



PENGARUH RASIO SUHU AIR DELUSI TERHADAP KADAR AIR KADAR KOTORAN KADAR MINYAK DAN PENGENDAPAN SLUDGE PADA PABRIK KELAPA SAWIT

Muhammad Riduwan¹⁾

¹⁾Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Indonesia
Email: muhammadriduwan315@gmail.com

Abstract

The clarification process in Palm Oil Mills (PKS) plays an important role in determining oil recovery efficiency and the quality of Crude Palm Oil (CPO) produced. This study aimed to analyze the effects of dilution water ratio and temperature, as well as their interaction, on liquid characteristics in the Underflow Continuous Settling Tank (CST) at Pagar Merbau Palm Oil Mill, with a processing capacity of 30 tons of Fresh Fruit Bunches (FFB) per hour. The study used dilution water ratios of 18%, 19%, and 20% and temperatures of 90°C, 95°C, and 100°C. Oil, water, and impurity contents were analyzed using a FOSS NIR Analyzer based on Near Infrared Spectroscopy (NIRS). Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. The results showed that dilution water ratio had a highly significant effect ($P < 0.01$) on oil, water, and impurity contents. Increasing the dilution water ratio from 18% to 20% decreased average oil content from 10.08% to 8.05% and impurity content from 9.07% to 5.24%, while water content increased from 80.85% to 86.70%. Dilution water temperature also had a highly significant effect ($P < 0.01$) on all parameters. Increasing temperature from 90°C to 100°C decreased oil content from 9.39% to 8.41% and impurity content from 8.52% to 5.31%, while increasing water content from 82.07% to 86.26%. The interaction between dilution water ratio and temperature significantly affected water content, but had no significant effect on oil and impurity contents. The combination of a 20% ratio and 100°C produced 7.80% oil, 87.50% water, and 4.67% impurities.

Keywords: Dilution Water, Temperature, Continuous Settling Tank, Oil Content, Impurity Content.

Abstrak

Proses klarifikasi pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) berperan penting dalam menentukan efisiensi pengutipan minyak dan mutu Crude Palm Oil (CPO) yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio dan suhu air delusi serta interaksi keduanya terhadap karakteristik cairan pada Underflow Continuous Settling Tank (CST) di PKS Pagar Merbau dengan kapasitas 30 ton TBS/jam. Penelitian menggunakan variasi rasio air delusi 18%, 19%, dan 20% serta suhu air delusi 90°C, 95°C, dan 100°C. Pengujian kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran dilakukan menggunakan FOSS NIR Analyzer dengan metode Near Infrared Spectroscopy (NIRS). Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio air delusi berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran. Peningkatan rasio air delusi dari 18% menjadi 20% menurunkan rata-rata kadar minyak dari 10,08% menjadi 8,05% dan kadar kotoran dari 9,07% menjadi 5,24%, sedangkan kadar air meningkat dari 80,85% menjadi 86,70%. Suhu air delusi juga berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap seluruh parameter. Peningkatan suhu dari 90°C menjadi 100°C menurunkan kadar minyak dari 9,39% menjadi 8,41% dan kadar kotoran dari 8,52% menjadi 5,31%, serta meningkatkan kadar air dari 82,07% menjadi 86,26%. Interaksi rasio dan suhu air delusi berpengaruh nyata terhadap kadar air, tetapi tidak nyata terhadap kadar minyak dan kadar kotoran. Kombinasi rasio 20% dan suhu 100°C menghasilkan kadar minyak 7,80%, kadar air 87,50%, dan kadar kotoran 4,67%.

Kata Kunci: Air Delusi, Suhu, Continuous Settling Tank, Kadar Minyak, Kadar Kotoran



PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor pengolahan hasil perkebunan yang menghasilkan minyak kelapa sawit sebagai salah satu produk utama. Proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari penerimaan TBS, sterilisasi, perontokan, pelumatan, pengepresan, hingga proses klarifikasi. Proses klarifikasi merupakan salah satu tahapan penting karena berhubungan dengan pemisahan minyak, air, dan kotoran sehingga berpengaruh terhadap efisiensi pengutipan minyak serta mutu Crude Palm Oil (CPO) yang dihasilkan.

Pada proses pengolahan kelapa sawit, penggunaan air delusi merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan. Air delusi digunakan untuk membantu proses pemisahan minyak dan Non Oil Solid (NOS) setelah proses pengepresan. Penggunaan air delusi dalam jumlah yang tidak sesuai dapat memengaruhi karakteristik campuran minyak, air, dan padatan. Kekurangan air delusi dapat menyebabkan proses pemisahan menjadi kurang optimal dan meningkatkan kehilangan minyak, sedangkan penggunaan air yang berlebihan dapat meningkatkan kadar air pada hasil klarifikasi. Oleh karena itu, pengaturan rasio air delusi menjadi salah satu aspek penting dalam memperoleh proses pemisahan yang efektif.

