis dan *real-time* [6]. Implementasi APC telah terbukti meningkatkan efisiensi energi, menurunkan variabilitas proses, serta menjaga konsistensi kualitas produk pada berbagai proses industri [7,8]. Namun, keberhasilan penerapan APC sangat bergantung pada ketersediaan model dinamik proses yang representatif.

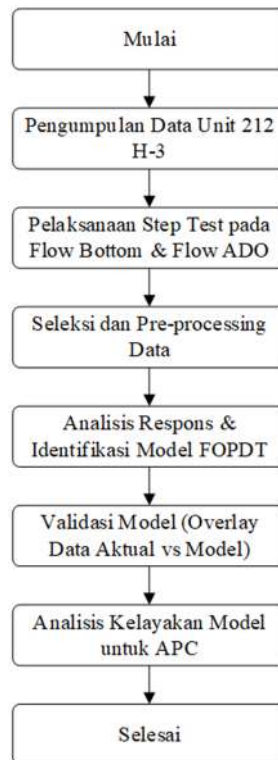
Hingga saat ini, kajian mengenai karakteristik dinamika proses Reboiler 212-H3 di HCU RU II Dumai, khususnya melalui pendekatan FOPDT sebagai dasar perancangan APC, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi parameter dinamik proses pada Reboiler 212-H3 menggunakan analisis *step test* dan pemodelan FOPDT, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kelayakan implementasi APC pada unit tersebut.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamika proses pada Unit H-3 melalui hubungan antara *Flow ADO* sebagai *Manipulated Variable (MV)* dan *COT H-3* sebagai *Controlled Variable (CV)*. Pengerjaan penelitian ini menggunakan *software* GNU Octave untuk memperoleh model dinamik menggunakan pendekatan FOPDT yang nantinya dapat dijadikan dasar dalam penerapan APC.

Secara umum, tahap penelitian meliputi pengumpulan data, pemilihan dan pembersihan data, pelaksanaan *step test*, identifikasi model, dan validasi hasil. Alur tahapan penelitian digambarkan dalam diagram alir Gambar 1.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data historis operasi Reboiler 212-H3 yang diambil pada tanggal 11 Juni 2025 dengan rentang waktu pencatatan pukul 00.00–10.00 WIB dan interval pengambilan data setiap satu menit. Data yang dianalisis meliputi *Flow ADO* dan *Flow Bottom* sebagai MV serta *COT H-3* sebagai CV. Sebelum dilakukan analisis, data ditinjau untuk memastikan merepresentasikan kondisi operasi yang stabil dan relevan.



**Gambar 1. Diagram alir pengolahan data.**

Tahap pra-pemrosesan data dilakukan untuk meningkatkan kualitas analisis, meliputi penghilangan *outlier* dan reduksi *noise* agar data mencerminkan kondisi proses yang sebenarnya. Selanjutnya, analisis *step test* dilakukan dengan mengamati respons perubahan COT H-3 akibat perubahan nilai variabel manipulasi dalam domain waktu. Visualisasi data digunakan untuk mengidentifikasi kondisi *steady state* awal, *steady state* akhir, serta waktu awal respons proses.

Identifikasi dinamika proses dilakukan menggunakan pendekatan FOPDT melalui *Reaction Curve Method* [9]. Parameter model yang ditentukan meliputi *process gain*, *dead time*, dan *time constant*, yang diperoleh berdasarkan analisis kurva respons proses. Model dinamika proses dinyatakan dalam bentuk fungsi alih FOPDT sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{K e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

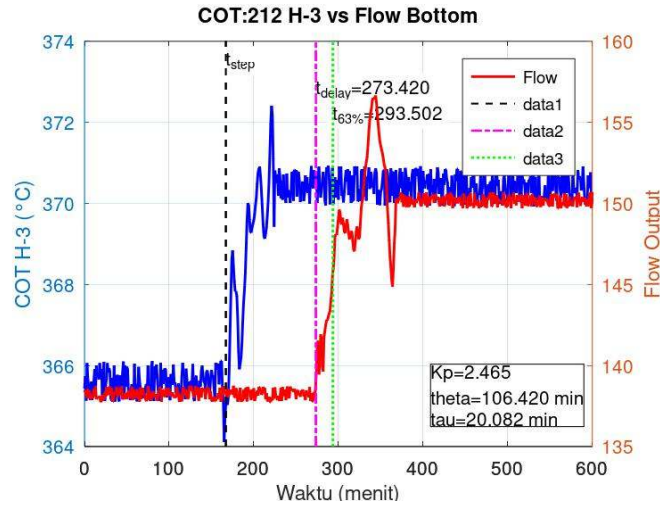
Validasi model dilakukan dengan membandingkan respons model FOPDT terhadap data aktual menggunakan metode *overlay* grafik. Model dinyatakan representatif apabila mampu mengikuti arah respons, karakteristik dinamika, serta kecenderungan nilai *steady state* dari data aktual [10]. Model yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi kelayakan penerapan APC pada Reboiler 212-H3.

