

## Model Formulasi dan Pengendalian Mutu Berkelanjutan *Food Grade Grease* Berbasis Sumber Daya Agroindustri untuk Mendukung Keamanan dan Kehalalan Produk Pangan

### A Formulation Model and Sustainable Quality Control for Agroindustry-Based Food Grade Grease to Support Food Safety and Halal Assurance

Nina Hairiyah<sup>1a</sup>, Imron Musthofa<sup>2</sup>, Nuryati<sup>1</sup>, R. Rizki Amalia<sup>1</sup>, Fatimah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroindustri Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut; Jl. A. Yani Km. 06, Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan 70815.

<sup>2</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat Jurusan Rekayasa Industri, Politeknik Negeri Tanah Laut; Jl. A. Yani Km. 06, Kab. Tanah Laut, Kalimantan Selatan 70815.

<sup>a</sup>Korespondensi: Nina Hairiyah, E-mail: ninahairiyah@politala.ac.id

Diterima: 04 – 02 – 2026 , Disetujui: 30 – 04 - 2026

#### ABSTRACT

Food safety and halal assurance of food products are influenced not only by main ingredients but also by processing aids, including food grade grease in food processing equipment. Dependence on imports and limited integration between formulation and process-based quality control highlight the need for a sustainable scientific model based on local agroindustrial resources. This study aimed to develop a sustainable formulation and quality control model for agroindustry-based food grade grease to support food safety and halal assurance. The stages included identification of Critical Quality Characteristics (CQC), purification of agroindustry-based raw materials, formulation design using Design of Experiment (DOE), and application of Statistical Quality Control (SQC) to evaluate process stability and capability. The results showed that the formulation model identified quantitative relationships between stirring time and critical quality parameters, with product quality showing statistical consistency across key attributes. SQC implementation demonstrated a stable formulation process, with Cp and Cpk values greater than 1.33 for key quality parameters. The integration of formulation and quality control analyses produced a conceptual framework for mapping critical quality points, process variability, and sustainability relevance of local agroindustrial resources. The proposed model may serve as a scientific reference for developing and supervising food processing aids that support food safety, halal assurance, and sustainable agroindustry.

**Keywords:** food grade grease, critical quality characteristics, quality control, halal agroindustry, sustainability

#### ABSTRAK

Keamanan pangan dan jaminan kehalalan produk pangan dipengaruhi tidak hanya oleh bahan utama, tetapi juga oleh bahan penunjang proses, termasuk food grade grease pada peralatan pengolahan pangan. Ketergantungan terhadap produk impor dan terbatasnya integrasi antara formulasi dan pengendalian mutu berbasis proses menunjukkan perlunya model ilmiah berkelanjutan berbasis sumber daya agroindustri lokal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model formulasi dan pengendalian mutu berkelanjutan food grade grease berbasis agroindustri untuk mendukung keamanan pangan dan jaminan kehalalan. Tahapan penelitian meliputi identifikasi Critical Quality Characteristics (CQC), pemurnian bahan baku berbasis agroindustri, perancangan formulasi menggunakan Design of Experiment (DOE), serta penerapan Statistical Quality Control (SQC) untuk mengevaluasi kestabilan dan kapabilitas proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model formulasi mampu mengidentifikasi hubungan kuantitatif antara waktu pengadukan dan parameter mutu kritis, dengan mutu produk yang menunjukkan konsistensi statistik pada atribut utama. Penerapan SQC menunjukkan proses formulasi yang stabil, dengan nilai Cp dan Cpk lebih besar dari 1,33 pada parameter mutu utama. Integrasi analisis formulasi dan pengendalian mutu menghasilkan kerangka konseptual untuk memetakan titik kritis mutu, variasi proses, dan relevansi keberlanjutan sumber daya agroindustri lokal. Model yang diusulkan diharapkan menjadi acuan ilmiah dalam pengembangan dan pengawasan mutu bahan penunjang proses pangan yang mendukung keamanan pangan, jaminan kehalalan, dan agroindustri berkelanjutan.

**Kata kunci:** food grade grease, karakteristik mutu kritis, pengendalian mutu, agroindustri halal, keberlanjutan

## PENDAHULUAN

Keamanan dan kehalalan produk pangan merupakan dua aspek fundamental dalam sistem agroindustri modern yang saling terkait dan tidak dapat dipisahkan. Selain ditentukan oleh bahan pangan utama, keamanan dan kehalalan produk pangan juga dipengaruhi oleh bahan penunjang proses pengolahan (*processing aids*) yang digunakan selama proses produksi, salah satunya adalah *food grade grease* yang diaplikasikan pada mesin dan peralatan industri pangan (Indriani et al., 2024). Pelumas yang tidak memenuhi standar *food grade* berpotensi menjadi sumber kontaminasi fisik maupun kimia, yang dapat menurunkan tingkat keamanan pangan serta menimbulkan keraguan terhadap status kehalalan produk (Florea & Luca, 2010).