Selain rasio air delusi, suhu air delusi juga memiliki peranan dalam proses pemisahan minyak. Suhu yang sesuai dapat membantu menurunkan viskositas campuran sehingga proses pemisahan antara fase minyak, air, dan padatan dapat berlangsung lebih baik. Continuous Settling Tank (CST) merupakan salah satu peralatan yang digunakan dalam proses klarifikasi untuk memisahkan campuran tersebut berdasarkan perbedaan berat jenis dan proses pengendapan. Pada CST, campuran hasil pengolahan akan membentuk lapisan minyak, air, dan sludge, sehingga kondisi suhu dan karakteristik aliran menjadi faktor yang berkaitan dengan efektivitas proses pengendapan.

Beberapa penelitian terdahulu yang dicantumkan dalam ini menunjukkan bahwa penggunaan air delusi berkaitan dengan oil losses, kadar air, kadar kotoran, serta proses pemisahan minyak dan sludge. Penelitian Hutasoit (2022) yang dikutip menunjukkan bahwa temperatur air delusi 95–100°C dapat memberikan kondisi yang mendukung proses pengendapan sludge. Sementara itu, penelitian Hikmawan dan Naufa (2021) membahas komposisi air, lumpur, dan minyak pada heavy phase decanter sebagai bagian dari upaya memperoleh proses pengutipan minyak yang optimal. Hasil penelitian terdahulu tersebut menunjukkan bahwa rasio dan suhu air delusi merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit.

Permasalahan penggunaan air delusi juga berkaitan dengan kehilangan minyak pada proses pengolahan mencatat bahwa oil losses pada proses pengempaan dapat meningkat apabila penggunaan air delusi tidak optimal. Penambahan air pengencer pada kondisi tertentu dapat membantu menurunkan kehilangan minyak, tetapi jumlah air yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kadar air pada hasil proses. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk menentukan kombinasi rasio dan suhu air delusi yang dapat mendukung pemisahan minyak dan sludge tanpa meningkatkan kadar air secara berlebihan.

Meskipun penelitian mengenai air delusi dan proses klarifikasi telah dilakukan, pengaruh kombinasi rasio dan suhu air delusi terhadap karakteristik cairan pada bagian Underflow Continuous Settling Tank (CST) masih perlu dikaji pada kondisi operasional tertentu. Penelitian Riduwan dilakukan di PKS Pagar Merbau dengan kapasitas pengolahan 30 ton TBS/jam menggunakan variasi rasio air delusi 18%, 19%, dan 20% serta suhu 90°C, 95°C, dan 100°C. Parameter yang diamati meliputi kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran pada underflow CST.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio air delusi dan suhu air delusi terhadap kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran pada Underflow Continuous Settling Tank (CST), serta mengetahui pengaruh interaksi antara kedua faktor tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai hubungan antara rasio dan suhu air delusi dengan karakteristik cairan pada underflow CST sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengaturan proses klarifikasi di Pabrik Kelapa Sawit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Pagar Merbau PTPN IV Regional 2 pada bulan Mei 2026. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio dan suhu air delusi terhadap karakteristik cairan hasil pemisahan pada Underflow Continuous Settling Tank (CST).

3.1. Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi air panas sebagai air delusi dengan suhu 90°C, 95°C, dan 100°C, air kondensat, Tandan Buah Segar (TBS), serta cairan dan ampas hasil proses pengepresan dari Screw Press. Peralatan yang digunakan meliputi Screw Press, centrifuge, thermogun, timbangan digital, gelas ukur, dan Erlenmeyer. Analisis komposisi sampel dilakukan menggunakan FOSS NIR Analyzer sesuai dengan metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini.

Peralatan yang digunakan terdiri atas Screw Press, centrifuge, thermogun, timbangan digital, gelas ukur, Erlenmeyer, dan FOSS NIR Analyzer. Sampel cairan diambil dari Crude Oil Gutter sebanyak 100 mL, sedangkan sampel ampas diambil dari keluaran Screw Press sebanyak 1 kg dengan tekanan pengepresan 40 bar.

3.2. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan dengan dua faktor perlakuan, yaitu rasio air delusi dan suhu air delusi. Faktor pertama berupa rasio air delusi yang terdiri atas tiga taraf, yaitu 18%, 19%, dan 20%, sedangkan faktor kedua berupa suhu air delusi yang terdiri atas 90°C, 95°C, dan 100°C. Kombinasi kedua faktor tersebut menghasilkan sembilan kombinasi perlakuan, yaitu 18%–90°C, 18%–95°C, 18%–100°C, 19%–90°C, 19%–95°C, 19%–100°C, 20%–90°C, 20%–95°C, dan 20%–100°C. Berdasarkan data pengamatan, setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak lima kali ulangan, sehingga diperoleh 45 satuan pengamatan. Parameter yang diamati meliputi kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran pada cairan Underflow Continuous Settling Tank (CST).