### 3. Hasil dan Pembahasan

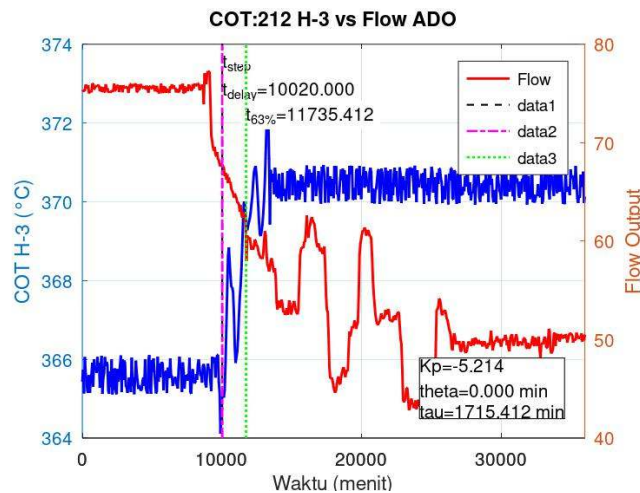
#### 1. Hasil Step Test dan Grafik Respons Proses

Pengujian *step test* dilakukan dengan memberikan perubahan nilai pada variabel manipulasi (MV) dan mengamati respons variabel terkontrol (CV) terhadap perubahan tersebut. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh data dinamika proses yang

nantinya digunakan dalam proses identifikasi model FOPDT. Pengamatan dilakukan terhadap dua pasangan variabel, yaitu *Flow ADO* terhadap COT H-3 dan *Flow Bottom* terhadap COT H-3. Data hasil pencatatan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memperlihatkan pola perubahan CV sebagai respons terhadap perubahan MV. Grafik respon proses menunjukkan fase transien hingga sistem mencapai keadaan tunak baru.



Gambar 2. Hasil *step test* dan grafik respons proses *Flow Bottom*



Gambar 3. Hasil *step test* dan grafik respons proses *Flow ADO*

## 2. Model FOPDT

Pemodelan dinamika proses dilakukan menggunakan pendekatan FOPDT atau model Orde Satu dengan Waktu Tunda. Model ini dipilih karena mampu merepresentasikan dinamika proses industri secara sederhana namun cukup akurat untuk keperluan analisis awal dan perancangan sistem pengendalian. Secara umum, model FOPDT dinyatakan sebagai persamaan (3) dengan  $K$  = process gain,  $\theta$  = dead time (menit), dan  $\tau$  = time constant (menit).

$$G(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (2)$$

Parameter model diperoleh berdasarkan hasil step test melalui analisis kurva respons proses. Nilai steady state awal dan akhir, titik perubahan (step), waktu awal respon, serta waktu saat respon mencapai 63,2% perubahan digunakan untuk menentukan nilai K,  $\theta$ , dan  $\tau$ .

### 3. Model FOPDT Flow Bottom

Berdasarkan hasil *step test* untuk variabel *Flow Bottom* sebagai MV dan COT H-3 sebagai CV, dilakukan identifikasi model menggunakan metode *Reaction Curve* sehingga diperoleh parameter model FOPDT. Parameter yang diperoleh ditampilkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1. Nilai parameter model FOPDT Flow Bottom**

Parameter	Nilai	Unit
K	2.465	-
$\theta$	106.420	menit
$\tau$	20.082	menit

Hasil perhitungan parameter model untuk flow bottom adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{2.465e^{-106.420s}}{20.082s+1} \quad (3)$$

### 4. Model FOPDT Flow ADO

Berdasarkan hasil *step test* untuk variabel *flow bottom* sebagai MV dan COT H-3 sebagai CV, dilakukan identifikasi model menggunakan metode *reaction curve* sehingga diperoleh parameter model FOPDT. Parameter yang diperoleh disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Nilai Parameter Model FOPDT Flow ADO**

