



Contents lists available at [JESA](https://jesa.aks.or.id/index.php/jesa/index)

Journal of Engineering and Science Application

journal homepage: <https://jesa.aks.or.id/index.php/jesa/index>



Analisis Pengendalian Mutu Crude Palm Oil (CPO) pada Proses Screw Press Menggunakan Metode Six-Sigma di PTPN IV PKS Pagar Merbau

Muhammad Rizki Sofyan, Siti Rahmah Sibuea, Suliawati

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, Indonesia
Rizkyabdi2004@gmail.com, rahmahsibuea67@gmail.com, suliawati1964@gmail.com

Article Info

Keywords:

Crude Palm Oil (CPO),
Pengendalian Mutu, Six
Sigma, DMAIC, Screw Press

ABSTRACT

Kualitas *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan faktor penting dalam menentukan daya saing dan nilai jual produk di pasar nasional maupun internasional. Parameter mutu utama CPO yang harus dikendalikan meliputi kadar Asam Lemak Bebas (ALB), kadar air, dan kadar kotoran. Penyimpangan nilai parameter tersebut dari standar yang ditetapkan dapat menyebabkan penurunan kualitas produk dan kerugian bagi perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengendalian mutu CPO pada proses produksi di PTPN IV Regional II PKS Pagar Merbau dengan menggunakan metode Six Sigma melalui pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*), dengan fokus pada stasiun *screw press* sebagai titik kritis proses. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder mutu CPO harian selama periode pengamatan, meliputi parameter ALB, kadar air, dan kadar kotoran. Pada tahap *Measure* dilakukan perhitungan nilai rata-rata, variasi proses, serta analisis peta kendali *Individuals-Moving Range* (I-MR Chart) untuk mengetahui kestabilan proses produksi. Tahap *Analyze* dilakukan dengan menggunakan diagram Pareto dan diagram sebab-akibat (*fishbone diagram*) untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan penyebab terjadinya penyimpangan mutu. Selanjutnya, tahap *Improve* menghasilkan usulan perbaikan yang berfokus pada pengaturan mesin *screw press*, metode kerja, dan pengendalian proses. Tahap *Control* dilakukan dengan penerapan peta kendali sebagai alat monitoring berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Six Sigma dengan peta kendali I-MR Chart mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai kestabilan proses dan variasi mutu CPO. Pengendalian mutu berbasis Six Sigma dapat digunakan sebagai pendekatan yang efektif dan sistematis dalam upaya menjaga dan meningkatkan kualitas CPO di PTPN IV Regional II PKS Pagar Merbau.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Muhammad Rizki Sofyan
Program Studi Teknik Industri
Universitas Islam Sumatera Utara
Jl. Sisingamangaraja, Teladan, Kecamatan Medan Kota, Kota Medan, Sumatera Utara
Email: Rizkyabdi2004@gmail.com

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu produsen utama *Crude Palm Oil* (CPO) di dunia, sehingga kualitas produk menjadi faktor penting dalam menentukan daya saing di pasar nasional maupun internasional. Kualitas CPO sangat dipengaruhi oleh kemampuan perusahaan dalam mengendalikan proses produksi agar

tetap berada dalam batas standar yang telah ditetapkan. Parameter utama yang menjadi indikator kualitas CPO meliputi kadar Asam Lemak Bebas (ALB), kadar air, dan kadar kotoran. Ketiga parameter tersebut merupakan karakteristik kritis yang harus dijaga agar tidak melebihi batas spesifikasi, karena penyimpangan dapat menyebabkan penurunan kualitas serta kerugian ekonomi bagi perusahaan.

Dalam proses pengolahan CPO, salah satu tahapan yang memiliki peran penting terhadap kualitas produk adalah proses pemerasan pada stasiun screw press. Proses ini berfungsi untuk memisahkan minyak dari serat dan biji kelapa sawit, sehingga sangat menentukan kualitas minyak kasar yang dihasilkan. Ketidakseimbangan tekanan, kondisi mesin yang tidak optimal, serta metode kerja yang kurang tepat dapat menyebabkan meningkatnya kadar air dan kotoran dalam minyak, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan kadar ALB.

