

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri pengolahan minyak dan gas bumi merupakan salah satu sektor industri yang memiliki kompleksitas proses tinggi karena melibatkan berbagai tahapan pemisahan, pengolahan, dan pengendalian parameter operasi untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang sesuai standar. Keandalan sistem pengendalian proses menjadi salah satu faktor penting dalam menjaga kestabilan operasi, meningkatkan efisiensi proses, serta mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan.

Salah satu unit proses yang memiliki peranan penting dalam pengolahan hidrokarbon adalah kolom Debutanizer. Kolom Debutanizer berfungsi untuk memisahkan komponen ringan dari aliran hidrokarbon sehingga diperoleh produk dengan spesifikasi yang diinginkan. Kinerja kolom ini sangat dipengaruhi oleh kestabilan parameter operasi, salah satunya adalah temperatur bagian atas kolom (Top Temperature). Perubahan temperatur top dapat memengaruhi proses pemisahan dan kualitas produk, termasuk kandungan komponen berat seperti C5+.

Dalam pengoperasiannya, kestabilan temperatur top kolom Debutanizer dipengaruhi oleh sistem pengendalian yang diterapkan. Sistem pengendalian konvensional seperti semi-auto control masih memiliki keterbatasan karena sebagian pengaturan proses masih membutuhkan intervensi operator. Kondisi tersebut dapat menyebabkan variasi respons proses yang lebih besar akibat adanya perubahan beban operasi dan keterlambatan tindakan pengendalian.

Salah satu pengembangan sistem pengendalian yang dapat meningkatkan kestabilan proses adalah penerapan cascade control. Sistem cascade control menggunakan dua loop pengendalian yang bekerja secara bertingkat, yaitu loop utama dan loop sekunder, sehingga gangguan pada proses dapat dikoreksi lebih cepat sebelum memberikan pengaruh yang besar terhadap variabel utama yang dikendalikan. Penerapan sistem auto cascade diharapkan mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam mempertahankan temperatur top kolom Debutanizer pada kondisi operasi yang lebih stabil.

Evaluasi terhadap penerapan sistem pengendalian baru perlu dilakukan dengan membandingkan karakteristik data operasi sebelum dan sesudah perubahan metode kontrol. Data historis operasi dapat digunakan untuk melihat perubahan perilaku proses berdasarkan kondisi pengendalian yang berbeda. Namun, sebelum dilakukan analisis perbandingan, perlu diketahui karakteristik hubungan antar kelompok data agar metode analisis statistik yang digunakan sesuai.

Independensi data merupakan salah satu konsep penting dalam analisis statistik yang menunjukkan bahwa suatu kelompok pengamatan tidak memiliki ketergantungan terhadap kelompok pengamatan lainnya. Data yang berasal dari kondisi operasi yang berbeda dapat dianalisis sebagai kelompok independen apabila tidak terdapat hubungan yang menyebabkan perubahan pada satu kelompok dipengaruhi oleh kelompok lainnya. Dalam penelitian ini, data operasi sebelum dan setelah penerapan auto cascade dianalisis untuk mengetahui karakteristik independensi antar kelompok data.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik data operasi kolom Debutanizer sebelum dan sesudah penerapan auto cascade control melalui analisis independensi data. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perubahan karakteristik operasi setelah penerapan sistem pengendalian cascade serta menjadi bahan evaluasi dalam pengembangan sistem kontrol proses di industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik data operasi kolom Debutanizer sebelum dan sesudah penerapan auto cascade control?
2. Apakah data operasi sebelum penerapan auto cascade dengan sistem semi-auto control dan setelah penerapan auto cascade dengan sistem cascade control memiliki karakteristik data yang independen?
3. Bagaimana perbedaan karakteristik data operasi berdasarkan perubahan moda pengendalian dari semi-auto control menjadi cascade control?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi karakteristik operasi kolom Debutanizer berdasarkan data historis sebelum dan sesudah penerapan auto cascade control.
2. Menganalisis independensi data operasi antara sistem semi-auto control dan sistem cascade control.
3. Mengevaluasi perubahan karakteristik operasi setelah penerapan sistem auto cascade control pada pengendalian temperatur top kolom Debutanizer.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan
 Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai karakteristik perubahan performa operasi kolom Debutanizer setelah penerapan sistem auto cascade control sehingga dapat menjadi bahan evaluasi dalam pengembangan sistem pengendalian proses.
2. Bagi Akademisi
 Penelitian ini dapat menjadi referensi dalam penerapan analisis statistik pada evaluasi sistem pengendalian industri, khususnya terkait analisis data historis proses dan penerapan konsep independensi data.
3. Bagi Peneliti
 Penelitian ini memberikan pemahaman mengenai hubungan antara perubahan strategi pengendalian proses dengan karakteristik data operasi pada sistem industri.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian lebih terarah dan tidak meluas, batasan penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada unit proses kolom **Debutanizer** dengan fokus pada sistem pengendalian temperatur top.
2. Data yang digunakan merupakan data historis operasi sebelum dan sesudah penerapan auto cascade control.
3. Periode data dibagi menjadi dua kondisi operasi, yaitu:
 - kondisi sebelum penerapan auto cascade menggunakan sistem semi-auto control;
 - kondisi setelah penerapan auto cascade menggunakan sistem cascade control.
4. Variabel proses yang dianalisis meliputi Temperatur Top, Flow Reflux, Set Point Temperatur, dan kandungan C5+.
5. Analisis penelitian difokuskan pada karakteristik independensi data antar kelompok operasi berdasarkan moda pengendalian.
6. Penelitian tidak membahas perubahan desain peralatan, perubahan kondisi umpan, maupun faktor eksternal lain di luar variabel data historis yang tersedia.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini disusun sebagai berikut:

Bab 1 yaitu Pendahuluan, menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 yaitu Landasan Teori, menjelaskan dan memaparkan landasan teori dan studi pustaka yang terkait dengan penelitian ini. Landasan teori yang dibahas meliputi proses kolom Debutanizer, sistem pengendalian temperatur, konsep cascade control, data historis proses, serta konsep independensi data dalam analisis statistik.

