

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makan Bergizi Gratis (MBG) merupakan program strategis nasional yang bertujuan meningkatkan status gizi anak usia sekolah, ibu hamil, dan ibu menyusui melalui penyediaan pangan bergizi yang terstandar. Program ini diluncurkan dengan alokasi anggaran sebesar Rp 71 triliun pada APBN 2025 yang menysasar sekitar 19,47 juta penerima manfaat (Kementerian Keuangan, 2024). Keberhasilan program ini tidak hanya bergantung pada ketersediaan bahan pangan, tetapi juga pada konsistensi mutu produk secara industri, terutama dalam parameter kandungan nutrisi.

Susu merupakan bahan pangan bergizi tinggi yang mengandung komponen nutrisi lengkap. Susu sapi mengandung sekitar 87% air dan 13% total solid (TS), dengan komposisi total solid meliputi protein (3,5%), lemak, karbohidrat (laktosa), vitamin, dan mineral (Haug et al., 2007). Total Solid (TS) merupakan parameter kritis karena merepresentasikan seluruh komponen nutrisi seperti protein, lemak, laktosa, vitamin, dan mineral. Variasi kecil dalam proporsi komponen campuran dapat menyebabkan perubahan signifikan pada nilai TS, yang berdampak pada kualitas gizi dan kestabilan produk.

CV. Cita Nasional sebagai salah satu produsen susu MBG di Indonesia menggunakan tiga komponen utama dalam formulasinya, yaitu susu segar sebagai basis nutrisi, Advanced Dairy Concentrate (ADC) yang merupakan campuran whey protein dan susu skim sebagai fortifikan protein, serta Carboxymethyl Cellulose (CMC) sebagai stabilizer. Michaelidou et al. (2008) menyatakan bahwa penambahan whey protein atau susu skim pada produk susu dapat meningkatkan kandungan protein dan memperbaiki karakteristik fungsional produk. Penggunaan CMC sebagai stabilizer juga diperlukan untuk menjaga stabilitas fisik produk selama penyimpanan dengan mencegah pemisahan fase dan mempertahankan tekstur yang diinginkan (Utami, 2010).

Permasalahan teknis yang dihadapi dalam pengembangan formulasi susu MBG saat ini adalah sebagai berikut. Pertama, penentuan proporsi optimal dari ketiga komponen masih dilakukan secara konvensional (trial and error) yang tidak efisien dari sisi waktu dan biaya. Kedua, belum terdapat model matematis yang dapat memprediksi nilai Total Solid secara akurat berdasarkan variasi proporsi komponen. Ketiga, optimasi formulasi selama ini hanya berfokus

pada pencapaian Total Solid maksimum tanpa mempertimbangkan efisiensi biaya bahan baku, padahal ADC sebagai komponen dengan pengaruh terbesar terhadap TS merupakan bahan baku termahal. Keempat, belum terdapat integrasi antara hasil optimasi formulasi dan perancangan sistem pengendalian proses produksi skala industri.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pemodelan Ordinary Least Squares (OLS), optimasi biaya menggunakan Excel Solver Simplex LP, analisis kelayakan investasi (CAPEX–OPEX), serta perancangan sistem Ratio Control ke dalam satu kerangka techno-economic engineering untuk produksi susu MBG. Pendekatan terintegrasi tersebut belum banyak dilaporkan pada penelitian formulasi susu di Indonesia.

Metode regresi linear dengan pendekatan Ordinary Least Squares (OLS) merupakan metode yang tepat untuk membangun model matematis hubungan antara proporsi komponen campuran dengan nilai Total Solid. OLS bekerja dengan meminimalkan jumlah kuadrat residual antara nilai aktual dan prediksi, menghasilkan estimator yang bersifat BLUE (Best Linear Unbiased Estimator) (Draper & Smith, 1998). Dalam konteks campuran tiga komponen di mana proporsi selalu berjumlah 100%, model regresi linear mixture tanpa intercept merupakan bentuk persamaan yang paling sesuai (Montgomery, 2017). Koefisien model (β) dapat dihitung langsung menggunakan fungsi LINEST pada Microsoft Excel tanpa memerlukan perangkat lunak tambahan seperti Design Expert.

Optimasi formulasi selanjutnya dilakukan menggunakan metode Linear Programming dengan Excel Solver (Simplex LP). Metode ini dipilih karena fungsi objektif minimasi biaya bahan baku dan seluruh constraint dalam sistem campuran bersifat linear, sehingga Simplex LP merupakan metode yang paling tepat dan efisien (van Dooren, 2018). Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan Design Expert untuk optimasi berbasis desirability function, namun pendekatan OLS + Excel Solver terbukti menghasilkan koefisien model yang setara dengan selisih kurang dari 0,001 terhadap hasil Design Expert dengan nilai $R^2 = 0,970$.

