ANALISIS PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS DAN KUALITAS MINYAK KELAPA SAWIT PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DAN WAKTU PEREBUSAN MESIN *STERILIZER* DI PKS SEI PAGAR PTPN IV REGIONAL 3

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : MHD HAFIZ AL FARISI NST
No. Mahasiswa : 21522041

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 21 – Februari - 2025



MHD HAFIZ AL FARISI NST
21522041

SURAT BUKTI PENELITIAN

SURAT KETERANGAN SELESAI KP DAN PENELITIAN TA

PT PERKEBUNAN NUSANTARA IV REGIONAL 3
KEBUN SEI PAGAR

SURAT KETERANGAN
3SDM/X-795/IX/2024

Yang bertanda tangan di bawah ini:
Nama: Triana Anggraini
Jabatan: Manager Kebun Sei Pagar
Alamat: Sei Pagar, PTPN IV Regional 3

Dengan ini menerangkan bahwa:
Nama: MHD HAFIZ AL FARISI NST
NIM: 21522041
Program Studi: Teknik Industri
Fakultas: Fakultas Teknologi Industri
Universitas: Universitas Islam Indonesia

Telah menyelesaikan Kerja Praktik dan Penelitian Tugas Akhir di Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar, PT Perkebunan Nusantara IV Regional 3, selama 1 (satu) bulan, terhitung sejak tanggal **30 September 2024** hingga **30 Oktober 2024**. Mahasiswa tersebut telah melaksanakan Kerja Praktik dan Penelitian Tugas Akhir dengan baik dan menyelesaikan Laporan dan Data berkaitan dengan **"ANALISIS PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS DAN KUALITAS MINYAK KELAPA SAWIT PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DAN WAKTU PEREBUSAN MESIN *STERILIZER* DI PKS SEI PAGAR PTPN IV REGIONAL 3"**.
Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya untuk dapat digunakan semestinya.

Sei Pagar, 30 Oktober 2024
Menyetujui,

Triana Anggraini
(Manager Kebun dan PKS Sei Pagar)

Tembusan:
-Bagian SDM dan Sistem Manajemen

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS DAN KUALITAS MINYAK KELAPA SAWIT PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DAN WAKTU PEREBUSAN MESIN *STERILIZER* DI PKS SEI PAGAR PTPN IV REGIONAL 3

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : MHD HAFIZ AL FARISI NST

No. Mahasiswa : 21522041

Yogyakarta, 21 Februari 2025

Dosen Pembimbing



(Dr. Harwati, S.T., M.T.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS DAN KUALITAS MINYAK KELAPA SAWIT PADA BERBAGAI VARIASI SUHU DAN WAKTU PEREBUSAN MESIN *STERILIZER* DI PKS SEI PAGAR PTPN IV REGIONAL 3

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : MHD HAFIZ AL FARISI NST

No. Mahasiswa : 21522041

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 21 - Februari – 2025

Tim Penguji

Dr. Harwati, S.T., M.T.
Ketua

Annisa Uswatun Khasanah, S.T., M.Sc.
Anggota I

Danang Setiawan, S.T., M.T.
Anggota II

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.
015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur saya sampaikan kepada Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, yang telah memberikan saya kekuatan, keinginan, dan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Saya mendedikasikan Tugas Akhir ini untuk diri saya sendiri yang selalu berusaha, bersemangat, dan terus bekerja hingga tugas akhir ini selesai dibuat. Kemudian saya dedikasikan kepada keluarga tercinta, yang senantiasa memberikan doa dan dukungan tanpa henti. Selain itu, terima kasih kepada dosen pembimbing dan seluruh sivitas akademika yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian penelitian ini. Dan juga untuk pasangan saya yang selalu memberikan dukungan dan kebersamaan dalam menghadapi setiap tahap akademik. Harapan saya, laporan ini dapat memberikan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan sektor industri kelapa sawit.

MOTTO

“Wahai orang-orang yang beriman! Mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan shalat. Sungguh, Allah beserta orang-orang yang sabar.”

(QS. Al-Baqarah: 153)

"Whatever you do, do it 100%. When you work, work. When you laugh, laugh. When you eat, eat, eat like its’s your last meal.”

(Tony Lip *from Green Book Movie*)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanallahu Wa Ta'ala atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Adapun judul dari tugas akhir ini adalah "Analisis Perbandingan Produktivitas dan Kualitas Minyak Kelapa Sawit pada Berbagai Variasi Suhu dan Waktu Perebusan Mesin *Sterilizer* di PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3".

Dalam menyelesaian tugas akhir ini berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, saya dapat menyelesaikan tugas ini dengan baik. Saya berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan, baik dalam lingkungan akademik maupun industri, serta memberikan masukan bagi perusahaan PTPN IV Regional 3.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc, selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Dr. Harwati, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan kritik yang membangun dalam penyusunan laporan ini.
5. Bapak Rurianto selaku *Region Head* PTPN IV Regional 3, yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanaan pengambilan data TA.
6. Ibu Triana Anggraini selaku Manajer Kebun dan PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3, yang telah memberikan fasilitas selama pelaksanaan pengambilan data TA.
7. Bapak Ariandi selaku Masinis Kepala PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3, yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanaan pengambilan data TA di PKS.
8. Bapak Yoneco Haref selaku Pembimbing lapangan PKS Sei Pagar, yang selalu memberikan arahan teknis serta pengetahuan praktis selama kegiatan di lapangan.
9. Orang-orang terdekat, yang selalu memberikan motivasi dan dukungan selama masa kerja praktik dan penulisan laporan ini.
10. Semua pihak yang terkait dalam proses penyelesaian penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan laporan di masa yang akan datang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi pembaca yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 21 Februari 2025



MHD Hafiz Al Farisi Nst

NIM 21522041

ABSTRAK

PTPN IV Regional 3 adalah perusahaan BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang bergerak di sektor perkebunan salah satunya adalah kelapa sawit, di mana optimaliasasi proses pengolahan menjadi faktor kunci dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit. Salah satu tahap penting dalam pengolahan tandan buah segar (TBS) adalah proses perebusan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan di PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3 untuk menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu perebusan *sterilizer* terhadap produktivitas (rendemen) dan kualitas minyak (kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran) serta menentukan parameter suhu dan waktu perebusan yang optimal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) untuk mengevaluasi pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap kualitas dan produktivitas minyak. Selain itu, Metode Taguchi diterapkan untuk menentukan kombinasi parameter yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu dan waktu perebusan memiliki pengaruh signifikan terhadap rendemen dan kualitas minyak. Kombinasi suhu 120°C dan waktu 75 menit menghasilkan rendemen tertinggi dengan kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran yang lebih stabil. Oleh karena itu penulis memberikan rekomendasi bagi PKS Sei Pagar dalam menetapkan parameter perebusan yang optimal untuk meningkatkan efisiensi produksi minyak kelapa sawit. Dan penelitian ini dapat menjadi dasar bagi studi lanjutan dalam mengembangkan strategi optimasi proses perebusan.

Kata Kunci: Perebusan *Sterilizer*, Minyak Kelapa Sawit, MANOVA, Taguchi, Produktivitas

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ii
SURAT BUKTI PENELITIAN iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI v
HALAMAN PERSEMBAHAN vi
MOTTO vii
KATA PENGANTAR viii
ABSTRAK iix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Kajian Literatur 6
2.2 Landasan Teori 11
BAB III METODE PENELITIAN 16
3.1 Objek Penelitian 16
3.2 Alur Penelitian 16
3.2.1 Mulai 18
3.2.2 Studi Literatur 18
3.2.3 Pengumpulan Data 18
3.2.4 Analisis Data 18
3.2.5 Interpretasi dan Pembahasan Hasil 20
3.2.6 Kesimpulan 20
3.2.7 Selesai 20
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 21
4.1 Pengumpulan Data 21
4.2 Pengolahan Data 23
4.2.1 Uji Pengaruh MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*) 23
4.2.2 UJi Eksperimen Optimal Taguchi 28
BAB V PEMBAHASAN 35
5.1 Interpretasi Hasil 35
5.1.1 Uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*) 35
5.1.2 Uji Eksperimen Taguchi 36
5.2 Rancangan Solusi 38
5.3 Limitasi Hasil Pembahasan 40
5.3.1 Uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*) 40
5.3.2 Uji Eksperimen Taguchi 41
BAB VI PENUTUP 42

6.1 Kesimpulan.....42
6.2 Saran.....43
DAFTAR PUSTAKA 44
LAMPIRAN A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Kualitas Buah Sawit.....2
Tabel 2.1 Kajian Literatur.....6
Tabel 4.1 Data Produksi.....22
Tabel 4.2 *Estimated Model Coefficients for SN ratios* 28
Tabel 4.3 *Model Summary* 29
Tabel 4.4 *ANOVA*..... 30
Tabel 4.5 *Unusual Observations for SN ratios* 30
Tabel 4.6 *Response Table for Signal to Noise Ratios* 31
Tabel 4.7 *Response Table for Means* 31
Tabel 5.1 Standar Operasional Prosedur (SOP).....38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Parameter Kualitas....2
Gambar 3.1 Alur Penelitian....17
Gambar 4.1 Alur Proses Minyak Kelapa Sawit....21
Gambar 4.2 Between-Subject Factors....23
Gambar 4.3 Descriptive Statistic....24
Gambar 4.4 Box's Test of Equality of Covariance Matrices....25
Gambar 4.5 Multivariate Tests....26
Gambar 4.6 Levene's Test Equality of Error Variances....26
Gambar 4.7 Tests of Between-Subjects Effects....27
Gambar 4.8 *Main Effect Plot for Means*....32
Gambar 4.9 *Main Effect Plot for SN ratios*....32
Gambar 4.10 *Normal Probability Plot*....33
Gambar 4.11 Histogram....34

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PTPN IV Regional 3 adalah perusahaan BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang bergerak di bidang perkebunan salah satunya adalah kelapa sawit. Dan hasil dari kelapa sawit yang diperdagangkan adalah minyak yang dihasilkan oleh buah kelapa sawit. PTPN IV Regional 3 terus berupaya meningkatkan produktivitas dan kualitas kelapa sawitnya melalui berbagai inovasi dan teknologi.

Beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit yaitu bahan baku, proses produksi, penyimpanan, dan faktor dari manusia. Aspek yang sangat memengaruhi kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit adalah tahap proses produksi perebusan tandan buah segar (TBS) di mesin *sterilizer* (Purwanto & P.Rangkuti, 2020). Proses perebusan tujuannya untuk melunakkan buah, membunuh enzim *lipase* (kematangan), memudahkan pelepasan buah dari tandan, dan mengurangi kadar air, kadar asam lemak bebas dan kadar kotoran (Masruroh & Mardesci, 2021).

Pada PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3 terdapat beberapa kendala yang dihadapi seperti produktivitas minyak yang belum optimal dan kualitas minyak yang belum stabil akibat penggunaan suhu dan waktu perebusan yang tidak sesuai sehingga terjadi perbedaan kualitas dan kuantitas hasil produksi. Suhu perebusan tinggi berguna dalam memecah campuran minyak dan air, menurunkan kekentalan minyak, serta mematikan enzim *lipase* yang meningkatkan kadar asam lemak bebas. Namun, suhu perebusan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan termal pada minyak. Waktu perebusan yang tepat dapat memastikan semua proses berjalan optimal, namun waktu perebusan yang lama akan meningkatkan kadar asam lemak bebas dan tidak efisien (Nugraha & Priyambada, 2023).

Suhu dan waktu perebusan dipilih karena dapat dikontrol dalam proses produksi minyak kelapa sawit, dan sangat kuat mempengaruhi hasil akhir. Sedangkan rendemen, kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran dipilih karena merupakan indikator penting dalam mengevaluasi produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit yang dihasilkan (Rahmawati et al., 2023). Pemilihan variabel ini didasarkan pada asumsi bahwa perubahan pada suhu dan waktu perebusan akan mempengaruhi hasil rendemen serta kualitas minyak yang diukur melalui kadar

FFA, kadar air, dan kadar kotoran. Dalam penetuan kriteria kualitas dapat dikategorikan melalui Gambar 1.1 dibawah ini.

Parameter kualitas CPO	SNI (SNI, 1998)	PORIM (Porim, 1995)	Standar mutu CPO di PKS Indonesia (Ditjenbun, 1997)
Asam lemak bebas (%)	5 maks	3-5	2,5-3,5
Kadar air (%)	0,25 maks	0,25	0,15 maks
Kadar kotoran (%)	0,25 maks	0,25	0,02 maks
Bilangan iodin (%)	-	>52,5	51 min
Karoten (ppm)	-	>600	500 min
DOBI	-	2,70	2,5 min

Gambar 1.2 Parameter Kualitas

Dan data yang terdapat pada mesin *sterilizer* pabrik Kebun Sei Pagar PTPN IV Regional 3 sesuai Tabel 1.1 dibawah ini.

Tabel 1.2 Data Kualitas Buah Sawit

Kualitas Kadar Air (%)	Kriteria (0% - 0,25%)	Kualitas Kadar Kotoran (%)	Kriteria (0% - 0,25%)	Kadar Asam Lemak/FFA (%)	Kriteria (2%-5%)	Produktivitas (Rendemen %)	Kriteria (<20%)
0,15%	Sesuai	0,02%	Sesuai	8,18%	Tidak Sesuai	28,12%	Sesuai
0,27%	Tidak Sesuai	0,27%	Tidak Sesuai	6,62%	Tidak Sesuai	20,11%	Sesuai
0,28%	Tidak Sesuai	0,21%	Sesuai	5,31%	Tidak Sesuai	17,71%	Tidak Sesuai
0,29%	Tidak Sesuai	0,18%	Sesuai	8,64%	Tidak Sesuai	23,37%	Sesuai
0,21%	Sesuai	0,06%	Sesuai	6,53%	Tidak Sesuai	17,64%	Tidak Sesuai
0,21%	Sesuai	0,29%	Tidak Sesuai	8,65%	Tidak Sesuai	15,00%	Tidak Sesuai
0,18%	Sesuai	0,12%	Sesuai	6,49%	Tidak Sesuai	17,50%	Tidak Sesuai
0,07%	Sesuai	0,04%	Sesuai	5,26%	Tidak Sesuai	23,27%	Sesuai
0,28%	Tidak Sesuai	0,14%	Sesuai	8,37%	Tidak Sesuai	17,63%	Tidak Sesuai
0,29%	Tidak Sesuai	0,22%	Sesuai	6,12%	Tidak Sesuai	18,60%	Tidak Sesuai

Sumber : PKS Sei Pagar

Dari data diatas terdapat sampel kualitas buah sawit serta standar yang harus disesuaikan oleh pabrik, jika tidak sesuai dapat berakibat pada penurunan kualitas minyak kelapa sawit.

Maka dari itu perlu evaluasi untuk mengetahui suhu dan waktu perebusan yang sesuai agar hasil produksi buah kelapa sawit memiliki nilai yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu dan waktu perebusan terhadap produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit di PKS Sei Pagar PTPN IV dengan metode MANOVA melalui SPSS. Dan secara khusus, penelitian ini berfokus pada penentuan parameter suhu dan waktu perebusan yang optimal untuk menghasilkan minyak kelapa sawit dengan kualitas tinggi dan produktivitas maksimal. Ketidaktepatan dalam pengaturan parameter ini dapat menyebabkan kehilangan hasil atau penurunan kualitas minyak kelapa sawit. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk menentukan parameter optimal guna meningkatkan efisiensi dan mutu produksi.

Dalam penelitian ini, Metode Taguchi adalah salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengetahui parameter optimal dalam proses. Metode ini berisi desain eksperimen untuk menganalisis pengaruh beberapa faktor terhadap hasil produksi. Metode Taguchi bertujuan untuk mengembangkan kualitas produksi dari perusahaan (Muid et al., 2021).

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah rekomendasi parameter suhu dan waktu perebusan yang optimal di mesin *sterilizer* untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit (Nugraha & Priyambada, 2023). Penelitian ini mencoba menutup gap yang ada, yaitu kurangnya penelitian yang mempertimbangkan suhu dan waktu perebusan secara simultan dengan pendekatan desain eksperimen yang efisien. Sebagian besar studi sebelumnya hanya berfokus pada satu parameter atau menggunakan analisis sederhana yang tidak cukup kuat untuk memahami interaksi antarparameter secara mendalam. Dengan menerapkan metode Taguchi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi mengenai pengaturan parameter perebusan di PKS Sei Pagar.

Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui suhu dan waktu perebusan minyak kelapa sawit yang paling optimal. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi strategis dalam menentukan kombinasi suhu dan waktu perebusan yang paling efektif dan efisien, serta menjadi acuan bagi pabrik kelapa sawit lain di industri kelapa sawit Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi perusahaan, industri, dan pemerintah dalam mendukung pengelolaan kelapa sawit yang lebih berkelanjutan dan bernilai tambah tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah sesuai latar belakang.