Bab 3 yaitu Metodologi Penelitian, menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, pengelompokan data berdasarkan moda pengendalian, metode analisis independensi data, serta tahapan pengolahan dan interpretasi hasil penelitian.

Bab 4 yaitu Hasil dan Pembahasan, menyajikan hasil pengolahan data, analisis karakteristik data operasi, hasil analisis independensi data, serta pembahasan mengenai perubahan karakteristik operasi sebelum dan sesudah penerapan auto cascade control.

Bab 5 yaitu Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian maupun peningkatan sistem pengendalian proses.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kolom Debutanizer

Kolom debutanizer merupakan salah satu unit pemisahan yang digunakan dalam industri pengolahan minyak dan gas bumi untuk memisahkan komponen hidrokarbon ringan dari campuran hidrokarbon yang lebih berat. Pemisahan pada kolom debutanizer dilakukan menggunakan prinsip distilasi, yaitu proses pemisahan berdasarkan perbedaan volatilitas atau titik didih dari komponen penyusun campuran. Komponen dengan volatilitas lebih tinggi akan cenderung bergerak menuju bagian atas kolom, sedangkan komponen dengan volatilitas lebih rendah akan terkonsentrasi pada bagian bawah kolom (Seader et al., 2011).

Proses pemisahan pada kolom distilasi berlangsung melalui kontak antara fase uap dan fase cair secara bertingkat di sepanjang kolom. Kontak antar fase tersebut memungkinkan terjadinya perpindahan massa sehingga komponen yang lebih mudah menguap akan mengalami peningkatan konsentrasi pada fase uap, sedangkan komponen yang lebih berat akan tetap berada pada fase cair. Efisiensi proses pemisahan dipengaruhi oleh beberapa parameter operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir umpan, reflux ratio, serta karakteristik komposisi umpan yang masuk ke dalam kolom (Wankat, 2012).

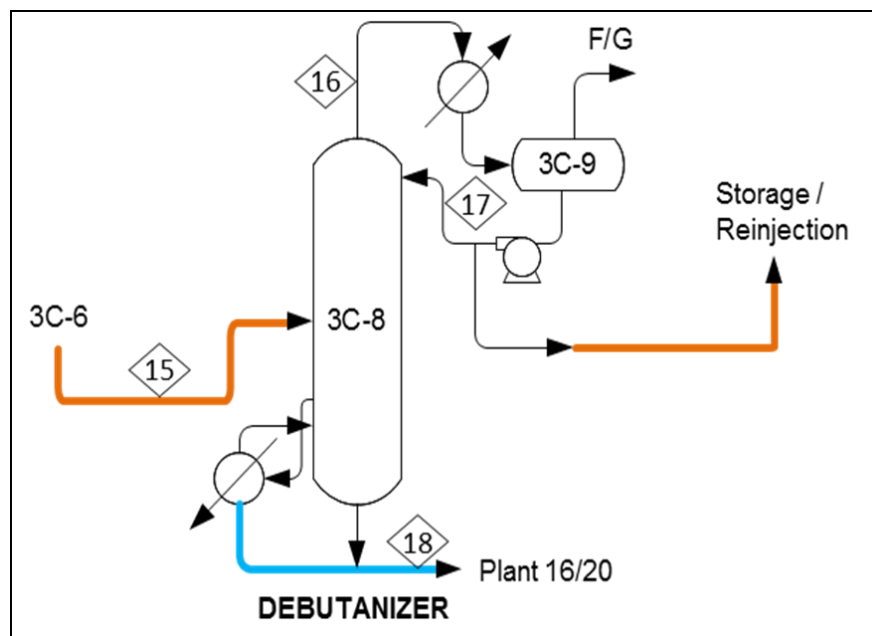
Pada operasi kolom debutanizer, kestabilan kondisi operasi menjadi faktor penting untuk mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan. Perubahan kondisi operasi seperti variasi laju alir umpan, perubahan beban panas, maupun perubahan komposisi hidrokarbon dapat memengaruhi keseimbangan proses pemisahan di dalam kolom. Oleh karena itu, pengendalian terhadap variabel proses diperlukan agar kolom dapat beroperasi secara stabil sesuai dengan kondisi yang diharapkan (Luyben, 2013).

Salah satu parameter utama dalam pengoperasian kolom debutanizer adalah temperatur bagian atas kolom (Top Temperature). Temperatur top menggambarkan kondisi operasi pada bagian atas kolom dan berkaitan dengan proses pemisahan komponen ringan dari campuran hidrokarbon. Perubahan temperatur top dapat memengaruhi distribusi komponen antara produk atas dan produk bawah sehingga kestabilan temperatur menjadi salah satu aspek penting dalam pengoperasian kolom distilasi (Luyben, 2013).

Pada fasilitas pengolahan LNG, kolom Debutanizer digunakan untuk melakukan pemisahan komponen hidrokarbon berdasarkan karakteristik volatilitasnya. Produk butana yang dihasilkan dari kolom Debutanizer dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan proses, seperti reinjeksi ke gas umpan, produksi butana LPG, maupun recycle menuju unit proses terkait sesuai dengan kondisi operasi yang diterapkan (Operations Department, 2024).



Gambar 2.1 Debutanizer BATAK LNG Bontang



Gambar 2.2 Process Flow Diagram Sederhana kolom Debutanizer BATAK LNG Bontang

Berdasarkan konfigurasi proses pada Gambar 2.2, kolom Debutanizer terdiri dari beberapa aliran utama yang meliputi aliran umpan masuk, aliran produk atas, dan aliran produk bawah. Interaksi antar aliran tersebut menyebabkan perubahan kondisi operasi yang perlu dikendalikan untuk menjaga kestabilan proses pemisahan. Sistem pengendalian proses berperan dalam mempertahankan variabel operasi seperti temperatur, tekanan, dan laju alir agar tetap berada pada kondisi operasi yang diinginkan (Seborg et al., 2017)

2.2 Sistem Pengendalian Proses

Sistem pengendalian proses merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mempertahankan kondisi operasi suatu proses agar tetap berada pada nilai yang diinginkan (set point) meskipun terjadi perubahan kondisi maupun gangguan selama proses berlangsung. Sistem pengendalian bekerja dengan melakukan pengukuran terhadap variabel proses, membandingkan hasil pengukuran dengan nilai acuan, kemudian memberikan aksi koreksi agar proses tetap berjalan sesuai dengan tujuan pengendalian (Seborg et al., 2017).

