

Identifikasi Parameter Model First Order Plus Dead Time (FOPDT) untuk Analisis Dinamika Proses pada Reboiler 212-V14 Unit Hydrocracker Kilang Minyak

Adzra Afrina Pradata-1^{a*}, Herry Purnama-2^b

^{a,b}Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta,
Jalan Ahmad Yani 157, Kartasura, Sukoharjo 57169

Email : d500220045@student.ums.ac.id^{a*}, hp269@ums.ac.id^b

Abstract

This study aims to analyze the effect of changes in TOP V14 temperature and light key (LK) flow rate on the dynamic behavior of a fractionation column process, as well as to develop a mathematical model for designing an Advanced Process Control (APC) algorithm. The research employed an experimental approach combined with system identification to determine the process response characteristics. The results show that increasing the TOP temperature from 112°C to 128°C raises the LK flow rate from 11 to 14 flow units, with a process gain (K_p) of 0.517 and a time constant (τ) of 4.989 minutes. At the same time, the heavy key (HK) flow rate also increases from 22 to 35 flow units, with a K_p value of 0.998 and a τ value of 3.777 minutes. Although the HK response reaches its final condition relatively quickly, the presence of dead time still causes a delay in the overall process response. These findings indicate that the implementation of APC for controlling LK and HK has strong potential to enhance process performance and provide significant economic benefits.

Keywords: *FOPDT, Heavy Key, Hydrocracker, Light Key, Process Dynamic*

1. Latar Belakang

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong industri pengolahan minyak bumi untuk meningkatkan efisiensi dan kestabilan operasi proses. Salah satu unit penting dalam industri kilang minyak adalah kolom fraksinasi yang berfungsi memisahkan komponen hidrokarbon berdasarkan perbedaan titik didih. Kinerja kolom fraksinasi sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, terutama pada bagian reboiler yang berperan dalam menyuplai panas guna menjaga proses pemisahan berlangsung secara optimal. Perubahan variabel operasi pada reboiler dapat mempengaruhi karakteristik dinamika proses sehingga diperlukan model

matematis yang mampu merepresentasikan perilaku proses secara akurat [1].

Reboiler tidak hanya berfungsi sebagai penyedia panas, tetapi juga memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan distribusi temperatur di sepanjang tray kolom fraksinasi. Ketidakstabilan temperatur pada bagian bawah kolom dapat menyebabkan perubahan komposisi produk, menurunkan efisiensi pemisahan, serta meningkatkan konsumsi energi proses. Oleh karena itu, pengendalian operasi reboiler menjadi salah satu aspek penting dalam menjaga performa kolom fraksinasi agar tetap bekerja sesuai kondisi operasi yang diinginkan. Pada proses industri yang berlangsung secara kontinu, perubahan kecil pada variabel operasi dapat

memberikan pengaruh signifikan terhadap respons sistem sehingga diperlukan pemantauan dan analisis dinamika proses secara berkelanjutan.

Dalam operasi kilang minyak, perubahan beban proses dan fluktuasi laju alir umpan sering menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem pemisahan fraksi. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi kestabilan temperatur, tekanan, maupun kualitas produk yang dihasilkan oleh kolom fraksinasi. Untuk mengatasi kondisi tersebut, sistem kontrol proses harus mampu merespons perubahan secara cepat dan stabil agar penyimpangan operasi dapat diminimalkan. Kemampuan sistem kontrol dalam mempertahankan kestabilan operasi sangat dipengaruhi oleh keakuratan model proses yang digunakan dalam merepresentasikan karakteristik dinamis sistem industri [2].

Penggunaan model dinamis pada proses industri tidak hanya dimanfaatkan untuk kebutuhan pengendalian konvensional, tetapi juga menjadi dasar dalam pengembangan simulasi proses, optimasi energi, serta implementasi strategi pengendalian lanjutan. Model yang mampu menggambarkan perilaku proses secara representatif akan memudahkan operator maupun engineer dalam melakukan evaluasi performa sistem ketika terjadi perubahan kondisi operasi. Oleh sebab itu, identifikasi parameter proses pada sistem reboiler menjadi langkah penting untuk memperoleh gambaran respons sistem terhadap perubahan variabel manipulasi maupun gangguan proses sehingga kestabilan operasi kolom fraksinasi dapat dipertahankan secara optimal.