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu dan waktu perebusan terhadap kualitas (kadar air, kadar kotoran, asam lemak FFA) dan produktivitas (rendemen) minyak kelapa sawit di PKS Sei Pagar menggunakan MANOVA pada SPSS?
2. Berapa suhu dan waktu perebusan optimal seperti apa yang dapat menghasilkan kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit terbaik berdasarkan analisis metode Taguchi?
3. Apa rekomendasi bagi PKS Sei Pagar untuk menghasilkan produk CPO (*Crude Palm Oil*) dengan kualitas dan produktivitas yang stabil?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah.

1. Menganalisis uji pengaruh variasi suhu dan waktu perebusan terhadap kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit di PKS Sei Pagar menggunakan metode MANOVA.
2. Menentukan parameter suhu dan waktu perebusan yang optimal untuk mencapai kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit terbaik berdasarkan hasil eksperimen Taguchi.
3. Memberikan rekomendasi praktis berupa SOP (Standar Operasional Prosedur) bagi PKS Sei Pagar untuk menghasilkan produk CPO (*Crude Palm Oil*) dengan kualitas dan produktivitas yang stabil.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah.

1. Bagi PTPN IV Regional 3 dapat memberikan wawasan dan rekomendasi praktis untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit berdasarkan rekomendasi suhu dan waktu perebusan yang lebih efektif.
2. Bagi industri kelapa sawit dapat menyediakan dasar ilmiah dan bukti empiris tentang efektivitas suhu dan waktu perebusan, yang dapat diadopsi oleh perusahaan lain di industri ini.
3. Bagi akademisi dapat menyumbangkan pengetahuan baru dalam bidang analisis data dan pengolahan minyak kelapa sawit menggunakan pendekatan metode Taguchi.
4. Bagi peneliti selanjutnya dapat menjadi referensi dan landasan bagi penelitian-penelitian lanjutan yang terkait dengan analisis produktivitas dan kualitas dalam industri kelapa sawit.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian ini.

1. Penelitian ini hanya akan membahas pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit.
2. Penelitian ini dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar PTPN IV Regional 3.
3. Penelitian ini hanya akan membahas kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit mentah (CPO). Dan akan mengukur kualitas CPO berdasarkan parameter tertentu pada kualitas seperti kadar asam lemak bebas dan kadar air serta kadar kotoran serta produktivitas berupa rendemen CPO.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur yang digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap kualitas minyak kelapa sawit telah banyak dilakukan. Penelitian ini akan mengadopsi pendekatan yang berbeda dengan menggunakan metode MANOVA serta untuk menganalisis dengan eksperimen Taguchi. Kajian literatur yang digunakan dalam penelitian ada pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.2 Kajian Literatur

No	Judul	Variabel Independen			Variabel Dependen				Metode	
		Suhu	Waktu	Tekanan	Rendemen	FFA	Air	Kotoran	Manova	Taguchi
1	(Thang et al., 2021)	☑		☑	☑	☑	☑			
2	(Kasmin et al., 2020)	☑	☑		☑					
3	(Ndukwu et al., 2024)	☑		☑						
4	(Rizal et al., 2020)		☑							☑
5	(Ahmad et al., 2022)									☑
6	(Ragab et al., 2021)	☑	☑							
7	(Alaba et al., 2023)	☑								☑
8	(Pakdeechot et al., 2021)		☑	☑	☑	☑				
9	(Putri & Sari, 2023)	☑	☑	☑	☑					
10	(Mohd Yusof et al., 2023)								☑	
11	(Haniza, Sutrisno, Andre Hasudun	☑				☑				☑

No	Judul	Variabel Independen			Variabel Dependen				Metode	
		Suhu	Waktu	Tekanan	Rendemen	FFA	Air	Kotoran	Manova	Taguchi
	gan Lubis, 2022)									
12	(Masruroh & Mardesci, 2021)	☑	☑	☑						
13	(Rahmawati et al., 2023)	☑	☑		☑	☑	☑	☑		
14	(Kurniawan, 2021)				☑	☑	☑	☑		☑
15	(Adlie et al., 2023)		☑	☑		☑				☑

Penelitian pertama ditulis oleh Yin Mee Thang, Robiah Yunus, Mohd Noriznan Mokhtar, David Ross Appleton, Ahmad Jaril Asis, Pei San Kong, Huey Fang Teh dan Abdul Azis Ariffin. Variabel utama dalam proses ini yaitu suhu sterilisasi, waktu sterilisasi, tekanan uap, komposisi biokimia tandan buah segar (TBS), serta teknologi sterilisasi yang digunakan. Berdasarkan pengolahan data didapatkan suhu dan waktu perebusan yang optimal membantu memecah karbohidrat pengikat dalam buah, sehingga mempercepat pelepasan minyak dan meningkatkan rendemen. Oleh karena itu, pengendalian parameter sterilisasi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi produksi dan memastikan kualitas minyak sawit yang lebih baik.

Penelitian kedua ditulis oleh Nurul Hasimah Kasmin, Saiful Irwan Zubairi, Azwan Mat Lazim dan Roila Awang. Penelitian ini menggunakan variabel berupa suhu sterilisasi (X1) dan waktu sterilisasi (X2) yang dikaji menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengoptimalkan rendemen minyak dan *Deterioration of Bleachability Index* (DOBI). Studi ini membandingkan dua metode sterilisasi, yaitu *dry heating* (SD) dan *wet heating* (SW), dengan rentang suhu antara 70–90°C dan durasi antara 20–90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu sterilisasi meningkatkan rendemen minyak, dengan metode SD menghasilkan nilai DOBI yang lebih tinggi dibandingkan SW, meskipun hasil ekstraksi minyaknya sedikit lebih rendah. Optimasi menggunakan metode SD pada suhu 90°C dan waktu 68 menit menghasilkan rendemen minyak tertinggi sebesar 43,21% dan nilai DOBI 4,05, yang menunjukkan kualitas minyak yang lebih baik.

Penelitian ketiga ditulis oleh M.C. Ndukwu, Mathew.I. Ibeh, Godwin. E. Akpan, Godwin.A. Usoh, Leonard Akuwueke, Linus Oriaku, Chinedu. M. Nkuma, Fidelis Abam. Penelitian ini menggunakan variabel berupa jumlah massa buah sawit lepas (LFPF), suhu uap, tekanan uap, laju perpindahan panas, dan konsumsi air spesifik selama proses sterilisasi vertikal dengan injeksi uap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa LFPF menyebabkan peningkatan efektivitas pemanfaatan energi uap dan penurunan laju aliran massa uap. Suhu uap bervariasi antara 100°C hingga 130°C pada tekanan 3 ± 0,5 bar, dengan laju perpindahan panas berkisar 1,7 hingga 55,4 W, dan konsumsi air spesifik antara 0,014 hingga 0,09 kg-air/kg-LFPF.

Penelitian keempat ditulis oleh Samsul Rizal, C.K. Abdullah, N. G. Olaiya, N.A. Sri Aprilia, Ikramullah Zein, Indra Surya and H. P. S. Abdul Khalil. Penelitian menggunakan metode Taguchi untuk mengoptimalkan proses milling dalam produksi nanopartikel abu kelapa sawit (POA). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi waktu *milling*, kecepatan *milling*, dan ukuran bola baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran bola memiliki pengaruh paling signifikan terhadap ukuran nanopartikel POA, diikuti oleh waktu milling dan kecepatan *milling*.

Penelitian kelima ditulis oleh Mohd Nazri Ahmad, Mohamad Ridzwan Ishak, Mastura Mohammad Taha, Faizal Mustapha, Zulkiflle Leman, Debby Dyne Anak Lukista, Irianto dan Ihwan Ghazali. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini mencakup berbagai parameter yang berpengaruh terhadap kualitas dan produktivitas proses pencetakan menggunakan metode Taguchi. Parameter yang dioptimalkan meliputi ketebalan lapisan, orientasi pencetakan, kepadatan *infill*, dan kecepatan pencetakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa orientasi pencetakan memiliki pengaruh paling signifikan terhadap semua respons mekanis, dengan nilai p yang signifikan dalam analisis ANOVA.

Penelitian keenam ditulis oleh Tamer I. M. Ragab, Fahad M. Alminderej, Wael A. El-Sayed, Sayed M. Saleh, and Al Shimaa Gamal Shalaby. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah suhu, konsentrasi alkali, waktu, dan substrat dalam optimasi ekstraksi, hidrolisis enzimatik, dan fermentasi bioetanol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi menggunakan metode Taguchi dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi selulosa dan hemiselulosa dari limbah sawit. Faktor yang paling berpengaruh terhadap proses adalah jenis enzim dan suhu, yang menghasilkan kadar gula reduksi tertinggi pada kondisi optimal.

Penelitian ketujuh ditulis oleh E.S. Alaba, R.A. Kazeem, A.S. Adebayo, M.O. Petinrin, O.M. Ikumapayi, T.-C. Jen dan E.T. Akinlabi. Penelitian ini mengevaluasi penggunaan minyak inti

sawit (PKO) sebagai pelumas pemotongan dalam proses pembubutan baja AISI 1039 menggunakan teknik optimasi *Taguchi-grey relational analysis* (TGRA). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kecepatan spindel, laju pemakanan, dan kedalaman pemotongan sebagai faktor kontrol, sedangkan karakteristik keluaran yang diukur mencakup kekasaran permukaan, ketebalan serpihan, suhu pemotongan, dan laju penghilangan material (MRR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PKO sebagai fluida pemotongan mampu meningkatkan kualitas pemesinan dibandingkan dengan minyak mineral.

Penelitian kedelapan ditulis oleh Siravit Pakdeechot, Sherly Hanifarianty dan Makatar Wae-hayee. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa waktu sterilisasi, tekanan uap, dan kualitas minyak sawit mentah (CPO). Waktu sterilisasi bervariasi antara 30, 45, 60, dan 75 menit, sementara tekanan uap dijaga pada 2,5 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu sterilisasi, semakin tinggi persentase pelepasan buah dari tandannya, yang berkontribusi pada peningkatan rendemen minyak. Kondisi optimal yang direkomendasikan adalah 60 menit, di mana hasil ekstraksi minyak lebih tinggi dengan kadar FFA yang rendah serta DOBI yang sesuai dengan standar industri.

Penelitian kesembilan ditulis oleh Aulia Suryaning Putri dan Dessy Agustina Sari. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa tekanan uap, suhu sterilisasi, waktu perebusan, dan kehilangan panas pada dinding dan pintu *sterilizer*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kehilangan panas terhadap efisiensi perebusan dan rendemen minyak kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan panas tertinggi terjadi pada puncak III, dengan nilai 58,074 kJ pada tekanan 2,7 bar, suhu 130°C, dan waktu perebusan 600 detik. Rendemen minyak yang dihasilkan hanya 20,25%, lebih rendah dari standar industri 22,5-23,5%, yang disebabkan oleh kebocoran panas melalui dinding dan pintu *sterilizer* akibat isolasi yang menipis.

Penelitian kesepuluh ditulis oleh Mohd Amran Bin Mohd Yusof, Yi Jing Chan, Chien Hwa Chong dan Chien Lye Chew. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini mencakup karakteristik POME seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Solids* (TS), *Suspended Solids* (SS), pH, serta kandungan minyak dan lemak (OG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dalam proses operasi berpengaruh signifikan terhadap karakteristik POME. POM yang menggunakan *decanter* tiga fase memiliki kandungan TS yang lebih rendah, sementara POM dengan konsumsi air tinggi menunjukkan COD dan BOD yang lebih rendah.

Penelitian kesebelas ditulis oleh Haniza, Sutrisno, Andre Hasudungan Lubis dan Solly Aryza. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa tekanan didih, suhu didih, dan suhu unit klarifikasi untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kualitas CPO. Metode Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan parameter tersebut guna menurunkan tingkat cacat dalam produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan didih dan suhu unit klarifikasi memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar asam lemak bebas (FFA), sementara suhu didih berkontribusi dalam batas tertentu. Setelah menerapkan kombinasi pengaturan optimal, proporsi cacat dalam produksi CPO berkurang sebesar 10,42%, yang menunjukkan peningkatan kualitas produk secara signifikan.

Penelitian keduabelas ditulis oleh Lilis Masruroh, dan Hermiza Mardesci. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa suhu, tekanan uap, dan waktu perebusan dalam sistem double peak. Perebusan dilakukan dengan tekanan 2,5–3 bar selama 60–90 menit, menggunakan uap basah dari turbin untuk memastikan pemanasan yang merata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perebusan dengan tekanan dan durasi optimal meningkatkan efisiensi perontokan buah sawit, mengurangi kandungan asam lemak bebas (FFA), serta memperbaiki kualitas minyak sawit yang dihasilkan. Jika waktu perebusan terlalu singkat, banyak buah yang tidak terpipil, sementara waktu yang terlalu lama menyebabkan kadar air dalam minyak meningkat dan memperbesar kehilangan minyak pada air kondensat.

Penelitian ketigabelas ditulis oleh Aghnia Rahmawati, Kelik Putranto, Hendrawan dan Eko Wahyudin. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa jangka waktu perebusan yang bervariasi dari 1 hingga 3,5 jam dan pengaruhnya terhadap rendemen, kadar asam lemak bebas (FFA), kadar air, dan kadar kotoran dalam minyak kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jangka waktu perebusan optimal adalah 2 jam, di mana rendemen minyak mencapai 71,83%, kadar FFA 2,20%, kadar air 4,77%, dan kadar kotoran 4,86%, yang semuanya masih dalam batas standar mutu industri. Jika waktu perebusan terlalu singkat, pemisahan minyak kurang optimal, sementara perebusan terlalu lama menyebabkan degradasi minyak, peningkatan kadar FFA, dan penguapan senyawa penting.

Penelitian keempatbelas ditulis oleh Egi Kurniawan. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa tekanan presan, yang diuji pada beberapa level untuk menganalisis kualitas minyak sawit mentah (CPO). Metode Taguchi digunakan untuk mengevaluasi pengaruh tekanan terhadap kualitas minyak berdasarkan kadar asam lemak bebas (FFA), kadar air, dan kadar kotoran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan presan pada level tertentu

menghasilkan nilai respon rata-rata terendah sebesar 4, sedangkan respon tertinggi mencapai 3,69, yang masih berada dalam rentang standar industri (2,50–5%).

Penelitian kelimabelas ditulis oleh Yusnawati, Taufan Arif Adlie, Yusri Nadya, Muhammad Zeki dan Alifa Zahrani. Penelitian ini menggunakan variabel utama berupa tingkat kematangan buah, lama perebusan, dan tekanan pengepresan untuk mengoptimalkan kadar asam lemak bebas (ALB) dalam *Crude Palm Oil* (CPO). Setiap variabel memiliki tiga level, yaitu kematangan buah (matang 2, 3 dan 4), lama perebusan (90, 100 dan 110 menit), dan tekanan pengepresan (36, 38 dan 40 bar). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi optimal untuk mencapai kadar ALB maksimal 3,5% adalah dengan kematangan buah tingkat 3, waktu perebusan 90 menit, dan tekanan pengepresan 40 bar.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) dan Metode Taguchi**,** yang berfokus pada proses perebusan di PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3. Data yang digunakan meliputi variabel independen, yaitu variasi suhu dan waktu perebusan, serta variabel dependen, yaitu produktivitas (rendemen minyak) dan kualitas minyak kelapa sawit (kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran). Setelah data diperoleh, analisis dilakukan menggunakan MANOVA untuk mengetahui pengaruh signifikan suhu dan waktu terhadap produktivitas serta kualitas minyak, serta Metode Taguchi untuk menentukan kombinasi parameter yang optimal.

2.2 Landasan Teori

Berikut merupakan landasan teori yang digunakan.

1. **Minyak Kelapa Sawit**

   Minyak kelapa sawit adalah minyak nabati yang didapatkan dari daging buah kelapa sawit. Minyak ini memiliki dua jenis utama, yaitu minyak sawit mentah (CPO - *Crude Palm Oil*) dari daging buah dan minyak inti sawit (PKO - *Palm Kernel Oil*) dari biji buah (Susanto, 2020). CPO memiliki kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh, serta vitamin E dan karotenoid, yang memberikan warna merah alami pada minyak mentah. Setelah proses pemurnian, minyak ini menjadi bahan awal berbagai produk seperti margarin, sabun, kosmetik, hingga bahan bakar biodiesel.