Dalam industri proses, sistem pengendalian memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan operasi, meningkatkan kualitas produk, mengurangi variasi proses, serta meningkatkan efisiensi operasional. Proses industri umumnya memiliki karakteristik dinamis karena adanya perubahan beban, gangguan eksternal, maupun interaksi antarvariabel proses. Oleh karena itu, sistem pengendalian diperlukan untuk menjaga variabel utama seperti temperatur, tekanan, level, dan laju alir agar tetap berada dalam rentang operasi yang ditentukan (Åström & Hägglund, 2006).

Secara umum, sistem pengendalian proses terdiri dari beberapa elemen utama, yaitu sensor atau alat ukur (measurement element), pengendali (controller), elemen pengendali akhir (final control element), dan proses yang dikendalikan (plant). Sensor berfungsi untuk memperoleh informasi mengenai kondisi aktual proses, kemudian controller melakukan pengolahan informasi tersebut untuk menentukan tindakan koreksi. Sinyal keluaran controller selanjutnya diteruskan menuju final control element, seperti control valve, untuk melakukan perubahan terhadap proses sehingga nilai variabel proses mendekati nilai yang diinginkan (Seborg et al., 2017).

Berdasarkan cara kerja sistemnya, pengendalian proses dapat dibedakan menjadi sistem open loop control dan closed loop control. Pada sistem open loop, tindakan pengendalian dilakukan tanpa adanya umpan balik dari hasil keluaran proses sehingga perubahan kondisi proses tidak dapat dikoreksi secara otomatis. Sementara itu, pada sistem closed loop atau feedback control, keluaran proses diukur dan dibandingkan dengan nilai acuan sehingga controller dapat memberikan tindakan koreksi terhadap penyimpangan yang terjadi (Ogata, 2010).

Sistem feedback control banyak diterapkan pada industri proses karena mampu mengurangi pengaruh gangguan yang terjadi selama operasi berlangsung. Dalam sistem ini, perbedaan antara nilai aktual variabel proses dengan nilai set point disebut sebagai error. Controller akan menghasilkan sinyal pengendalian berdasarkan nilai error tersebut untuk mengembalikan proses menuju kondisi yang diharapkan. Kecepatan respons dan kestabilan sistem menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas suatu sistem pengendalian (Åström & Murray, 2021).

Pada proses industri dengan tingkat kompleksitas tinggi, satu loop pengendalian terkadang belum mampu memberikan respons yang optimal terhadap gangguan yang terjadi. Oleh karena itu, dikembangkan metode pengendalian lanjutan seperti cascade control yang menggunakan lebih dari satu loop pengendalian untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam merespons perubahan proses. Sistem cascade control memungkinkan gangguan pada variabel sekunder dikoreksi lebih awal sebelum memberikan pengaruh yang besar terhadap variabel utama yang dikendalikan (Seborg et al., 2017).

Penerapan sistem pengendalian yang sesuai pada suatu proses sangat bergantung pada karakteristik dinamika proses, jenis gangguan yang terjadi, serta tujuan pengendalian yang ingin dicapai. Pemilihan strategi pengendalian yang tepat dapat meningkatkan kestabilan operasi dan mempertahankan performa proses dalam kondisi yang optimal (Luyben, 2013).

2.3 Sistem Semi-Auto Control

Sistem semi-auto control merupakan sistem pengendalian yang menggabungkan fungsi pengendalian otomatis dengan keterlibatan operator dalam melakukan pengaturan proses. Pada sistem ini, sebagian tindakan pengendalian telah dilakukan secara otomatis melalui instrumen kontrol, namun operator masih memiliki peran dalam melakukan pemantauan, pengaturan parameter tertentu, maupun memberikan tindakan koreksi terhadap perubahan kondisi operasi yang terjadi (Lipták, 2012).

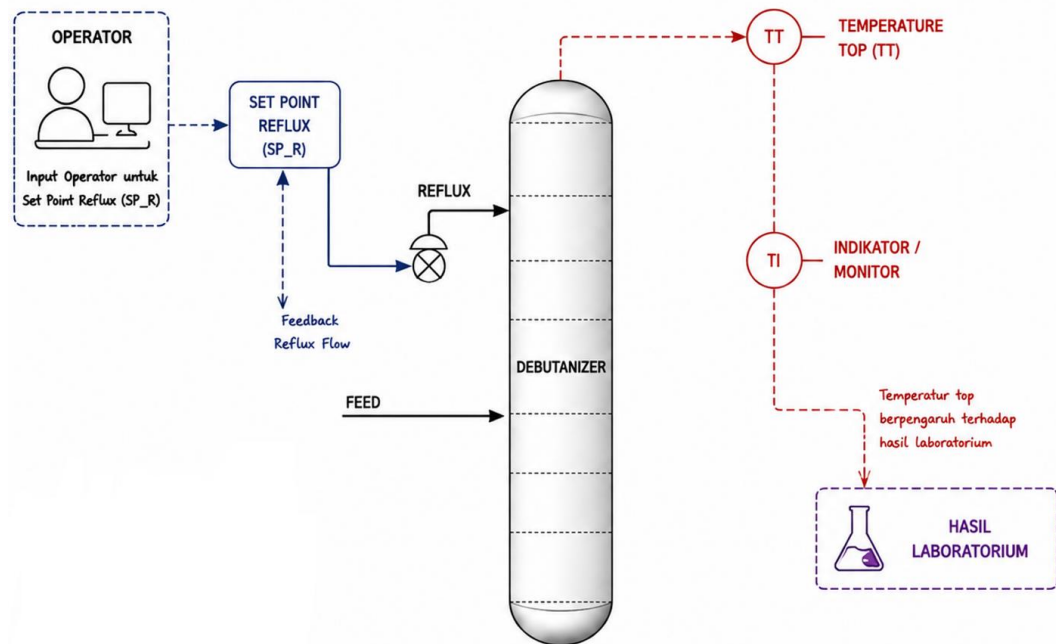
Berbeda dengan sistem kontrol otomatis penuh, sistem semi-auto masih memberikan ruang bagi operator untuk melakukan intervensi terhadap proses berdasarkan informasi yang diperoleh dari sistem pemantauan. Operator dapat melakukan perubahan terhadap nilai acuan (set point), mengatur mode operasi, atau melakukan penyesuaian terhadap variabel tertentu ketika terjadi perubahan kondisi proses. Oleh karena itu, performa sistem semi-auto tidak hanya dipengaruhi oleh kemampuan instrumen pengendalian, tetapi juga dipengaruhi oleh kecepatan respons dan keputusan operator dalam menangani perubahan proses (Bela et al., 2018).