3.3. Prosedur Penelitian

a. Persiapan sampel

Sampel penelitian terdiri atas cairan hasil pengepresan dan ampas press (serat) yang dihasilkan dari proses pengepresan. Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi air panas, air kondensat, Tandan Buah Segar (TBS), serta sampel cairan dan ampas keluaran screw press.

b. Persiapan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil sebanyak 100 mL cairan dari Crude Oil Gutter dan dimasukkan ke dalam botol sampel. Selain sampel cairan, diambil pula sebanyak 1 kg ampas press (serat) yang berasal dari proses pengepresan menggunakan screw press pada tekanan 40 bar.

c. Perlakuan Air Delusi

Perlakuan dilakukan dengan menambahkan air delusi pada proses pengepresan menggunakan variasi suhu 90°C, 95°C, dan 100°C. Air delusi dialirkan menuju screw press dengan laju aliran sebesar 1,8 ton/jam. Pengaturan aliran air delusi dilakukan berdasarkan posisi garis V-Notch pada kisaran 8–9 cm. Tekanan screw press dipertahankan sebesar 40 bar pada setiap perlakuan.

d. Analisis Cairan Hasil Pengepresan

Cairan hasil pengepresan yang telah memperoleh perlakuan air delusi pada masing-masing suhu dikumpulkan sebagai sampel penelitian. Pengambilan sampel cairan dilakukan dengan kondisi perlakuan yang sama pada setiap percobaan. Dalam metode penelitian pada file, pengambilan sampel cairan disebutkan dilakukan sebanyak tiga kali percobaan untuk setiap kondisi perlakuan.

e. Analisis Ampas Press

Ampas press atau cake yang dihasilkan setelah proses pengepresan dengan perlakuan air delusi pada suhu 90°C, 95°C, dan 100°C diambil sebanyak 1 kg. Sampel tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui kadar minyak, kadar emulsi, kadar air, dan kadar Non Oil Solid (NOS). Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga kali dengan kondisi perlakuan yang sama.

f. Analisis Komposisi Sampel

Sampel cairan hasil proses digunakan untuk memperoleh data karakteristik cairan berdasarkan parameter yang diamati. Pada hasil penelitian, parameter yang dianalisis meliputi kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran pada sampel Underflow Continuous Settling Tank (CST). Analisis komposisi sampel dilakukan menggunakan FOSS NIR Analyzer dengan metode Near Infrared Spectroscopy (NIRS).

g. Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengamatan dari setiap perlakuan direkapitulasi dan diolah untuk mengetahui pengaruh variasi rasio dan suhu air delusi terhadap

karakteristik cairan. Tahapan penelitian selanjutnya meliputi pengolahan data, analisis data, pembahasan hasil, dan penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL

Penelitian dilaksanakan di PKS Pagar Merbau dengan kapasitas pengolahan 30 ton TBS/jam menggunakan dua faktor perlakuan, yaitu rasio air delusi 18%, 19%, dan 20% serta suhu air delusi 90°C, 95°C, dan 100°C. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak 5 ulangan, sehingga diperoleh 45 unit pengamatan. Parameter yang diamati meliputi kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran pada underflow CST. Analisis sampel dilakukan menggunakan FOSS NIR Analyzer (NIRS), sedangkan data dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan DMRT 5% apabila terdapat pengaruh nyata.

a. Hasil Analisis Kadar Minyak Pada Underflow Continuous Settling Tank (CST)

Tabel 1. Hasil Pengamatan Kadar Minyak pada CST

Rasio Air Delusi	Suhu (°C)	U1	U2	U3	U4	U5	Rat a-rata
18%	90	10,85	11,42	10,2	11,15	10,6	10,84
	95	10,45	9,8	10,35	9,5	10,12	10,04
	100	9,3	9,85	9,1	9,65	8,92	9,36
19%	90	9,15	8,7	9,35	8,6	9,05	8,97
	95	8,45	8,82	8,1	8,75	8,28	8,48
	100	8,15	8,3	7,85	8,2	7,92	8,08
20%	90	8,12	8,85	8,36	8,64	7,82	8,36
	95	7,91	7,72	8,45	7,88	8,02	8,00
	100	7,68	7,98	7,42	7,75	8,15	7,80

Kadar minyak pada underflow CST cenderung menurun seiring peningkatan rasio dan suhu air delusi. Pada rasio 18%, 19%, dan 20%, kadar minyak masing-masing berkisar antara 9,36–10,84%, 8,08–8,97%, dan 7,80–8,36%, dengan nilai terendah sebesar 7,80% pada perlakuan rasio 20% dan suhu 100°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio dan suhu berpengaruh sangat nyata terhadap kadar minyak ($p < 0,05$), sedangkan interaksi keduanya tidak nyata. Penurunan kadar minyak diduga berkaitan dengan berkurangnya viskositas akibat peningkatan air delusi dan suhu, sehingga proses pemisahan minyak dari fase air dan padatan di dalam CST menjadi lebih efektif.

b. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Kadar Minyak

Pengukuran kadar minyak pada underflow dilakukan pada setiap kombinasi perlakuan rasio air delusi dan suhu air delusi dengan lima kali ulangan. Hasil pengukuran dari masing-masing ulangan digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata kadar minyak pada setiap kombinasi perlakuan. Untuk mengetahui apakah perubahan tersebut disebabkan oleh pengaruh perlakuan atau hanya variasi data pengamatan, dilakukan analisis sidik ragam



(ANOVA). Hasil analisis ANOVA kadar minyak pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata pH Tanah

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung	Sig.	Keterangan
Rasio Air Delusi	2	34,116	17,058	142,521	0,000**	Sangat nyata
Suhu Air Delusi	2	7,184	3,592	30,009	0,000**	Sangat nyata
Rasio × Suhu	4	1,086	0,271	2,268	0,081tn	Tidak nyata
Galat	36	4,309	0,12	-	-	-
Total	44	46,694	-	-	-	-
Terkoreksi						

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa rasio air delusi dan suhu air delusi masing-masing memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar minyak karena nilai signifikansi sebesar 0,000. Sementara itu, interaksi antara rasio dan suhu tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar minyak dengan nilai signifikansi 0,081. Oleh karena itu, pengujian dilanjutkan dengan DMRT 5% terhadap faktor rasio dan suhu secara terpisah.