   Minyak kelapa sawit memiliki tiga karakteristik utama yang menentukan kualitasnya yaitu kandungan asam lemak bebas (FFA), kadar air, dan kadar kotoran. Kandungan asam lemak bebas (FFA) adalah parameter yang menunjukkan tingkat degradasi minyak

akibat aktivitas enzim. Minyak dengan asam lemak bebas (FFA) yang rendah memiliki kualitas yang lebih baik dan daya simpan yang lebih panjang. Selain itu, kadar air dalam minyak juga memengaruhi stabilitas produk selama penyimpanan. Standar industri menetapkan kadar air untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme yang dapat merusak minyak. Sementara itu, kadar kotoran, yang meliputi serat atau partikel lain, harus dijaga agar minyak lebih jernih dan mudah diproses lebih lanjut.

Proses produksi minyak kelapa sawit melalui beberapa tahapan penting yang saling berhubungan. Tahap awal adalah perebusan tandan buah segar (TBS) pada suhu tinggi lalu proses sterilisasi menggunakan tekanan tinggi bertujuan membunuh mikroorganisme dan menjaga kualitas minyak (Handayani, 2022). Minyak kemudian diekstraksi melalui proses pengepresan untuk memisahkan minyak dari serat dan kernel. Tahap akhir adalah klarifikasi, yaitu pemurnian minyak mentah untuk menghilangkan kotoran, air, dan komponen lain sehingga menghasilkan minyak kelapa sawit mentah (CPO) yang berkualitas. Beberapa faktor utama memengaruhi kualitas minyak kelapa sawit, termasuk suhu dan waktu perebusan, kondisi bahan baku, serta alat produksi. Suhu dan waktu perebusan harus dioptimalkan untuk mencegah peningkatan kandungan asam lemak bebas (FFA). TBS yang segar dan matang optimal adalah bahan baku terbaik karena menghasilkan minyak berkualitas tinggi dengan kadar FFA rendah. Penundaan pengolahan atau pengolahan TBS yang terlalu matang dapat merusak kualitas minyak.

Standar kualitas minyak kelapa sawit ditentukan oleh norma industri seperti Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar internasional seperti RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*). Standar ini dirancang untuk memastikan minyak kelapa sawit memenuhi kebutuhan pasar, memiliki stabilitas selama penyimpanan, dan kualitas yang dapat diterima oleh industri hilir. Mematuhi standar ini juga meningkatkan daya saing minyak kelapa sawit di pasar global. Berikut ini merupakan standar yang dipakai (Ramadhani et al., 2022).

a. Kadar Asam Lemak Bebas (FFA) dengan nilai norma adalah 2%-5%.
b. Kadar Air dengan nilai norma adalah <0.25%.
c. Kadar Kotoran dengan nilai norma adalah <0.25%.

2. Produktivitas

Dalam konteks industri kelapa sawit, produktivitas berfokus pada efisiensi proses produksi dalam menghasilkan minyak dari tandan buah segar (TBS). Produktivitas diukur melalui rendemen, yaitu persentase hitung dengan membandingkan berat minyak yang dihasilkan dengan berat TBS yang diproses, kemudian dikalikan dengan 100 persen (Ayu, 2020). Faktor-faktor yang memengaruhi produktivitas adalah kualitas bahan baku, parameter proses, kondisi peralatan pengolahan, dan efisiensi manajemen limbah. Dengan kualitas TBS yang optimal, proses perebusan yang terkontrol, dan peralatan yang terawat dapat meningkatkan hasil rendemen. Di sisi lain, produktivitas juga menjadi indikator utama keberhasilan operasional pabrik, karena menentukan efisiensi proses, kualitas hasil produksi, dan profitabilitas perusahaan secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengukuran dan optimasi produktivitas sangat penting untuk memastikan keberlanjutan dan daya saing industri kelapa sawit. Produktivitas minyak atau rendemen sesuai standar dengan nilai rendemen berkisar 20–24% (Siahaan & Manurung, 2021).

3. Perebusan tandan buah segar (TBS)

Perebusan tandan buah segar (TBS) memiliki peran dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit. Salah satu fungsi utamanya adalah mematikan enzim lipase yang dapat meningkatkan kandungan asam lemak bebas (FFA). Perebusan juga membantu melunakkan buah sehingga mempermudah proses pelepasan daging buah dari bijinya. Selain itu, proses ini memudahkan pelepasan serabut dari inti buah, yang merupakan langkah penting sebelum ekstraksi minyak (Rahim, 2021). Dengan kontrol suhu dan tekanan yang tepat, perebusan juga meningkatkan efisiensi produksi dan meminimalkan kerusakan kualitas minyak.

Suhu dan waktu perebusan adalah parameter kritis yang memengaruhi baik kualitas maupun kuantitas minyak kelapa sawit. Perebusan pada suhu yang terlalu rendah atau waktu yang terlalu singkat dapat menyebabkan mematikan enzim yang tidak optimal, sementara suhu yang terlalu tinggi atau waktu yang terlalu lama dapat meningkatkan degradasi minyak dan meningkatkan kadar FFA serta suhu perebusan dipakai antara 120-135°C (Benu et al., 2024) lalu untuk waktu lama perebusan antara 75 -100 menit (Masruroh & Mardesci, 2021). Selain itu, suhu yang tepat memastikan bahwa lebih banyak minyak dapat diekstraksi dari buah, meningkatkan rendemen tanpa menurunkan

kualitas minyak. Oleh karena itu, parameter ini harus diatur dengan optimal untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Hubungan ini menunjukkan perlunya kontrol ketat terhadap proses perebusan untuk menjaga keseimbangan antara kualitas dan kuantitas minyak yang dihasilkan.

Perebusan TBS merupakan salah satu tahap kunci dalam pengolahan minyak kelapa sawit. Tahap ini menentukan keberhasilan proses-proses berikutnya, seperti ekstraksi dan klarifikasi, karena perebusan yang tidak optimal dapat menghasilkan minyak dengan kualitas rendah atau volume yang lebih sedikit.

4. Metode Analisis Taguchi

Metode Taguchi adalah teknik eksperimen untuk mengoptimalkan parameter proses. Metode ini berupa teknik statistik yang digunakan untuk mengoptimalkan proses dengan mengidentifikasi faktor kontrol utama serta meminimalkan variasi yang disebabkan oleh faktor yang tidak dapat dikendalikan/*noise* (Halimah & Ekawati, 2020).

Salah satu keunggulan metode Taguchi adalah penggunaan matriks *orthogonal* untuk merancang eksperimen. Matriks ini memungkinkan berbagai kombinasi faktor uji dilakukan secara sistematis dengan jumlah percobaan yang minimal. Dalam eksperimen perebusan TBS, matriks orthogonal digunakan untuk mengatur variasi suhu dan waktu perebusan sehingga memudahkan analisis hubungan antara parameter tersebut dan kualitas serta produktivitas minyak. Pendekatan ini tidak hanya menghemat waktu dan sumber daya, tetapi juga meningkatkan keandalan hasil analisis karena dapat mengidentifikasi pengaruh masing-masing faktor secara independen.

Signal-to-Noise ratio (S/N *ratio*) adalah konsep kunci dalam metode Taguchi yang digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja kombinasi parameter eksperimen. Nilai "*Signal*" menjelaskan rata-rata hasil yang diinginkan, sedangkan "*Noise*" menggambarkan variabilitas hasil akibat faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Kombinasi parameter dengan rasio S/N tertinggi dianggap optimal karena mampu memberikan performa terbaik dengan tingkat variabilitas terendah. Dalam penelitian perebusan TBS, rasio S/N dapat digunakan untuk menentukan kombinasi suhu dan waktu yang menghasilkan kadar FFA terendah, kadar air yang sesuai norma, dan rendemen minyak tertinggi.

5. Metode Analisis MANOVA

Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan *mean* antara dua atau lebih kelompok pada beberapa variabel dependen (Abiba et al., 2024). Berbeda dengan ANOVA yang hanya memeriksa satu variabel dependen, MANOVA menggunakan beberapa variabel dependen, sehingga memungkinkan analisis interaksi antar variabel independen dan efeknya pada beberapa variabel dependen sekaligus.

Pada MANOVA, terdapat dua faktor atau variabel independen yang memengaruhi satu atau lebih variabel dependen. Faktor ini dapat berupa kategori yang dikelompokkan menjadi beberapa level. MANOVA mempelajari efek dari masing-masing faktor (*main effect*) dan interaksi antara kedua faktor tersebut terhadap variabel dependen. Dasar statistik MANOVA melibatkan analisis variabilitas dalam data melalui pembandingan matriks variansi-kovarians antar kelompok.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian dalam studi ini adalah Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sei Pagar, PTPN IV Regional 3. Fokus penelitian adalah proses perebusan tandan buah segar (TBS) menggunakan mesin *sterilizer* dengan variasi suhu dan waktu perebusan. Proses ini menjadi salah satu tahapan kritis dalam pengolahan minyak kelapa sawit karena memengaruhi kualitas minyak yang dihasilkan dan produktivitas pabrik secara keseluruhan.

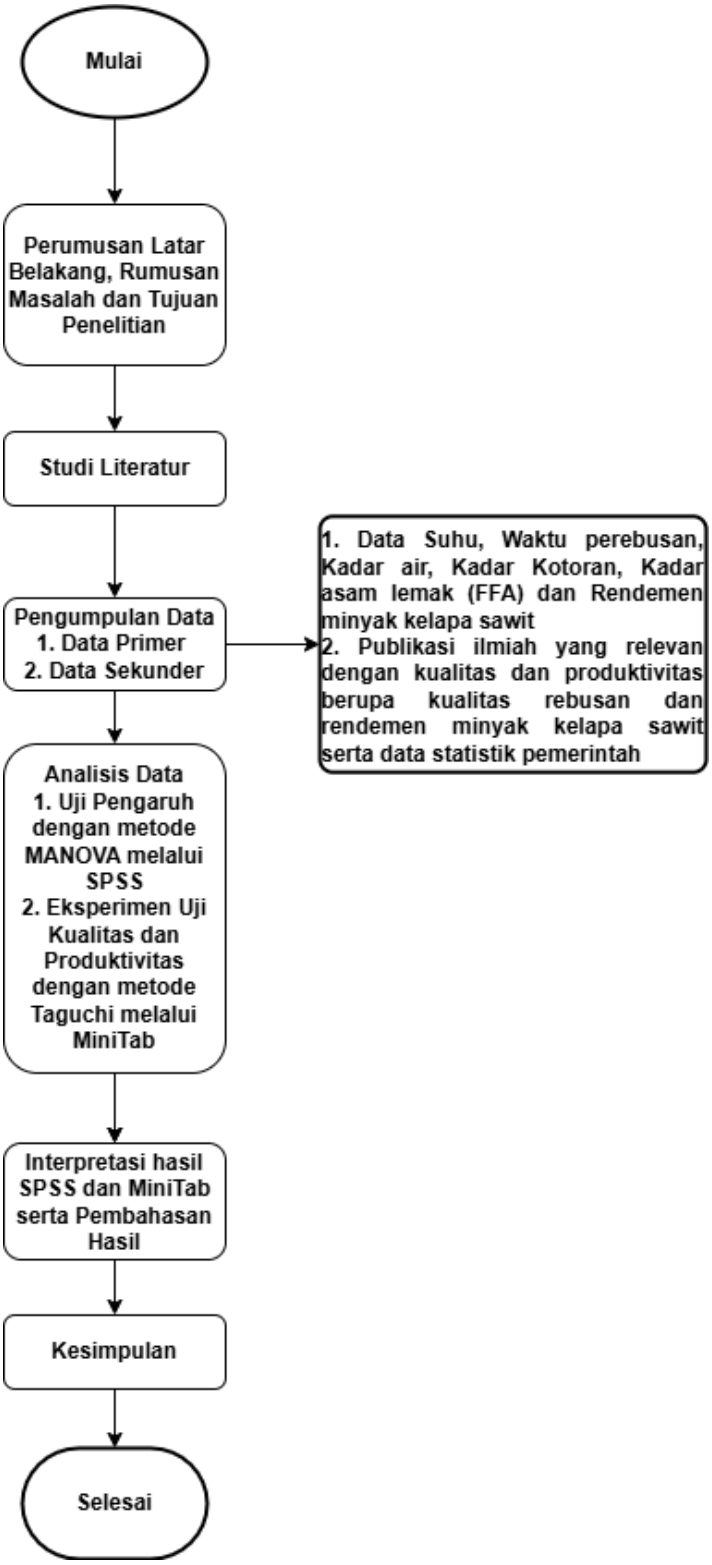
Perebusan di mesin *sterilizer* berfungsi untuk memudahkan pelepasan buah dari tandannya, mematikan enzim *lipase* yang dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas (FFA), serta mempersiapkan buah untuk proses ekstraksi minyak. Variasi parameter seperti suhu dan waktu perebusan sering kali menjadi faktor yang signifikan dalam menentukan kualitas minyak, termasuk kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran. Selain itu, parameter ini juga memengaruhi produktivitas pabrik yang diukur berdasarkan rendemen atau persentase minyak yang dihasilkan dari jumlah TBS yang diolah.

Dalam penelitian ini, data akan dikumpulkan dari hasil pengamatan langsung di PKS Sei Pagar, termasuk parameter suhu dan waktu perebusan yang digunakan, serta kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit yang dihasilkan. Kualitas minyak akan diukur melalui parameter laboratorium seperti kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran, sementara produktivitas akan diukur dari nilai rendemen minyak.

Penelitian ini akan menggunakan metode Taguchi untuk mengidentifikasi kombinasi parameter suhu dan waktu perebusan yang optimal. Selain itu, analisis *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA) akan diterapkan untuk memahami pengaruh dari parameter-parameter tersebut terhadap hasil produksi.

3.2 Alur Penelitian

Berikut merupakan gambar dari alur penelitian yang akan dilaksanakan.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan alur penelitian.

3.2.1 Mulai

Penelitian dimulai dengan penentuan latar belakang masalah, perumusan rumusan masalah, dan tujuan penelitian yang berfokus pada analisis pengaruh variasi suhu dan waktu perebusan terhadap kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit serta kombinasi suhu dan waktu perebusan yang optimal.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami teori dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan perebusan TBS, kualitas minyak kelapa sawit (kadar FFA, kadar air, kadar kotoran), produktivitas (rendemen), dan metode analisis (Taguchi dan MANOVA). Literatur yang digunakan mencakup jurnal, buku, dan data dari PKS Sei Pagar.

3.2.3 Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data laporan produksi di PKS Sei Pagar terkait suhu perebusan antara 120-135°C, waktu perebusan antara 75-100 menit, rendemen antara 19-23% dan kualitas minyak berupa kadar ALB/FFA antara 4-5%, kadar air antara 0,12-0,15%, dan kadar kotoran antara 0,0009-0,02%..

2. Data Sekunder

Publikasi ilmiah dan data statistik yang relevan.

3.2.4 Analisis Data

1. Metode Taguchi

Digunakan untuk merancang eksperimen dengan variasi suhu dan waktu perebusan. Model matematika metode Taguchi dapat dirumuskan sebagai:

$$Y = \mu + \sum_{i=1}^{k} X_i + \epsilon \qquad (3.2.4.1)$$

Di mana:

Y_{ijk} = Respon (variabel kualitas dan produktivitas, misalnya rendemen atau kadar FFA).

μ = Rata-rata umum untuk semua sistem.

X_i = Efek dari faktor kontrol iii (suhu, waktu, atau kombinasi).

$\epsilon =$ Kesalahan atau variabilitas yang tidak dapat dijelaskan oleh model.

Elemen Utama dalam Model Taguchi, yaitu.

1. Faktor Kontrol yaitu variabel yang dapat diatur, seperti suhu perebusan (X1) dan waktu perebusan (X2).
2. Faktor Respon yaitu output yang diukur, seperti rendemen (Y1), kadar FFA (Y2), kadar air (Y3), dan kadar kotoran (Y4).
3. *Noise* (Gangguan) yaitu faktor luar yang memengaruhi hasil tetapi tidak dapat dikontrol secara langsung.

Berikut merupakan Formula S/N *ratio* bergantung pada karakteristik respon yang dioptimalkan dengan menggunakan *Nominal the Best.*

$$\boldsymbol{S/N = 10 \text{ x } \log_{10}(\frac{Y^2}{s^2})} \quad (3.2.4.2)$$

Metode Taguchi menggunakan rasio *Signal-to-Noise* (S/N) untuk menentukan tingkat optimal parameter.

2. Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)

Digunakan untuk menganalisis pengaruh simultan dari suhu dan waktu perebusan terhadap variabel kualitas (kadar FFA, kadar air, kadar kotoran) dan produktivitas (rendemen):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (3.2.4.3)$$

Di mana:

Y_{ijk} = Vektor nilai produktivitas (rendemen) dan kualitas (FFA, kadar air, kadar kotoran) untuk suhu ke-i dan waktu ke-j.

μ = Rata-rata umum untuk semua grup.

α_i = Efek suhu (level ke-i)

β_j = Efek waktu (level ke-j)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efek Efek interaksi antara suhu dan waktu

ϵ_{ijk} = Kesalahaan Residual

Maka, Variabel yang digunakan yaitu.