Pada industri proses, sistem semi-auto banyak diterapkan pada unit operasi yang membutuhkan fleksibilitas pengendalian atau pada proses yang sebelumnya masih menggunakan metode pengoperasian manual sebagian. Sistem ini dapat memberikan keuntungan berupa kemudahan adaptasi terhadap kondisi operasi yang berubah karena operator masih memiliki kendali langsung terhadap beberapa parameter proses. Namun, keterlibatan operator secara aktif dapat menyebabkan variasi respons pengendalian karena adanya perbedaan waktu respons, pengalaman, dan keputusan operator dalam menghadapi gangguan proses (Åström & Hägglund, 2006).

Dalam sistem pengendalian semi-auto, kestabilan proses sangat bergantung pada kemampuan operator dalam mempertahankan variabel proses mendekati kondisi yang diinginkan. Ketika terjadi gangguan seperti perubahan beban proses, variasi laju alir, atau perubahan karakteristik umpan, operator perlu melakukan penyesuaian agar variabel proses tetap berada pada rentang operasi yang aman. Kondisi tersebut dapat menyebabkan adanya variasi nilai proses yang lebih besar dibandingkan dengan sistem pengendalian otomatis yang memiliki mekanisme koreksi secara berkelanjutan (Seborg et al., 2017).

Salah satu keterbatasan sistem semi-auto adalah adanya ketergantungan terhadap tindakan operator dalam menjaga kestabilan proses. Pada proses dengan dinamika yang cepat atau memiliki interaksi antarvariabel yang kompleks, keterlambatan dalam memberikan tindakan koreksi dapat menyebabkan penyimpangan variabel proses dari nilai yang diharapkan. Oleh karena itu, pengembangan sistem pengendalian otomatis yang lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam merespons gangguan dan menjaga kestabilan operasi (Luyben, 2013).

Dalam pengendalian proses industri, peningkatan tingkat otomatisasi dilakukan untuk mengurangi pengaruh faktor manusia dan meningkatkan konsistensi respons sistem. Salah satu metode pengendalian yang dikembangkan untuk meningkatkan performa sistem adalah cascade control, yaitu metode pengendalian yang menggunakan dua loop kontrol secara bertingkat sehingga gangguan dapat dikoreksi lebih cepat sebelum memengaruhi variabel utama proses (Seborg et al., 2017).



Gambar 2.3 Pengendalian top temperatur secara semi Auto dengan memberikan inputan set point refluks oleh operator

2.4 Sistem *cascade control*

Cascade control merupakan salah satu metode pengendalian lanjutan yang digunakan untuk meningkatkan performa sistem kontrol dengan menggunakan dua atau lebih loop pengendalian yang tersusun secara bertingkat. Pada sistem cascade, terdapat loop utama (primary loop) yang mengendalikan variabel proses utama dan loop sekunder (secondary loop) yang mengendalikan variabel antara yang memiliki respons lebih cepat terhadap gangguan. Konfigurasi bertingkat tersebut memungkinkan gangguan yang terjadi pada bagian awal proses dapat dikoreksi sebelum memberikan pengaruh besar terhadap variabel utama yang dikendalikan (Seborg et al., 2017).

Pada sistem cascade control, controller utama atau master controller berfungsi untuk mengatur nilai acuan (set point) bagi controller sekunder atau slave controller. Controller sekunder kemudian melakukan pengendalian terhadap variabel sekunder berdasarkan perubahan yang diterima dari controller utama. Dengan adanya dua lapisan pengendalian, sistem cascade mampu memberikan respons yang lebih cepat dibandingkan sistem pengendalian dengan satu loop karena gangguan dapat dideteksi dan dikoreksi pada tingkat yang lebih awal (Luyben, 2013).

Prinsip dasar cascade control adalah memisahkan pengaruh gangguan berdasarkan lokasi terjadinya dalam sistem. Loop sekunder dirancang untuk menangani gangguan yang terjadi pada variabel sekunder sebelum gangguan