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan industri pangan halal secara global, kebutuhan akan bahan penunjang proses yang aman, halal, dan berkelanjutan juga semakin meningkat. Pasar halal dunia menunjukkan tren pertumbuhan yang signifikan, didorong oleh meningkatnya kesadaran konsumen terhadap keamanan pangan dan kepatuhan terhadap prinsip halal (Deuraseh & Deuraseh, 2023). Dalam konteks ini, *food grade grease* tidak hanya dituntut memiliki performa teknis yang baik, tetapi juga harus memenuhi persyaratan keamanan pangan serta bebas dari bahan yang berpotensi tidak halal, baik dari aspek bahan baku maupun proses produksinya (Mohd, 2022). Namun demikian, sebagian besar *food grade grease* yang beredar saat ini masih bergantung pada bahan baku impor dan formulasi berbasis sumber daya non-terbarukan, sehingga kurang mendukung prinsip kemandirian agroindustri dan keberlanjutan (Tan et al., 2023).

Berbagai penelitian terdahulu terkait *food grade grease* umumnya berfokus pada pengembangan formulasi dan evaluasi sifat fisikokimia, seperti konsistensi, stabilitas termal, dan performa pelumasan (Kurnia et al., 2016; Mayasari et al., 2019). Di sisi lain, kajian pengendalian mutu pada industri pangan lebih banyak diarahkan pada produk pangan konsumsi dengan pendekatan *statistical process control* atau sistem monitoring mutu berbasis proses (Nasution et al., 2023; Asaad et al., 2022). Hingga saat ini, penelitian yang secara eksplisit mengintegrasikan model formulasi *food grade grease* dengan pengendalian mutu berbasis statistik serta indikator keberlanjutan agroindustri masih sangat terbatas, khususnya dalam konteks agroindustri halal.

Selain itu, aspek kehalalan dalam kajian *food grade grease* umumnya masih dipahami secara parsial dan terbatas pada pemilihan bahan baku, tanpa diiringi dengan pendekatan sistem pengendalian mutu yang mampu menjamin konsistensi keamanan dan kehalalan secara berkelanjutan sepanjang proses produksi (Agustin et al., 2025). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait pengembangan kerangka ilmiah yang mampu menghubungkan formulasi, karakteristik mutu kritis (*Critical Quality Characteristics*), kestabilan proses, dan prinsip keberlanjutan dalam satu model yang terintegrasi.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa pengembangan model formulasi dan pengendalian mutu berkelanjutan *food grade grease* berbasis sumber daya agroindustri. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistematis antara pendekatan *Design of Experiment* (DOE) dalam perancangan formulasi, penerapan *Statistical Quality Control* (SQC) untuk analisis kestabilan dan kapabilitas proses, serta evaluasi indikator keberlanjutan yang mencakup efisiensi pemanfaatan sumber daya dan potensi pengurangan limbah agroindustri. Model yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi kerangka ilmiah dalam pengembangan dan pengawasan mutu bahan penunjang industri pangan yang mendukung keamanan pangan, jaminan kehalalan, serta prinsip agroindustri berkelanjutan.

## MATERI DAN METODE

### Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan selama periode Juli sampai November 2025 bertempat di Laboratorium Bioproses dan Bioenergi serta Laboratorium Pengujian, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium yang mendukung pengembangan formulasi, pengujian karakteristik mutu, serta analisis pengendalian mutu *food grade grease* yang berbasis sumber daya agroindustri.

### Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi neraca analitik, *hotplate*, gelas beaker, gelas ukur, cawan petri, pipet tetes, spatula, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, pH meter, *colorimeter*, alat sentrifugasi, serta perangkat lunak analisis statistik. Bahan utama penelitian berupa *Crude Palm Oil* (CPO) yang dimanfaatkan sebagai bahan baku agroindustri. Bahan tambahan yang digunakan meliputi *bleaching earth* sebagai agen pemucat, natrium hidroksida (NaOH) sebagai katalis basa, asam stearat sebagai bahan pengental, serta asam asetat yang berfungsi sebagai pengatur pH formulasi. Seluruh bahan yang digunakan dipilih dari sumber yang aman dan memenuhi prinsip halal untuk meminimalkan potensi kontaminasi bahan yang tidak sesuai bagi aplikasi industri pangan.

### Penerapan Prinsip Halal dan Keberlanjutan

Seluruh rangkaian penelitian dilaksanakan dengan memperhatikan prinsip halal dan keberlanjutan. Aspek halal diterapkan melalui pemilihan bahan baku dan bahan tambahan yang berasal dari sumber yang halal, aman, serta tidak mengandung unsur yang dilarang dalam syariat Islam. Proses formulasi juga dirancang untuk meminimalkan risiko kontaminasi silang selama kegiatan penelitian.