Hasil optimasi kemudian diintegrasikan ke dalam perancangan sistem pengendalian proses menggunakan Ratio Control dengan Optimizer adaptif berbasis model OLS. Sistem ini memungkinkan pengendalian proporsi campuran secara real-time dan otomatis mengikuti perubahan laju aliran bahan baku, sehingga konsistensi Total Solid produk akhir dapat terjaga sesuai standar MBG $\geq 12\%$. Integrasi antara model OLS, optimasi Solver, dan sistem pengendalian

Ratio Control dalam satu kerangka penelitian merupakan kontribusi utama yang belum pernah dilakukan sebelumnya pada industri susu MBG di Indonesia.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dirancang untuk mengoptimasi formulasi susu MBG menggunakan model regresi linear OLS dan Excel Solver Simplex LP, memvalidasi model secara statistik menggunakan SPSS, serta merancang Process Flow Diagram dan Sistem Ratio Control produksi berbasis formula optimum di CV. Cita Nasional Semarang.

1.2 Rumusan Masalah

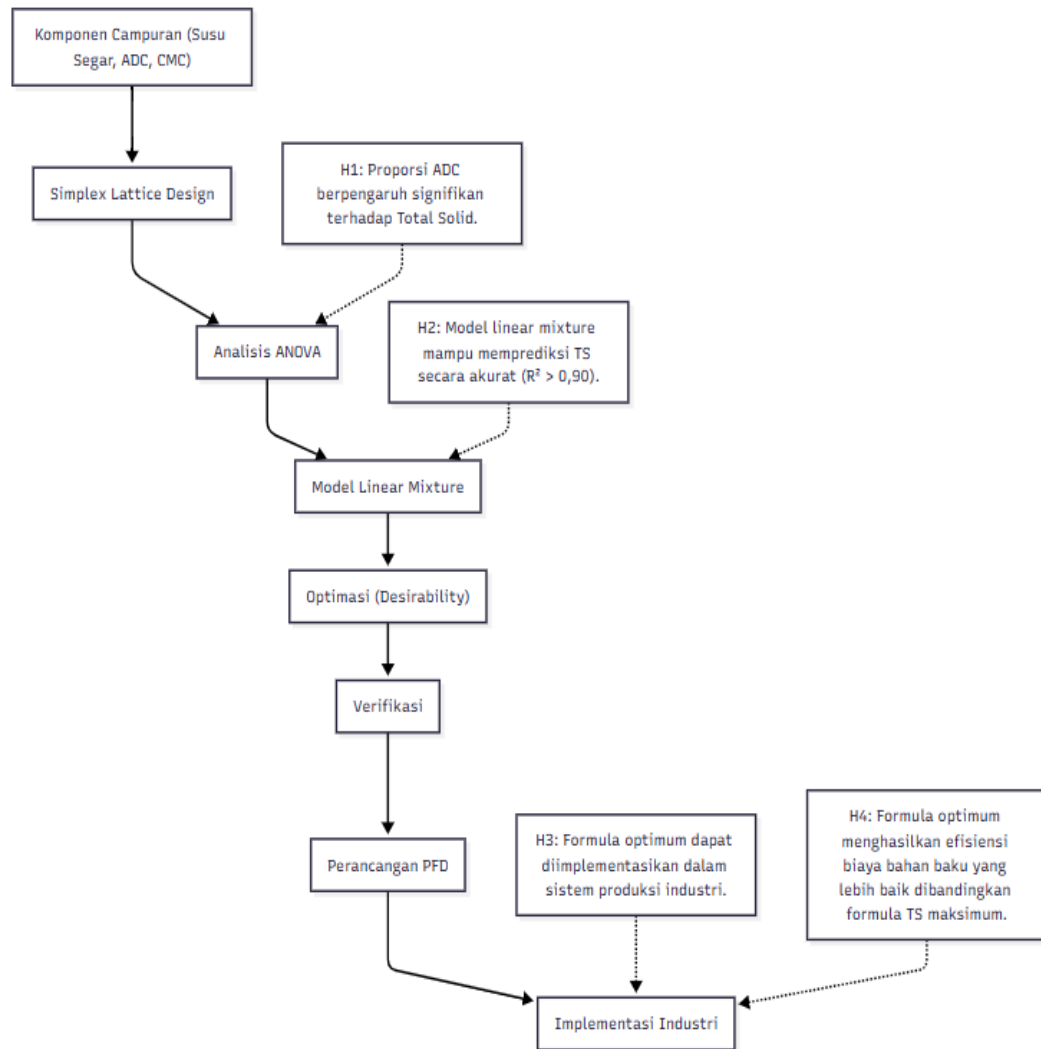
1. Bagaimana pengaruh proporsi Susu Segar, ADC, dan CMC terhadap Total Solid berdasarkan model regresi linear yang dibangun menggunakan metode Ordinary Least Squares (OLS)?
2. Bagaimana menentukan kombinasi proporsi Susu Segar, ADC, dan CMC yang menghasilkan biaya produksi minimum dengan tetap memenuhi batas minimal Total Solid sebesar 12% menggunakan Excel Solver Simplex LP?
3. Bagaimana hasil validasi model regresi linear secara statistik menggunakan IBM SPSS Statistics?
4. Bagaimana perancangan Process Flow Diagram dan Sistem Ratio Control produksi susu MBG berdasarkan formula optimum?
5. Bagaimana implikasi formula optimum terhadap laju aliran, stabilitas proses, dan efisiensi biaya produksi skala industri?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk membangun model matematis hubungan proporsi Susu Segar, ADC, dan CMC terhadap Total Solid menggunakan metode Ordinary Least Squares (OLS).
2. Untuk menentukan kombinasi proporsi Susu Segar, ADC, dan CMC yang menghasilkan biaya produksi minimum dengan tetap memenuhi standar Total Solid $\geq 12\%$ menggunakan Excel Solver Simplex LP.
3. Untuk memvalidasi model regresi linear secara statistik menggunakan IBM SPSS Statistics.