PTPN IV PKS Pagar Merbau sebagai salah satu unit industri pengolahan kelapa sawit dituntut untuk mampu menghasilkan CPO dengan kualitas yang konsisten. Namun, berdasarkan data historis mutu CPO, masih ditemukan adanya fluktuasi nilai parameter kualitas seperti ALB, kadar air, dan kadar kotoran. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pengendalian mutu yang dilakukan belum sepenuhnya mampu mengendalikan variasi proses secara optimal.

Selama ini, pengendalian mutu yang dilakukan cenderung bersifat reaktif, yaitu hanya berfokus pada pemeriksaan hasil akhir produk, sehingga belum mampu mengidentifikasi akar penyebab terjadinya penyimpangan kualitas. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang lebih sistematis, terstruktur, dan berbasis data untuk menganalisis serta memperbaiki kualitas proses produksi.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode Six Sigma dengan pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). Metode ini tidak hanya berfungsi untuk mengendalikan kualitas, tetapi juga untuk mengurangi variasi proses serta mengidentifikasi penyebab utama terjadinya cacat (*defect*). Dengan menggunakan metode Six Sigma, diharapkan dapat diketahui tingkat kinerja proses melalui nilai *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) dan level sigma, serta diperoleh usulan perbaikan yang efektif.

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat bahwa masih terdapat variasi kualitas CPO pada proses *screw press* di PTPN IV PKS Pagar Merbau yang perlu dianalisis lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan judul “Analisis Pengendalian Mutu *Crude Palm Oil* (CPO) pada Proses *Screw Press* Menggunakan Metode Six Sigma di PTPN IV PKS Pagar Merbau.”

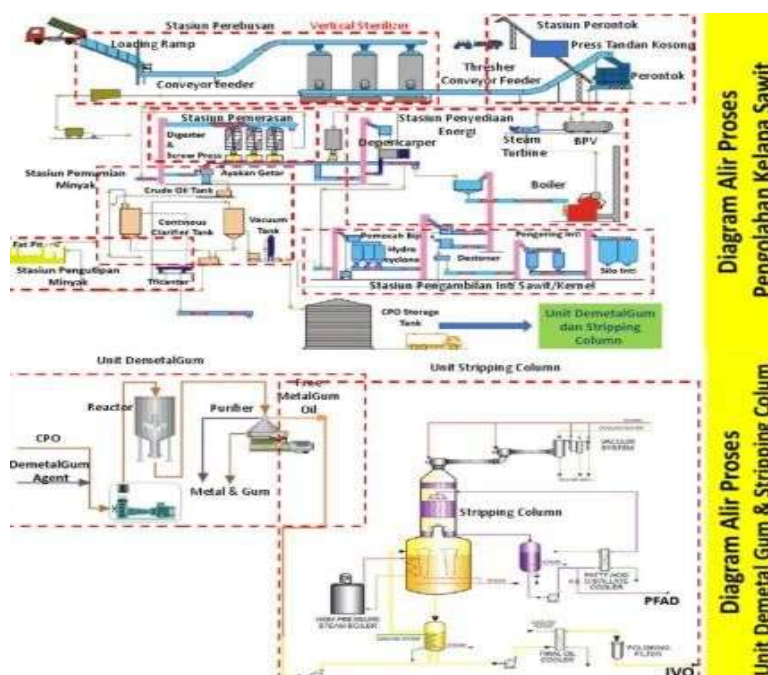
2. Landasan Teori

A. Konsep kualitas dan Pengendalian Kualitas

Kualitas merupakan salah satu aspek fundamental dalam kegiatan produksi yang berperan penting dalam menentukan tingkat kepuasan pelanggan serta keberhasilan suatu produk di pasar. Dalam konteks industri manufaktur, kualitas tidak hanya diartikan sebagai kesesuaian produk terhadap spesifikasi teknis, tetapi juga mencerminkan kemampuan produk dalam memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna secara konsisten.