Aspek keberlanjutan diwujudkan melalui pemanfaatan bahan baku agroindustri lokal, pengendalian penggunaan bahan secara efisien, serta perancangan proses formulasi yang berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap bahan impor dan mendukung konsep agroindustri berkelanjutan.

### Rancangan Penelitian dan Desain Eksperimen (DOE)

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental yang dikombinasikan dengan analisis statistik untuk membangun model formulasi dan pengendalian mutu berkelanjutan *food grade grease*. Rancangan percobaan disusun menggunakan pendekatan Desain Eksperimen (*Design of Experiment/DOE*) untuk mengevaluasi pengaruh faktor proses terhadap karakteristik mutu kritis produk. Desain yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu waktu pengadukan, dengan tiga taraf perlakuan: 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan *batch* independen, sehingga total satuan percobaan adalah 9 unit.

Komposisi dasar formulasi ditetapkan tetap pada seluruh perlakuan berdasarkan formulasi pendahuluan penelitian, sedangkan faktor yang diuji pada penelitian ini dibatasi pada waktu pengadukan. Penetapan waktu pengadukan sebagai faktor pada DOE didasarkan pada dugaan bahwa durasi pengadukan berpengaruh terhadap homogenitas campuran, pembentukan struktur *grease*, kestabilan emulsi, dan konsistensi mutu produk akhir. Dengan demikian, perubahan karakteristik mutu yang diamati dapat diinterpretasikan sebagai akibat dari variasi faktor proses. Pendekatan ini digunakan untuk menghasilkan model formulasi yang tidak hanya menjelaskan komposisi bahan, tetapi juga menunjukkan keterkaitan antara faktor proses dan mutu produk.

### Pemurnian Bahan Baku

Proses pemurnian CPO dilakukan melalui tahap *bleaching* menggunakan bleaching earth dengan tujuan menurunkan intensitas warna dan meningkatkan kejernihan minyak. Tahap ini dilakukan untuk memperoleh bahan baku yang lebih stabil dan lebih sesuai digunakan dalam formulasi food grade grease. Setelah proses bleaching selesai, minyak dipisahkan dari residu padat dan disiapkan sebagai base oil pada tahap formulasi.

### **Proses Formulasi Food Grade Grease**

Formulasi *food grade grease* dilakukan dengan mencampurkan CPO hasil pemurnian, asam stearat, NaOH, dan asam asetat. CPO dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai suhu proses yang ditetapkan, kemudian asam stearat ditambahkan untuk membentuk sistem pengental. Selanjutnya, NaOH dimasukkan secara bertahap untuk membantu pembentukan struktur sabun yang berperan dalam pembentukan *grease*. Setelah campuran menjadi homogen, asam asetat ditambahkan untuk menyesuaikan pH produk.

Proses pencampuran dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* sesuai perlakuan waktu pengadukan, yaitu 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Setelah pengadukan selesai, campuran didinginkan pada suhu ruang hingga terbentuk *food grade grease* yang siap diuji.

### **Penentuan Critical Quality Characteristics (CQC)**

Karakteristik mutu kritis atau *Critical Quality Characteristics* (CQC) yang digunakan sebagai parameter respon pada penelitian ini meliputi pH, titik leleh (*dropping point*), warna (visual dan RGB), aroma, tekstur, dan kestabilan emulsi. Parameter-parameter tersebut dipilih karena memiliki pengaruh langsung terhadap performa teknis *grease*, keamanan pangan, konsistensi mutu, dan dukungan terhadap jaminan halal pada penggunaannya sebagai bahan penunjang proses industri pangan.

Penetapan CQC dilakukan untuk memastikan bahwa parameter yang diamati tidak hanya merepresentasikan kualitas fisik produk, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar pengembangan model pengendalian mutu berbasis proses.

### **Pengambilan Sampel dan Pengujian Karakteristik Mutu**

Dari setiap *batch* perlakuan, sampel diambil secara acak untuk pengujian parameter mutu, meliputi pH, titik leleh, warna, aroma, tekstur, dan kestabilan emulsi. Pengukuran pH dilakukan dengan melarutkan 1 g sampel *food grade grease* ke dalam 10 mL akuades, kemudian pH diukur menggunakan pH meter.

Pengujian titik leleh dilakukan dengan metode pemanasan tidak langsung (*indirect heating*) dengan mencatat suhu saat sampel mulai meleleh hingga mencapai kondisi leleh sempurna. Analisis warna dilakukan secara visual dan dilanjutkan dengan pengukuran sistem RGB menggunakan *colorimeter* untuk memperoleh data warna yang lebih objektif.