PT Kilang Pertamina Internasional RU II Dumai merupakan salah satu industri pengolahan minyak yang menghasilkan berbagai produk bahan bakar dan non bahan bakar. Pada unit *Hydrocracking Unit* (HCU), proses pemisahan fraksi dilakukan menggunakan kolom fraksinasi untuk memperoleh produk dengan spesifikasi tertentu. Salah satu peralatan penting pada sistem tersebut adalah reboiler 212-V14

yang berfungsi menjaga kestabilan temperatur serta mendukung proses pemisahan fraksi di dalam kolom. Perubahan kondisi operasi akibat gangguan proses maupun perubahan variabel manipulasi dapat mempengaruhi performa sistem kontrol dan kualitas produk yang dihasilkan.

Dalam sistem industri modern, pengendalian proses memerlukan model matematis yang mampu menggambarkan karakteristik dinamis proses secara representatif. Model proses digunakan sebagai dasar dalam analisis dinamika sistem, evaluasi performa kontrol, hingga pengembangan strategi pengendalian lanjutan seperti *Advanced Process Control* (APC) [3]. Salah satu metode identifikasi sistem yang umum digunakan pada proses industri adalah metode *First Order Plus Dead Time* (FOPDT). Metode ini mampu merepresentasikan dinamika proses menggunakan tiga parameter utama, yaitu *gain process* (K), *time constant* (τ), dan *dead time* (θ). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan sensitivitas sistem terhadap perubahan input, kecepatan respons sistem, serta keterlambatan respons proses.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan metode *First Order Plus Dead Time* (FOPDT) untuk memodelkan dinamika proses industri. Seborg dkk. menjelaskan bahwa model FOPDT mampu merepresentasikan respons dinamis proses industri secara sederhana namun tetap akurat sehingga banyak digunakan dalam analisis sistem kontrol proses. Smith dan Corripio juga menunjukkan bahwa pendekatan FOPDT efektif digunakan dalam identifikasi parameter proses dan penentuan *tuning* kontroler pada sistem industri kimia. Selain itu, Ogunnaike dan Ray menjelaskan bahwa model berbasis FOPDT dapat digunakan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perubahan variabel manipulasi maupun gangguan proses pada operasi industri secara real time [4], [5], [6]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih

berfokus pada sistem kontrol secara umum dan belum secara spesifik membahas pengaruh perubahan operasi reboiler terhadap dinamika kolom fraksinasi pada unit hydrocracking, khususnya pada reboiler 212-V14.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada identifikasi model proses reboiler 212-V14 menggunakan pendekatan FOPDT untuk menganalisis pengaruh perubahan TOP V-14 dan *flow light key* terhadap dinamika kolom fraksinasi. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi respons sistem terhadap perubahan *set point* dan gangguan proses berdasarkan data aktual operasi di lapangan. Kebaruan penelitian terletak pada penggunaan data aktual operasi Hydrocracking Unit RU II Dumai untuk memperoleh model dinamis reboiler 212-V14 yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi performa sistem kontrol dan pengembangan implementasi APC pada unit fraksinasi [7], [8].

Tujuan penelitian ini adalah memperoleh model matematis proses reboiler 212-V14 menggunakan metode FOPDT, menganalisis karakteristik dinamika proses berdasarkan parameter model yang diperoleh, serta mengevaluasi respons sistem kontrol terhadap perubahan variabel operasi pada kolom fraksinasi Hydrocracking Unit RU II Dumai. Model yang dihasilkan diharapkan mampu memberikan gambaran perilaku dinamis sistem secara lebih representatif terhadap kondisi operasi aktual di lapangan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi dalam evaluasi performa pengendalian proses serta mendukung pengembangan strategi kontrol yang lebih efektif pada unit fraksinasi. Dengan adanya model proses yang akurat, kestabilan operasi dan kualitas produk yang dihasilkan diharapkan dapat dipertahankan secara optimal.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang diperoleh

melalui kegiatan magang di PT Pertamina Unit II. Objek proses yang dianalisis adalah valve TOP V-14 pada reboiler 212-V14 di unit kolom fraksinasi Hydrocracking Unit (HCU). Penelitian difokuskan pada identifikasi dinamika proses akibat perubahan bukaan valve terhadap respons sistem kontrol dan karakteristik aliran produk fraksinasi. Pendekatan identifikasi sistem digunakan untuk memperoleh model matematis proses yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan pengembangan *Advanced Process Control* (APC).