B. Proses Produksi *Crude Palm Oil* (CPO)

Produksi *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi minyak kasar melalui serangkaian tahapan yang terintegrasi. Proses ini harus dilakukan secara efisien dan terkendali untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkan.



Gambar Tahapan Proses CPO

Tahapan utama dalam proses produksi CPO meliputi:

- Sterilisasi**
Proses ini bertujuan untuk menghentikan aktivitas enzim lipase yang dapat meningkatkan kadar ALB. Selain itu, sterilisasi juga membantu melunakkan buah sehingga mempermudah proses pemisahan.
- Threshing (Pemisahan)**
Tahap ini dilakukan untuk memisahkan buah dari tandan menggunakan mesin thresher.
- Digesting (Pencacahan)**
Pada tahap ini, buah dilumatkan untuk memecah sel-sel minyak sehingga minyak dapat keluar pada proses berikutnya.
- Pressing (Screw Press)**
Tahap ini merupakan proses pemerasan untuk mengekstraksi minyak dari buah. Screw press menjadi titik kritis karena sangat mempengaruhi kadar air dan Screw press kotoran dalam minyak.
- Clarification**
Tahap pemurnian untuk memisahkan minyak dari air dan kotoran.
Dari seluruh tahapan tersebut, proses *screw press* memiliki peran paling signifikan dalam menentukan kualitas awal minyak kasar.

C. Metodologi Six-sigma

Six Sigma adalah metodologi perbaikan proses yang sangat terstruktur, berbasis data, dan terbukti efektif untuk menghilangkan cacat atau *defect* dalam proses produksi. Istilah "Six Sigma" merujuk pada target kinerja statistik di mana hanya terdapat 3.4 *Defects Per Million Opportunities* (DPMO). Konsep ini pertama kali dikembangkan oleh Motorola dan dipopulerkan oleh General Electric (GE) pada tahun 1990-an. Tujuan utama Six Sigma bukan hanya menemukan dan memperbaiki *defect*, tetapi menghilangkan sumber-sumber yang menyebabkan variabilitas proses. Menurut Harry dan Schroeder (2000), Six Sigma adalah sistem yang komprehensif dan fleksibel untuk mencapai, menopang, dan memaksimalkan keberhasilan bisnis, dengan secara unik didorong oleh pemahaman mendalam akan kebutuhan pelanggan, penggunaan disiplin ilmu fakta, data, dan analisis statistik.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PTPN IV Regional II PKS Pagar Merbau, yang terletak di Jalan Lubuk Pakam, Sumberejo, Kec. Pagar Merbau, Kab. Deli Serdang, Sumatera Utara. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada dua pertimbangan utama: pertama, status PTPN IV sebagai identitas perkebunan strategis nasional; dan kedua, ketersediaan data historis mutu CPO serta akses ke stasiun *Screw Press* yang menjadi fokus analisis kritis.

A. Jenis Data

Data yang dikumpulkan diklasifikasikan menjadi dua kategori utama yang saling melengkapi:

1. Data Kuantitatif (*Continuous Data*): Data numerik yang berasal dari hasil pengukuran laboratorium PKS, yang memiliki skala pengukuran rasio. Data ini sangat krusial untuk perhitungan statistik Six Sigma dan mencakup:
 - a. Kadar Asam Lemak Bebas (ALB) CPO (%).
 - b. Kadar Air CPO (%).
 - c. Kadar Kotoran CPO (%).
 - d. Data operasional harian yang mungkin memengaruhi output *Screw Press*, seperti tekanan hidrolik atau suhu minyak (*digester*).
2. Data Kualitatif (*Attribute Data*): Data non-numerik yang digunakan untuk memahami konteks operasional dan akar penyebab masalah, seperti:
 - a. Dokumentasi Standar Operasional Prosedur (SOP) stasiun *Screw Press*.
 - b. Dokumentasi *maintenance* dan jadwal *preventive maintenance*.
 - c. Pendapat, saran, atau pengalaman staf dan operator terkait kendala kualitas yang sering terjadi.