Uji organoleptik dilakukan oleh 30 panelis terlatih untuk menilai atribut warna, aroma, dan tekstur menggunakan skala hedonik 1–9. Uji ini digunakan untuk melengkapi data instrumental dengan persepsi sensori terhadap mutu *grease*.

Uji kestabilan emulsi dilakukan selama enam minggu penyimpanan. Parameter yang diamati meliputi pemisahan fase, flokulasi, koalesensi, dan kremasi sebagai indikator kestabilan fisik produk. Seluruh sampel disimpan pada kondisi penyimpanan yang seragam untuk memastikan bahwa variasi hasil pengamatan terutama disebabkan oleh perlakuan yang diberikan, bukan oleh perbedaan kondisi penyimpanan. Hasil pengamatan kestabilan emulsi kemudian diklasifikasikan secara deskriptif berdasarkan tingkat pemisahan fase dan perubahan fisik yang terjadi selama masa penyimpanan.

Nilai yang disajikan pada tabel merupakan rerata  $\pm$  simpangan baku dari tiga ulangan *batch* independen.

### **Hipotesis dan Analisis ANOVA**

Data karakteristik mutu kritis dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah pada taraf kepercayaan 95% untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan terhadap mutu *food grade grease*. Hipotesis yang diuji adalah sebagai berikut:

H0: waktu pengadukan tidak berpengaruh nyata terhadap parameter mutu *food grade grease*.

H1: waktu pengadukan berpengaruh nyata terhadap parameter mutu *food grade grease*.

Model statistik yang digunakan adalah:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

dengan  $Y_{ij}$  adalah nilai pengamatan pada perlakuan ke- $i$  dan ulangan ke- $j$ ,  $\mu$  adalah rata-rata umum,  $\tau_i$  adalah pengaruh perlakuan waktu pengadukan, dan  $\epsilon_{ij}$  adalah galat percobaan.

Analisis ANOVA digunakan untuk menentukan apakah perbedaan rerata antarperlakuan bersifat signifikan secara statistik. Apabila hasil ANOVA menunjukkan pengaruh nyata, maka interpretasi dilanjutkan untuk mengidentifikasi parameter mutu yang paling sensitif terhadap variasi proses. Bila diperlukan, analisis dapat dilanjutkan dengan uji perbandingan antar rerata sesuai prosedur statistik yang berlaku.

### **Statistical Quality Control (SQC) dan Kapabilitas Proses**

Setelah parameter mutu utama dianalisis menggunakan ANOVA, evaluasi dilanjutkan dengan pendekatan *Statistical Quality Control* (SQC) untuk menilai kestabilan dan kapabilitas proses formulasi. Kestabilan proses dievaluasi melalui data hasil pengujian *batch* untuk melihat apakah variasi mutu masih berada dalam batas kendali statistik. Kapabilitas proses dihitung menggunakan indeks  $C_p$  dan  $C_{pk}$  dengan rumus:

$$C_p = (UCL - LCL) / 6\sigma \quad (2)$$

$$C_{pk} = \min [(UCL - \mu) / 3\sigma ; (\mu - LCL) / 3\sigma] \quad (3)$$

Keterangan:

USL = batas spesifikasi atas

LSL = batas spesifikasi bawah

$\mu$  = rata-rata proses

$\sigma$  = simpangan baku proses.

Nilai  $C_p$  menunjukkan kemampuan potensial proses untuk memenuhi spesifikasi, sedangkan  $C_{pk}$  menunjukkan kemampuan aktual proses dengan mempertimbangkan posisi rata-rata proses terhadap batas spesifikasi. Proses dinyatakan memiliki kapabilitas yang baik apabila nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  lebih besar dari 1,33.

Dalam penelitian ini, evaluasi kapabilitas proses difokuskan pada parameter mutu utama yang paling relevan dengan performa dan konsistensi *food grade grease*, yaitu pH, titik leleh, warna, dan tekstur.

Batas spesifikasi atas (UCL) dan batas spesifikasi bawah (LCL) ditetapkan berdasarkan target mutu teknis formulasi yang digunakan dalam penelitian ini.

### **Pengembangan Model Formulasi dan Pengendalian Mutu Berkelanjutan**

Model formulasi dan pengendalian mutu berkelanjutan dikembangkan dengan mengintegrasikan hasil DOE, ANOVA, dan SQC. Integrasi ini digunakan untuk memetakan hubungan antara bahan baku agroindustri, faktor proses, CQC, kestabilan proses, dan implikasi terhadap keamanan pangan, kehalalan, serta keberlanjutan.

Melalui pendekatan ini, model yang dihasilkan tidak hanya menunjukkan formulasi yang memberikan mutu terbaik, tetapi juga mengidentifikasi parameter yang perlu dikendalikan secara konsisten dalam proses produksi. Model tersebut menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan *food grade grease* berbasis agroindustri yang aman, halal, dan berkelanjutan.