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari data historis operasi unit HCU melalui *Distributed Control System* (DCS) pada tanggal 11 Juni 2025 pukul 00.00–10.00 WIB. Data sekunder diperoleh dari Operating Manual Hydrocracking Unit (HCU), dokumen sistem APC, serta studi literatur yang berkaitan dengan metode identifikasi model *First Order Plus Dead Time* (FOPDT). Variabel input pada *step test* berupa perubahan bukaan valve TOP V-14 pada reboiler 212-V14, sedangkan variabel output yang diamati meliputi laju alir *light key* (Flow LK), laju alir *heavy key* (Flow HK), dan temperatur *top column* [9].

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data operasi kemudian dilanjutkan dengan proses seleksi dan pre-processing data. Tahap *pre-processing* dilakukan dengan menghilangkan data noise, data tidak lengkap, serta data abnormal yang dapat mempengaruhi hasil identifikasi model. Selain itu dilakukan pengecekan kestabilan data untuk memastikan sistem berada pada kondisi operasi steady state awal sebelum pengujian dilakukan. Sistem dinyatakan berada pada kondisi steady state apabila perubahan variabel proses cenderung konstan dalam rentang waktu pengamatan dan tidak menunjukkan fluktuasi yang signifikan [10], [11].

Step test dilakukan dengan memberikan perubahan bertahap pada bukaan valve TOP V-14 setelah kondisi operasi sistem stabil. Perubahan input

diberikan secara bertahap untuk melihat respons sistem terhadap perubahan laju alir produk pada kolom fraksinasi. Respons output sistem diamati sejak perubahan input diberikan hingga sistem mencapai steady state baru. Selama proses pengujian, gangguan proses dikendalikan dengan mempertahankan kondisi operasi unit tetap stabil agar respons yang diperoleh merepresentasikan karakteristik asli proses.

Data hasil step test kemudian dianalisis menggunakan metode First Order Plus Dead Time (FOPDT) untuk memperoleh model dinamika proses. Model FOPDT dinyatakan dengan persamaan:

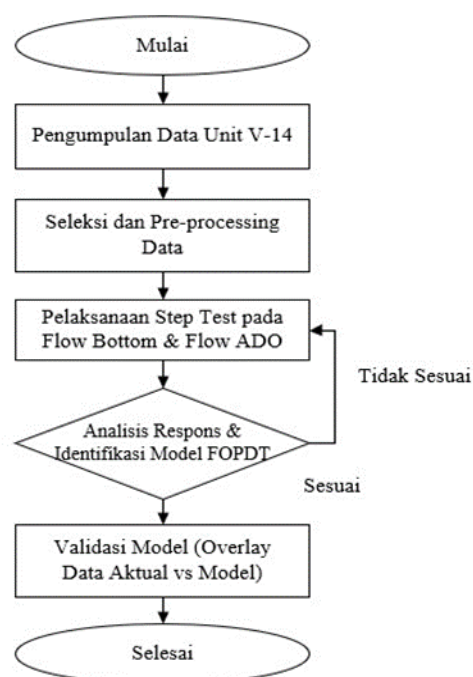
$$G(s) = \frac{(K_p e^{-\theta s})}{\{\tau s + 1\}}$$

K_p merupakan *process gain*, τ merupakan *time constant*, dan θ merupakan *dead time*. Nilai *process gain* dihitung menggunakan persamaan:

$$K_p = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

Δy merupakan perubahan output proses dan Δu merupakan perubahan input proses. Nilai *time constant* diperoleh dari waktu yang dibutuhkan respons sistem mencapai 63,2% dari kondisi steady state akhir, sedangkan *dead time* diperoleh dari selang waktu antara pemberian input hingga awal respons sistem mulai berubah.

Tahap selanjutnya adalah validasi model menggunakan metode overlay dengan membandingkan kurva respons model hasil identifikasi terhadap data aktual proses. Validasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian model dalam merepresentasikan dinamika sistem aktual. Model yang telah tervalidasi kemudian digunakan sebagai dasar evaluasi performa sistem kontrol serta pendukung proses tuning controller PID pada sistem *Advanced Process Control* (APC).



Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan Data

Gambar 1 menunjukkan diagram alir pengolahan data penelitian yang dimulai dari tahap pengumpulan data operasi pada reboiler 212-V14. Data yang diperoleh kemudian melalui proses seleksi dan pre-processing untuk memastikan data berada pada kondisi stabil dan layak digunakan pada tahap identifikasi model. Setelah itu dilakukan step test dengan memberikan perubahan pada bukaan valve TOP V-14 untuk memperoleh respons sistem terhadap perubahan input proses. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode FOPDT untuk menentukan parameter model berupa *process gain*, *time constant*, dan *dead time*. Tahap akhir dilakukan validasi model menggunakan metode overlay antara data aktual dan hasil model hingga diperoleh model yang mampu merepresentasikan dinamika proses mendekati kondisi aktual.

3. Hasil dan Pembahasan

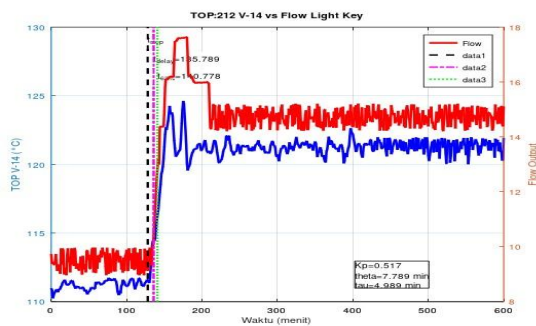
Step test dilakukan untuk menganalisis respons dinamik antara perubahan bukaan valve TOP V-14 pada reboiler 212-V14 sebagai variabel input terhadap perubahan laju alir produk *Light Key* (LK) dan *Heavy Key* (HK) sebagai variabel output.

Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan bertahap pada bukaan valve ketika sistem berada pada kondisi steady state awal. Respons sistem diamati sejak perubahan input diberikan hingga sistem mencapai steady state baru. Selama pengujian berlangsung, kondisi operasi unit dijaga tetap stabil untuk meminimalkan gangguan proses yang dapat mempengaruhi hasil identifikasi model.

Pemodelan dinamika proses pada penelitian ini menggunakan pendekatan First Order Plus Dead Time (FOPDT). Model FOPDT dipilih karena mampu merepresentasikan karakteristik sistem proses industri secara sederhana namun tetap cukup representatif dalam menggambarkan perilaku dinamik proses untuk kebutuhan analisis dan perancangan sistem pengendalian. Secara matematis, model FOPDT dinyatakan dalam bentuk fungsi transfer sebagai berikut [12]:

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

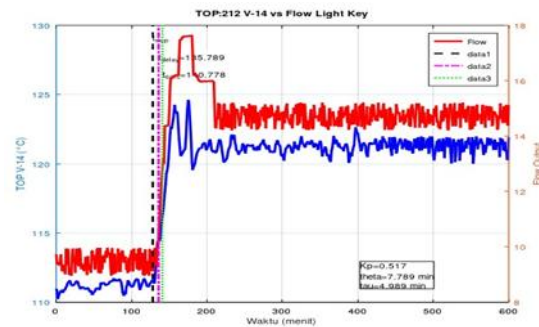
Kp sebagai *process gain* (%/%), τ sebagai *time constant* (menit), dan θ sebagai *dead time* (menit). Nilai *process gain* menunjukkan sensitivitas perubahan output terhadap perubahan input, sedangkan *time constant* dan *dead time* menggambarkan kecepatan serta keterlambatan respon sistem terhadap perubahan input proses dengan pendekatan FOPDT disajikan dalam Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Hasil Step Test Light Key

Berdasarkan Gambar 2, respons variabel *Light Key* mulai terlihat setelah sistem mengalami *dead time* sekitar 7,789 menit sejak perubahan input diberikan pada

menit ke-150. Setelah respons mulai terbentuk, nilai *flow Light Key* meningkat dari sekitar 11 unit *flow* menjadi mendekati 14 unit *flow*. Nilai *process gain* (Kp) sebesar 0,517 menunjukkan bahwa perubahan input memberikan pengaruh sedang terhadap perubahan output. Selain itu, nilai *time constant* (τ) sebesar 4,989 menit menunjukkan bahwa sistem memiliki respons yang relatif cepat dalam mencapai kondisi *steady state* baru. Hasil validasi menunjukkan bahwa model FOPDT mampu mengikuti pola respons data aktual dengan cukup baik, sehingga model dapat digunakan untuk merepresentasikan dinamika proses variabel *Light Key* [13].