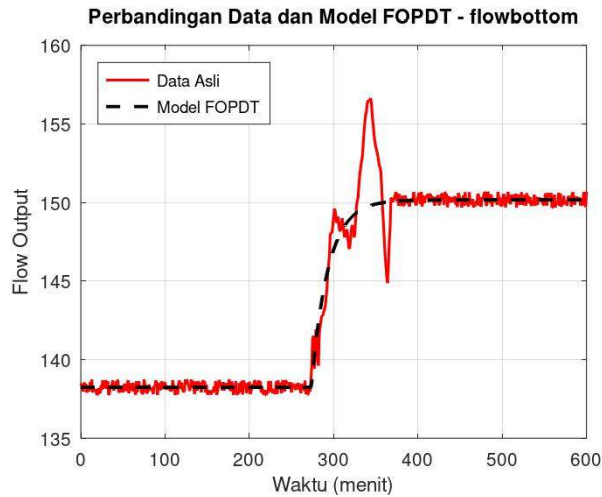
Parameter	Nilai	Unit
K	-5.214	-
$\theta$	0.000	menit
$\tau$	1715.412	menit

Hasil perhitungan parameter model untuk flow bottom adalah sebagai berikut:

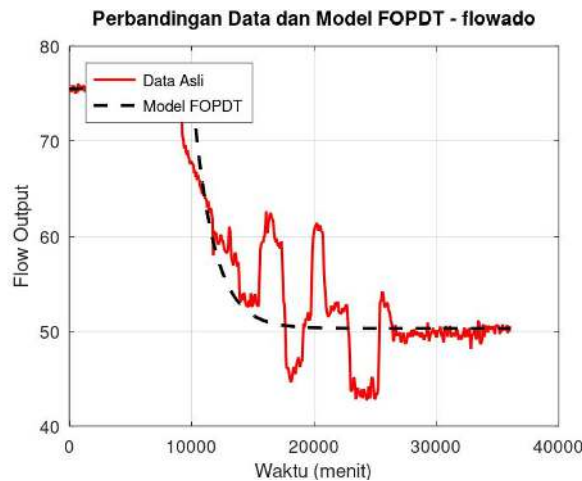
$$G(s) = \frac{-5.214e^{-0s}}{1715.412s+1} \quad (4)$$

### 3.5 Validasi Model FOPDT

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model FOPDT yang diperoleh mampu merepresentasikan karakteristik dinamik proses sebagaimana ditunjukkan oleh data hasil *step test*. Validasi dilakukan menggunakan metode *overlay* grafik, yaitu dengan membandingkan kurva respon model FOPDT terhadap kurva respon data aktual pada grafik yang sama. Model dinyatakan representatif apabila mampu mengikuti pola perubahan, arah respon, dan kecenderungan *steady state* dari data aktual.



Gambar 4. Model FOPDT *Flow Bottom* terhadap COT H-3



Gambar 5. Model FOPDT *Flow ADO* terhadap COT H-3

### 3.6 Pembahasan

Hasil uji step test antara variabel COT H-3 sebagai variabel manipulasi (MV) dan variabel respon berupa *flow bottom* serta *flow ADO* menunjukkan karakteristik dinamika proses yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk memahami bagaimana perubahan pada suhu potong (COT H-3) mempengaruhi laju alir produk serta menentukan parameter dinamik proses menggunakan pendekatan FOPDT.

Berdasarkan grafik hasil *step test* (Gambar 2), dapat dilihat bahwa setelah dilakukan perubahan nilai pada COT H-3 (sekitar menit ke-200), variabel *flow bottom* tidak langsung menunjukkan perubahan. Hal ini terlihat dari adanya *dead time* ( $\theta$ ) selama sekitar 106,420 menit sebelum sistem mulai memberikan respon. Setelah melewati waktu tunda tersebut, laju alir produk bottom (garis merah) meningkat secara bertahap dari sekitar 140 menjadi 150 unit *flow*, mengikuti kenaikan suhu COT dari sekitar 365°C menjadi 370°C.

Pola respon yang ditunjukkan menyerupai respon orde satu dengan sedikit *overshoot* di sekitar menit ke-300 hingga 350. Nilai gain proses ( $K_p$ ) sebesar 2,465 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1°C pada COT H-3 menyebabkan peningkatan *flow bottom*

sebesar 2,465 satuan laju alir. Respon positif ini menggambarkan hubungan searah antara COT dan *flow bottom*, karena kenaikan suhu cut point mendorong lebih banyak fraksi berat untuk keluar sebagai produk *bottom*.