## Kerangka Model Penelitian

Kerangka model penelitian disusun berdasarkan hubungan kausal antara bahan baku agroindustri lokal, faktor proses formulasi, karakteristik mutu kritis (CQC), kestabilan proses, dan implikasi akhir terhadap keamanan pangan, kehalalan, serta keberlanjutan. Dalam kerangka ini, waktu pengadukan diposisikan sebagai variabel proses utama, sedangkan pH, titik leleh, warna, tekstur, aroma, dan kestabilan emulsi diposisikan sebagai indikator mutu kritis. Model ini digunakan untuk mengidentifikasi kondisi proses optimum sekaligus menetapkan parameter yang perlu diawasi dalam pengendalian mutu berkelanjutan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengembangan Formulasi dan Karakteristik Mutu *Food Grade Grease*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi food grade grease berbasis sumber daya agroindustri menghasilkan karakteristik mutu yang berbeda pada setiap variasi waktu pengadukan. Seluruh parameter mutu yang diamati ditetapkan sebagai *Critical Quality Characteristics* (CQC) karena berkaitan langsung dengan keamanan pangan, kehalalan, dan konsistensi mutu produk. Ringkasan hasil pengujian CQC disajikan secara terpadu pada Tabel 1. Nilai yang ditampilkan merupakan rerata hasil pengamatan dari tiga ulangan batch independen.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengujian *Critical Quality Characteristics* (CQC) *Food Grade Grease*

Parameter Mutu (CQC)	15 menit	30 menit	45 menit	Kriteria Mutu
pH	6,4 ± 0,1	6,5 ± 0,1	6,5 ± 0,1	Aman & stabil
Titik leleh (°C)	78 ± 2	85 ± 2	88 ± 3	Tahan suhu proses
Warna (RGB)*	198:185:120	205:192:130	207:194:132	Seragam
Skor aroma (1-9)	7,0	7,5	7,3	Netral
Skor tekstur (1-9)	6,2	7,8	7,1	Homogen
Kestabilan emulsi (6 minggu)	Sedang	Baik	Baik	Tidak terpisah

Keterangan: nilai RGB ditampilkan sebagai rerata intensitas warna merah:hijau:biru.

Berdasarkan hasil pada Tabel 1, waktu pengadukan memberikan pengaruh terhadap beberapa karakteristik fisik utama produk. Peningkatan waktu pengadukan dari 15 menit menjadi 30 menit menunjukkan perbaikan mutu yang cukup nyata, khususnya pada titik leleh, tekstur, dan kestabilan emulsi. Namun, peningkatan waktu pengadukan hingga 45 menit tidak menghasilkan peningkatan mutu yang konsisten pada seluruh parameter. Hal ini menunjukkan bahwa dalam formulasi *food grade grease* terdapat kondisi proses optimum yang tidak hanya ditentukan oleh lamanya pengadukan, tetapi oleh keseimbangan antarparameter mutu kritis yang dihasilkan.

Formulasi dengan waktu pengadukan 30 menit menunjukkan kombinasi mutu paling seimbang, yaitu pH tetap stabil, titik leleh meningkat, tekstur paling homogen, aroma tetap netral, dan kestabilan emulsi tergolong baik. Temuan ini memperlihatkan bahwa evaluasi formulasi tidak cukup hanya berdasarkan satu parameter, melainkan harus mempertimbangkan kesesuaian simultan seluruh CQC yang relevan terhadap fungsi grease sebagai bahan penunjang proses pangan.

### Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap *Critical Quality Characteristics*

Nilai pH pada seluruh perlakuan berada dalam rentang netral dan relatif stabil, yang menunjukkan bahwa variasi waktu pengadukan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kestabilan kimia produk. Dalam konteks aplikasi pada industri pangan, stabilitas pH penting karena dapat mencerminkan kestabilan formulasi serta meminimalkan risiko

perubahan sifat kimia yang dapat memengaruhi keamanannya (Agustin et al., 2025). Perubahan nilai warna antarperlakuan juga tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, sehingga waktu pengadukan dalam rentang yang diuji belum menjadi faktor dominan terhadap karakteristik visual produk.

Sebaliknya, peningkatan titik leleh seiring bertambahnya waktu pengadukan menunjukkan bahwa homogenitas campuran dan interaksi antara fase minyak dan agen pengental meningkat. Assrorudin et al. (2020) melaporkan bahwa struktur *food grade grease* yang lebih homogen menghasilkan ketahanan termal yang lebih baik, yang penting untuk aplikasi pada peralatan industri pangan bersuhu tinggi (Indriani et al., 2024).

Pada parameter kestabilan emulsi, perlakuan 30 menit dan 45 menit menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan 15 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu pengadukan yang terlalu singkat belum cukup untuk menghasilkan sistem yang stabil. Akan tetapi, karena mutu tekstur terbaik justru diperoleh pada 30 menit, maka hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa waktu pengadukan 30 menit merupakan kondisi yang paling optimum secara keseluruhan.