B. Sumber Data

Validitas dan reliabilitas penelitian didukung oleh penggunaan kombinasi sumber data:

1. Data Sekunder: Sumber utama untuk analisis *Measure*. Data ini diperoleh dari catatan dan dokumen internal PTPN IV, meliputi: Laporan harian/bulanan *Quality Control* (QC), spesifikasi mutu CPO (Batas Spesifikasi Atas/Batas Spesifikasi Bawah), dan log *maintenance* mesin.
2. Data Primer: Digunakan untuk analisis *Define* dan *Analyze*. Data ini diperoleh langsung melalui:
 - a. Observasi Langsung: Pengamatan langsung terhadap tahapan operasional *Screw Press* untuk memverifikasi kesesuaian antara SOP dan praktik lapangan.
 - b. Wawancara Terstruktur: Dilakukan dengan subjek kunci (Kepala Pabrik, *Assisten Process*, Staf QC, dan Operator *Screw Press*) untuk mendapatkan informasi mengenai potensi kegagalan, kendala operasional, dan pengetahuan informal terkait penyebab *defect*.
 - c. Dokumentasi, yaitu pengumpulan data melalui dokumen perusahaan seperti laporan QC, SOP, dan catatan perawatan mesin.

4. Hasil dan Pembahasan

Mesin *screw press* merupakan unit kritis dalam proses pengolahan *Crude Palm Oil* (CPO). Tahap ini berfungsi untuk memisahkan minyak dari tandan buah segar (TBS) melalui proses pengepresan. Kualitas minyak kasar (*press oil*) yang dihasilkan dari *screw press* sangat dipengaruhi oleh beberapa kondisi operasi, seperti:

1. Tekanan *screw press*
2. Kecepatan putar *screw*
3. Kondisi *digester* sebelum pengepresan
4. Kelembapan dan tingkat kematangan buah
5. *Temperature conditioning* 90–95°C

Mutu CPO setelah keluar dari *screw press* selanjutnya dianalisis melalui tiga parameter kritis:

1. Asam Lemak Bebas (ALB)
2. Kadar Air
3. Kadar Kotoran

Parameter-parameter tersebut merupakan indikator mutu utama CPO. Apabila salah satu melebihi batas maksimum (USL), maka CPO dikategorikan cacat.

Batas Maksimum Mutu :

Parameter	USL (Batas Maksimum)
ALB	3,50%
Air	0,150%
Kotoran	0,019%

Nilai batas tersebut disesuaikan dengan ketentuan mutu CPO menurut SNI, yang bertujuan untuk menjamin kualitas produk agar layak diproses lebih lanjut dan memenuhi persyaratan industri hilir. Oleh karena itu, penggunaan USL dalam penelitian ini telah sesuai dengan standar nasional, sehingga hasil analisis pengendalian kualitas dan evaluasi proses dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan aplikatif.

Tabel Data Mutu CPO ALB, Air dan Kotoran

No	Hari	ALB (%)	Kadar Air (%)	Kotoran (%)
1	1	3.48	0.143	0.019
2	2	-	-	-
3	3	3.40	0.152	0.018
4	4	3.51	0.132	0.018
5	5	3.48	0.147	0.019
6	6	3.46	0.152	0.018
7	7	3.52	0.143	0.019
8	8	-	-	-
9	9	3.48	0.148	0.019
10	10	3.45	0.157	0.020
11	11	3.52	0.162	0.018
12	12	3.47	0.162	0.019
13	13	3.36	0.141	0.019
14	14	3.48	0.152	0.018
15	15	3.51	0.147	0.018
16	16	3.48	0.127	0.019
17	17	3.49	0.150	0.018
18	18	3.45	0.168	0.020
19	19	3.52	0.121	0.019
20	20	3.49	0.127	0.018
21	21	3.52	0.120	0.019
22	22	3.48	0.162	0.018
23	23	3.53	0.177	0.019
24	24	3.50	0.121	0.018
25	25	3.47	0.147	0.019
26	26	3.48	0.157	0.019
27	27	3.45	0.149	0.019
28	28	3.51	0.126	0.020
29	29	3.51	0.125	0.019
30	30	-	-	-