1. Variabel independen (faktor)
   - Suhu perebusan (α) diukur dalam derajat Celsius (120°C–135°C).
   - Waktu perebusan (β) diukur dalam menit (75–100 menit).
2. Variabel dependen (respon)

- Produktivitas (rendemen)

Persentase minyak yang dihasilkan per ton TBS (20%–23%).

- Kualitas
  - Kadar asam lemak bebas (FFA) yaitu persentase (sesuai standar industri ≤5%).
  - Kadar air yaitu persentase (sesuai standar industri ≤0,1%).
  - Kadar kotoran yaitu persentase (sesuai standar industri ≤0,02%).

Lalu, Hipotesis yang akan terbentuk yaitu.

1. Hipotesis Nol (H0): Tidak ada pengaruh signifikan dari suhu, waktu, atau interaksinya terhadap produktivitas (Rendemen) dan kualitas (Kadar FFA, Kadar Air dan Kadar Kotoran) minyak kelapa sawit.
2. Hipotesis Alternatif (H1): Faktor (suhu, waktu, atau interaksinya) memengaruhi secara signifikan variabel terhadap produktivitas (Rendemen) dan kualitas (Kadar FFA, Kadar Air dan Kadar Kotoran) minyak kelapa sawit.

3.2.5 Interpretasi dan Pembahasan Hasil

Hasil dari analisis Taguchi dan MANOVA diinterpretasikan menggunakan *Software Minitab* dan *SPSS* untuk memahami:

1. Kombinasi suhu dan waktu yang menghasilkan rendemen tertinggi.
2. Pengaruh signifikan masing-masing parameter terhadap kualitas dan produktivitas.

3.2.6 Kesimpulan

Kesimpulan memberikan rekomendasi parameter optimal yang dapat digunakan oleh PKS Sei Pagar. Hasil penelitian ini juga memberikan kontribusi bagi industri kelapa sawit dalam meningkatkan efisiensi produksi.

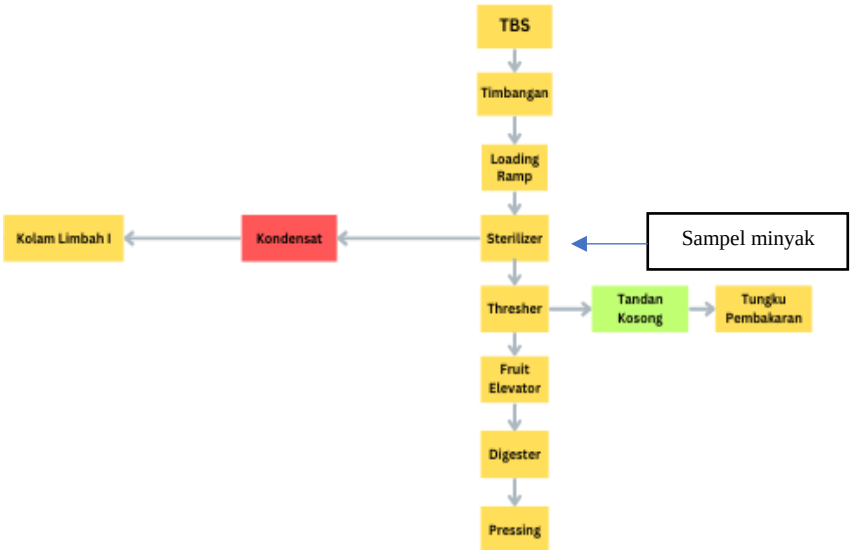
3.2.7 Selesai

Penelitian selesai dengan penyusunan laporan yang mencakup temuan, diskusi, dan rekomendasi untuk PKS Sei Pagar.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan secara observasi langsung serta memanfaatkan data yang terekam otomatis melalui sensor yang terhubung ke sistem komputer dengan frekuensi selama 1 bulan pada Oktober 2024. Selama di pabrik alur proses minyak kelapa sawit dimulai dari sortasi, perebusan, pencacahan, ekstraksi dan klarifikasi. Minyak yang dihasilkan dimulai dari perebusan. Data yang dikumpulkan mencakup suhu dan waktu perebusan pada mesin *sterilizer*, yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian kualitas minyak mentah (CPO) di laboratorium. Sampel minyak diambil dan dievaluasi berdasarkan parameter seperti kadar asam lemak bebas, kadar air, dan kadar kotoran untuk menentukan kesesuaiannya dengan standar kualitas. Berikut merupakan alur proses pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sei Pagar PTPN IV Regional 3.



Gambar 4.1 Alur Proses Minyak Kelapa Sawit

Pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sei Pagar, proses perebusan berlangsung di stasiun *sterilizer*, di mana tandan buah segar (TBS) yang baru dipanen dari kebun diangkut menggunakan lori dan dimasukkan ke dalam *sterilizer*. Operator memastikan bahwa setiap *batch* TBS dimasukkan sesuai kapasitas dan disusun merata agar proses perebusan

berjalan optimal. Saat proses berlangsung, uap dialirkan ke dalam *sterilizer* dengan waktu tertentu untuk memanaskan buah hingga suhu yang telah ditentukan.

Selama perebusan, sensor otomatis mencatat suhu dan durasi perebusan untuk memastikan parameter sesuai standar yang telah ditetapkan. Jika suhu atau waktu tidak sesuai, misalnya terlalu rendah atau terlalu singkat, maka buah tidak matang sempurna dan daging buah sulit terpisah dari bijinya, yang berdampak pada rendahnya rendemen minyak. Sebaliknya, jika suhu terlalu tinggi atau waktu terlalu lama, minyak dalam buah bisa mengalami degradasi, meningkatkan kadar asam lemak bebas (FFA) yang dapat menurunkan kualitas CPO.

Setelah perebusan selesai, pintu sterilizer dibuka, dan TBS yang telah direbus dikeluarkan menuju stasiun bantingan untuk proses selanjutnya. Sampel minyak dari hasil ekstraksi kemudian diambil dan diuji di laboratorium untuk memastikan kualitasnya. Jika ditemukan penyimpangan akibat ketidaksesuaian suhu dan waktu perebusan, minyak yang dihasilkan dapat dikategorikan sebagai minyak berkualitas rendah dan perlu diproses ulang atau dialokasikan untuk keperluan non-pangan. Contoh data dari komputer yang dikumpulkan dari sampel minyak mentah (CPO) ada pada Tabel 4.1 dan untuk seluruh data ada pada lampiran.

Tabel 4.2 Data Produksi

Suhu (°C)	**Waktu (Menit)**	**Rendemen (%)**	**Kadar FFA (%)**	**Kadar Air (%)**	**Kadar Kotoran (%)**
130	95	22,04	4,6	0,131	0,0107
135	85	21,85	4,75	0,127	0,0099
120	85	20,55	4,87	0,1453	0,0214
130	100	21,26	4,82	0,1256	0,0059
130	85	21,39	4,76	0,1356	0,0103
135	85	22,18	4,51	0,1333	0,0083
120	85	21,24	4,79	0,1529	0,0128
120	100	20,99	4,8	0,1313	0,0114
130	85	21,1	4,68	0,1457	0,0105
125	95	21,25	4,77	0,1252	0,0118

Data dalam penelitian ini dikumpulkan dari mesin *sterilizer* yang beroperasi di PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3. Data yang dikumpulkan meliputi suhu perebusan antara 120-135°C, waktu perebusan antara 75-100 menit, rendemen antara 19-23% dan kualitas minyak berupa kadar ALB/FFA antara 4-5%, kadar air antara 0,12-0,15%, dan kadar kotoran antara 0,0009-0,02%.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Uji Pengaruh MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*)

Uji Manova dilakukan untuk menguji pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit.

Berikut merupakan hasil pengolahan data uji Manova.

1. *Between-Subject Factors*

   Tabel ini menyajikan informasi terkait faktor-faktor independen yang diteliti dalam penelitian ini, yaitu Suhu dan Waktu Perebusan beserta level atau nilai dari masing-masing faktor. Suhu diukur dalam derajat, dengan empat variasi yaitu 120, 125, 130, dan 135. Waktu perebusan juga memiliki empat variasi yaitu 75, 85, 95, dan 100, yang diukur dalam satuan menit. Kolom "N" menunjukkan jumlah observasi pada setiap kombinasi level faktor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana kombinasi suhu dan waktu perebusan mempengaruhi variabel dependen, yang kemungkinan adalah produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit.

Between-Subjects Factors

		N
Suhu	120	50
	125	60
	130	58
	135	72
Waktu_Perebusan	100	59
	75	64
	85	50
	95	67

Gambar 4.2 *Between-Subject Factors*

2. *Descriptive Statistic*

   Tabel ini menyajikan ringkasan statistik deskriptif dari data penelitian terkait dengan pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap berbagai variabel kualitas minyak kelapa sawit. Data dikelompokkan berdasarkan kombinasi suhu (120, 125, 130, dan 135) dan waktu perebusan (75, 85, 95, dan 100), dengan "Total" menunjukkan keseluruhan data pada masing-masing suhu atau waktu perebusan. Statistik yang ditampilkan meliputi "N" atau jumlah data observasi, *Mean*, dan standar deviasi. Data ini akan digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait dengan pengaruh suhu dan waktu perebusan

terhadap kualitas minyak kelapa sawit, termasuk di dalamnya variabel rendemen, kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran.

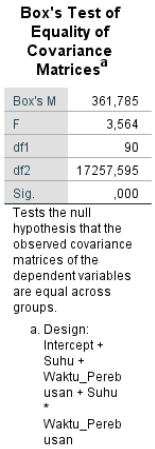
Descriptive Statistics

	Suhu	Waktu_Perebusan	Mean	Std. Deviation	N
Rendemen	120	100	21,5359	,52915	17
		75	20,3600	,52733	12
		85	20,6650	,49590	10
		95	21,0364	,28970	11
		Total	20,9696	,66208	50
	125	100	21,9086	,53575	14
		75	20,4550	,40040	16
		85	21,0717	,29272	18
		95	21,0142	,29429	12
		Total	21,0910	,64378	60
	130	100	22,0309	,57015	11
		75	20,8483	,51255	24
		85	21,4518	,26791	11
		95	21,7850	,34524	12
		Total	21,3809	,65950	58
	135	100	22,7535	,37128	17
		75	21,2750	,34716	12
		85	21,9700	,15277	11
		95	22,5828	,41702	32
		Total	22,3115	,63919	72
	Total	100	22,0675	,68028	59
		75	20,7384	,55749	64
		85	21,2716	,54852	50
		95	21,9051	,79001	67
		Total	21,5019	,84851	240
Kadar_FFA	120	100	4,7776	,07637	17
		75	5,0625	,03415	12
		85	4,8520	,05673	10
		95	4,8318	,09877	11
		Total	4,8728	,13102	50
	125	100	4,6507	,07468	14
		75	4,9600	,17761	16
		85	4,7756	,14255	18
		95	4,7392	,08017	12
		Total	4,7883	,17126	60
	130	100	4,6009	,15156	11
		75	4,8108	,09908	24
		85	4,6555	,08395	11
		95	4,5392	,08908	12
		Total	4,6853	,15309	58
	135	100	4,4471	,11044	17
		75	4,7525	,03079	12
		85	4,5873	,11577	11
		95	4,4916	,11179	32
		Total	4,5392	,14609	72
	Total	100	4,6193	,16288	59
		75	4,8844	,15599	64
		85	4,7230	,14624	50
		95	4,6003	,16910	67
		Total	4,7063	,19672	240
Kadar_Air	120	100	,1371	,00422	17
		75	,1520	,00338	12
		85	,1471	,00437	10
		95	,1403	,00448	11
		Total	,1434	,00727	50
	125	100	,1310	,00430	14
		75	,1455	,00525	16
		85	,1431	,00309	18
		95	,1323	,00493	12
		Total	,1387	,00767	60
	130	100	,1278	,00202	11
		75	,1408	,00317	24
		85	,1365	,00619	11
		95	,1330	,00468	12
		Total	,1359	,00636	58
	135	100	,1236	,00160	17
		75	,1350	,00367	12
		85	,1304	,00389	11
		95	,1251	,00294	32
		Total	,1272	,00505	72
	Total	100	,1300	,00621	59
		75	,1430	,00677	64
		85	,1396	,00740	50
		95	,1303	,00686	67
		Total	,1356	,00890	240
Kadar_Kotoran	120	100	,0117	,00142	17
		75	,0207	,00215	12
		85	,0171	,00361	10
		95	,0140	,00066	11
		Total	,0154	,00411	50
	125	100	,0095	,00235	14
		75	,0179	,00154	16
		85	,0138	,00197	18
		95	,0119	,00105	12
		Total	,0135	,00356	60
	130	100	,0083	,00177	11
		75	,0149	,00204	24
		85	,0109	,00094	11
		95	,0109	,00199	12
		Total	,0121	,00313	58
	135	100	,0058	,00243	17
		75	,0103	,00145	12
		85	,0095	,00282	11
		95	,0061	,00204	32
		Total	,0072	,00285	72
	Total	100	,0089	,00304	59
		75	,0159	,00387	64
		85	,0129	,00358	50
		95	,0093	,00364	67
		Total	,0117	,00460	240

Gambar 4.3 *Descriptive Statistic*

3. *Box's Test of Equality of Covariance Matrices*

Tabel ini menyajikan hasil uji statistik *Box's M*, yang digunakan untuk menguji asumsi homogenitas varians-kovarians dalam analisis multivariat yaitu suatu teknik analisis untuk menguji apakah data berasal dari populasi yang homogen atau tidak.



Box's Test of Equality of Covariance Matrices[a]

Box's M	361,785
F	3,564
df1	90
df2	17257,595
Sig.	,000

Tests the null hypothesis that the observed covariance matrices of the dependent variables are equal across groups.

a. Design: Intercept + Suhu + Waktu_Perebusan + Suhu * Waktu_Perebusan

Gambar 4. 4 *Box's Test of Equality of Covariance Matrices*

4. *Multivariate Tests*

Tabel ini menyajikan hasil uji statistik multivariat untuk mengetahui pengaruh Suhu dan Waktu Perebusan, serta interaksi antara keduanya terhadap beberapa variabel dependen secara simultan. Hipotesis H0 yang diuji adalah tidak adanya perbedaan signifikan antar kelompok perlakuan dan H1 adalah adanya perbedaan signifikan antar kelompok perlakuan. Tabel ini menyajikan empat jenis uji multivariat, yaitu *Pillai's Trace* (untuk mengetahui perbedaan antara kelompok dalam beberapa variable), *Wilks' Lambda* (untuk mengukur proporsi varians total dalam variabel terikat), *Hotelling's Trace* (untuk mendeteksi perbedaan keseluruhan), dan *Roy's Largest Root* (untuk mengidentifikasi dimensi diskriminan yang dominan), beserta nilai statistik F, derajat kebebasan hipotesis (df) dan galat (error df), nilai signifikansi (Sig.), dan Partial Eta Squared. Nilai Partial Eta Squared menunjukkan proporsi varians variabel dependen yang dijelaskan oleh masing-masing faktor seberapa besar pengaruh variabel independen tertentu terhadap variabel terikat, setelah menghilangkan pengaruh variabel independen lainnya.

Multivariate Tests[a]

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared
Intercept	Pillai's Trace	1,000	324101,967[b]	4,000	221,000	,000	1,000
	Wilks' Lambda	,000	324101,967[b]	4,000	221,000	,000	1,000
	Hotelling's Trace	5866,099	324101,967[b]	4,000	221,000	,000	1,000
	Roy's Largest Root	5866,099	324101,967[b]	4,000	221,000	,000	1,000
Suhu	Pillai's Trace	,956	26,090	12,000	669,000	,000	,319
	Wilks' Lambda	,109	63,941	12,000	585,003	,000	,522
	Hotelling's Trace	7,590	138,936	12,000	659,000	,000	,717
	Roy's Largest Root	7,513	418,838[c]	4,000	223,000	,000	,883
Waktu_Perebusan	Pillai's Trace	,976	26,871	12,000	669,000	,000	,325
	Wilks' Lambda	,113	62,318	12,000	585,003	,000	,516
	Hotelling's Trace	7,066	129,344	12,000	659,000	,000	,702
	Roy's Largest Root	6,958	387,925[c]	4,000	223,000	,000	,874
Suhu * Waktu_Perebusan	Pillai's Trace	,329	2,228	36,000	896,000	,000	,082
	Wilks' Lambda	,705	2,254	36,000	829,927	,000	,084
	Hotelling's Trace	,373	2,272	36,000	878,000	,000	,085
	Roy's Largest Root	,176	4,374[c]	9,000	224,000	,000	,149

a. Design: Intercept + Suhu + Waktu_Perebusan + Suhu * Waktu_Perebusan

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

Gambar 4. 5 *Multivariate Tests*

5. *Levene's Test Equality of Error Variances*

   Tabel ini menyajikan hasil uji *Levene*, yang digunakan untuk menguji asumsi kesamaan varians antara kelompok dalam analisis varians (ANOVA). Hipotesis nol dari uji ini adalah bahwa varians dari variabel dependen adalah sama di seluruh kelompok. Tabel ini menampilkan statistik *Levene*, derajat kebebasan (df1 dan df2), dan nilai signifikansi (Sig.) untuk setiap variabel dependen, yaitu Rendemen, Kadar FFA, Kadar Air, dan Kadar Kotoran.