Gambar 3. Hasil Step Test Heavy Key

Berdasarkan Gambar 3, respons variabel *Heavy Key* menunjukkan karakteristik dinamika proses yang lebih lambat dibandingkan *Light Key*. Setelah perubahan input diberikan, sistem mengalami *dead time* sekitar 138,198 menit sebelum respons mulai terlihat. Nilai *flow Heavy Key* meningkat dari sekitar 22 unit *flow* menjadi mendekati 35 unit *flow*. Nilai *process gain* (Kp) sebesar 0,998 menunjukkan bahwa perubahan input memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap output proses. Meskipun memiliki nilai *time constant* (τ) sebesar 3,777 menit yang menunjukkan respons menuju *steady state* relatif cepat setelah sistem mulai merespons, besarnya *dead time* mengindikasikan adanya keterlambatan proses akibat interaksi aliran dan dinamika perpindahan massa pada kolom fraksinasi. Model FOPDT yang diperoleh masih

mampu mengikuti tren utama data aktual sehingga cukup representatif untuk menggambarkan perilaku dinamik variabel *Heavy Key*.

Berdasarkan hasil *step test*, identifikasi model dilakukan menggunakan metode Reaction Curve untuk memperoleh parameter FOPDT pada masing-masing variabel output. Parameter model diperoleh melalui pendekatan empiris menggunakan data respons aktual sistem hingga diperoleh model yang mampu mendekati karakteristik proses sebenarnya. Hasil identifikasi parameter FOPDT untuk variabel Light Key dan Heavy Key disajikan pada Tabel 1.

Sebelum dilakukan identifikasi model, sistem berada pada kondisi steady state awal dengan karakteristik operasi yang relatif stabil. Perubahan input diberikan melalui peningkatan bukaan valve TOP V-14 pada menit ke-150 sebesar 150 unit sinyal controller. Respons output kemudian diamati hingga mencapai steady state akhir untuk menentukan nilai process gain, time constant, dan dead time pada masing-masing variabel proses.

Tabel 1. Data FOPDT *Light Key* dan *Heavy Key*

Parameter	Flow Light Key	Flow Heavy Key	Unit
	Value	Value	
Process gain (Kp)	0,517	0,998	
Time constant (τ)	4,989	3,777	menit
Dead time (θ)	7,789	138,198	menit

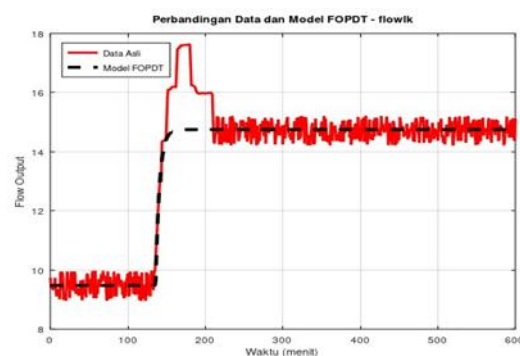
Persamaan yang didapatkan untuk *Flow LK* adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{0,517e^{-7,789s}}{4,989 + 1}$$

Sedangkan persamaan yang didapatkan untuk *Flow HK* adalah sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{0,998 e^{-138,198s}}{3,777 + 1}$$