Rata-rata data:

Parameter	Rata-rata
ALB	3.481%
Kadar Air	0.144%
Kadar Kotoran	0.019%

Tidak tersedianya data pada ketiga tanggal 2, 8 dan 30 merupakan kondisi yang wajar dalam operasi pabrik. Pengambilan sampel mutu CPO harus dilakukan pada kondisi proses yang stabil dan representatif. Ketika terdapat:

1. Perawatan mesin,
2. Gangguan pasokan TBS,
3. Ketidakstabilan produksi, atau
4. Kalibrasi peralatan laboratorium,

maka pengambilan sampel sengaja ditiadakan agar data mutu yang dicatat tetap valid, akurat, dan dapat digunakan sebagai dasar analisis statistik.

Ringkasan statistik (data valid 27 titik — 3 hari hilang):

Parameter	N (data)	Rata-rata ($\bar{X}$)	Sampel SD (s)
ALB	27	3.481481	0.037795
Kadar Air	27	0.145000	0.015561
Kotoran	27	0.018741	0.000656

Analisis Six Sigma - Tahap DMAIC

A. Define

Tahap *Define* bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang terjadi dalam proses produksi CPO serta menentukan karakteristik mutu yang menjadi fokus perbaikan. Berdasarkan standar mutu perusahaan, CPO yang dihasilkan harus memenuhi batas spesifikasi maksimum (*Upper Specification Limit/USL*) sebagai berikut:

- ALB $\leq 3,50$ %
- Kadar air $\leq 0,150$ %
- Kadar kotoran $\leq 0,019$ %

Permasalahan yang dihadapi adalah masih ditemukannya nilai mutu CPO yang mendekati atau melampaui batas spesifikasi tersebut, sehingga berpotensi menghasilkan produk cacat. Oleh karena itu, ketiga parameter tersebut ditetapkan sebagai *Critical to Quality* (CTQ) yang harus dikendalikan pada proses pengolahan CPO di mesin *screw press*.

B. Measure

Tahap *Measure* bertujuan untuk mengukur kinerja proses berdasarkan data aktual mutu CPO yang diperoleh dari pengujian laboratorium harian. Data yang dianalisis meliputi nilai ALB, kadar air, dan kadar kotoran selama periode pengamatan. Data pada tanggal 2, 8, dan 30 tidak disertakan dalam analisis karena tidak dilakukan pengambilan sampel akibat kondisi operasional pabrik.

Pada tahap ini dilakukan:

- Penyusunan tabel data mutu CPO harian
- Perhitungan nilai rata-rata setiap parameter
- Penyajian grafik fluktuasi mutu CPO

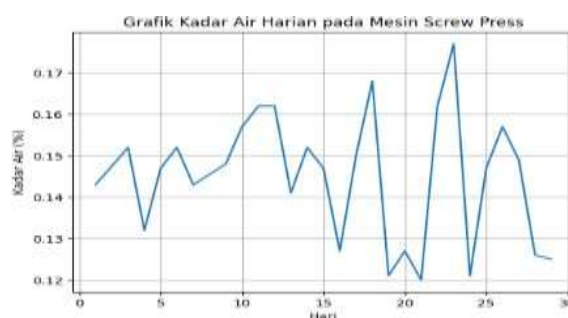
Grafik ALB, kadar air, dan kadar kotoran digunakan untuk menggambarkan variasi mutu CPO selama periode pengamatan serta untuk mengidentifikasi kecenderungan nilai yang mendekati atau melampaui batas spesifikasi perusahaan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa:

Nilai ALB cenderung mendekati batas maksimum 3,50%.