Levene's Test of Equality of Error Variances[a]

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Rendemen	Based on Mean	2,153	15	224	,009
	Based on Median	1,562	15	224	,086
	Based on Median and with adjusted df	1,562	15	151,014	,091
	Based on trimmed mean	2,070	15	224	,012
Kadar_FFA	Based on Mean	4,083	15	224	,000
	Based on Median	2,237	15	224	,006
	Based on Median and with adjusted df	2,237	15	117,218	,009
	Based on trimmed mean	3,891	15	224	,000
Kadar_Air	Based on Mean	2,928	15	224	,000
	Based on Median	1,815	15	224	,034
	Based on Median and with adjusted df	1,815	15	151,646	,037
	Based on trimmed mean	2,847	15	224	,000
Kadar_Kotoran	Based on Mean	3,898	15	224	,000
	Based on Median	3,170	15	224	,000
	Based on Median and with adjusted df	3,170	15	181,727	,000
	Based on trimmed mean	3,844	15	224	,000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Suhu + Waktu_Perebusan + Suhu * Waktu_Perebusan

Gambar 4. 6 *Levene's Test Equality of Error Variances*

6. *Tests of Between-Subjects Effects*

Tabel ini menyajikan hasil uji statistik untuk mengetahui pengaruh Suhu dan Waktu Perebusan, serta interaksi antara keduanya terhadap Rendemen, Kadar FFA, Kadar Air, dan Kadar Kotoran dalam produksi minyak kelapa sawit. Tabel ini menampilkan *Type III sum of squares* (metode perhitungan jumlah kuadrat), nilai *F*, derajat kebebasan (df), nilai signifikansi (*Sig.*), dan *Partial Eta Squared* untuk setiap sumber variasi. Maka hipotesis yang terbentuk yaitu

1) H0: Tidak ada pengaruh signifikan dari suhu, waktu perebusan, atau interaksi keduanya terhadap produktivitas (rendemen) dan kualitas minyak kelapa sawit (Rendemen, Kadar FFA, Kadar Air, dan Kadar Kotoran).
2) H1: Faktor (suhu, waktu perebusan, atau interaksi keduanya) memiliki pengaruh signifikan terhadap produktivitas (rendemen) dan kualitas minyak kelapa sawit.

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	Rendemen	132,460[a]	15	8,831	49,933	,000	,770
	Kadar_FFA	6,715[b]	15	,448	39,559	,000	,726
	Kadar_Air	,016[c]	15	,001	68,957	,000	,822
	Kadar_Kotoran	,004[d]	15	,000	69,181	,000	,822
Intercept	Rendemen	99806,062	1	99806,062	564353,574	,000	1,000
	Kadar_FFA	4847,344	1	4847,344	428369,402	,000	,999
	Kadar_Air	4,040	1	4,040	268624,867	,000	,999
	Kadar_Kotoran	,032	1	,032	7943,515	,000	,973
Suhu	Rendemen	50,847	3	16,949	95,839	,000	,562
	Kadar_FFA	3,071	3	1,024	90,465	,000	,548
	Kadar_Air	,007	3	,002	153,617	,000	,673
	Kadar_Kotoran	,002	3	,001	153,206	,000	,672
Waktu_Perebusan	Rendemen	53,652	3	17,884	101,125	,000	,575
	Kadar_FFA	2,688	3	,896	79,174	,000	,515
	Kadar_Air	,006	3	,002	141,973	,000	,655
	Kadar_Kotoran	,002	3	,001	135,125	,000	,644
Suhu * Waktu_Perebusan	Rendemen	4,146	9	,461	2,605	,007	,095
	Kadar_FFA	,102	9	,011	1,005	,037	,039
	Kadar_Air	,000	9	3,090E-5	2,055	,035	,076
	Kadar_Kotoran	,000	9	1,490E-5	3,723	,000	,130
Error	Rendemen	39,614	224	,177			
	Kadar_FFA	2,535	224	,011			
	Kadar_Air	,003	224	1,504E-5			
	Kadar_Kotoran	,001	224	4,001E-6			
Total	Rendemen	111131,855	240				
	Kadar_FFA	5325,053	240				
	Kadar_Air	4,429	240				
	Kadar_Kotoran	,038	240				
Corrected Total	Rendemen	172,074	239				
	Kadar_FFA	9,249	239				
	Kadar_Air	,019	239				
	Kadar_Kotoran	,005	239				

a. R Squared = ,770 (Adjusted R Squared = ,754)
b. R Squared = ,726 (Adjusted R Squared = ,708)
c. R Squared = ,822 (Adjusted R Squared = ,810)
d. R Squared = ,822 (Adjusted R Squared = ,811)

Gambar 4. 7 *Tests of Between-Subjects Effects*

4.2.2 Uji Eksperimen Optimal Taguchi

Uji Eksperimen Taguchi digunakan untuk mendapatkan kombinasi suhu dan waktu optimal dengan matriks L16 berupa *Columns of* L16(4^2) *array* melalui 2 faktor. Berikut merupakan hasil pengolahan uji Taguchi.

1. *Estimated Model Coefficients for SN ratios*

   Tabel ini menyajikan koefisien model regresi yang digunakan untuk menganalisis pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap rasio S/N (*Signal-to-Noise*). Kolom "Term" mencantumkan variabel bebas yang diuji, yaitu suhu pada level 120, 125, 130 dan 135, serta waktu pada level 75, 85, 95 dan 100. Kolom "*Coef*" menunjukkan nilai koefisien regresi untuk masing-masing variabel. Koefisien ini menunjukkan seberapa besar perubahan rasio S/N (dalam satuan yang tidak disebutkan) akibat perubahan satu satuan unit pada variabel bebas. Kolom "*SE Coef*" menunjukkan *standard error* dari koefisien regresi, yang mengukur ketidakpastian estimasi. Kolom "T" adalah nilai statistik t-hitung, yang digunakan untuk menguji signifikansi koefisien regresi. Kolom "P" adalah nilai signifikansi atau *p-value*, yang menunjukkan peluang untuk mendapatkan nilai statistik t setidaknya sebesar yang dihitung, jika sebenarnya tidak ada pengaruh antara variabel bebas dan rasio S/N.

   Tabel 4.3 *Estimated Model Coefficients for SN ratios*

Term	***Coef***	***SE Coef***	**T**	**P**
Constant	-3,72578	0,01221	-305,110	0,000
Suhu 120	0,09484	0,02043	4,641	0,002
Suhu 125	0,05704	0,02043	2,792	0,023
Suhu 130	-0,01003	0,02317	-0,433	0,677
Suhu 135	0,03704	0,01043	1,792	0,123
Waktu 75	0,12934	0,02317	5,582	0,001
Waktu 85	0,02662	0,02043	1,303	0,229
Waktu 95	-0,09008	0,02043	-4,408	0,002
Waktu 100	0,06662	0,02043	1,508	0,340

2. *Model Summary*

   Tabel ini menyajikan ringkasan dari model regresi yang digunakan dalam analisis ini. Kolom "S" menunjukkan *standard error* dari estimasi. Nilai ini

mengindikasikan seberapa jauh data observasi terdistribusi dari garis regresi yang dibentuk. Selanjutnya, R-Sq atau koefisien determinasi adalah variasi dalam variabel dependen dapat dijelaskan oleh model regresi yang dibangun, dan ada sisa yang dijelaskan oleh faktor lain di luar model. Adjusted R-Sq atau R-Sq yang disesuaikan adalah nilai yang sedikit lebih kecil dari R-Sq karena mempertimbangkan jumlah variabel bebas dalam model dan ukuran sampel. Adjusted R-Sq berguna untuk membandingkan model regresi dengan jumlah variabel bebas yang berbeda.

Tabel 4.4 *Model Summary*

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,0463	93,17%	88,04%

3. *Analysis of Variance for SN ratios*

   Tabel ini menyajikan hasil analisis varians untuk menguji signifikansi pengaruh suhu dan waktu perebusan terhadap rasio S/N. Kolom "*Source*" mencantumkan sumber variasi, yaitu suhu, waktu, residual, dan total. Kolom "DF" menunjukkan derajat kebebasan untuk masing-masing sumber variasi. Kolom "Seq SS" adalah *Sequential Sum of Squares*, yang mengukur kontribusi masing-masing sumber variasi terhadap total variasi dalam data. Kolom "Adj SS" adalah *Adjusted Sum of Squares*, yang serupa dengan *Sequential Sum of Squares* tetapi telah disesuaikan dengan faktor lain dalam model. Kolom "Adj MS" adalah *Adjusted Mean Square*, yang dihitung dengan membagi *Adj SS* dengan *DF*. Kolom "F" adalah nilai statistik F, yang digunakan untuk menguji signifikansi pengaruh masing-masing sumber variasi. Kolom "P" adalah nilai signifikansi atau p-value, yang menunjukkan peluang untuk mendapatkan nilai statistik F setidaknya sebesar yang dihitung, jika sebenarnya tidak ada pengaruh antara sumber variasi dan rasio S/N. Maka terbentuk hipotesis sebagai berikut.

   1. Hipotesis Nol (H0): Tidak ada pengaruh signifikan dari suhu dan waktu terhadap variabel dependen.
   2. Hipotesis Alternatif (H1): Setidaknya ada satu tingkat suhu dn waktu yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

Tabel 4. 5 *ANOVA*

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Suhu	3	0,13701	0,12975	0,043250	20,14	0,000
Waktu	3	0,09726	0,09726	0,032421	15,10	0,001
Residual Error	8	0,01718	0,01718	0,002147		
Total	14	0,25145				

4. *Unusual Observations for SN ratios*

   Tabel ini mengidentifikasi observasi yang tidak biasa atau *outlier* dalam data rasio S/N. Kolom "Observation" menunjukkan nomor observasi. Kolom "SN ratios" menampilkan nilai rasio S/N untuk observasi tersebut. Kolom "Fit" memberikan nilai prediksi rasio S/N berdasarkan model regresi. Kolom "SE Fit" adalah *standard error* dari nilai prediksi. Kolom "Residual" menunjukkan selisih antara nilai observasi dan nilai prediksi (Fit). Kolom "St Resid" atau *Standardized Residual* adalah residual yang telah distandarisasi. Nilai *standardized residual* yang melebihi nilai kritis tertentu menandakan observasi yang tidak biasa atau *outlier*. Dalam tabel ini, "R" pada kolom terakhir menunjukkan bahwa memiliki *standardized residual* yang besar, yang mengkonfirmasi bahwa observasi ini adalah *outlier*.

Tabel 4. 6 *Unusual Observations for SN ratios*

Observation	SN ratios	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
12	-3,721	-3,802	0,033	0,080	2,45	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

5. *Response Table for Signal to Noise Ratios*

   Tabel ini menyajikan ringkasan pengaruh level suhu dan waktu perebusan terhadap rasio S/N. Kolom "Level" menunjukkan tingkatan dari masing-masing faktor, yaitu suhu dan waktu. Kolom "Suhu" dan "Waktu" diisi dengan nilai rata-rata rasio S/N pada masing-masing tingkatan faktor. Baris "Delta" menunjukkan selisih antara nilai tertinggi dan terendah rasio S/N pada setiap faktor. Nilai delta yang lebih besar mengindikasikan pengaruh yang lebih besar dari faktor tersebut terhadap rasio S/N. Baris "Rank" menunjukkan peringkat faktor berdasarkan nilai delta.

Tabel 4. 7 *Response Table for Signal to Noise Ratios*

Level	Suhu	Waktu
1	-3,631	-3,593
2	-3,669	-3,699
3	-3,779	-3,816
4	-3,868	-3,792
Delta	0,237	0,223
Rank	1	2

6. *Response Table for Means*

Tabel ini menyajikan ringkasan pengaruh level suhu dan waktu perebusan terhadap nilai rata-rata respons. Kolom "Level" menunjukkan tingkatan dari masing-masing faktor, yaitu suhu dan waktu. Kolom "Suhu" dan "Waktu" diisi dengan nilai rata-rata respons pada masing-masing tingkatan faktor. Baris "Delta" menunjukkan selisih antara nilai tertinggi dan terendah respons pada setiap faktor. Nilai delta yang lebih besar mengindikasikan pengaruh yang lebih besar dari faktor tersebut terhadap respons. Baris "Rank" menunjukkan peringkat faktor berdasarkan nilai delta.

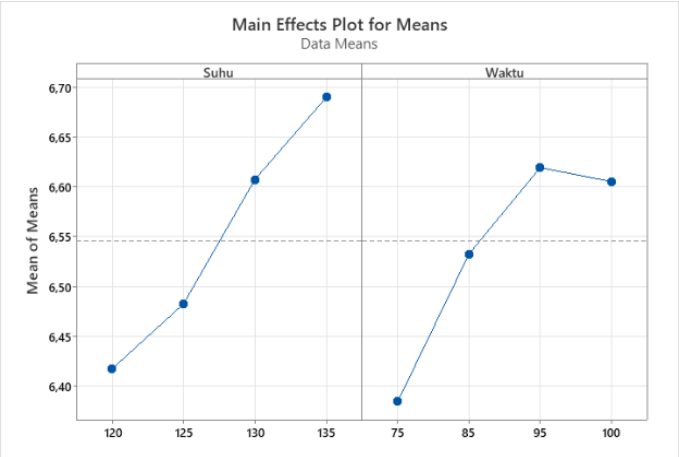
Tabel 4. 8 *Response Table for Means*

Level	Suhu	Waktu
1	6,417	6,384
2	6,482	6,532
3	6,607	6,619
4	6,690	6,605
Delta	0,273	0,235
Rank	1	2

7. *Main Effect Plot for Means*

Gambar ini memvisualisasikan pengaruh utama dari faktor suhu dan waktu perebusan terhadap respons rata-rata. Sumbu horizontal menunjukkan level dari masing-masing faktor, yaitu suhu pada level 120, 125, 130, dan 135, serta waktu pada level 75, 85, 95, dan 100. Sumbu vertikal menunjukkan nilai rata-rata respons pada setiap level faktor. Plot ini menampilkan garis yang menghubungkan titik-titik yang merepresentasikan rata-rata respons pada setiap level faktor, sehingga

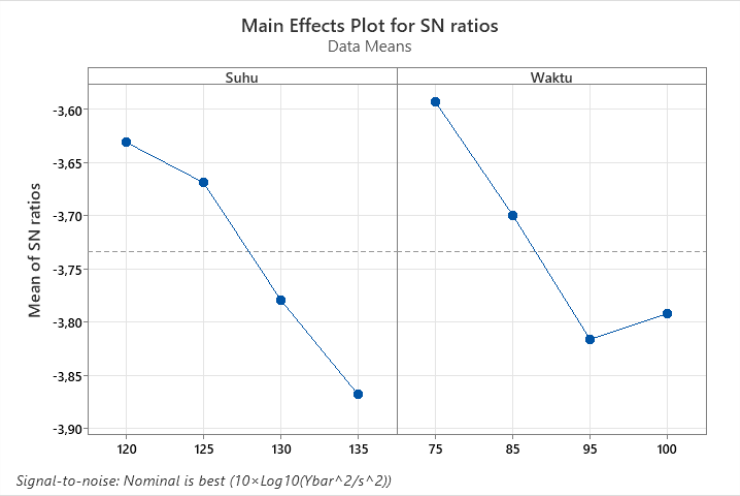
memudahkan untuk melihat tren atau pola pengaruh masing-masing faktor.



Gambar 4. 8 *Main Effect Plot for Means*

8. *Main Effect Plot for SN ratios*

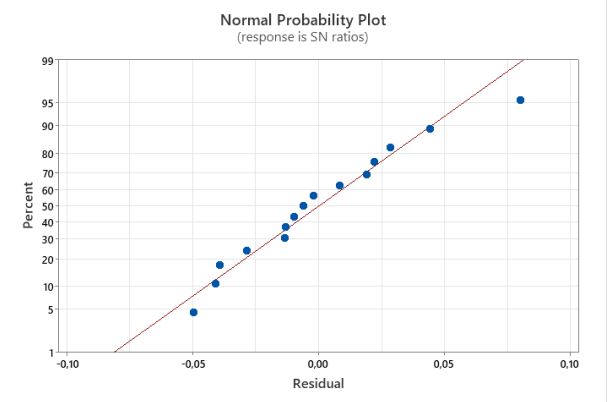
Gambar ini memvisualisasikan pengaruh utama suhu dan waktu perebusan terhadap *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio). Sumbu horizontal menunjukkan level faktor (suhu pada 120-135°C dan waktu pada 75-100 menit), dan sumbu vertikal menunjukkan rata-rata rasio S/N. Plot ini menyajikan garis yang menghubungkan titik rata-rata respons pada setiap level, memudahkan identifikasi tren atau pola pengaruh. Terlihat ada penurunan rasio S/N seiring kenaikan suhu, dan penurunan diikuti kenaikan pada waktu perebusan.