Hasil uji DMRT terhadap faktor rasio air delusi menunjukkan adanya perbedaan antarperlakuan. Nilai rata-rata kadar minyak berdasarkan rasio air delusi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji DMRT 5% kadar minyak berdasarkan rasio air delusi

Rasio Air Delusi	Rata-rata Kadar Minyak (%)	Notasi DMRT 5%
18%	10,084	a
19%	8,511	b
20%	8,05	c

Hasil DMRT menunjukkan bahwa seluruh tingkat suhu berbeda nyata. Kadar minyak tertinggi terdapat pada suhu 90°C sebesar 9,391%, sedangkan kadar terendah terdapat pada suhu 100°C sebesar 8,415%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu mampu menurunkan viskositas campuran sehingga pemisahan minyak berlangsung lebih efektif. Dengan demikian, suhu 100°C memberikan hasil terbaik berdasarkan parameter kadar minyak.

Selain faktor rasio, hasil ANOVA juga menunjukkan bahwa suhu air delusi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar minyak. Oleh karena itu, dilakukan uji DMRT 5% untuk melihat perbedaan rata-rata kadar minyak pada masing-masing tingkat suhu. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji DMRT 5% kadar minyak berdasarkan suhu air delusi

Suhu Air Delusi (°C)	Rata-rata Kadar Minyak (%)	Notasi DMRT 5%
90	9,391	a

95	8,84	b
100	8,415	c

Ketiga tingkat suhu juga memiliki notasi yang berbeda sehingga menunjukkan adanya perbedaan nyata antarperlakuan. Suhu 90°C menghasilkan rata-rata kadar minyak tertinggi sebesar 9,391%, sedangkan suhu 95°C menghasilkan rata-rata 8,840% dan suhu 100°C menghasilkan rata-rata terendah sebesar 8,415%.

Hasil tersebut memperlihatkan pola yang konsisten dengan data pengamatan pada Tabel 1 yaitu peningkatan suhu air delusi diikuti oleh penurunan kadar minyak pada underflow CST. Dengan demikian, baik analisis deskriptif maupun analisis statistik menunjukkan arah hasil yang sama. Berdasarkan keseluruhan hasil kadar minyak, perlakuan rasio air delusi 20% dan suhu 100°C menghasilkan nilai kadar minyak terendah pada kombinasi perlakuan, yaitu 7,80%.

c. Kadar Air Pada Underflow Continuous Tank (CST)

Kadar air merupakan parameter yang menggambarkan jumlah air yang terdapat dalam underflow CST. Parameter ini penting untuk melihat perubahan komposisi underflow akibat penggunaan air delusi pada berbagai rasio dan suhu. Berbeda dengan kadar minyak yang menunjukkan kecenderungan menurun, kadar air dalam penelitian ini menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan peningkatan rasio air delusi dan suhu air delusi. Nilai hasil pengamatan masing-masing ulangan dan rata-rata kadar air disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengamatan kadar air pada underflow CST

Rasio Air Delusi	Suhu (°C)	U1	U2	U3	U4	U5	Rata-rata
18%	90	76,15	82,96	76,95	75,98	75,7	77,55
	95	80,8	77,5	80,6	82,6	80,25	80,35
	100	85,95	81,53	85,15	86	84,58	84,64
19%	90	83,12	81,8	82,21	84,85	82,3	82,86
	95	85,25	83,82	86,8	82,6	85,2	84,73
	100	87,12	86,1	85,2	87,8	87	86,64
20%	90	86,42	84,1	85,95	85,12	87,5	85,82
	95	87,1	87,82	85,1	87,23	86,72	86,79
	100	88,1	86,45	89,2	87,85	85,9	87,50

Hasil penelitian menunjukkan terdapat kecenderungan peningkatan kadar air seiring dengan meningkatnya rasio air delusi dan suhu air delusi. Pada rasio 18%, kadar air meningkat dari 77,55% pada suhu 90°C menjadi 80,35% pada suhu 95°C dan 84,64% pada suhu 100°C. Pada rasio 19%, kadar air meningkat dari 82,86% menjadi 84,73% dan 86,64%. Sementara itu, pada rasio 20%, kadar air meningkat dari 85,82% menjadi 86,79% dan mencapai 87,50% pada suhu 100°C.