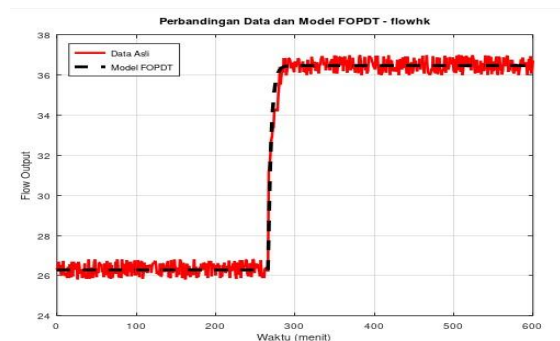
Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model FOPDT yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik dinamika proses sesuai dengan respon yang ditunjukkan oleh data hasil *step test*. Proses validasi dilakukan dengan metode *overlay* grafik, yaitu membandingkan kurva respons model FOPDT dengan kurva respons data aktual dalam satu grafik yang sama [14]. Model dianggap representatif apabila respons model mampu mengikuti pola perubahan, arah respons, serta kecenderungan menuju kondisi *steady state* yang ditunjukkan oleh data aktual [15]. Grafik validasi model FOPDT untuk Flow LK dan HK disajikan dalam Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Validasi Model FOPDT *Light Key*

Gambar 4 menunjukkan hasil validasi model FOPDT pada variabel Light Key menggunakan metode *overlay* antara data aktual proses dan hasil model. Berdasarkan grafik, kurva model FOPDT mampu mengikuti pola respons data aktual dengan cukup baik mulai dari kondisi awal, fase transien, hingga mencapai kondisi steady state. Respons sistem mulai mengalami kenaikan setelah perubahan input diberikan dan menunjukkan karakteristik respons yang relatif stabil dengan fluktuasi kecil pada kondisi tunak. Perbedaan kecil yang muncul antara kurva model dan data aktual disebabkan oleh adanya noise dan gangguan kecil pada proses aktual [16], [17]. Secara keseluruhan, model FOPDT yang diperoleh mampu merepresentasikan

dinamika proses *Light Key* dengan baik sehingga dapat digunakan sebagai pendekatan model proses pada sistem pengendalian.



Gambar 5. Validasi Model FOPDT *Heavy Key*

Gambar 5 menunjukkan hasil validasi model FOPDT pada variabel *Heavy Key* menggunakan metode overlay antara data aktual dan hasil model. Kurva model mampu mengikuti tren utama respons sistem meskipun masih terdapat sedikit deviasi pada awal respons proses. Setelah sistem mulai memberikan respons terhadap perubahan input, variabel *Heavy Key* menunjukkan kenaikan menuju kondisi steady state baru dengan pola respons yang relatif stabil. Karakteristik respons pada variabel *Heavy Key* menunjukkan adanya dead time yang lebih besar dibandingkan variabel *Light Key*, sehingga sistem membutuhkan waktu lebih lama sebelum mulai merespons perubahan input. Meskipun demikian, model FOPDT masih mampu menggambarkan perilaku dinamik proses secara cukup representatif terhadap data aktual proses.

Hasil uji *step test* antara variabel manipulasi perubahan temperatur TOP 212 V-14 terhadap flow *Light Key* (LK) dan *Heavy Key* (HK) menunjukkan dinamika proses yang berbeda untuk masing-masing fraksi. Pengujian ini dilakukan untuk memahami bagaimana perubahan temperatur *tray* memengaruhi distribusi produk, serta menentukan parameter dinamik proses menggunakan pendekatan *First Order Plus Dead Time* (FOPDT).

Berdasarkan grafik *step test Light Key* pada Gambar 2, perubahan input pada menit sekitar 150 tidak langsung menghasilkan perubahan pada flow *Light Key* (LK). Hal ini terlihat dari adanya *dead time* sebesar 7,789 menit sebelum sistem mulai memberikan respon. Setelah melewati waktu tunda tersebut, aliran *Light Key* (LK) meningkat dari sekitar 11 menjadi 14 unit flow, mengikuti kenaikan temperatur TOP dari sekitar 112°C menuju 128°C. Pola respon menunjukkan karakter respon orde satu dengan sedikit fluktuasi pada awal kenaikan. Nilai gain proses (K_p) sebesar 0,517 mengindikasikan bahwa setiap kenaikan 1°C pada input menghasilkan peningkatan flow *Light Key* (LK) sebesar 0,517 satuan. Sementara itu, nilai *time constant* (τ) sebesar 4,989 menit menunjukkan bahwa setelah sistem mulai merespons, dinamika alirannya cenderung cepat menuju keadaan tunak baru. Validasi model pada Gambar 4 memperlihatkan kesesuaian yang baik antara model FOPDT dan data aktual, di mana model mampu mengikuti pola kenaikan dan nilai *steady-state* dengan deviasi minimal.