Nilai *time constant* ( $\tau$ ) sebesar 20,082 menit menunjukkan bahwa setelah proses mulai merespons, sistem relatif cepat mencapai keadaan tunak baru. Hal ini menandakan bahwa aliran produk *bottom* memiliki karakteristik proses cepat dengan waktu tunda signifikan akibat inersia termal dan waktu transport panas dalam kolom.

Validasi model (Gambar 4) menunjukkan bahwa model FOPDT mampu merepresentasikan data aktual dengan baik, di mana garis model (putus-putus) mengikuti arah perubahan, pola kenaikan, serta nilai *steady state* dari data asli. Deviasi kecil pada puncak *overshoot* disebabkan oleh pengaruh kontrol lain di lapangan, seperti pengaturan *reboiler* dan interaksi antar *tray*. Dengan demikian, model FOPDT untuk *flow bottom* dinilai representatif dan akurat untuk analisis dinamik awal dan perancangan kontrol.

Berdasarkan grafik step test (Gambar 3), respon *flow ADO* terhadap perubahan COT H-3 menunjukkan perilaku yang berbeda dibanding *flow bottom*. Ketika suhu COT H-3 naik, *flow ADO* justru menurun signifikan dari sekitar 75 menjadi 50 unit *flow*, menandakan adanya hubungan berbanding terbalik ( $K_p$  negatif) antara keduanya. Nilai  $K_p = -5,214$  memperkuat hal ini, artinya kenaikan suhu  $1^\circ\text{C}$  pada COT H-3 menyebabkan penurunan *flow ADO* sebesar 5,214 satuan laju alir.

Berdasarkan Tabel 2. terlihat bahwa respon *flow ADO* terjadi hampir tanpa *dead time* ( $\theta = 0$ ), menandakan bahwa sistem merespons langsung begitu terjadi perubahan suhu potong. Namun demikian, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak baru sangat lama, ditunjukkan oleh nilai *time constant* ( $\tau = 1715,412$  menit). Hal ini menandakan bahwa proses berlangsung lambat dengan inersia tinggi, kemungkinan disebabkan oleh interaksi antarfraksi dan pengaruh variabel operasi lain seperti tekanan kolom dan laju *reflux*.

Selain itu, bentuk respon *flow ADO* memperlihatkan osilasi besar sebelum akhirnya stabil. Hal ini mencerminkan karakteristik proses yang kompleks dan multivariabel, di mana perubahan suhu pada COT H-3 tidak hanya mempengaruhi fraksi ADO secara langsung, tetapi juga berdampak terhadap distribusi fraksi lain dalam kolom.

Hasil validasi (Gambar 5) memperlihatkan bahwa model FOPDT masih mampu mengikuti tren umum penurunan *flow ADO*, meskipun tidak dapat menangkap fluktuasi dinamis secara penuh. Perbedaan tersebut dapat terjadi akibat pengaruh APC yang bekerja secara otomatis untuk menjaga kestabilan temperatur dan komposisi produk selama step test berlangsung.

Jika dianalisis lebih mendetail, kedua grafik menunjukkan karakteristik yang kontras. Pada *flow bottom*, sistem memiliki *dead time* panjang ( $\theta$  tinggi) namun *time constant* kecil ( $\tau$  rendah), artinya proses baru mulai bereaksi setelah waktu tertentu, tetapi setelah mulai, responnya cepat menuju *steady state*. Sementara itu, *flow ADO* tidak memiliki waktu tunda tetapi memiliki  $\tau$  yang sangat besar, menunjukkan proses lambat, osilatif, dan sulit mencapai kestabilan.

Nilai  $K_p$  positif pada *flow bottom* menunjukkan bahwa kenaikan COT menyebabkan peningkatan jumlah fraksi berat yang keluar melalui aliran bawah kolom. Sebaliknya,  $K_p$  negatif pada *flow ADO* menggambarkan bahwa kenaikan COT menggeser sebagian

fraksi ADO menjadi fraksi yang lebih berat, sehingga laju alir ADO menurun.

Perbandingan hasil validasi menunjukkan bahwa model FOPDT untuk *flow bottom* lebih akurat dibandingkan *flow ADO*. Model pada *flow bottom* mampu menggambarkan karakteristik sistem dengan baik, sedangkan model pada *flow ADO* hanya sesuai secara umum. Hal ini mengindikasikan bahwa proses *flow ADO* memiliki kompleksitas dinamik yang lebih tinggi, memerlukan model dengan orde lebih tinggi atau pendekatan *multivariable* untuk merepresentasikan pengaruh antar fraksi.