Nilai tertinggi terdapat pada perlakuan rasio 20% dengan suhu 100°C, yaitu 87,50%, sedangkan



nilai terendah terdapat pada rasio 18% dengan suhu 90°C, yaitu 77,55%. Selisih antara kedua nilai tersebut menunjukkan adanya perubahan yang cukup besar pada kadar air underflow akibat kombinasi perlakuan yang diberikan.

Untuk mengetahui apakah perbedaan tersebut signifikan secara statistik, dilakukan analisis ANOVA. Hasil analisis disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil ANOVA Kadar Air

Jumlah Kuadrat						
Sumber db	Kuadrat	Tengah	F	Sig.	Keterang	
Keraga	(JK)	(KT)	Hitung		an	
man						
Rasio Air Delusi	2	266,709	133,354	46,869	0,000*	Sangat nyata
Suhu Air Delusi	2	131,98	65,99	23,193	0,000*	Sangat nyata
Rasio × Suhu	4	38,688	9,672	3,399	0,019*	Nyata
Galat	36	102,43	2,845	-	-	-
Total	44	539,808	-	-	-	-
Terkoreksi						

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa rasio air delusi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar air dengan nilai signifikansi 0,000. Suhu air delusi juga memberikan pengaruh sangat nyata dengan nilai signifikansi 0,000. Selain kedua faktor utama tersebut, interaksi rasio dan suhu juga memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air dengan nilai signifikansi 0,019.

Adanya interaksi yang nyata menunjukkan bahwa perubahan kadar air tidak hanya dipengaruhi oleh rasio atau suhu secara sendiri-sendiri, tetapi kombinasi kedua faktor tersebut juga berperan terhadap perubahan kadar air. Hal ini sesuai dengan pola data pada Tabel 5.

Selanjutnya dilakukan uji DMRT 5% untuk mengetahui perbedaan rata-rata kadar air berdasarkan rasio air delusi. Hasilnya disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji DMRT 5% Kadar Air Berdasarkan Rasio Air Delusi

Rasio air delusi	Rata-rata kadar air (%)	Notasi
18%	80,84	a
19%	84,74	b
20%	86,70	c

Berdasarkan Tabel 7, ketiga perlakuan rasio memiliki notasi yang berbeda sehingga menunjukkan adanya perbedaan nyata. Rata-rata kadar air meningkat dari 80,84% pada rasio 18% menjadi 84,74% pada rasio 19% dan 86,70% pada rasio 20%. Dengan demikian, berdasarkan hasil penelitian, peningkatan rasio air delusi berhubungan dengan peningkatan kadar air pada underflow CST.

Hasil uji DMRT berdasarkan suhu air delusi disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil uji DMRT 5% Kadar Air Berdasarkan suhu Air Delusi

Suhu Air Delusi (°C)	Rata-rata Kadar Air (%)	Notasi DMRT 5%
100	85,62	a
95	83,43	b
90	81,57	c

Tabel 8 menunjukkan bahwa masing-masing tingkat suhu berbeda nyata. Suhu 100°C menghasilkan rata-rata kadar air tertinggi sebesar 85,62%, sedangkan suhu 90°C menghasilkan rata-rata terendah sebesar 81,57%. Hasil ini memperkuat pola pada data pengamatan bahwa peningkatan suhu air delusi cenderung diikuti oleh peningkatan kadar air pada underflow.

Secara keseluruhan, kadar air memiliki pola yang berlawanan dengan kadar minyak. Ketika rasio dan suhu meningkat, kadar minyak cenderung menurun sedangkan kadar air meningkat. Berdasarkan data penelitian, kombinasi rasio 20% dan suhu 100°C menghasilkan kadar air tertinggi sebesar 87,50%.

d. Kadar Kotoran pada underflow Continuous Settling Tank (CST)

Kadar kotoran merupakan parameter lain yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik underflow CST. Kotoran yang terdapat pada underflow dapat berasal dari material padat dan komponen non-minyak lainnya yang ikut terbawa selama proses pengolahan. Oleh karena itu, perubahan kadar kotoran pada berbagai kondisi rasio dan suhu air delusi dapat digunakan untuk melihat perubahan karakteristik underflow selama proses berlangsung.

Pada penelitian ini, kadar kotoran diukur pada tiga rasio air delusi dan tiga tingkat suhu dengan lima kali ulangan. Nilai setiap ulangan dan rata-rata hasil pengukuran disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai rata-rata N-Total Tanah

Rasio Air Delusi	Suhu (°C)	U1	U2	U3	U4	U5	Rata-rata
18%	90	13	5,62	12,85	12,87	13,7	11,61
	95	8,75	12,7	9,05	7,9	9,63	9,61
	100	4,75	8,62	5,75	4,35	6,5	5,99
19%	90	7,73	9,5	8,44	6,55	8,65	8,17
	95	6,3	7,36	5,1	8,65	6,52	6,79
	100	4,73	5,6	6,95	4	5,08	5,27
20%	90	5,25	6,9	5,75	6,12	4,8	5,76
	95	5,15	4,45	6,42	5,08	5,42	5,30
	100	4,21	5,32	3,75	4,4	5,65	4,67

Kadar kotoran menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan rasio air delusi



dan suhu air delusi. Pada rasio 18%, kadar kotoran menurun dari 11,61% pada suhu 90°C menjadi 9,61% pada suhu 95°C dan 5,99% pada suhu 100°C. Pada rasio 19%, kadar kotoran juga menurun dari 8,17% menjadi 6,79% dan 5,27%. Pola serupa terlihat pada rasio 20%, yaitu dari 5,76% menjadi 5,30% dan 4,67%.