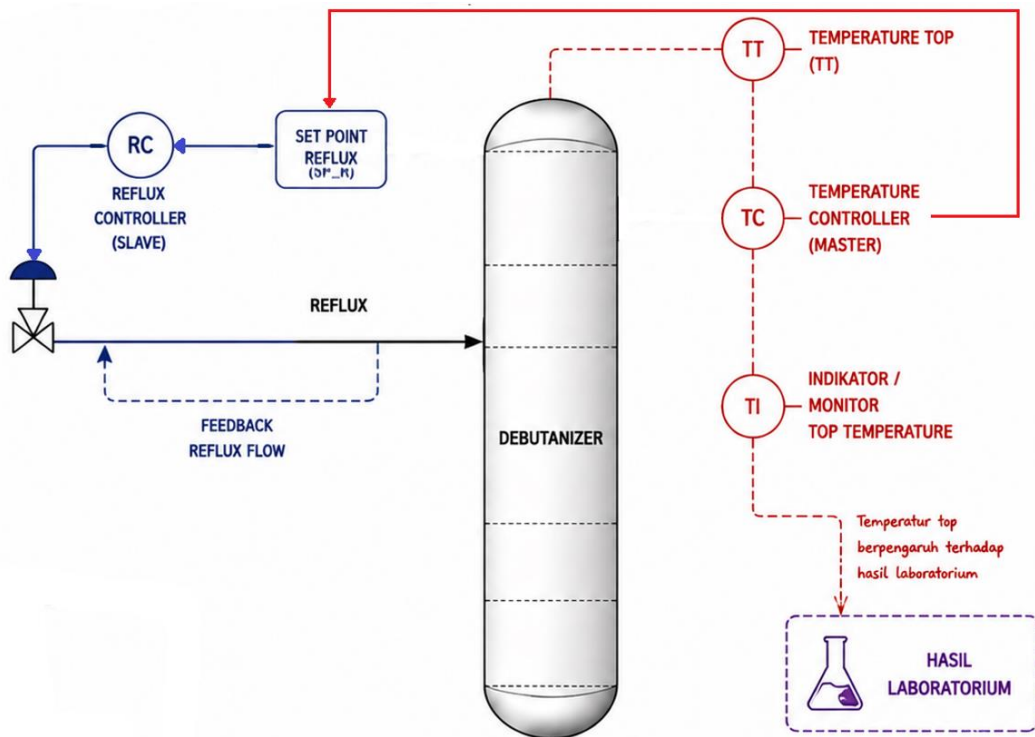
tersebut memengaruhi variabel utama. Sementara itu, loop utama bertugas menjaga variabel utama tetap berada pada kondisi yang diinginkan. Oleh karena itu, penerapan cascade control membutuhkan hubungan dinamis antara variabel utama dan variabel sekunder agar kedua loop dapat bekerja secara efektif (Åström & Hägglund, 2006).

Keunggulan utama sistem cascade control dibandingkan sistem single loop control adalah peningkatan kemampuan dalam mereduksi gangguan proses dan mempercepat waktu respons sistem. Pada proses industri dengan karakteristik dinamis yang kompleks, gangguan yang terjadi pada aliran, tekanan, maupun beban proses dapat memberikan pengaruh terhadap variabel utama. Dengan adanya loop sekunder, perubahan tersebut dapat dikendalikan lebih cepat sehingga penyimpangan variabel utama dapat diminimalkan (Seborg et al., 2017).

Penerapan cascade control membutuhkan pemilihan pasangan variabel proses yang tepat. Variabel sekunder yang digunakan dalam loop bagian dalam harus memiliki respons yang lebih cepat dibandingkan variabel utama sehingga tindakan koreksi dapat dilakukan sebelum gangguan mencapai variabel utama. Selain itu, tuning parameter controller pada masing-masing loop juga menjadi faktor penting dalam memperoleh kestabilan dan performa pengendalian yang optimal (Luyben, 2013).

Dalam industri proses, cascade control banyak diterapkan pada sistem yang memiliki gangguan dominan pada bagian intermediate process, seperti pengendalian temperatur, tekanan, maupun laju alir. Contoh penerapan cascade control adalah pengendalian temperatur dengan menggunakan laju alir sebagai variabel sekunder, dimana perubahan laju alir dapat dikoreksi terlebih dahulu sebelum memengaruhi perubahan temperatur proses secara signifikan (Seborg et al., 2017).

Penerapan sistem cascade control dapat meningkatkan kestabilan operasi karena sistem mampu memberikan tindakan koreksi secara lebih cepat terhadap perubahan kondisi proses. Dengan demikian, penggunaan cascade control menjadi salah satu strategi pengendalian yang banyak digunakan untuk meningkatkan keandalan sistem industri yang membutuhkan kestabilan variabel proses secara berkelanjutan (Åström & Murray, 2021).



Gambar 2.4 pengendalian top temperatur secara sistem *auto cascade*

2.5 Independensi Data dalam Analisis Statistik

Independensi data merupakan salah satu konsep dasar dalam analisis statistik yang menjelaskan kondisi ketika suatu pengamatan tidak memiliki hubungan atau ketergantungan terhadap pengamatan lainnya. Data dikatakan independen apabila nilai suatu pengamatan tidak dipengaruhi oleh nilai pengamatan lain, sehingga setiap data dapat memberikan informasi secara bebas terhadap karakteristik kelompoknya. Asumsi independensi menjadi salah satu aspek penting dalam analisis statistik karena menentukan validitas metode analisis yang digunakan serta ketepatan interpretasi hasil pengolahan data (Montgomery & Runger, 2014).

Dalam analisis statistik, independensi menunjukkan bahwa variasi yang terjadi pada suatu kelompok data berasal dari karakteristik kelompok tersebut dan bukan akibat pengaruh langsung dari kelompok data lainnya. Kondisi ini memungkinkan perbandingan antar kelompok dilakukan secara objektif karena masing-masing kelompok memiliki sumber variasi yang berbeda. Apabila terdapat hubungan antar pengamatan, maka perubahan pada satu data dapat memberikan pengaruh terhadap data lainnya sehingga hasil analisis dapat mengalami penyimpangan (Walpole et al., 2012).

Konsep independensi banyak digunakan pada analisis yang melibatkan perbandingan dua kelompok data atau lebih. Dua kelompok data dapat dikategorikan sebagai data independen apabila setiap kelompok berasal dari kondisi

yang berbeda dan tidak terdapat hubungan langsung antar pengamatan di dalam kelompok tersebut. Kondisi ini berbeda dengan data berpasangan, dimana setiap pengamatan pada satu kelompok memiliki hubungan dengan pengamatan tertentu pada kelompok lainnya, seperti pengukuran terhadap objek yang sama pada kondisi yang berbeda (Montgomery & Runger, 2014).