Berdasarkan grafik ALB harian pada mesin *screw press*, terlihat bahwa nilai ALB selama periode pengamatan berada pada rentang 3,36%–3,53% dengan rata-rata mendekati batas spesifikasi maksimum perusahaan yaitu 3,50%. Pola grafik menunjukkan fluktuasi yang relatif kecil, namun terdapat beberapa titik yang mendekati dan sedikit melampaui batas spesifikasi.

Kadar air beberapa kali melebihi batas 0,150%.

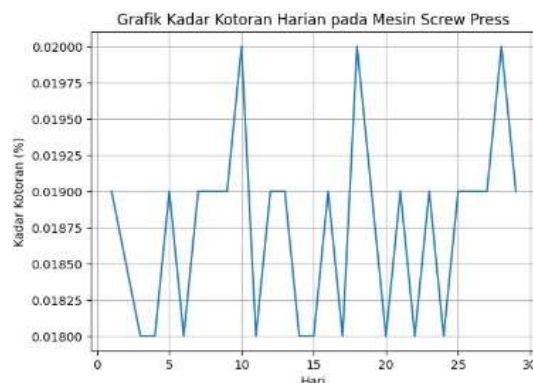


Grafik Kadar Air

Grafik kadar air harian menunjukkan variasi nilai antara 0,12% hingga 0,177%. Beberapa titik data terlihat melampaui batas maksimum perusahaan sebesar 0,150%, terutama pada hari ke-10, 11, 18, dan 23.

Hal ini menunjukkan bahwa meskipun proses secara statistik masih terkendali, namun dari sisi spesifikasi mutu, kadar air CPO belum sepenuhnya memenuhi standar. Tingginya kadar air dapat disebabkan oleh proses pemisahan air dan minyak yang kurang optimal pada unit klarifikasi atau waktu pengendapan yang tidak mencukupi. Kondisi ini berpotensi mempercepat reaksi hidrolisis sehingga dapat meningkatkan nilai ALB.

Kadar kotoran relatif stabil, namun terdapat nilai yang mencapai batas maksimum.



Grafik Kadar Kotoran

Grafik kadar kotoran menunjukkan nilai yang relatif stabil pada kisaran 0,018%–0,020%. Meskipun sebagian besar nilai masih berada dalam batas spesifikasi maksimum 0,019%, terdapat beberapa hari yang mencapai nilai 0,020%, yang mengindikasikan potensi produk tidak sesuai standar.

Peningkatan kadar kotoran ini umumnya disebabkan oleh efektivitas penyaringan yang menurun, kondisi filter yang kotor, atau kandungan serat dan padatan dari TBS yang tinggi. Oleh karena itu, perawatan rutin sistem filtrasi dan kebersihan peralatan sangat diperlukan untuk menjaga mutu CPO.

C. Analyze

Tahap *Analyze* bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama (*vital few*) yang paling berkontribusi terhadap terjadinya penyimpangan mutu CPO pada proses screw press. Pada penelitian ini, metode analisis yang digunakan adalah Diagram Pareto, yang didasarkan pada prinsip 80/20, yaitu sebagian besar masalah mutu biasanya disebabkan oleh sebagian kecil faktor dominan.

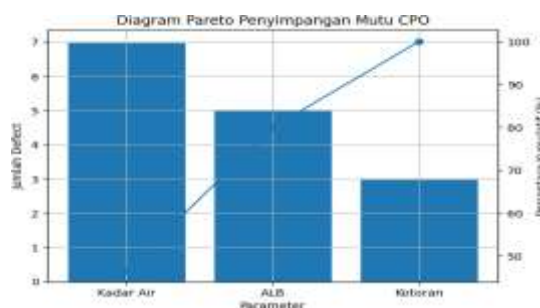


Diagram Pareto

Diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi parameter mutu yang paling dominan menyebabkan penyimpangan kualitas CPO pada proses pengolahan di mesin *screw press*. Analisis ini didasarkan pada prinsip Pareto (80/20), yaitu sebagian besar masalah mutu biasanya disebabkan oleh sebagian kecil faktor utama. Berdasarkan data mutu CPO selama periode pengamatan, penyimpangan mutu dikelompokkan ke dalam tiga parameter, yaitu kadar air, asam lemak bebas (ALB), dan kadar kotoran, yang mendekati atau melampaui batas spesifikasi perusahaan.