Nilai kadar kotoran tertinggi diperoleh pada perlakuan rasio 18% dan suhu 90°C, yaitu sebesar 11,61%. Sebaliknya, kadar kotoran terendah sebesar 4,67% diperoleh pada rasio 20% dan suhu 100°C. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengamatan, kombinasi peningkatan rasio dan suhu air delusi menunjukkan kecenderungan menghasilkan underflow dengan kadar kotoran yang lebih rendah.

Untuk mengetahui apakah perubahan tersebut dipengaruhi secara nyata oleh perlakuan, dilakukan analisis ANOVA. Hasil analisis disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 . Hasil Analisis ANOVA Kadar Kotoran

Dosis Biochar	Fosfor (%)
0%	1,107
1%	1,207
2%	1,207
3%	1,210

Berdasarkan Tabel.10, kadar kotoran menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan rasio air delusi dan suhu air delusi. Pada rasio 18%, kadar kotoran menurun dari 11,61% pada suhu 90°C menjadi 9,61% pada suhu 95°C dan 5,99% pada suhu 100°C. Pada rasio 19%, kadar kotoran juga menurun dari 8,17% menjadi 6,79% dan 5,27%. Pola serupa terlihat pada rasio 20%, yaitu dari 5,76% menjadi 5,30% dan 4,67%.

Nilai kadar kotoran tertinggi diperoleh pada perlakuan rasio 18% dan suhu 90°C, yaitu sebesar 11,61%. Sebaliknya, kadar kotoran terendah sebesar 4,67% diperoleh pada rasio 20% dan suhu 100°C. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengamatan, kombinasi peningkatan rasio dan suhu air delusi menunjukkan kecenderungan menghasilkan underflow dengan kadar kotoran yang lebih rendah.

Untuk mengetahui apakah perubahan tersebut dipengaruhi secara nyata oleh perlakuan, dilakukan analisis ANOVA. Hasil analisis disajikan pada Tabel.11.

Tabel 11. Hasil Analisis ANOVA Kadar Kotoran

Rasio Air Delusi	Rata-rata Kadar Kotoran (%)	Notasi DMRT 5%
18%	9,069	a
19%	6,744	b
20%	5,245	c

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa rasio air delusi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar kotoran dengan nilai signifikansi 0,000. Suhu air delusi juga memberikan pengaruh sangat nyata dengan nilai signifikansi 0,000. Dengan demikian,

perubahan kadar kotoran yang terlihat pada data pengamatan didukung oleh hasil analisis statistik.

Sementara itu, interaksi antara rasio dan suhu memiliki nilai signifikansi 0,054 sehingga dinyatakan tidak nyata. Artinya, tidak terdapat bukti statistik yang cukup bahwa kombinasi kedua faktor tersebut memberikan pengaruh interaksi yang nyata terhadap kadar kotoran. Oleh karena itu, pengaruh rasio dan suhu terhadap kadar kotoran dapat dibahas berdasarkan pengaruh masing-masing faktor.

Hasil uji DMRT berdasarkan rasio air delusi disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil uji DMRT 5% Kadar Kotoran Berdasarkan Suhu Rasio Air Delusi

Suhu Air Delusi (°C)	Rata-rata Kadar Kotoran (%)	Notasi DMRT 5%
90	8,515	a
95	7,232	b
100	5,311	c

Berdasarkan Tabel 12, masing-masing rasio memiliki notasi berbeda sehingga menunjukkan adanya perbedaan nyata antarperlakuan. Rata-rata kadar kotoran menurun dari 9,069% pada rasio 18% menjadi 6,744% pada rasio 19% dan 5,245% pada rasio 20%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rasio air delusi memberikan pola penurunan kadar kotoran yang konsisten.

Selanjutnya, hasil uji DMRT berdasarkan suhu air delusi disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil uji DMRT 5% Kadar Kotoran Berdasarkan Rasio Air Delusi

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung	Sig.	Keterangan
Rasio Air Delusi	2	111,416	55,708	21,291	0,000**	Sangat nyata
Suhu Air Delusi	2	78,042	39,021	14,913	0,000**	Sangat nyata
Rasio × Suhu	4	27,018	6,755	2,582	0,054m	Tidak nyata
Galat	36	94,19	2,61	-	-	-
Total koreksi	44	310,67	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 13, setiap tingkat suhu juga menunjukkan perbedaan nyata. Rata-rata kadar kotoran tertinggi diperoleh pada suhu 90°C sebesar 8,515%, kemudian menurun menjadi 7,232% pada suhu 95°C dan 5,311% pada suhu 100°C. Dengan demikian, hasil uji DMRT memperkuat hasil pengamatan bahwa peningkatan suhu air delusi berkaitan dengan penurunan kadar kotoran pada underflow CST.