Dalam bidang teknik dan industri, konsep independensi data menjadi perhatian penting karena data proses sering kali diperoleh dari sistem yang berjalan secara dinamis. Data yang dikumpulkan berdasarkan urutan waktu (time series) dapat memiliki kemungkinan hubungan antar pengamatan akibat adanya karakteristik dinamika proses, gangguan operasi, maupun pengaruh kondisi sebelumnya. Oleh karena itu, pemahaman terhadap sumber data dan kondisi pengambilan data diperlukan untuk menentukan karakteristik hubungan antar data (Box et al., 2015).

Pada sistem industri, perubahan metode operasi atau perubahan strategi pengendalian dapat menghasilkan kelompok data dengan karakteristik yang berbeda. Apabila dua kelompok data diperoleh dari kondisi operasi yang berbeda dan tidak saling memberikan pengaruh secara langsung, maka kedua kelompok tersebut dapat dianalisis sebagai kelompok data yang independen. Konsep ini banyak digunakan dalam evaluasi performa sistem industri untuk membandingkan karakteristik proses pada kondisi operasi yang berbeda (Montgomery & Runger, 2014).

Selain memperhatikan sumber data, karakteristik distribusi data juga perlu dipahami sebelum melakukan analisis statistik. Gambaran mengenai pola penyebaran data dapat diperoleh melalui analisis statistik deskriptif dan visualisasi data seperti histogram. Analisis tersebut membantu dalam memahami variasi data, pola penyebaran, serta kemungkinan adanya perbedaan karakteristik antar kelompok pengamatan (Walpole et al., 2012).

Dengan demikian, independensi data merupakan konsep penting dalam analisis statistik yang digunakan untuk memastikan bahwa kelompok data yang dibandingkan memiliki karakteristik pengamatan yang tidak saling bergantung. Pemahaman terhadap independensi data memberikan dasar dalam melakukan analisis perbandingan antar kondisi operasi sehingga hasil yang diperoleh dapat menggambarkan perbedaan karakteristik sistem secara lebih objektif.

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar dalam memahami perkembangan metode pengendalian proses dan penerapan analisis data pada sistem industri. Berbagai penelitian telah dilakukan terkait penerapan cascade control, peningkatan kestabilan proses, serta evaluasi performa sistem pengendalian berdasarkan data operasi. Beberapa penelitian yang memiliki keterkaitan dengan

penelitian ini disajikan sebagai berikut.

No	Peneliti	Judul	Metode/Kajian	Keterkaitan
1	Luyben (2013)	<i>Distillation Design and Control Using Aspen Simulation</i>	Pengendalian kolom distilasi	Dasar teori pengendalian kolom distilasi
2	Seborg et al. (2017)	<i>Process Dynamics and Control</i>	Sistem pengendalian proses dan cascade control	Dasar konsep cascade control
3	Åström & Hägglund (2006)	<i>Advanced PID Control</i>	Pengembangan sistem kontrol PID	Dasar peningkatan performa sistem kontrol
4	Skogestad (2004)	<i>Control Structure Design for Complete Chemical Plants</i>	Evaluasi struktur pengendalian industri proses	Dasar pemilihan strategi pengendalian
5	Montgomery & Runger (2014)	<i>Applied Statistics and Probability for Engineers</i>	Analisis statistik dan independensi data	Dasar analisis independensi data

Tabel 2.1 Matriks Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, penerapan strategi pengendalian seperti cascade control telah banyak digunakan dalam industri proses untuk meningkatkan kestabilan operasi dan mengurangi pengaruh gangguan terhadap variabel proses. Sistem pengendalian bertingkat memungkinkan respons proses menjadi lebih cepat dibandingkan sistem pengendalian sederhana karena gangguan dapat dikoreksi melalui loop sekunder sebelum memengaruhi variabel utama.

Selain aspek pengendalian proses, analisis terhadap data operasi juga menjadi bagian penting dalam mengevaluasi perubahan performa suatu sistem industri. Penggunaan data historis operasi memungkinkan karakteristik suatu proses diamati berdasarkan kondisi operasi yang berbeda. Namun, sebelum melakukan perbandingan antar kelompok data, diperlukan pemahaman mengenai hubungan antar data agar metode analisis yang digunakan sesuai dengan karakteristik data tersebut.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, sebagian besar penelitian berfokus pada perancangan, simulasi, atau peningkatan performa sistem kontrol. Oleh karena itu, evaluasi terhadap perubahan karakteristik data operasi akibat perubahan moda pengendalian dari sistem semi-auto control menjadi cascade control menjadi aspek

yang perlu dikaji lebih lanjut, khususnya pada sistem operasi kolom Debutanizer.