D. Improve

Solusi perbaikan yang dilakukan :

Masalah	Perbaikan
Tekanan <i>screw press</i> tidak stabil	Penyetelan ulang + pengecekan setiap shift
Suhu digester tidak konsisten	Menjaga <i>range</i> 90–95°C
Kadar air tinggi	Meningkatkan <i>residence time</i> klarifikasi
Kotoran naik	Pembersihan <i>filter screen & sludge pit</i>
Sampling tidak akurat	SOP sampling diperbarui

E. Control

Untuk menjaga hasil perbaikan:

- Monitoring parameter setiap 2 jam
- Pemantauan temperatur & tekanan *screw press*
- Control chart* harian
- Maintenance* rutin

F. Control Chart (I–MR) untuk Analisis Stabilitas Proses

Control chart digunakan untuk menilai apakah proses pengolahan CPO pada mesin *screw press* berjalan secara stabil atau tidak. Karena data mutu harian (ALB, Kadar Air, dan Kadar Kotoran) merupakan data individual tanpa subgrup, maka metode yang sesuai adalah *Individuals Chart (I-Chart)* dan *Moving Range Chart (MR-Chart)*.

Pendekatan ini digunakan untuk:

- Mengetahui apakah variasi proses terjadi karena *common cause* atau *special cause*.
- Melihat tingkat kestabilan parameter mutu dibandingkan batas kendali.
- Menilai efektivitas proses sebelum dilakukan perbaikan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengendalian mutu Crude Palm Oil (CPO) pada proses *screw press* di PTPN IV Regional II PKS Pagar Merbau menggunakan metode Six Sigma dengan pendekatan DMAIC, dapat disimpulkan bahwa mutu CPO yang dihasilkan berdasarkan parameter Critical to Quality (CTQ), yaitu Asam Lemak Bebas (ALB), kadar air, dan kadar kotoran, secara statistik berada dalam kondisi stabil dan terkendali. Hasil pengamatan terhadap 27 data menunjukkan bahwa nilai rata-rata ALB sebesar 3,4815%, kadar air sebesar 0,1450%, dan kadar kotoran sebesar 0,01874%. Hasil peta kendali *Individuals–Moving Range (I–MR)* menunjukkan seluruh data berada dalam batas kendali, namun masih terdapat beberapa nilai yang mendekati atau melampaui batas spesifikasi mutu perusahaan, terutama kadar air yang mencapai 0,177%, ALB sebesar 3,53%, dan kadar kotoran sebesar 0,020%. Berdasarkan analisis Pareto, kadar air merupakan penyimpangan mutu paling dominan sebesar 46,7%, diikuti ALB sebesar 33,3% dan kadar kotoran sebesar 20%, sehingga kadar air dan ALB menjadi prioritas utama perbaikan. Hasil analisis fishbone menunjukkan bahwa variasi mutu dipengaruhi oleh faktor manusia, mesin, metode, bahan baku, pengukuran, lingkungan, dan manajemen, dengan faktor mesin dan operator cukup dominan. Usulan perbaikan yang diberikan meliputi pengaturan dan pemeriksaan tekanan *screw press*, menjaga suhu digester pada 90–95°C, meningkatkan proses klarifikasi, melakukan pembersihan filter, meningkatkan kedisiplinan SOP, preventive maintenance, pelatihan operator, serta pengendalian kualitas bahan baku TBS.