Secara keseluruhan, hasil kadar kotoran menunjukkan pola yang cukup konsisten dengan hasil kadar minyak. Rasio 20% dan suhu 100°C menghasilkan nilai kadar kotoran terendah, yaitu 4,67%. Berdasarkan ketiga parameter yang diamati, perlakuan tersebut juga menghasilkan kadar minyak terendah, yaitu 7,80%, tetapi menghasilkan kadar air



tertinggi sebesar 87,50%. Oleh karena itu, hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan karakteristik underflow yang berbeda pada masing-masing parameter sehingga evaluasi kondisi proses perlu mempertimbangkan ketiga parameter tersebut secara bersamaan.

4.2. Pembahasan

Penelitian ini dilakukan di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Pagar Merbau dengan kapasitas olah 30 ton Tandan Buah Segar (TBS) per jam untuk mengetahui pengaruh rasio dan suhu air delusi terhadap karakteristik cairan pada Underflow Continuous Settling Tank (CST). Perlakuan yang digunakan terdiri atas tiga tingkat rasio air delusi, yaitu 18%, 19%, dan 20%, serta tiga tingkat suhu air delusi, yaitu 90°C, 95°C, dan 100°C. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak lima kali ulangan sehingga diperoleh 45 unit pengamatan. Parameter yang diamati meliputi kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran. Analisis sampel dilakukan menggunakan FOSS NIR Analyzer, sedangkan data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf 5% apabila terdapat pengaruh nyata.

Berdasarkan hasil penelitian secara keseluruhan, perubahan rasio dan suhu air delusi menunjukkan pola yang berbeda terhadap masing-masing parameter. Kadar minyak cenderung menurun dengan meningkatnya rasio dan suhu air delusi. Pola yang sama juga terlihat pada kadar kotoran, yaitu semakin tinggi rasio dan suhu yang diberikan, kadar kotoran pada underflow cenderung semakin rendah. Sebaliknya, kadar air menunjukkan pola yang berlawanan, yaitu mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya rasio maupun suhu air delusi. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan kondisi air delusi memberikan perubahan terhadap komposisi cairan yang keluar dari CST.

a. Pengaruh Rasio dan Suhu Air Delusi terhadap Kadar Minyak

Kadar minyak merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kondisi underflow CST karena menunjukkan jumlah minyak yang masih terbawa bersama aliran underflow setelah proses pemisahan. Berdasarkan hasil pengamatan, kadar minyak tertinggi diperoleh pada perlakuan rasio air delusi 18% dengan suhu 90°C, yaitu sebesar 10,84%. Sebaliknya, kadar minyak terendah diperoleh pada perlakuan rasio 20% dengan suhu 100°C, yaitu sebesar 7,80%.

Jika dilihat berdasarkan perubahan suhu pada rasio yang sama, peningkatan suhu air delusi menunjukkan kecenderungan menurunkan kadar minyak. Pada rasio 18%, kadar minyak turun dari 10,84% pada suhu 90°C menjadi 10,04% pada suhu 95°C dan 9,36% pada suhu 100°C. Pada rasio 19%, kadar minyak turun dari 8,97% menjadi 8,48% dan selanjutnya 8,08%. Sementara itu, pada rasio 20%, kadar minyak turun dari 8,36% menjadi 8,00% dan 7,80%.

Pola tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu air delusi dalam kondisi penelitian menyebabkan kadar minyak yang terukur pada underflow menjadi lebih rendah. Selain itu, peningkatan rasio air delusi juga memperlihatkan

kecenderungan yang sama. Pada suhu 90°C, kadar minyak menurun dari 10,84% pada rasio 18% menjadi 8,97% pada rasio 19% dan 8,36% pada rasio 20%. Pola yang sama juga terlihat pada suhu 95°C maupun 100°C.

Hasil analisis ANOVA memperkuat kecenderungan tersebut. Faktor rasio air delusi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar minyak dengan nilai signifikansi 0,000. Faktor suhu air delusi juga memberikan pengaruh sangat nyata dengan nilai signifikansi 0,000. Dengan demikian, perubahan kadar minyak yang terlihat pada hasil pengamatan tidak hanya merupakan variasi nilai antarulangan, tetapi menunjukkan adanya pengaruh perlakuan yang diberikan.

Nilai F pada faktor rasio sebesar 142,521 lebih tinggi dibandingkan nilai F pada faktor suhu sebesar 30,009. Berdasarkan hasil tersebut, faktor rasio air delusi memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap kadar minyak dibandingkan faktor suhu dalam kondisi penelitian ini. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah air delusi merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kadar minyak yang masih terdapat pada underflow CST.

Hasil uji DMRT juga menunjukkan bahwa rasio 18%, 19%, dan 20% berada pada kelompok yang berbeda. Rata-rata kadar minyak berturut-turut adalah 10,084%, 8,511%, dan 8,050%. Hal ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan rasio menghasilkan perbedaan kadar minyak yang nyata. Dengan demikian, kecenderungan penurunan kadar minyak berdasarkan data pengamatan juga didukung oleh hasil pengujian statistik.