Berbeda dengan *Light Key* (LK), respon *Heavy Key* (HK) pada Gambar 3 menunjukkan perilaku yang lebih lambat dan inersial. Kenaikan temperatur input menyebabkan peningkatan flow *Heavy Key* (HK) dari sekitar 22 menjadi mendekati 35 unit flow, namun perubahan tersebut baru mulai terlihat setelah dead time yang sangat panjang, yaitu 138,198 menit. Nilai K_p sebesar 0,998 menunjukkan bahwa perubahan input memiliki pengaruh cukup besar terhadap perubahan flow *Heavy Key* (HK). Namun, besarnya *dead time* membuat respon *Heavy Key* (HK) tertunda jauh sebelum sistem mulai bergerak menuju *steady state*. Nilai τ sebesar 3,777 menit menunjukkan bahwa setelah respon mulai muncul, proses bergerak relatif cepat menuju kondisi akhir. Validasi model pada Gambar 5 menunjukkan bahwa FOPDT mampu menggambarkan tren utama kenaikan *Heavy Key* (HK), meskipun terdapat deviasi kecil di awal akibat jeda

respons yang besar serta interaksi dengan variabel operasi lain seperti aliran *reflux* dan distribusi panas antar *tray*.

Kedua grafik memperlihatkan karakteristik proses yang kontras. *Light Key* menunjukkan *dead time* yang kecil dengan respon cepat, sehingga lebih mudah dikendalikan. Sementara itu, *Heavy Key* memiliki *dead time* sangat besar meskipun *time constant* kecil, sehingga sistem baru akan bereaksi setelah waktu tunda yang panjang tetapi kemudian bergerak cepat menuju *steady state*. Nilai K_p positif pada kedua fraksi menunjukkan hubungan searah antara kenaikan temperatur TOP dan peningkatan aliran produk, tetapi sensitivitasnya berbeda. Validasi juga menunjukkan bahwa model FOPDT lebih akurat untuk *Light Key* (LK), sedangkan model *Heavy Key* (HK) hanya mampu menggambarkan perilaku umum akibat tingkat kompleksitas proses yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, dinamika LK menggambarkan proses yang responsif dan stabil, sementara HK bersifat lebih lambat dan memerlukan penanganan kontrol yang lebih hati-hati. Perbedaan ini penting dalam perancangan sistem kontrol temperatur dan laju alir pada kolom fraksinasi, terutama dalam penerapan *Advanced Process Control* (APC) untuk menjaga kestabilan operasi dan konsistensi kualitas produk [18], [19].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil identifikasi dan analisis dinamika proses reboiler 212-V14 menggunakan metode First Order Plus Dead Time (FOPDT), diperoleh karakteristik respons yang berbeda pada variabel *Light Key* (LK) dan *Heavy Key* (HK). Variabel LK memiliki nilai process gain (K_p) sebesar 0,517, time constant (τ) 4,989 menit, dan dead time (θ) 7,789 menit, sedangkan variabel HK memiliki process gain sebesar 0,998, time constant 3,777 menit, dan dead time 138,198 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa LK memiliki respons yang lebih cepat dan stabil dibandingkan HK yang memiliki waktu

tunda lebih besar akibat kompleksitas dinamika proses pada kolom fraksinasi.

Hasil validasi model menggunakan metode overlay menunjukkan bahwa model FOPDT mampu mengikuti tren data aktual dengan cukup baik, terutama pada variabel LK. Model dapat merepresentasikan fase transien hingga steady state dengan deviasi relatif kecil. Pada variabel HK masih terdapat deviasi di awal respons akibat besarnya dead time dan interaksi antarvariabel proses, namun model tetap mampu menggambarkan karakteristik utama dinamika sistem. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan FOPDT dapat digunakan sebagai model awal dalam analisis dinamika proses dan pengembangan sistem pengendalian pada unit fraksinasi.