### Analisis ANOVA dan Validasi Model Formulasi

Untuk mengevaluasi pengaruh waktu pengadukan terhadap parameter mutu *food grade grease*, dilakukan analisis ragam (*Analysis of Variance/ANOVA*) satu arah berdasarkan rancangan percobaan yang telah ditetapkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu pengadukan berpengaruh nyata terhadap titik leleh dan tekstur ( $p < 0,05$ ), tetapi tidak berpengaruh nyata terhadap pH, warna dan aroma ( $p > 0,05$ ). Hasil ini menunjukkan bahwa respons masing-masing parameter mutu terhadap perubahan waktu pengadukan tidak seragam, sehingga sensitivitas setiap *Critical Quality Characteristics* (CQC) terhadap faktor proses perlu dipertimbangkan dalam pengembangan formulasi.

Tabel 2. Ringkasan hasil analisis ANOVA pada parameter mutu *food grade grease*

Parameter Mutu (CQC)	F-hitung	p-value	Keterangan
pH	2,34	0,177	Tidak berbeda nyata
Titik leleh (°C)	14,62	0,005	Berbeda nyata
Warna	1,28	0,344	Tidak berbeda nyata
Aroma	0,89	0,459	Tidak berbeda nyata
Tekstur	10,38	0,011	Berbeda nyata

Keterangan: Berbeda nyata pada taraf signifikansi 5% jika  $p < 0,05$ .

Secara statistik, keragaman yang diamati pada parameter mutu terutama dipengaruhi oleh perlakuan waktu pengadukan, sedangkan keragaman di dalam perlakuan tercermin pada galat antarulangan *batch*. Hal ini menunjukkan bahwa model ANOVA yang digunakan mampu membedakan pengaruh faktor proses dari variasi acak percobaan, sehingga perbedaan mutu yang diperoleh dapat diinterpretasikan sebagai respons terhadap perlakuan yang diberikan.

Hasil ANOVA juga memperkuat validitas model formulasi yang dikembangkan. Waktu pengadukan terbukti menjadi faktor proses yang berperan dalam pembentukan struktur *grease*, khususnya yang berkaitan dengan titik leleh dan tekstur sebagai parameter mutu utama. Dengan demikian, model formulasi yang dihasilkan menunjukkan adanya hubungan kuantitatif antara faktor proses dan parameter mutu kritis. Dalam konteks *Design of Experiment* (DOE), temuan ini menegaskan bahwa waktu pengadukan merupakan variabel proses yang relevan untuk dikendalikan dalam pengembangan *food grade grease* berbasis agroindustri (Säpunaru et al., 2024).

## Pengendalian Mutu Berbasis *Statistical Quality Control* (SQC)

Setelah parameter mutu yang sensitif terhadap proses teridentifikasi melalui ANOVA, tahap berikutnya adalah menilai apakah proses formulasi mampu menghasilkan mutu yang stabil dan memenuhi spesifikasi secara konsisten. Untuk itu, dilakukan analisis kapabilitas proses menggunakan indeks Cp dan Cpk pada parameter mutu utama, yaitu pH, titik leleh, warna, dan tekstur. Ringkasan hasil analisis kapabilitas proses disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks Kapabilitas Proses (Cp dan Cpk) pada Parameter Mutu Utama

Parameter Mutu	Cp	Cpk
pH	1,52	1,48
Titik leleh	1,41	1,36
Warna (RGB)	1,38	1,34
Tekstur	1,45	1,39

Keterangan: Nilai Cp dan Cpk > 1,33 menunjukkan bahwa proses memiliki kapabilitas yang baik.

Nilai Cp yang lebih besar dari 1,33 menunjukkan bahwa proses formulasi secara potensial memiliki rentang variasi yang masih berada dalam batas spesifikasi. Sementara itu, nilai Cpk yang juga lebih besar dari 1,33 menunjukkan bahwa rata-rata proses berada cukup dekat dengan pusat spesifikasi dan mampu menghasilkan mutu produk secara konsisten. Dengan demikian, hasil analisis ini menunjukkan bahwa proses formulasi *food grade grease* telah memiliki kapabilitas yang baik.

Mutu rata-rata yang baik belum tentu menunjukkan proses yang kapabel apabila variasi proses masih tinggi. Dalam penelitian ini, nilai Cp dan Cpk yang baik menegaskan bahwa formulasi yang dikembangkan tidak hanya menghasilkan produk dengan mutu yang sesuai, tetapi juga mampu mempertahankan konsistensi mutu antarbatch. Dengan kata lain, hasil SQC memperkuat temuan DOE dan ANOVA bahwa formulasi terpilih layak dipertimbangkan sebagai dasar model pengendalian mutu berkelanjutan.