4. Untuk merancang Process Flow Diagram dan Sistem Ratio Control produksi susu MBG skala industri berbasis formula optimum.
5. Untuk mengetahui implikasi formula optimum terhadap laju aliran, stabilitas proses, dan efisiensi biaya produksi skala industri.

1.4 Kerangka Penelitian



Gambar 1. 1 Kerangka Penelitian

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan kerangka pemikiran tersebut, hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

- H1: Proporsi ADC berpengaruh signifikan terhadap Total Solid susu MBG.

- H2: Model regresi linear OLS mampu memprediksi Total Solid secara akurat dengan nilai $R^2 \geq 0,90$.
- H3: Formula optimum hasil Excel Solver Simplex LP dapat memenuhi standar Total Solid MBG $\geq 12\%$ dengan biaya bahan baku minimum.
- H4: Formula optimum dapat diimplementasikan dalam sistem pengendalian proses produksi skala industri melalui Ratio Control berbasis model OLS.
- H5: Optimasi formulasi berbasis fungsi biaya mampu menghasilkan penghematan biaya produksi tanpa menurunkan kualitas Total Solid di bawah batas standar yang ditetapkan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Akademis

- Memberikan kontribusi ilmiah tentang aplikasi metode regresi linear OLS dan Linear Programming (Simplex LP) dalam optimasi formulasi produk minuman berbasis susu untuk program nutrisi masyarakat skala nasional.
- Menambah literatur tentang integrasi model matematis OLS dengan sistem pengendalian proses Ratio Control pada industri susu MBG, yang dapat dijadikan referensi bagi penelitian sejenis di masa mendatang.
- Memberikan alternatif metodologi optimasi formulasi berbasis Microsoft Excel (OLS + Solver) sebagai pengganti Design Expert yang lebih aksesibel dan ekonomis bagi industri kecil dan menengah.

2. Manfaat Praktis

- Memberikan formula optimum susu MBG (Susu Segar 88,5701%, ADC 10,9299%, CMC 0,5000%) yang dapat diimplementasikan di CV. Cita Nasional dengan biaya bahan baku minimum sambil memenuhi standar Total Solid $\geq 12\%$.
- Menyediakan Process Flow Diagram (PFD) dan perancangan Sistem Ratio Control sebagai panduan operasional produksi susu MBG skala industri yang terstandar dan efisien.
- Mendukung program MBG pemerintah dengan potensi penghematan biaya bahan baku sebesar Rp 1,86 triliun per tahun pada skala 19,47 juta penerima tanpa mengorbankan standar kualitas gizi.
- Meningkatkan efisiensi produksi melalui sistem pengendalian otomatis berbasis Ratio Control yang menjaga konsistensi proporsi campuran secara real-time.