Gambar 4. 9 *Main Effect Plot for SN ratios*

9. *Normal Probability Plot*

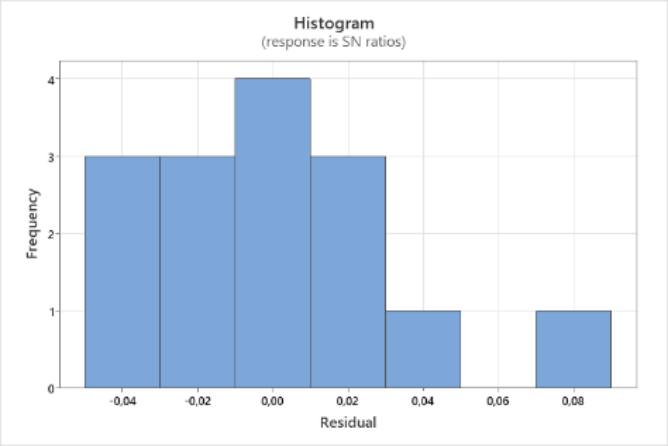
   Gambar ini digunakan untuk mengevaluasi asumsi normalitas dari data rasio S/N. Sumbu horizontal menunjukkan nilai residual, yaitu selisih antara nilai observasi dan nilai prediksi dari model regresi. Sumbu vertikal menunjukkan persentil teoritis dari distribusi normal. Jika data berdistribusi normal, titik-titik pada plot ini akan cenderung membentuk garis lurus diagonal. Pada gambar ini, titik-titik data mengikuti pola garis lurus dengan cukup baik, meskipun ada sedikit deviasi pada bagian ekor plot. Secara umum, plot ini memberikan indikasi visual bahwa asumsi normalitas data rasio S/N kemungkinan besar terpenuhi, meskipun perlu diingat bahwa interpretasi ini bersifat subjektif dan memerlukan pengujian statistik formal untuk konfirmasi.



Gambar 4. 10 *Normal Probability Plot*

10. Grafik Histogram

    Gambar ini adalah histogram residual, yang digunakan untuk mengevaluasi asumsi normalitas data. Sumbu horizontal atau sumbu x menunjukkan nilai residual, yaitu selisih antara nilai observasi dan nilai prediksi dari model regresi. Sumbu vertikal atau sumbu y menunjukkan frekuensi atau jumlah observasi pada setiap interval nilai residual. Histogram ini menyajikan visualisasi distribusi residual.



Gambar 4. 11 Histogram

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Interpretasi Hasil

5.1.1 Uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*)

Berdasarkan Hasil Uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*) menunjukkan bahwa suhu dan waktu perebusan memiliki pengaruh signifikan terhadap semua variabel dependen, yaitu rendemen, kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran. Hasil uji *Wilks' Lambda*, *Pillai's Trace*, *Hotelling's Trace*, dan *Roy's Largest Root* menunjukkan *p-value* kurang dari 0,05, mengonfirmasi bahwa setidaknya satu variabel independen memiliki pengaruh signifikan terhadap kombinasi variabel dependen.

Pengaruh ini tidak hanya bersifat individual, namun juga terdapat interaksi signifikan antara suhu dan waktu perebusan terhadap hampir semua variabel dependen. Untuk mengoptimalkan hasil dan kualitas minyak kelapa sawit, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap nilai rata-rata dari masing-masing variabel pada berbagai kombinasi suhu 120-135°C dan waktu 75-100 menit.

Data ini kemudian dibandingkan dengan rentang target yang ditetapkan rendemen 19-23%, FFA 4-5%, air 0,12-0,15%, dan kotoran 0,0009-0,02% untuk mengidentifikasi pola dan kombinasi ideal yang menghasilkan rendemen dan kualitas minyak sesuai standar yang diinginkan. Lalu data terdistribusi normal dan memiliki varians yang homogen antar kelompok perlakuan, sehingga ada perbedaan signifikan secara statistik antara berbagai kombinasi suhu dan waktu terhadap keempat parameter kualitas minyak sawit secara simultan atau sama. Hal ini sesuai dengan jurnal ketigabelas (Rahmawati et al., 2023) yang menjelaskan bahwa terdapat pengaruh antara variasi suhu dan waktu terhadap produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit.

Salah satu keterbatasan utama dari analisis MANOVA dalam penelitian ini adalah adanya pelanggaran asumsi homogenitas varians yang ditunjukkan oleh uji *Levene*. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas dalam data tidak seragam, yang dapat memengaruhi keakuratan hasil yang diperoleh. Selain itu, meskipun

MANOVA dapat menganalisis pengaruh faktor secara simultan, metode ini tidak dapat memberikan informasi spesifik mengenai titik optimal dari parameter yang diuji, sehingga perlu dikombinasikan dengan metode optimasi lain seperti Taguchi atau RSM untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa suhu memiliki dampak yang lebih dominan terhadap kualitas dan produktivitas dibandingkan waktu perebusan. Peningkatan suhu cenderung meningkatkan rendemen minyak, tetapi jika melewati ambang optimal, dapat menyebabkan peningkatan kadar FFA. Waktu perebusan memiliki efek yang lebih moderat, di mana peningkatan durasi yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi kualitas minyak akibat reaksi oksidasi yang lebih lama.

Secara keseluruhan, temuan dari penelitian ini memiliki arti penting dalam pengelolaan proses perebusan di pabrik kelapa sawit. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana suhu dan waktu perebusan mempengaruhi hasil produksi, industri kelapa sawit dapat menerapkan parameter yang lebih optimal untuk meningkatkan efisiensi dan menjaga kualitas minyak. Namun, untuk memastikan bahwa hasil penelitian ini dapat diterapkan secara luas, diperlukan penelitian lebih lanjut yang mencakup variasi bahan baku, faktor lingkungan, dan pengaruh tekanan dalam sterilizer sebagai variabel tambahan yang dapat memengaruhi hasil akhir.

Hasil penelitian ini juga memberikan dasar bagi penelitian selanjutnya untuk mengeksplorasi metode optimasi lain yang lebih kompleks, seperti kombinasi MANOVA dengan pendekatan *machine learning* untuk memprediksi hasil produksi dengan lebih akurat.

5.1.2 Uji Eksperimen Taguchi

Tabel *Estimated Model Coefficients for SN ratios* menyajikan informasi terkait pengaruh suhu dan waktu terhadap *Signal-to-Noise Ratio* (S/N). Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa suhu 120 dan 125, serta waktu 75 dan 95 memiliki pengaruh signifikan terhadap S/N ($p < 0.05$). Suhu 120 dan 125 memberikan kontribusi positif terhadap S/N, dengan suhu 120 memberikan pengaruh yang lebih besar. Waktu 75 juga meningkatkan S/N, sementara waktu 95

menurunkannya. Menariknya, suhu 130 dan 135 tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap S/N. Meskipun beberapa variabel signifikan, besaran koefisien regresi relatif kecil, sehingga perlu dipertimbangkan apakah perubahan S/N akibat perubahan suhu dan waktu tersebut cukup berarti secara praktis. Model regresi ini memiliki keterbatasan karena hanya mempertimbangkan pengaruh linear antara variabel bebas dan S/N.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Taguchi, suhu dan waktu perebusan memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit yang dihasilkan. Dari kombinasi variasi suhu dan waktu yang diuji, ditemukan bahwa suhu 120°C dan waktu perebusan 75 menit merupakan kombinasi optimal yang memberikan rendemen minyak tertinggi serta kualitas minyak yang lebih baik. Analisis rasio sinyal terhadap noise (SN ratios) menunjukkan bahwa suhu memiliki dampak lebih besar dibandingkan waktu perebusan dalam meningkatkan rendemen minyak.

Suhu 120°C cukup tinggi untuk mematikan enzim *lipase* dan membantu pemisahan minyak, namun tidak sampai menyebabkan kerusakan termal. Hal ini sesuai dengan jurnal ketiga (Ndukwu et al., 2024) yang menjelaskan bahwa suhu uap bervariasi antara 100°C hingga 130°C yang optimal. Sedangkan waktu 75 menit pun memadai untuk proses pemecahan emulsi minyak dan air. Sesuai dengan hasil jurnal keduabelas (Masruroh & Mardesci, 2021) yang menjelaskan perebusan dilakukan selama 60–90 menit. Hasil ini diperkuat dengan analisis rasio sinyal terhadap *noise*, di mana suhu terbukti lebih berpengaruh dalam peningkatan rendemen. Meskipun demikian, diperlukan data kuantitatif lebih lanjut untuk memastikan bahwa kombinasi ini menghasilkan rendemen (19-23%) dan kualitas minyak (FFA 4-5%, kadar air 0,12-0,15%, kotoran 0,0009-0,02%) yang sesuai standar. Perlu desain eksperimen yang robust terhadap variasi faktor-faktor lain yang tidak terkendali atau diluar variabel yang digunakan.

Histogram residual yang dihasilkan dari analisis statistik menunjukkan bahwa distribusi residual cenderung normal, meskipun terdapat sedikit kecenderungan ke arah kanan. Hal ini menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan dalam metode Taguchi cukup baik dalam memprediksi pengaruh suhu dan waktu

perebusan terhadap hasil produksi minyak kelapa sawit. Namun, adanya beberapa outlier atau variabilitas yang tidak dapat dijelaskan oleh model menunjukkan kemungkinan adanya faktor lain yang belum dipertimbangkan dalam penelitian ini.

Selain itu, salah satu kelemahan metode Taguchi adalah keterbatasannya dalam menangani interaksi non-linear yang mungkin terjadi antara faktor suhu dan waktu perebusan. Model yang digunakan mengasumsikan hubungan linier antara faktor kontrol dan hasil yang diperoleh, sehingga variasi di luar rentang yang diuji tidak dapat diprediksi secara akurat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tambahan dengan metode lain seperti *Response Surface Methodology* (RSM) untuk memastikan bahwa kombinasi optimal yang diperoleh benar-benar memberikan hasil terbaik dalam kondisi produksi nyata.

5.2 Rancangan Solusi

Berdasarkan hasil analisis Manova dan Taguchi, terdapat masalah utama yang sama yaitu pada pemilihan suhu dan waktu perebusan yang optimal. Salah satu penyebab terjadinya hal tersebut adalah tidak adanya prosedur pengaturan mesin *sterilizer* untuk suhu dan waktu yang jelas untuk operator. Oleh karena itu, rancangan solusi pada permasalahan tersebut adalah membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk mesin *sterilizer*. Berikut merupakan rancangan SOP yang telah dibuat:

Tabel 5.1 Standar Operasional Prosedur (SOP)

<table>
<tr><td rowspan="2">PTPN4</td><td>Nomor Dokumen : PKS-SOP.01/2024</td></tr>
<tr><td>Mulai Berlaku : 8 Februari 2025</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Standar Operasional Prosedur
Pengaturan mesin sterilizer</td><td>Revisi :</td></tr>
<tr><td>Tanggal Revisi :</td></tr>
<tr><td>Halaman :</td></tr>
<tr><td colspan="2">1. Tujuan
Menjamin kualitas dan produktivitas CPO (Crude Palm Oil) dengan parameter suhu dan waktu perebusan optimal, sesuai hasil analisis MANOVA dan</td></tr>
</table>

Taguchi, yang menunjukkan kombinasi terbaik pada 120°C selama 75 menit untuk memperoleh rendemen tinggi dan kualitas minyak yang stabil.

2. Alat dan Bahan

a) Sterilizer dengan kontrol suhu otomatis
b) Alat ukur suhu dan tekanan
c) Timer perebusan
d) Tandan Buah Segar (TBS) berkualitas matang optimal

3. Unit Kerja Terkait

1) Bagian Produksi
2) Bagian Laboratorium Mutu
3) Bagian Operasional Boiler & Sterilizer

4. Dokumen yang Digunakan

1) Form Monitoring Suhu dan Waktu Perebusan
2) Laporan Analisis Kualitas CPO (kadar air, kadar kotoran, FFA)
3) Form Evaluasi Efisiensi Sterilizer
4) Laporan Produksi Harian

5. Prosedur Pelaksanaan

1) Persiapan
   a) Pastikan sterilizer dalam kondisi bersih dan siap pakai.
   b) Periksa kesiapan alat ukur suhu, timer, dan alat pendukung lainnya.
   c) Pastikan TBS dalam kondisi matang optimal untuk menjaga efisiensi ekstraksi minyak.
2) Pengaturan Suhu dan Waktu
   a) Atur suhu sterilizer pada 120°C sesuai hasil Taguchi.
   b) Setel waktu perebusan selama 75 menit, sesuai dengan kombinasi optimal yang menghasilkan kualitas terbaik.
3) Perebusan TBS
   a) Masukkan TBS ke dalam sterilizer dan pastikan semua bagian terkena uap panas secara merata.
   b) Pantau suhu dan tekanan secara berkala, pastikan tetap stabil pada parameter yang telah ditentukan.

c) Jika terjadi penyimpangan suhu atau waktu, segera lakukan penyesuaian dan catat dalam laporan monitoring.

4) Pengeluaran dan Pendinginan TBS
   a) Setelah 75 menit, keluarkan TBS dari sterilizer secara bertahap.
   b) Biarkan TBS mendingin pada suhu ruang sebelum masuk ke tahap ekstraksi minyak.
5) Pencatatan dan Evaluasi
   a) Catat hasil perebusan (suhu, waktu, tekanan) dalam Form Monitoring.
   b) Lakukan pengukuran kadar air, kadar kotoran, dan FFA pada CPO hasil ekstraksi.
   c) Evaluasi hasil secara berkala, jika terjadi fluktuasi kualitas atau produktivitas, lakukan penyesuaian dan analisis lanjutan.

6. Monitoring dan Perbaikan SOP

1) Pengukuran kualitas CPO dilakukan setiap batch untuk memastikan parameter tetap sesuai standar.
2) Revisi SOP dilakukan secara berkala, berdasarkan hasil evaluasi produksi dan rekomendasi dari analisis data terbaru.

Disposisi	Nama	Jabatan	Paraf
Dibuat Oleh			
Diperiksa Oleh			
Disetujui Oleh			

5.3 Limitasi Hasil Pembahasan

5.3.1 Uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*)

1. Implikasi Hasil Penelitian

   Temuan penelitian ini memiliki implikasi penting bagi industri kelapa sawit, khususnya dalam optimasi proses perebusan *sterilizer*. Variasi suhu dan waktu perebusan terbukti memengaruhi produktivitas dan kualitas minyak yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengaturan suhu dan waktu perebusan yang tepat perlu diperhatikan untuk mencapai hasil yang optimal. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa interaksi antara suhu dan waktu perebusan perlu dipertimbangkan.

2. Keterbatasan Penelitian

   Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, penelitian ini hanya dilakukan di satu PKS, yaitu PKS Sei Pagar PTPN IV Regional 3. Oleh karena itu, generalisasi hasil penelitian ke PKS lain perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, penelitian ini tidak memperhitungkan semua faktor yang mungkin memengaruhi produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit, seperti variasi jenis TBS dan kondisi mesin.

5.3.2 Uji Eksperimen Taguchi

1. Implikasi Hasil Penelitian

   Hasil analisis dapat memberikan informasi untuk mengoptimalkan proses perebusan di PKS Sei Pagar, meskipun optimasi tersebut mungkin tidak memperhitungkan faktor noise. Lalu menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut yang lebih komprehensif, dengan mempertimbangkan faktor noise dan variabel lain yang relevan. Dan membantu pengambil keputusan di PKS Sei Pagar dalam menentukan strategi untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas minyak goreng kelapa sawit.

2. Keterbatasan Penelitian

   Analisis ini hanya mempertimbangkan faktor suhu dan waktu, tanpa memperhitungkan faktor noise seperti variasi kualitas TBS dan kondisi sterilizer. Faktor noise dapat mempengaruhi variabilitas proses dan hasil akhir. Analisis ini menggunakan data yang terbatas, yaitu hanya 240 observasi. Data yang lebih banyak dapat meningkatkan keakuratan dan keandalan hasil analisis. Lalu rentang level faktor suhu dan waktu yang diuji mungkin tidak cukup luas untuk menangkap pengaruh non-linear atau interaksi antar faktor.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang menjawab rumusan masalah.