## Implikasi Kestabilan Mutu terhadap Keamanan dan Kehalalan

Kestabilan fisik produk merupakan aspek yang sangat penting dalam aplikasi *food grade grease* pada peralatan industri pangan. Titik leleh yang memadai menunjukkan bahwa *grease* memiliki kemampuan untuk mempertahankan strukturnya pada kondisi operasi tertentu, sehingga dapat menurunkan risiko perubahan fisik yang tidak diinginkan selama penggunaan. Tekstur yang homogen dan kestabilan emulsi yang baik juga mengindikasikan rendahnya peluang pemisahan fase, yang dapat berpengaruh terhadap performa pelumasan dan keamanan penggunaannya sebagai bahan penunjang proses (Assrorudin et al., 2020).

Dalam konteks keamanan pangan, mutu *grease* yang stabil mengurangi potensi degradasi fisik yang dapat meningkatkan risiko kontaminasi pada area kontak tidak langsung dengan produk pangan. Oleh karena itu, parameter mutu seperti titik leleh, tekstur, dan kestabilan emulsi tidak hanya penting dari sisi teknis, tetapi juga dari sisi pengendalian risiko pada proses pengolahan pangan (Heng et al., 2022).

Dalam perspektif halal *assurance*, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jaminan halal tidak hanya ditentukan oleh kehalalan bahan baku, tetapi juga oleh kestabilan formulasi dan konsistensi proses. Proses yang stabil dan terkendali membantu memastikan bahwa mutu produk tetap sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, sehingga mendukung sistem jaminan halal yang lebih komprehensif dan berkelanjutan. Dengan demikian, pengendalian mutu berbasis statistik menjadi bagian penting dalam menjamin bahwa *food grade grease* yang dikembangkan tetap aman, konsisten, dan layak digunakan dalam industri pangan halal.

## Model Formulasi dan Pengendalian Mutu Berkelanjutan

Model formulasi dan pengendalian mutu berkelanjutan yang dihasilkan dalam penelitian ini dibangun melalui integrasi tiga tahapan utama, yaitu DOE untuk mengidentifikasi pengaruh faktor proses, ANOVA untuk memvalidasi signifikansi pengaruh tersebut, dan SQC untuk menilai kestabilan serta kapabilitas proses. Melalui integrasi ini, model yang dikembangkan memetakan hubungan antara bahan baku agroindustri lokal, faktor proses, CQC, kestabilan proses, serta implikasinya terhadap keamanan pangan, kehalalan, dan keberlanjutan (Odusote et al., 2023).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pengadukan merupakan faktor proses yang berpengaruh terhadap pembentukan struktur *food grade grease*. Pengaruh tersebut terutama tercermin pada titik leleh, tekstur, dan kestabilan emulsi, sehingga ketiga parameter ini dapat diposisikan sebagai titik kendali mutu utama dalam model yang dikembangkan. Dengan adanya identifikasi parameter yang sensitif terhadap proses, pengawasan mutu dapat difokuskan pada aspek yang paling menentukan performa dan konsistensi produk.

Dari sisi keberlanjutan, pemanfaatan CPO sebagai bahan baku utama menunjukkan potensi penggunaan sumber daya agroindustri lokal secara lebih efisien. Model ini juga memberikan kontribusi konseptual dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan penunjang berbasis impor, sekaligus membuka peluang pengembangan produk agroindustri yang lebih sesuai dengan prinsip keberlanjutan. Dengan demikian, model formulasi yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya bersifat konseptual, tetapi memiliki dasar empiris yang ditunjukkan oleh hasil ANOVA dan SQC.

### Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini masih terbatas pada satu faktor proses, yaitu waktu pengadukan, sehingga model yang dihasilkan belum mencakup kemungkinan interaksi dengan faktor lain seperti suhu proses, konsentrasi thickener, atau perbandingan komposisi bahan. Selain itu, pengujian kapabilitas proses masih difokuskan pada parameter mutu utama dalam skala laboratorium. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk memperluas model melalui rancangan DOE multifaktor dan validasi pada skala proses yang lebih besar agar model formulasi dan pengendalian mutu yang dihasilkan menjadi lebih komprehensif.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model formulasi dan pengendalian mutu berkelanjutan food grade grease berbasis sumber daya agroindustri dengan pendekatan *Design of Experiment* (DOE), *Analysis of Variance* (ANOVA), dan *Statistical Quality Control* (SQC). Waktu pengadukan sebagai faktor proses berpengaruh terhadap beberapa karakteristik mutu kritis, terutama titik leleh, tekstur, dan kestabilan emulsi, sedangkan pengaruhnya terhadap pH dan aroma tidak nyata. Formulasi dengan waktu pengadukan 30 menit menghasilkan kombinasi mutu paling optimum berdasarkan kestabilan emulsi, homogenitas tekstur, dan titik leleh yang sesuai untuk aplikasi industri pangan. Analisis kapabilitas proses menunjukkan bahwa parameter mutu utama memiliki nilai  $C_p$  dan  $C_{pk} > 1,33$ , sehingga proses formulasi berada dalam kondisi terkendali dan mampu menghasilkan mutu secara konsisten. Model yang dihasilkan berpotensi menjadi acuan ilmiah dalam pengembangan dan pengawasan mutu bahan penunjang industri pangan halal yang berorientasi pada konsistensi mutu dan keberlanjutan agroindustri.