Penerapan Advanced Process Control (APC) pada pengendalian LK dan HK berpotensi meningkatkan kestabilan operasi, menjaga kualitas produk, serta meningkatkan efisiensi proses pada reboiler 212-V14 [20]. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena identifikasi model dilakukan menggunakan data operasi pada periode tertentu dan pendekatan model orde satu sederhana. Interaksi antarvariabel proses dan pengaruh gangguan eksternal juga belum dimodelkan secara detail sehingga masih terdapat deviasi antara model dan kondisi aktual, khususnya pada variabel HK. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode identifikasi yang lebih kompleks serta data operasi yang lebih beragam agar model yang diperoleh lebih akurat dan mendukung implementasi APC secara optimal.

Daftar Pustaka

- [1] I. N. Istiqomah, A. Ma'rifatul Maghfiroh, and U. Bojonegoro, "Proses Pengolahan Minyak Mentah di Unit Kilang PPSDM MIGAS CEPU," 2022.

- [2] M. J. Willis, M. T. Tham, M. Willis, and M. Tham, "Advanced Process Control," 1994.
- [3] M. K. Reitano, "Advanced Process Control Applications in Complex Industrial Processes," 2021.
- [4] D. E. Seborg, T. F. Edgar, D. A. Mellichamp, and F. J. Doyle III, *Process Dynamics and Control*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2017.
- [5] C. A. Smith and A. B. Corripio, *Principles and Practices of Automatic Process Control*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2005.
- [6] B. A. Ogunaikie and W. H. Ray, *Process Dynamics, Modeling, and Control*. New York, NY, USA: Oxford University Press, 1994.
- [7] C. Cox, J. Tindle, and K. Burn, "A comparison of software-based approaches to identifying FOPDT and SOPDT model parameters from process step response data," *Appl. Math. Model.*, vol. 40, no. 1, pp. 100–114, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.apm.2015.05.007.
- [8] X. Jin and M. Yang, "On applying advanced process control for FCCU in a petroleum refinery," presented at the AIChE Annual Meeting, 2008.
- [9] 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, doi: 10.1002/asjc.2999.
- [10] S. Madrigal, O. Arrieta, J. D. Rojas, M. Meneses, and R. Vilanova, "Fractional-Order PID Optimal Tuning Rule based on a FOPDT Process Model with Robustness Constraints," in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., Jun. 2024, pp. 358–363. doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.088.
- [11] C. I. Muresan and C. M. Ionescu, "Generalization of the FOPDT model for identification and control purposes," *Processes*, vol. 8, no. 6, Jun. 2020, doi: 10.3390/PR8060682.
- [12] A. Mhamdi, K. I. Taarit, and M. Ksouri, "Identification of first-order plus dead time using typical test signals," in *Proceedings of 2016 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology*, 2016, pp. 16–18.
- [13] K. J. Åström and T. Hägglund, "Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control," *J. Process Control*, vol. 14, no. 6, pp. 635–650, Sep. 2004, doi: 10.1016/j.jprocont.2004.01.002.
- [14] A. Madady and H. R. Reza-Alikhani, "Stabilization of control loops consisting of FOPDT process and parameter-dependent PID controller," *J. Process Control*, vol. 22, no. 9, pp. 1688–1701, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.jprocont.2012.07.001.
- [15] M. Frątczak, P. Nowak, P. Grelewicz, and J. Czczot, "Concept of the advanced cloud-based autotuning procedure for PID controllers implemented in programmable logic controllers," *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 413–426, 2026, doi: 10.12913/22998624/214684.
- [16] R. Bajarangbali, S. Majhi, and S. Pandey, "Identification of FOPDT

- and SOPDT process dynamics using closed loop test,” *ISA Trans.*, vol. 53, no. 4, pp. 1223–1231, 2014, doi: 10.1016/j.isatra.2014.05.014.
- [17] T. Liu, Q. G. Wang, and H. P. Huang, “A tutorial review on process identification from step or relay feedback test,” 2013. doi: 10.1016/j.jprocont.2013.08.003.
- [18] M. Bauer and I. K. Craig, “Economic assessment of advanced process control - A survey and framework,” Jan. 2008. doi: 10.1016/j.jprocont.2007.05.007.
- [19] J. Chen, “System identification and control of FOPDT or SOPDT processes,” in *Advanced Materials Research*, 2011, pp. 2393–2397. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.317-319.2393.
- [20] A. Kleine Buning, S. Finlayson, and Y. Z. Friedman, “APC in a mild hydrocracker fractionator,” *PTQ*, Q3, 2017.