1. Hasil analisis MANOVA menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari suhu dan waktu perebusan terhadap produktivitas dan kualitas minyak kelapa sawit secara keseluruhan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai p-value (Sig.) yang kurang dari 0,05 pada tabel "*Multivariate Tests*" untuk efek suhu, waktu perebusan, dan interaksi antara suhu dan waktu perebusan. Artinya, variasi suhu dan waktu perebusan pada sterilizer menyebabkan perubahan yang signifikan pada setidaknya satu variabel dependen, yaitu rendemen, kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran. Lebih lanjut, tabel "*Tests of Between-Subjects Effects*" menunjukkan secara spesifik variabel dependen mana yang dipengaruhi oleh suhu, waktu perebusan, dan interaksi keduanya. Suhu perebusan berpengaruh signifikan terhadap rendemen, kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran. Waktu perebusan juga berpengaruh signifikan terhadap keempat variabel dependen tersebut.
2. Berdasarkan analisis metode Taguchi, suhu dan waktu perebusan yang optimal untuk menghasilkan kualitas dan produktivitas minyak kelapa sawit terbaik dapat ditentukan dari tabel respons untuk rasio sinyal terhadap noise (*SN ratios*) dan rata-rata. Suhu 120°C memiliki peringkat tertinggi dalam tabel respons SN ratios dan memiliki pengaruh terbesar dalam model linier dengan koefisien tertinggi (0,09484) serta nilai p yang signifikan (0,002). Dan waktu perebusan 75 menit memiliki peringkat tertinggi dalam tabel respons SN ratios dengan koefisien tertinggi (0,12934) serta nilai p yang signifikan (0,001). Kombinasi ini menghasilkan rasio S/N tertinggi, yang mengindikasikan kualitas minyak goreng yang lebih baik.
3. Rekomendasi SOP bagi PKS Sei Pagar untuk menghasilkan produk CPO (*Crude Palm Oil*) dengan kualitas dan produktivitas yang stabil berdasarkan hasil analisis MANOVA dan Taguchi yaitu Mesin *Sterilizer* harus dalam kondisi bersih, dan TBS yang digunakan harus matang optimal serta bebas kontaminasi. Suhu perebusan diatur pada 120°C dengan waktu 75 menit, kombinasi ini terbukti menghasilkan rendemen tinggi serta kualitas minyak yang stabil. Pemantauan suhu dan tekanan dilakukan secara berkala,

dengan penyesuaian jika terjadi perubahan signifikan. Setelah perebusan, TBS dikeluarkan bertahap dan didinginkan sebelum masuk ke tahap ekstraksi minyak. Pencatatan suhu, waktu, tekanan, serta hasil uji laboratorium (rendemen, kadar FFA, kadar air, dan kadar kotoran) dilakukan untuk memastikan standar kualitas. Evaluasi berkala juga diperlukan untuk meninjau efektivitas SOP dan melakukan perbaikan jika ditemukan ketidaksesuaian. Dengan menerapkan SOP ini, PKS Sei Pagar dapat meningkatkan efisiensi produksi, menjaga kualitas CPO, serta mengoptimalkan energi dan umur operasional peralatan pabrik.

6.2 Saran

Berikut merupakan saran berdasarkan hasil pembahan penelitian.

1. Berdasarkan keterbatasan penelitian ini, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mungkin berpengaruh, seperti jenis TBS, kondisi mesin, dan variabel proses lainnya. Penelitian juga disarankan untuk dilakukan di beberapa PKS dengan kondisi yang berbeda untuk memperoleh hasil yang lebih representatif.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor noise untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif dan representatif. Perlu dilakukan validasi terhadap kombinasi level faktor optimal yang telah diidentifikasi melalui eksperimen konfirmasi. Perlu dilakukan eksplorasi terhadap faktor-faktor lain yang mungkin berpengaruh terhadap kualitas minyak goreng, seperti jenis TBS, kondisi mesin, dan variabel proses lainnya. Perlu dilakukan optimasi terhadap proses produksi minyak goreng secara keseluruhan untuk mencapai kualitas dan efisiensi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Abiba, N., Firmansyah, R. D., & Wulandari, S. P. (2024). ANALISIS PENGARUH JENIS CUACA TERHADAP TEMPERATUR DAN KECEPATAN ANGIN MENGGUNAKAN METODE MANOVA. *Jurnal Multidisiplin Saintek*, *4*(10), 1–18. https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365

Adlie, T. A., Nadya, Y., Zeki, M., & Zahrani, A. (2023). Penerapan Metode Taguchi untuk Meminimumkan Biaya Kerugian Kualitas Crude Palm Oil. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Insudtri (SENASTI)*, 304–313.

Ahmad, M. N., Ishak, M. R., Mohammad Taha, M., Mustapha, F., Leman, Z., Anak Lukista, D. D., Irianto, & Ghazali, I. (2022). Application of Taguchi Method to Optimize the Parameter of Fused Deposition Modeling (FDM) Using Oil Palm Fiber Reinforced Thermoplastic Composites. *Polymers*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/polym14112140

Alaba, E. S., Kazeem, R. A., Adebayo, A. S., Petinrin, M. O., Ikumapayi, O. M., Jen, T. C., & Akinlabi, E. T. (2023). Evaluation of palm kernel oil as cutting lubricant in turning AISI 1039 steel using Taguchi-grey relational analysis optimization technique. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, *6*. https://doi.org/10.1016/j.aime.2023.100115

Ayu, P. D. (2020). *Produktivitas biasanya diukur melalui rendemen, yaitu persentase minyak yang diperoleh dari total berat TBS yang diolah. Rendemen dihitung dengan membandingkan berat minyak yang dihasilkan dengan berat TBS yang diproses, kemudian dikalikan dengan 100 pers*.

Benu, S. M., Pulungan, M. A., & Siahaan, S. (2024). Analisis Kebutuhan Uap Pada Perebusan Kelapa Sawit Sistem Tiga Puncak (Triple Peak) Sterilizer Kapasitas 40 Ton/Unit. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *5*(1), 136–141. https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v5i1.1548

Halimah, P., & Ekawati, Y. (2020). Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang. *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, *13*(1). https://doi.org/10.30813/jiems.v13i1.1694

Handayani, P. (2022). Analisis Pengendlaian Kualitas pada Proses Perebusan Kelapa Sawit dengan Menggunkan Metide QCC (Quality Control Circle) di PT. Mitra Agung Sawita Sejati. *Universitas Medan Area*, 46–54. https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/19370

Haniza, Sutrisno, Andre Hasudungan Lubis, S. A. (2022). PENERAPAN APLIKASI METODE TAGUCHI UNTUK ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI CRUDE SAWIT. *Jurnal Elektro Dan Telkomunikasi*, *8*, 1–12.

Kasmin, N. H., Zubairi, S. I., Lazim, A. M., & Awang, R. (2020). Thermal treatments on the oil palm fruits: Response surface optimization and microstructure study. *Sains Malaysiana*, *49*(9). https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4909-27

Kurniawan, E. (2021). Analisa Mutu Minyak Crude Palm Oil dengan Metode Taguchi Di PT. Varem Sawit Cemerlang. *Energy & Engineering Conference Series*, *4*(1). https://doi.org/10.32734/ee.v4i1.1285

Masruroh, L., & Mardesci, H. (2021). PROSES PEREBUSAN TBS KELAPA SAWIT PADA

STASIUN STERILIZER (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *JURNAL TEKNOLOGI PERTANIAN*, *10*(1). https://doi.org/10.32520/jtp.v10i1.1282

Mohd Yusof, M. A. Bin, Chan, Y. J., Chong, C. H., & Chew, C. L. (2023). Effects of operational processes and equipment in palm oil mills on characteristics of raw Palm Oil Mill Effluent (POME): A comparative study of four mills. *Cleaner Waste Systems*, *5*. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100101

Muid, A., Dahda, S. S., & Ismiyah, E. (2021). PENERAPAN METODE TAGUCHI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PRODUK UKM MAKANAN KHAS SIDAYU BONGGOLAN. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, *1*(2). https://doi.org/10.30587/justicb.v1i2.2610

Ndukwu, M. C., Ibeh, M. I., Akpan, G. E., Usoh, G. A., Akuwueke, L., Oriaku, L., Nkuma, C. M., & Abam, F. (2024). Influence of loading on the heat transfer rate and specific water consumption of detached loosed fresh palm fruits during vertical mini-batch sterilization. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, *May*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2024.05.001

Nugraha, I., & Priyambada, G. S. (2023). Pengaruh Lama Waktu Penaikan Setiap Puncak Kehilangan Minyak(Oil Losses) pada Air Rebusan di PKS AdolinaSumatera Utara. *Agroforetech*, *1*(September), 2040–2050.

Pakdeechot, S., Hanifarianty, S., & Wae-hayee, M. (2021). Effects of Sterilization Times of Palm Bunches on Fruit-Bunch Separation, Crude Palm Oil Yield and Quality Using Direct Steaming. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *82*(2). https://doi.org/10.37934/arfmts.82.2.3946

Purwanto, H., & P.Rangkuti, I. U. (2020). Pengukuran kuantitas uap masuk rebusan secara tidak langsung menggunakan grafik ROTOTHERM INDIRECT. *Agro Febrica : Teknik Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit Dan Karet*, *2*(2), 58–65. https: //ejurnal.stipap.ac.id/index.php/JAF

Putri, A. S., & Sari, D. A. (2023). *Analysis of heat loss in wall insulators and sterilizer door covers in palm oil processing factories Analysis of heat loss in wall insulators and sterilizer door covers in palm oil processing factories*. *12*(September), 82–91.

Ragab, T. I. M., Alminderej, F. M., El-Sayed, W. A., Saleh, S. M., & Shalaby, A. S. G. (2021). Enhanced optimization of bioethanol production from palm waste using the taguchi method. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(24). https://doi.org/10.3390/su132413660

Rahim, E. (2021). *Praktikum Pengelolaan Tanaman Industri*.

Rahmawati, A., Putranto, K., Hendrawan, H., & Wahyudin, E. (2023). Pengaruh Jangka Waktu Perebusan terhadap Rendemen dan Beberapa Karakteristik Minyak Kelapa Sawit. *AGRITEKH (Jurnal Agribisnis Dan Teknologi Pangan)*, *3*(2). https://doi.org/10.32627/agritekh.v3i2.647

Ramadhani, E., Giyanto, G., & Purwanto, H. (2022). PENGARUH APLIKASI ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT PADA TANDAN BUAH SEGAR TERHADAP KUALITAS MUTU CPO (CRUDE PALM OIL). *Jurnal Agro Fabrica*, *4*(1). https://doi.org/10.47199/jaf.v4i1.181

Rizal, S., Abdullah, C. K., Olaiya, N. G., Aprilia, N. A. S., Zein, I., Surya, I., & Khalil, H. P. S. A. (2020). Preparation of palm oil ash nanoparticles: Taguchi optimization method by

particle size distribution and morphological studies. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(3). https://doi.org/10.3390/app10030985

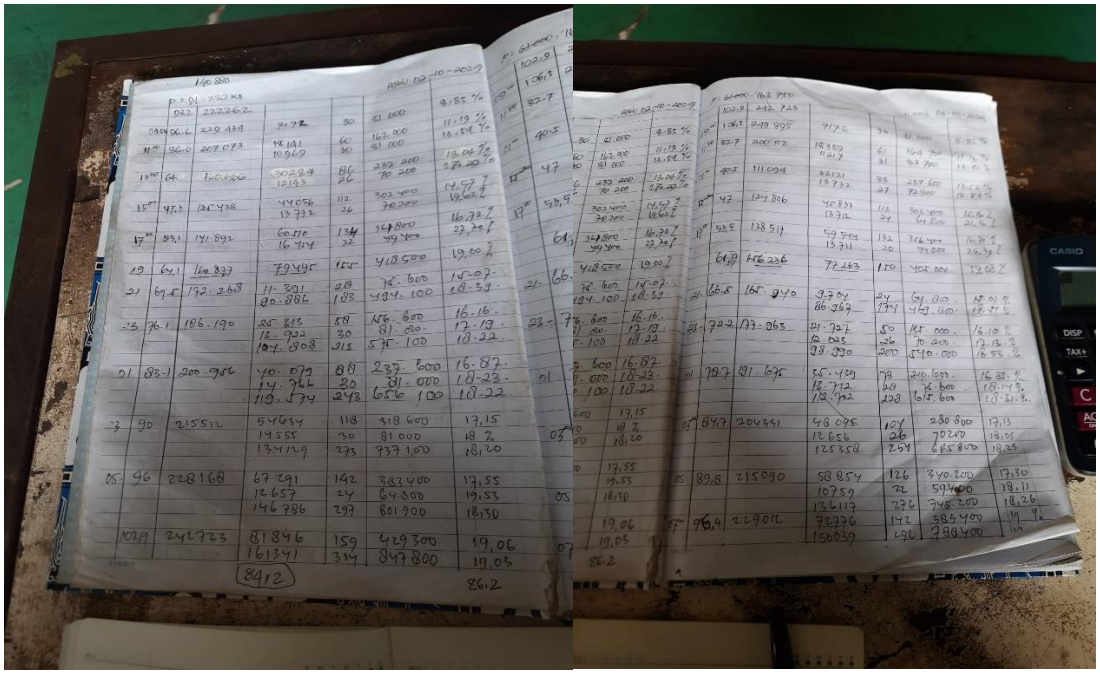
Siahaan, D., & Manurung, A. I. (2021). Evaluasi tandan buah segar dan hasil minyak sawit rakyat di provinsi Sumatera Utara, Jambi, Kalimantan Utara dan Sulawesi Tenggara. *Jurnal Penelitian Bidang Ilmu Pertanian*, *19*(1).

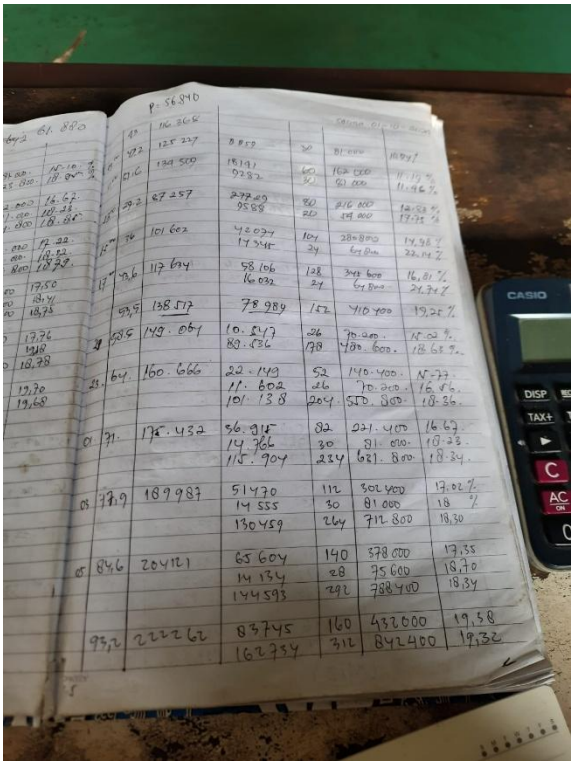
Susanto, D. A. (2020). DAYA SAING EKSPOR PRODUK CPO INDONESIA DAN POTENSI HILIRISASI DIOLAH MENJADI BIODIESEL. *JURNAL PERSPEKTIF BEA DAN CUKAI*, *4*(2). https://doi.org/10.31092/jpbc.v4i2.952

Thang, Y. M., Yunus, R., Mokhtar, M. N., Appleton, D. R., Asis, A. J., Kong, P. S., Teh, H. F., & Ariffin, A. A. (2021). Roles and principles of sterilisation process in palm oil mills. In *Pertanika Journal of Science and Technology* (Vol. 29, Issue 4). https://doi.org/10.47836/PJST.29.4.26

