

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pengolahan susu cair merupakan sektor penting dalam pangan nasional karena menyediakan salah satu sumber protein dan kalsium utama bagi masyarakat Indonesia (Indriani et al., 2022). Industri pengolahan susu cair memegang peranan vital dalam ketahanan pangan nasional sebagai sumber protein dan kalsium utama, sekaligus mendorong pertumbuhan industri hilir seperti yogurt dan keju. Provinsi Jawa Timur merupakan kontributor utama dengan produksi susu segar nasional mencapai lebih dari 456.000ton pada tahun 2023, di mana Kabupaten Malang menjadi salah satu daerah penghasil terbesar (BPS, 2023). Peningkatan produksi ini menandakan transisi industri yang tidak hanya berorientasi pada konsumsi lokal, tetapi juga mendukung kebutuhan industri pengolahan susu di wilayah lain. Oleh karena itu, penelitian di KAN Jabung Malang dipilih karena merepresentasikan karakteristik industri susu skala menengah dengan volume produksi besar yang membutuhkan kontrol kualitas yang ketat (Budiman & Alta, 2023).

Unit Produksi KAN Jabung Malang merupakan salah satu unit usaha pengolahan susu pasteurisasi skala menengah yang menghasilkan produk susu dalam kemasan botol 950 mL. Produk ini dipasarkan di berbagai wilayah Jawa Timur dan sekitarnya, baik di tingkat konsumen rumah tangga maupun usaha kecil menengah, Konsistensi volume 950 mL menjadi aspek kritical untuk menjaga kepercayaan konsumen dan memastikan kesesuaian terhadap regulasi pangan yang berlaku. Namun, dalam praktik operasionalnya, pengisian botol masih dilakukan secara manual menggunakan katup dan pengamatan visual oleh operator. Kondisi ini menjadikan proses pengisian sebagai tahap dengan tingkat ketidaksesuaian paling sering dalam lini produksi (Sirait, 2025)

Ketergantungan pada aspek manual menyebabkan proses ini rentan terhadap variasi hasil pengisian, baik berupa *underfill* maupun *overfill*. Hal tersebut rentan terhadap variasi hasil pengisian, yang menghasilkan kejadian volume kurang atau lebih dari target (Zacharski et al., 2021). Berdasarkan rekapitulasi magang,

rata-rata tumpahan produk mencapai sekitar 1,32 mL per kejadian, yang jika terjadi dalam jumlah banyak akan berdampak nyata pada kerugian bahan baku. Ketidaktepatan proses pengisian susu secara manual mencerminkan variabilitas antar operator yang menimbulkan ketidakkonsistenan hasil produksi (Kunes et al., 2021). Permasalahan operasional tersebut secara langsung berdampak pada efisiensi proses, kualitas produk, dan biaya produksi, sehingga diperlukan pemahaman mendalam mengenai faktor penyebab utamanya (Alsaidalani & Elmadhoun, 2022).

Faktor manusia atau *human error* telah diidentifikasi sebagai salah satu penyebab utama variasi dalam proses produksi manual, termasuk dalam pengisian cairan seperti susu. Untuk mengevaluasi hal ini, pendekatan *Human Reliability Analysis* (HRA) melalui metode *Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach* (SHERPA) dan *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART) digunakan untuk mengidentifikasi sumber kegagalan dan menghitung probabilitas kesalahan operator secara ilmiah. Melalui pendekatan ini, kontribusi kesalahan manusia terhadap variabilitas volume pengisian dapat dipetakan secara terukur sebagai dasar perancangan strategi perbaikan proses yang lebih andal (Utama et al., 2024). Dengan demikian, pendekatan ini akan memberikan gambaran ilmiah tentang kontribusi kesalahan manusia terhadap variabilitas volume pengisian dan menjadi dasar perancangan strategi perbaikan proses (Basri et al., 2025).

Selain analisis faktor manusia, pemahaman perilaku dinamis proses pengisian cairan diperlukan Model *first-order plus dead time* (FOPDT) untuk merepresentasikan respon sistem pengisian cairan (Chen, 2021). Berdasarkan model ini, dilakukan simulasi kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) untuk mengevaluasi respon sistem terhadap variasi input dan error. PID dipilih karena merupakan salah satu metode kontrol yang paling banyak dipakai di industri untuk menjaga nilai proses terhadap set point yang diinginkan (Rifa'i, 2021). Simulasi ini tidak bertujuan memasang sistem otomatis secara fisik dalam penelitian, tetapi digunakan sebagai alat bantu untuk merancang SOP pengisian

manual yang lebih konsisten dan mampu meminimalkan variasi dan tumpahan (Thibault et al., 2023).