2.7 Kerangka pemikiran penelitian

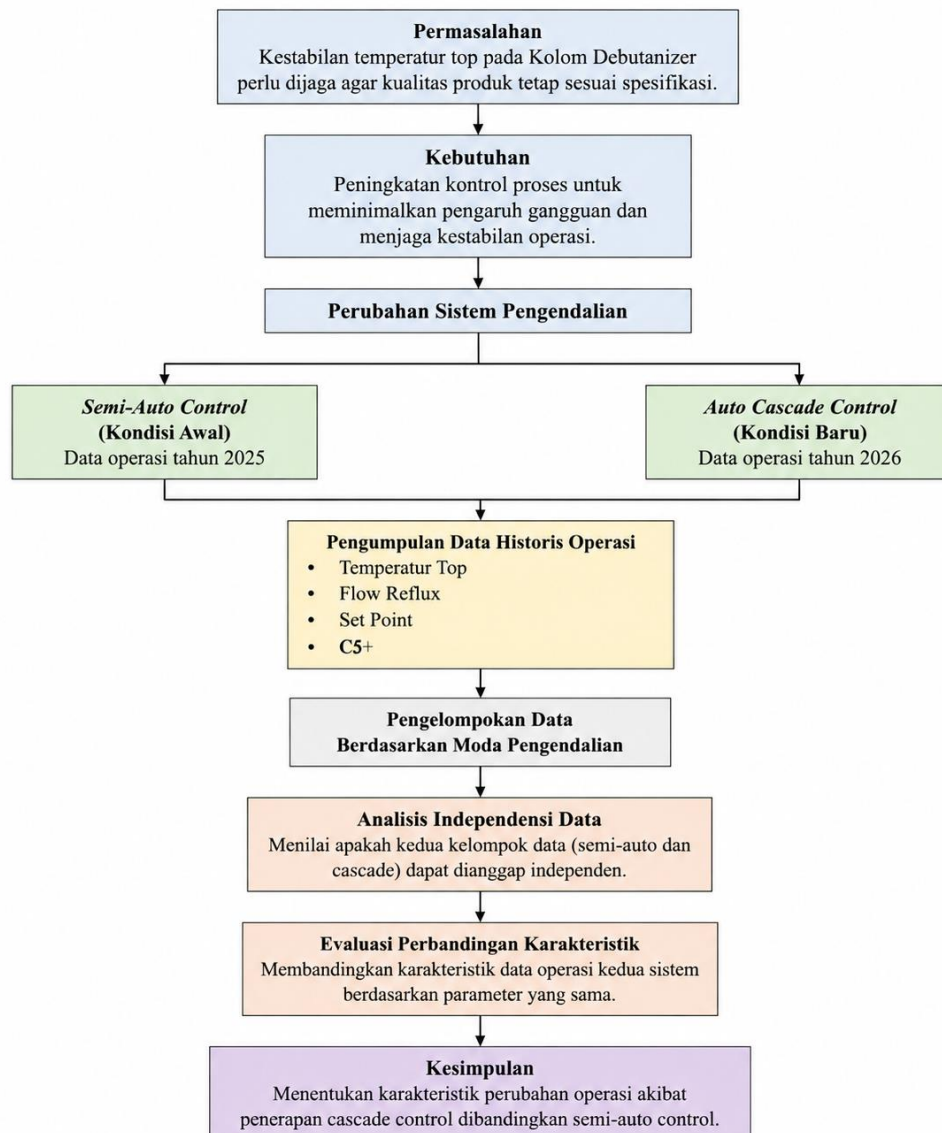
Kerangka pemikiran penelitian merupakan gambaran hubungan antara permasalahan, dasar teori, metode analisis, dan tujuan yang ingin dicapai dalam suatu penelitian. Kerangka pemikiran digunakan untuk menjelaskan tahapan logis dalam menyelesaikan permasalahan berdasarkan teori dan konsep yang telah dikaji.

Kolom Debutanizer merupakan salah satu unit proses yang membutuhkan kestabilan operasi untuk mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan. Salah satu parameter penting dalam pengoperasian kolom Debutanizer adalah temperatur top yang dipengaruhi oleh sistem pengendalian yang diterapkan. Perubahan strategi pengendalian dari sistem semi-auto control menjadi cascade control dapat menghasilkan karakteristik operasi yang berbeda karena adanya perbedaan mekanisme pengendalian terhadap variabel proses.

Perbedaan kondisi pengendalian tersebut menghasilkan dua kelompok data operasi, yaitu data pada saat penerapan semi-auto control dan data setelah penerapan cascade control. Kedua kelompok data tersebut memiliki parameter proses yang sama, tetapi diperoleh dari kondisi operasi dengan strategi pengendalian yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap karakteristik hubungan antar kelompok data untuk mengetahui apakah kedua kelompok tersebut dapat dibandingkan sebagai data yang independen.

Berdasarkan konsep independensi data dalam analisis statistik, kelompok data yang tidak memiliki hubungan langsung dapat dianalisis sebagai kelompok pengamatan yang berbeda. Hasil analisis independensi data kemudian digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi karakteristik perubahan operasi akibat penerapan metode pengendalian yang berbeda.

Adapun kerangka pemikiran penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Kerangka Pemikiran Penelitian

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis data operasional. Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang dianalisis berupa data numerik yang diperoleh dari kondisi operasi aktual suatu sistem proses industri. Data tersebut kemudian diolah dan dianalisis untuk memperoleh gambaran mengenai karakteristik operasi berdasarkan kondisi pengendalian yang berbeda.

Penelitian ini menggunakan pendekatan komparatif, yaitu dengan melakukan perbandingan terhadap dua kelompok data operasi yang berasal dari dua kondisi sistem pengendalian yang berbeda. Kelompok pertama merupakan data operasi ketika sistem masih menggunakan metode semi-auto control, sedangkan kelompok kedua merupakan data operasi setelah penerapan sistem cascade control. Perbandingan kedua kelompok data dilakukan untuk mengetahui karakteristik hubungan antar data serta mengevaluasi perubahan kondisi operasi setelah adanya perubahan strategi pengendalian.

Analisis statistik digunakan sebagai pendekatan untuk mengevaluasi karakteristik data sehingga dapat diketahui apakah kedua kelompok data tersebut memiliki hubungan atau ketergantungan satu sama lain. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan interpretasi terhadap perubahan karakteristik operasi pada kolom Debutanizer.

3.2 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada fasilitas pengolahan Kilang X. dengan objek penelitian berupa sistem operasi kolom Debutanizer. Kolom Debutanizer merupakan salah satu unit proses pemisahan hidrokarbon yang berfungsi untuk memisahkan komponen ringan dan berat berdasarkan prinsip distilasi.

Fokus penelitian diarahkan pada sistem pengendalian temperatur bagian atas kolom (Top Temperature). Sistem pengendalian tersebut mengalami perubahan metode operasi dari sistem semi-auto control menjadi sistem cascade control, sehingga menghasilkan dua kondisi operasi yang berbeda untuk dilakukan analisis berdasarkan data historis proses.

3.3 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa data historis operasi (historical process data) yang diperoleh dari sistem pencatatan operasi perusahaan. Penggunaan data historis memungkinkan evaluasi dilakukan berdasarkan kondisi operasi aktual tanpa mengganggu proses produksi yang sedang berlangsung.

Data operasi dikelompokkan berdasarkan moda pengendalian yang diterapkan, yaitu data dengan sistem semi-auto control dan data setelah penerapan auto cascade control.