LAMPIRAN

A-1 Proses Pengambilan Data Kualitas dan Produktivitas





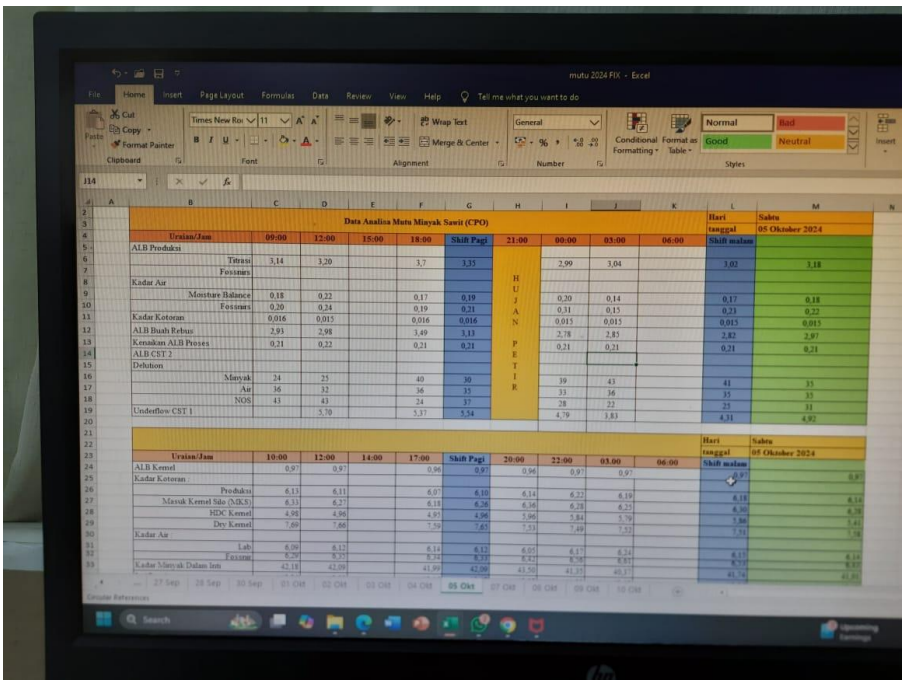
A-2 Proses Pengecekan di Mesin *Sterilizer*





A-3 Proses Pengambilan Data Komputer





Data Analisa Mutu Minyak Sawit (CPO)

Uraian/Jam	09:00	12:00	15:00	18:00	Shift Pagi	21:00	00:00	03:00	06:00	Hari	Sabtu
										tanggal	05 Oktober 2024
ALB Produksi										Shift malam	
Titrasi	3,14	3,20		3,7	3,35		2,99	3,04		3,02	3,18
Fossmas											
Kadar Air											
Moisture Balance	0,18	0,22		0,17	0,19		0,20	0,14		0,17	0,18
Fossmas	0,20	0,24		0,19	0,21		0,31	0,15		0,23	0,22
Kadar Kotoran	0,016	0,015		0,016	0,016		0,015	0,015		0,015	0,015
ALB Buah Rebus	2,93	2,98		3,49	3,13		2,78	2,85		2,82	2,97
Kenaikan ALB Proses	0,21	0,22		0,21	0,21		0,21	0,21		0,21	0,21
ALB CST 2											
Dehution											
Minyak	34	25		40	30		39	43		41	35
Air	36	32		36	35		33	36		35	35
NOS	43	43		24	37		28	22		25	31
Underflow CST 1		5,70		5,37	5,54		4,79	3,83		4,31	4,92

HUJAN PETIR

Uraian/Jam	10:00	12:00	14:00	17:00	Shift Pagi	20:00	22:00	03.00	06:00	Hari	Sabtu
										tanggal	05 Oktober 2024
ALB Kernel	0,97	0,97		0,96	0,97	0,96	0,97	0,97		Shift malam	
Kadar Kotoran										0,97	0,97
Produksi	6,13	6,11		6,07	6,10	6,14	6,22	6,19		6,18	6,14
Masuk Kernel Silo (MKS)	6,33	6,27		6,18	6,26	6,36	6,28	6,25		6,30	6,28
HDC Kernel	4,98	4,96		4,93	4,96	5,06	5,04	5,79		5,86	5,41
Dry Kernel	7,69	7,66		7,59	7,65	7,53	7,49	7,52		7,51	7,58
Kadar Air											
Lab	6,09	6,12		6,14	6,12	6,05	6,17	6,24		6,15	6,16
Fossmas	6,29	6,23		6,24	6,27	6,27	6,26	6,27		6,27	6,27
Kadar Minyak Dalam Inti	42,18	42,09		41,99	42,09	43,50	41,35	40,17		41,76	41,80

B-1 Data dari Komputer Pabrik

Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Rendemen (%)	Kadar FFA (%)	Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)
130	95	22,04	4,6	0,131	0,0107
135	85	21,85	4,75	0,127	0,0099
120	85	20,55	4,87	0,1453	0,0214
130	100	21,26	4,82	0,1256	0,0059
130	85	21,39	4,76	0,1356	0,0103
135	85	22,18	4,51	0,1333	0,0083
120	85	21,24	4,79	0,1529	0,0128
120	100	20,99	4,8	0,1313	0,0114
130	85	21,1	4,68	0,1457	0,0105
125	95	21,25	4,77	0,1252	0,0118
130	100	22,71	4,6	0,1267	0,0082
130	95	22,16	4,59	0,1329	0,0128
130	100	21,99	4,47	0,1289	0,0094
130	85	21,76	4,55	0,1319	0,0108
135	95	22,55	4,46	0,124	0,0047
120	100	21,73	4,84	0,135	0,0135
135	75	21,15	4,72	0,1321	0,0099
135	85	21,84	4,48	0,1342	0,0132
135	100	22,55	4,47	0,1243	0,0074
130	75	20,27	4,84	0,1365	0,0141
125	100	21,9	4,56	0,137	0,0066
120	75	20,13	5,02	0,1515	0,0227
125	85	21	4,81	0,1441	0,0143
135	95	22,38	4,39	0,1281	0,009
135	75	20,79	4,74	0,1309	0,0093
125	100	21,54	4,71	0,1297	0,0088
125	85	20,83	4,91	0,1437	0,0145
125	75	20,1	5,01	0,1481	0,0176
135	100	22,67	4,31	0,1224	0,0041
135	100	22,95	4,36	0,1231	0,0062
120	100	22,19	4,8	0,1439	0,0104
120	75	20,09	5,05	0,147	0,0197
135	75	21,63	4,75	0,1377	0,0127
125	75	20,46	5,29	0,144	0,0185
125	95	20,54	4,76	0,1339	0,0129
120	75	19,99	5,11	0,1555	0,0178
135	75	21,53	4,8	0,1391	0,0094
120	75	21,23	5,07	0,1541	0,0226
120	95	20,9	4,77	0,1465	0,0147
130	75	21,15	4,88	0,1401	0,0135
130	100	22,23	4,47	0,1309	0,0106

Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Rendemen (%)	Kadar FFA (%)	Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)
130	75	20,42	4,78	0,1384	0,0152
125	100	22,32	4,6	0,1341	0,0124
135	100	23,13	4,46	0,1218	0,0051
135	100	23,15	4,68	0,123	0,0091
135	95	22,05	4,31	0,128	0,01
135	95	23,2	4,57	0,1209	0,006
130	95	21,3	4,44	0,1405	0,0109
125	75	20,79	4,85	0,14	0,0188
125	100	22,85	4,76	0,1264	0,0127
130	95	21,5	4,61	0,1358	0,0071
125	95	21,22	4,59	0,139	0,0129
130	75	21,05	4,73	0,1431	0,0171
135	95	22,25	4,57	0,1281	0,003
130	75	20,22	4,73	0,1399	0,0126
135	85	22,03	4,62	0,1255	0,0054
135	95	21,97	4,5	0,1254	0,006
120	85	20,74	4,83	0,1416	0,0184
130	75	20,54	5,01	0,1449	0,018
120	100	22,02	4,81	0,1368	0,0126
130	95	21,61	4,4	0,1259	0,0123
130	75	20,84	4,82	0,1384	0,0122
120	100	21,66	4,68	0,1396	0,0091
120	100	20,63	4,84	0,1347	0,0124
130	85	21,61	4,62	0,1309	0,0128
125	75	21,15	4,89	0,1462	0,0174
135	100	21,95	4,5	0,1237	0,0009
120	95	21,09	4,89	0,1375	0,0138
135	95	22,63	4,38	0,1226	0,0039
125	85	21,39	4,77	0,1412	0,0158
125	100	21,13	4,6	0,1253	0,0107
125	75	19,84	4,83	0,138	0,0156
120	95	21,26	4,98	0,1364	0,013
125	100	21,9	4,69	0,1314	0,0079
120	100	21,38	4,62	0,1391	0,0124
125	85	21,17	4,89	0,1474	0,0164
135	95	22,16	4,71	0,1293	0,0045
135	95	22,62	4,6	0,1242	0,0075
130	75	21,15	4,65	0,1399	0,0139
135	95	22,14	4,45	0,12	0,0049
130	75	21,93	4,93	0,1399	0,0148
135	95	22,74	4,43	0,1236	0,0044
120	85	19,9	4,94	0,1466	0,0159
135	95	22,83	4,58	0,1209	0,0041

Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Rendemen (%)	Kadar FFA (%)	Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)
130	75	20,51	4,71	0,1426	0,0189
130	75	21,39	4,79	0,1477	0,0151
125	85	21,58	4,48	0,1395	0,0131
120	95	20,59	4,7	0,142	0,0144
135	95	22,98	4,47	0,1285	0,0063
125	85	21,21	4,68	0,138	0,0141
135	95	22,91	4,66	0,1261	0,0077
135	95	23,45	4,36	0,1251	0,008
125	75	20,38	4,86	0,1455	0,0164
125	95	21,12	4,71	0,1311	0,0103
125	95	21,06	4,84	0,1351	0,0109
125	85	20,59	4,66	0,1425	0,0099
125	85	20,96	4,92	0,1473	0,0115
135	100	22,92	4,45	0,1273	0,0077
125	75	20,64	4,8	0,1558	0,0208
120	95	21,41	4,85	0,1362	0,0135
130	95	22,04	4,6	0,131	0,0107
135	85	21,85	4,75	0,127	0,0099
120	85	20,55	4,87	0,1453	0,0214
130	100	21,26	4,82	0,1256	0,0059
130	85	21,39	4,76	0,1356	0,0103
135	85	22,18	4,51	0,1333	0,0083
120	85	21,24	4,79	0,1529	0,0128
120	100	20,99	4,8	0,1313	0,0114
130	85	21,1	4,68	0,1457	0,0105
125	95	21,25	4,77	0,1252	0,0118
130	100	22,71	4,6	0,1267	0,0082
130	95	22,16	4,59	0,1329	0,0128
130	100	21,99	4,47	0,1289	0,0094
130	85	21,76	4,55	0,1319	0,0108
135	95	22,55	4,46	0,124	0,0047
120	100	21,73	4,84	0,135	0,0135
135	75	21,15	4,72	0,1321	0,0099
135	85	21,84	4,48	0,1342	0,0132
135	100	22,55	4,47	0,1243	0,0074
130	75	20,27	4,84	0,1365	0,0141
125	100	21,9	4,56	0,137	0,0066
120	75	20,13	5,02	0,1515	0,0227
125	85	21	4,81	0,1441	0,0143
135	95	22,38	4,39	0,1281	0,009
135	75	20,79	4,74	0,1309	0,0093
125	100	21,54	4,71	0,1297	0,0088
125	85	20,83	4,91	0,1437	0,0145

Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Rendemen (%)	Kadar FFA (%)	Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)
125	75	20,1	5,01	0,1481	0,0176
135	100	22,67	4,31	0,1224	0,0041
135	100	22,95	4,36	0,1231	0,0062
120	100	22,19	4,8	0,1439	0,0104
120	75	20,09	5,05	0,147	0,0197
135	75	21,63	4,75	0,1377	0,0127
125	75	20,46	5,29	0,144	0,0185
125	95	20,54	4,76	0,1339	0,0129
120	75	19,99	5,11	0,1555	0,0178
135	75	21,53	4,8	0,1391	0,0094
120	75	21,23	5,07	0,1541	0,0226
120	95	20,9	4,77	0,1465	0,0147
130	75	21,15	4,88	0,1401	0,0135
130	100	22,23	4,47	0,1309	0,0106
130	75	20,42	4,78	0,1384	0,0152
125	100	22,32	4,6	0,1341	0,0124
135	100	23,13	4,46	0,1218	0,0051
135	100	23,15	4,68	0,123	0,0091
135	95	22,05	4,31	0,128	0,01
135	95	23,2	4,57	0,1209	0,006
130	95	21,3	4,44	0,1405	0,0109
125	75	20,79	4,85	0,14	0,0188
125	100	22,85	4,76	0,1264	0,0127
130	95	21,5	4,61	0,1358	0,0071
125	95	21,22	4,59	0,139	0,0129
130	75	21,05	4,73	0,1431	0,0171
135	95	22,25	4,57	0,1281	0,003
130	75	20,22	4,73	0,1399	0,0126
135	85	22,03	4,62	0,1255	0,0054
135	95	21,97	4,5	0,1254	0,006
120	85	20,74	4,83	0,1416	0,0184
130	75	20,54	5,01	0,1449	0,018
120	100	22,02	4,81	0,1368	0,0126
130	95	21,61	4,4	0,1259	0,0123
130	75	20,84	4,82	0,1384	0,0122
120	100	21,66	4,68	0,1396	0,0091
120	100	20,63	4,84	0,1347	0,0124
130	85	21,61	4,62	0,1309	0,0128
125	75	21,15	4,89	0,1462	0,0174
135	100	21,95	4,5	0,1237	0,0009
120	95	21,09	4,89	0,1375	0,0138
135	95	22,63	4,38	0,1226	0,0039
125	85	21,39	4,77	0,1412	0,0158

Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Rendemen (%)	Kadar FFA (%)	Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)
125	100	21,13	4,6	0,1253	0,0107
125	75	19,84	4,83	0,138	0,0156
120	95	21,26	4,98	0,1364	0,013
125	100	21,9	4,69	0,1314	0,0079
120	100	21,38	4,62	0,1391	0,0124
125	85	21,17	4,89	0,1474	0,0164
135	95	22,16	4,71	0,1293	0,0045
135	95	22,62	4,6	0,1242	0,0075
130	75	21,15	4,65	0,1399	0,0139
135	95	22,14	4,45	0,12	0,0049
130	75	21,93	4,93	0,1399	0,0148
135	95	22,74	4,43	0,1236	0,0044
120	85	19,9	4,94	0,1466	0,0159
135	95	22,83	4,58	0,1209	0,0041
130	75	20,51	4,71	0,1426	0,0189
130	75	21,39	4,79	0,1477	0,0151
125	85	21,58	4,48	0,1395	0,0131
120	95	20,59	4,7	0,142	0,0144
135	95	22,98	4,47	0,1285	0,0063
125	85	21,21	4,68	0,138	0,0141
135	95	22,91	4,66	0,1261	0,0077
135	95	23,45	4,36	0,1251	0,008
125	75	20,38	4,86	0,1455	0,0164
125	95	21,12	4,71	0,1311	0,0103
125	95	21,06	4,84	0,1351	0,0109
125	85	20,59	4,66	0,1425	0,0099
125	85	20,96	4,92	0,1473	0,0115
135	100	22,92	4,45	0,1273	0,0077
125	75	20,64	4,8	0,1558	0,0208
120	95	21,41	4,85	0,1362	0,0135
130	95	22,04	4,6	0,131	0,0107
135	85	21,85	4,75	0,127	0,0099
120	85	20,55	4,87	0,1453	0,0214
130	100	21,26	4,82	0,1256	0,0059
130	85	21,39	4,76	0,1356	0,0103
135	85	22,18	4,51	0,1333	0,0083
120	85	21,24	4,79	0,1529	0,0128
120	100	20,99	4,8	0,1313	0,0114
130	85	21,1	4,68	0,1457	0,0105
125	95	21,25	4,77	0,1252	0,0118
130	100	22,71	4,6	0,1267	0,0082
130	95	22,16	4,59	0,1329	0,0128
130	100	21,99	4,47	0,1289	0,0094

Suhu (°C)	Waktu (Menit)	Rendemen (%)	Kadar FFA (%)	Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)
130	85	21,76	4,55	0,1319	0,0108
135	95	22,55	4,46	0,124	0,0047
120	100	21,73	4,84	0,135	0,0135
135	75	21,15	4,72	0,1321	0,0099
135	85	21,84	4,48	0,1342	0,0132
135	100	22,55	4,47	0,1243	0,0074
130	75	20,27	4,84	0,1365	0,0141
125	100	21,9	4,56	0,137	0,0066
120	75	20,13	5,02	0,1515	0,0227
125	85	21	4,81	0,1441	0,0143
135	95	22,38	4,39	0,1281	0,009
135	75	20,79	4,74	0,1309	0,0093
125	100	21,54	4,71	0,1297	0,0088
125	85	20,83	4,91	0,1437	0,0145
125	75	20,1	5,01	0,1481	0,0176
135	100	22,67	4,31	0,1224	0,0041
135	100	22,95	4,36	0,1231	0,0062
120	100	22,19	4,8	0,1439	0,0104
120	75	20,09	5,05	0,147	0,0197
135	75	21,63	4,75	0,1377	0,0127
125	75	20,46	5,29	0,144	0,0185
125	95	20,54	4,76	0,1339	0,0129
120	75	19,99	5,11	0,1555	0,0178
135	75	21,53	4,8	0,1391	0,0094
120	75	21,23	5,07	0,1541	0,0226
120	95	20,9	4,77	0,1465	0,0147
130	75	21,15	4,88	0,1401	0,0135