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis *human error* berbasis SHERPA-HEART dengan simulasi sistem kendali PID pada *model First Order Plus Dead Time* (FOPDT) untuk proses pengisian susu pasteurisasi secara manual. Sebagian besar penelitian terdahulu membahas analisis human error dan sistem kendali proses secara terpisah, sedangkan penelitian yang menggunakan nilai *Human Error Probability* (HEP) sebagai dasar pembentukan *disturbance* pada simulasi PID-FOPDT masih sangat terbatas, khususnya pada industri pengolahan susu skala koperasi. Pendekatan ini memungkinkan hubungan antara probabilitas kesalahan operator dan respons dinamis sistem dianalisis secara kuantitatif dalam satu kerangka yang terintegrasi (Falconi et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memperoleh model dinamis sistem pengisian susu pasteurisasi, mengidentifikasi dan mengkuantifikasi kesalahan operator menggunakan SHERPA dan HEART, mengevaluasi respons sistem terhadap gangguan berbasis HEP melalui simulasi PID-FOPDT, serta merumuskan rekomendasi perbaikan *Standard Operating Procedure* (SOP) yang dapat diterapkan untuk meningkatkan konsistensi volume pengisian pada Koperasi Agro Niaga Jabung Malang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Jenis kesalahan apa saja yang dilakukan operator pada setiap tahapan proses pengisian manual susu pasteurisasi 950 mL dan bagaimana klasifikasinya berdasarkan metode SHERPA?
2. Berapa besar nilai probabilitas kesalahan manusia (*Human Error Probability*/HEP) pada aktivitas kritis pengisian manual dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan kerja menggunakan metode HEART?
3. Bagaimana karakteristik dinamis proses pengisian manual dapat direpresentasikan dalam bentuk model *First-Order Plus Dead Time* (FOPDT)?

4. Bagaimana nilai HEP dapat diintegrasikan sebagai gangguan (*disturbance*) dalam simulasi kontrol PID untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap stabilitas volume hasil pengisian?
5. Bagaimana hasil optimasi parameter PID menggunakan metode IMC-PID berdasarkan model FOPDT dalam meningkatkan kinerja sistem pengisian susu pasteurisasi yang ditinjau dari nilai *overshoot*, *settling time*, *steady-state error*, *Integral Absolute Error* (IAE), dan *Integral Squared Error* (ISE)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini disusun untuk menjawab seluruh rumusan masalah yang telah ditetapkan, yaitu:

1. Mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis-jenis kesalahan operator pada proses pengisian manual susu pasteurisasi 950 mL menggunakan metode *Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach* (SHERPA) berdasarkan struktur *Hierarchical Task Analysis* (HTA).
2. Menghitung nilai *Human Error Probability* (HEP) pada aktivitas kritis pengisian manual dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan kerja melalui metode *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART), serta meminimalkan probabilitas kesalahan tersebut sebagai dasar kuantifikasi gangguan manusia terhadap proses pengisian.
3. Mengidentifikasi parameter model *First-Order Plus Dead Time* (FOPDT) pada proses pengisian susu pasteurisasi 950 mL melalui eksperimen step response, yang mencakup *process gain* (K), *time constant* (τ), dan *dead time* (θ), dengan variabel input berupa persentase bukaan katup valve dan variabel output berupa debit aliran susu.
4. Meminimalkan deviasi volume pengisian terhadap setpoint 950 mL dengan mengintegrasikan nilai HEP sebagai *disturbance* dalam simulasi pengendali PID pada sistem *closed-loop* FOPDT, yang dievaluasi melalui parameter *overshoot*, *settling time*, *steady-state error*, dan *Integral Absolute Error* (IAE).

5. Menganalisis hasil optimasi parameter PID menggunakan metode IMC-PID pada model FOPDT berdasarkan indikator kinerja sistem yang meliputi *overshoot*, *settling time*, *steady-state error*, *Integral Absolute Error* (IAE), dan *Integral Squared Error* (ISE) untuk meningkatkan kestabilan dan akurasi proses pengisian susu pasteurisasi 950 mL di KAN Jabung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara praktis maupun akademik sebagai berikut.

1.4.1 Bagi Perusahaan

- 1) Memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat variasi volume dan potensi kerugian bahan baku pada proses pengisian manual susu pasteurisasi 950 mL.
- 2) Menjadi landasan teknis ilmiah dalam penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) pengisian manual yang lebih presisi berbasis hasil analisis *human error* dan simulasi pengendalian proses.
- 3) Memberikan referensi awal bagi perusahaan dalam mempertimbangkan penerapan sistem kontrol pengisian yang lebih terkendali di masa depan.
- 4) Mendukung peningkatan efisiensi operasional dan konsistensi mutu produk secara berkelanjutan.

1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi

- 1) Menambah referensi penelitian terapan di bidang teknologi pangan, khususnya pengendalian proses industri susu skala menengah.
- 2) Menjadi studi kasus nyata dalam pembelajaran dinamika proses, *human reliability analysis*, dan simulasi kontrol PID.
- 3) Memperkuat hubungan kerja sama antara perguruan tinggi dan industri pengolahan susu berbasis koperasi.

1.4.3 Bagi Peneliti

- 1) Mengembangkan kemampuan analisis integratif antara perilaku manusia (*human-error*) dan pendekatan teknik pengendalian proses.

- 2) Memberikan pengalaman penelitian berbasis data industri nyata.
- 3) Menjadi dasar bagi penelitian lanjutan terkait pengembangan sistem kontrol pengisian yang lebih adaptif di industri pangan.