Variabel proses yang digunakan dalam penelitian meliputi:

1. Temperatur Top, yaitu temperatur pada bagian atas kolom Debutanizer yang menjadi salah satu indikator kestabilan proses pemisahan.
2. Flow Reflux, yaitu laju alir reflux yang berperan dalam proses pemisahan di dalam kolom.
3. Set Point Temperatur, yaitu nilai acuan temperatur yang digunakan dalam sistem pengendalian.
4. C5+, yaitu kandungan komponen hidrokarbon berat yang menjadi salah satu indikator karakteristik produk.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan parameter yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis terhadap kondisi operasi kolom Debutanizer.

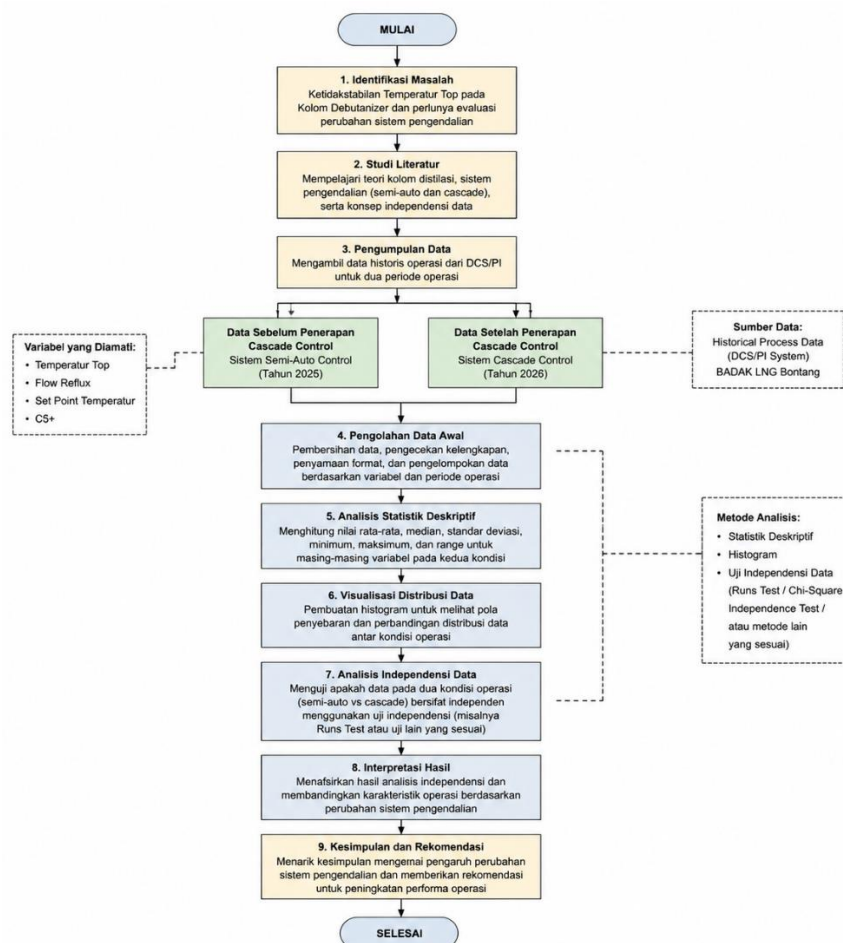
Variabel dalam penelitian ini terdiri dari variabel proses dan variabel kondisi pengendalian. Variabel proses meliputi Temperatur Top, Flow Reflux, Set Point Temperatur, dan C5+. Sementara itu, variabel kondisi pengendalian terdiri dari dua kelompok, yaitu semi-auto control dan cascade control.

3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis agar proses pengolahan dan analisis data dapat dilakukan secara terarah. Tahapan penelitian meliputi:

1. Identifikasi Proses dan Sistem Pengendalian
Tahap awal penelitian dilakukan dengan memahami proses operasi kolom Debutanizer serta mempelajari konfigurasi sistem pengendalian temperatur top sebelum dan sesudah penerapan auto cascade control
2. Pengumpulan Data Historis Operasi
Data historis operasi dikumpulkan berdasarkan periode yang mewakili kondisi sebelum dan sesudah perubahan sistem pengendalian. Data yang dikumpulkan meliputi parameter proses yang telah ditentukan.

3. Pengelompokan Data Berdasarkan Moda Pengendalian
Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan berdasarkan kondisi sistem pengendalian, yaitu kelompok data semi-auto control dan kelompok data cascade control.
4. Pengolahan Data
Data yang telah dikumpulkan dilakukan pemeriksaan awal untuk memastikan kelengkapan data, kesesuaian format, serta kesiapan data sebelum dilakukan analisis lebih lanjut
5. Analisis Independensi Data
Analisis independensi dilakukan untuk mengetahui karakteristik hubungan antar kelompok data dari dua kondisi pengendalian yang berbeda. Tahapan ini digunakan untuk mengetahui apakah kedua kelompok data dapat diperlakukan sebagai kelompok pengamatan yang independen.
6. Interpretasi Hasil
Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk mengetahui karakteristik perubahan data operasi akibat perbedaan metode pengendalian yang diterapkan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.6 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah seleksi data historis berdasarkan periode operasi yang sesuai dengan kondisi semi-auto control dan cascade control.

Tahap berikutnya adalah pemisahan data berdasarkan moda pengendalian yang digunakan. Setelah data dikelompokkan, dilakukan analisis statistik deskriptif untuk mengetahui karakteristik umum data seperti nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, dan tingkat penyebaran data.

Selain itu, dilakukan visualisasi data menggunakan histogram untuk melihat pola distribusi dan persebaran data pada masing-masing kelompok operasi. Hasil pengolahan data tersebut digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis independensi data.

3.7 Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik hubungan antar kelompok data berdasarkan perubahan sistem pengendalian. Tahapan analisis meliputi:

1. Analisis karakteristik data operasi semi-auto control.
2. Analisis karakteristik data operasi cascade control.
3. Evaluasi independensi antara kedua kelompok data.
4. Interpretasi hasil berdasarkan perubahan strategi pengendalian.

Hasil analisis digunakan untuk memberikan gambaran mengenai perubahan karakteristik operasi kolom Debutanizer setelah penerapan sistem cascade control dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.