Secara keseluruhan, hubungan antara COT H-3 dan *flow bottom* menunjukkan proses dengan respon cepat, stabil, dan mudah dikendalikan, sedangkan hubungan antara COT H-3 dan *flow ADO* menunjukkan respon lambat, berosilasi, dan memerlukan penyesuaian kontrol lanjutan. Implementasi *Advanced Process Control* (APC) menjadi sangat penting untuk menjaga stabilitas kedua aliran produk ini secara simultan, karena perubahan COT H-3 dapat menimbulkan efek silang antarfraksi. Model FOPDT yang diperoleh dapat dijadikan dasar dalam perancangan sistem kontrol suhu dan laju alir pada kolom fraksinasi di Unit *Hydrocracking Unibon*, guna meningkatkan kestabilan operasi, efisiensi energi, dan konsistensi kualitas produk.

## 5. Kesimpulan

Pelaksanaan studi kinerja dan pemodelan proses pada unit 212 H-3 melalui pengujian *step test*, identifikasi model *First Order Plus Dead Time* (FOPDT), serta validasi respons proses telah menghasilkan pemahaman komprehensif mengenai pengaruh perubahan *flow bottom* dan *flow ADO* terhadap COT H-3. Hasil analisis menunjukkan bahwa dinamika proses bersifat konsisten dan dapat direpresentasikan secara memadai melalui pendekatan pemodelan yang digunakan.

Berdasarkan evaluasi teknis dan ekonomi, diperoleh beberapa temuan utama, yaitu: (1) model dinamika proses berhasil diidentifikasi dengan parameter yang representatif; (2) hasil validasi menunjukkan tingkat akurasi model yang baik dalam merepresentasikan respons aktual; dan (3) terdapat peluang peningkatan kinerja proses melalui strategi pengendalian yang lebih optimal.

Secara keseluruhan, studi ini menegaskan bahwa pemahaman mendalam terhadap karakteristik dinamika proses melalui analisis *step test* memberikan landasan yang kuat bagi pengembangan sistem pengendalian lanjutan. Oleh karena itu, penerapan *Advanced Process Control* (APC) direkomendasikan, mengingat proses menunjukkan respons yang terukur terhadap perubahan variabel manipulasi. Implementasi APC diharapkan mampu meningkatkan stabilitas COT H-3, menurunkan variabilitas operasi, serta mendukung peningkatan efisiensi dan kinerja ekonomi perusahaan.

## Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik, Statistik Indonesia 2024, BPS, Jakarta, 2024.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Roadmap Hilirisasi Energi Nasional, Jakarta, 2019.
- [3] A. Aprianingsih, *Strategy for Commercialization of Pertamina Renewable Diesel in the B2B Domestic Market*, European Journal of Business and Management Research, vol. 9, no. 6, pp. 1-13, 2024, <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2024.9.2243>.
- [4] PT Pertamina (Persero), Buku Saku HCC RU II Dumai, Dumai, 2019.

- [5] E. Iplik, I. Aslanidou, and K. Kyprianidis, *A Feedforward Model Predictive Controller for Optimal Hydrocracker Operation*, *Processes*, vol. 10, no. 12, 2022, <https://doi.org/10.3390/pr10122583>.
- [6] D. E. Seborg, T. F. Edgar, D. A. Mellichamp, F. J. Doyle III, *Process Dynamics and Control*, 4th ed., Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2017.
- [7] Yokogawa Electric Corporation, *Advanced Process Control for the Process Industry*, Yokogawa Technical Report, 2021.
- [8] R. Amrit, W. Canney, P. Carrette, R. Linn, A. Martinez, A. Singh, T. Skrovaneck, J. Valiquette, J. Williamson, *Platform for Advanced Control and Estimation (PACE): Shell's and Yokogawa's Next Generation Advanced Process Control Technology*, *IFAC-PapersOnLine* 48(8), pp. 1-5, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.08.148>.
- [9] J. J. Gude and P. García Bringas, *Improving a reaction curve-based analytical identification technique for fractional models*, *Int. J. Dynam. Control*, vol. 13, art. 106, 2025, <https://doi.org/10.1007/s40435-025-01604-x>.
- [10] A. Maxim and R. De Keyser, *Estimation of first order plus dead time and second order plus dead time models from noisy step response data*, *Asian Journal of Control*, vol. 25, no. 3, pp. 1791-1804, 2023, <https://doi.org/10.1002/asjc.2999>