## DAFTAR PUSTAKA

Agustin, R., Hairiyah, N., Musthofa, I., (2025). Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Stabilitas Dan Karakteristik Fisik Food Grade Grease Halal Dari CPO Tangki Timbun PT.

ABC Effect of Stirring Time on the Stability and Physical Characteristics of Halal Food Grade Grease Form Storage Tank CPO of PT. ABC . *Jurnal Agroindustri Halal*, 11 (2) 351-358. <https://doi.org/10.30997/jah.v11i3.21731>

Asaad, M., Karo Sitepu, R. K., & Martial, T. (2022). Production Efficiency Analysis of Oil Palm Plantations: Stochastic Frontier Approach. *International Journal of Research and Review*, 9(12), 678–686. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20221278>

Assrorudin, A., Ruhibnur, R., Rosmalinda, R., Kurniawan, T., & Susanto, A. (2020). Karakteristik Mutu Food Grade Grease Ramah Lingkungan Berbahan Baku Minyak Bekas Penggorengan. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 7(2), 101–111. <https://doi.org/10.34128/jtai.v7i2.93>

Deuraseh, A., & Deuraseh, N. (2023). Halal Green from Plant-Based Product Perspective: Palm Oil as a Potential Source for Marine Engine Lubricant. *Journal of Halal Science and Technology*, 2(2), 41–59. <https://doi.org/10.59202/jhst.v2i2.697>

Florea, O., & Luca, M. (2010). Multipurpose lubricating greases for food-grade applications. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 16(2).

Heng, Y. J., Yusof, N. F. M., Yen, L. A., Hamid, S. A., & Yusof, N. N. M. (2022). A Contact Characteristic of Roller Bearing with Palm Oil-based Grease Lubrication. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 89(2). <https://doi.org/10.37934/arfmts.89.2.139149>

Indriani, M. R., Arrahman, N., Dini, V. M., Rahmawati, Y., & Darmawan, N. (2024). Challenges and opportunities for workforce skills in halal agri-food sector to meet global market demands through Halalink application. *Halal Studies and Society*, 2(1), 11–13. <https://doi.org/10.29244/hass.2.1.11-13>

Kurnia, J. C., Jangam, S. V., Akhtar, S., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2016). Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: A review. In *Biofuel Research Journal* (Vol. 3, Number 1, pp. 332–346). Green Wave Publishing of Canada. <https://doi.org/10.18331/BRJ2016.3.1.3>

Mayasari, E. J., Bakri, R., & Fibria, M. (2019). The effect of antioxidant additives on the characteristics of food-grade grease using castor oil (*Ricinus communis* L.) as the base oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 496(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/496/1/012060>

Mohd, K. N. (2022). Formulation of Food-Grade Grease Using Paraffin Oil, Fumed Silica, and Chitosan. *Materials Science Forum*, 1069, 211–218. <https://doi.org/10.4028/p-yza5n0>

Nasution, D. R., Hasibuan, A., & Sibuea, S. R. (2023). Pengendalian Kualitas CPO untuk Meminimumkan ALB Menggunakan Metode DMAIC. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 1(4), 333–342. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v1i4.190>

Oodusote, J., Oni, H., Adeleke, A., Ikubanni, P., Omoniyi, P., Jen, T. C., & Akinlabi, E. (2023). Production and Performance Evaluation of Shea Butter-Based Lubricating Grease. *E3S Web of Conferences*, 430. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001297>

- Săpunaru, O. V., Sterpu, A. E., Vodounon, C. A., Nasr, J., Duşescu-Vasile, C., Osman, S., & Koncsag, C. I. (2024). Lubricating Greases from Fried Vegetable Oil—Preparation and Characterization. *Lubricants*, *12*(6). <https://doi.org/10.3390/lubricants12060197>
- Tan, B. A., Nair, A., Zakaria, M. I. S., Low, J. Y. S., Kua, S. F., Koo, K. L., Wong, Y. C., Neoh, B. K., Lim, C. M., & Appleton, D. R. (2023). Free Fatty Acid Formation Points in Palm Oil Processing and the Impact on Oil Quality. *Agriculture (Switzerland)*, *13*(5). <https://doi.org/10.3390/agriculture13050957>