Referensi

- Ahmad, R., & Syahputra, D. (2023). Implementation of DMAIC approach to improve crude palm oil quality in palm oil mill industry. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 155–164.
- Ardiansyah, M., & Lestari, F. (2022). Statistical process control application in monitoring CPO quality parameters. *Journal of Quality Engineering and Management*, 8(1), 45–54.
- Badan Standardisasi Nasional. (2023). *SNI 2901:2023 Minyak Kelapa Sawit Mentah (CPO)*. Jakarta: BSN.
- Darmawan, H., & Nugroho, A. (2024). Process capability analysis in palm oil processing industry using Cpk and Cp index. *Industrial Engineering Journal*, 12(1), 21–30.

5. Gaspersz, V. (2021). *Total Quality Management untuk Praktisi Bisnis dan Industri*. Jakarta: Gramedia.
6. Gunawan, A., & Harahap, M. (2023). Root cause analysis of free fatty acid increase in crude palm oil production. *Jurnal Teknik Industri*, 24(3), 201–210.
7. Halim, R., & Putra, Y. (2022). Six Sigma methodology for reducing defects in agro-industry sector. *Journal of Industrial Systems and Optimization*, 5(2), 77–86.
8. Haryono, S. (2021). Quality control implementation using I-MR control chart in manufacturing process. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 33(4), 512–528.
9. Iskandar, T., & Wijaya, R. (2024). Improving palm oil mill performance through data-driven quality control. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 17(1), 89–101.
10. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2024). *Perkembangan Industri Kelapa Sawit Nasional 2024*. Jakarta: Kemenperin.
11. Lubis, A., & Siregar, H. (2023). Analysis of screw press performance on moisture and impurity levels of crude palm oil. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 9(2), 134–142.
12. Marbun, H., & Sitompul, D. (2022). Evaluation of palm oil mill quality performance using Six Sigma approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13(5), 990–1005.
13. Montgomery, D. C. (2021). *Introduction to Statistical Quality Control* (8th ed.). New York: Wiley.
14. Nasution, M., & Pratama, I. (2025). Continuous improvement strategy in palm oil processing industry using DMAIC framework. *Journal of Industrial Engineering Research*, 18(1), 1–15.
15. Perkebunan Nusantara IV. (2024). *Laporan Tahunan PTPN IV Regional II*. Medan: PTPN IV.
16. Prasetyo, E., & Kurniawan, B. (2023). Application of Pareto and fishbone diagram in identifying critical quality issues in CPO production. *Jurnal Manajemen Industri dan Logistik*, 7(3), 175–184.
17. Putri, N., & Rahman, F. (2022). Reducing process variability using Six Sigma in palm oil refinery. *Asian Journal of Industrial Engineering*, 6(2), 65–74.
18. Rizaldi, M., & Fadillah, A. (2023). Quality improvement analysis in agro-based industry using DPMO and Sigma level measurement. *Journal of Quality and Reliability Engineering*, 2023, 1–10.
19. Sari, D., & Wibowo, S. (2024). Impact of operational parameters on crude palm oil quality characteristics. *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*, 16(2), 120–128.
20. Sembiring, J., & Hutagalung, P. (2021). Control chart analysis for monitoring moisture content in palm oil production. *International Journal of Engineering Research*, 10(4), 233–240.
21. Setiawan, R., & Mahendra, A. (2022). Process stabilization using statistical quality control tools in palm oil mill. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 10(1), 11–20.
22. Simatupang, T., & Ginting, R. (2023). Performance measurement of palm oil processing using Six Sigma metrics. *Industrial Engineering & Management Systems*, 22(2), 150–162.
23. Siregar, B., & Lumbanraja, P. (2024). Analysis of quality deviation factors in CPO production process. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 8(1), 55–66.
24. Wahyudi, A., & Santoso, H. (2022). Improving crude palm oil quality through systematic process control. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121(3), 2457–2468.
25. Yusuf, M., & Amalia, R. (2025). Sustainable quality management practices in Indonesian palm oil industry. *Journal of Cleaner Production Research*, 5(1), 45–59.