Pada faktor suhu, hasil DMRT menunjukkan rata-rata kadar minyak sebesar 9,391% pada suhu 90°C, 8,840% pada suhu 95°C, dan 8,415% pada suhu 100°C. Ketiga perlakuan suhu juga menunjukkan perbedaan nyata. Dengan demikian, peningkatan suhu air delusi dari 90°C sampai 100°C pada penelitian ini diikuti oleh penurunan kadar minyak pada underflow CST.

Meskipun kedua faktor utama memberikan pengaruh sangat nyata, interaksi antara rasio dan suhu tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar minyak dengan nilai signifikansi 0,081. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh rasio terhadap kadar minyak tidak bergantung secara nyata pada tingkat suhu yang digunakan. Oleh karena itu, pengaruh rasio dan suhu dapat dilihat sebagai pengaruh masing-masing faktor terhadap kadar minyak.

Secara keseluruhan, hasil kadar minyak menunjukkan bahwa perlakuan rasio 20% dan suhu 100°C menghasilkan kadar minyak terendah, yaitu 7,80%. Sementara itu, kondisi rasio 18% dan suhu 90°C menghasilkan kadar minyak tertinggi, yaitu 10,84%. Berdasarkan data penelitian, peningkatan rasio dan suhu air delusi cenderung menghasilkan penurunan kadar minyak pada underflow CST.

b. Pengaruh Rasio dan Suhu Air Delusi terhadap Kadar Air



Kadar air merupakan parameter yang menunjukkan proporsi air yang terdapat pada underflow CST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola kadar air berbeda dengan kadar minyak. Jika kadar minyak cenderung menurun, kadar air justru meningkat seiring dengan peningkatan rasio dan suhu air delusi.

Pada perlakuan rasio 18%, kadar air meningkat dari 77,55% pada suhu 90°C menjadi 80,35% pada suhu 95°C dan 84,64% pada suhu 100°C. Pada rasio 19%, kadar air meningkat dari 82,86% menjadi 84,73% dan 86,64%. Sementara itu, pada rasio 20%, kadar air meningkat dari 85,82% pada suhu 90°C menjadi 86,79% pada suhu 95°C dan mencapai 87,50% pada suhu 100°C.

Berdasarkan pola tersebut, kadar air terendah diperoleh pada rasio 18% dan suhu 90°C, yaitu 77,55%. Sebaliknya, kadar air tertinggi diperoleh pada rasio 20% dan suhu 100°C, yaitu 87,50%. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan jumlah air delusi dan suhu air delusi diikuti dengan peningkatan kadar air pada underflow.

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa rasio air delusi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar air dengan nilai signifikansi 0,000. Suhu air delusi juga memberikan pengaruh sangat nyata dengan nilai signifikansi 0,000. Selain itu, interaksi antara rasio dan suhu memberikan pengaruh nyata dengan nilai signifikansi 0,019.

Adanya interaksi nyata pada kadar air menjadi hal yang berbeda dibandingkan dengan kadar minyak. Pada kadar minyak, interaksi rasio dan suhu tidak nyata, sedangkan pada kadar air interaksi keduanya nyata. Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan kadar air pada underflow tidak hanya dipengaruhi oleh rasio atau suhu secara terpisah, tetapi kombinasi kedua faktor tersebut juga memberikan pengaruh terhadap nilai kadar air.

Hasil DMRT berdasarkan rasio menunjukkan bahwa rasio 18%, 19%, dan 20% memiliki rata-rata kadar air masing-masing sebesar 80,84%, 84,74%, dan 86,70%, dengan kelompok yang berbeda. Artinya, peningkatan rasio air delusi menghasilkan peningkatan kadar air yang nyata. Rasio 20% memberikan rata-rata kadar air paling tinggi, sedangkan rasio 18% memberikan rata-rata paling rendah.

Pada faktor suhu, hasil DMRT menunjukkan rata-rata kadar air sebesar 81,57% pada suhu 90°C, 83,43% pada suhu 95°C, dan 85,62% pada suhu 100°C. Ketiga tingkat suhu tersebut menunjukkan perbedaan nyata. Hasil ini memperlihatkan bahwa peningkatan suhu air delusi juga diikuti oleh peningkatan kadar air.

Jika dibandingkan dengan hasil kadar minyak, terdapat hubungan pola yang berlawanan antara kedua parameter tersebut. Perlakuan yang menghasilkan kadar minyak lebih rendah cenderung menghasilkan kadar air yang lebih tinggi. Kombinasi rasio 20% dan suhu 100°C, misalnya, menghasilkan kadar minyak terendah sebesar 7,80%, tetapi pada saat yang sama menghasilkan kadar air tertinggi sebesar 87,50%.

Berdasarkan hasil tersebut, perubahan rasio dan suhu air delusi tidak hanya memengaruhi jumlah minyak yang masih terbawa pada underflow, tetapi juga memengaruhi komposisi air di dalam aliran tersebut. Oleh karena itu, peningkatan rasio dan suhu tidak dapat dinilai hanya berdasarkan satu parameter, tetapi perlu dilihat berdasarkan keseluruhan karakteristik underflow.

c. Pengaruh Rasio dan Suhu Air Delusi terhadap Kadar Kotoran

Kadar kotoran merupakan parameter yang digunakan untuk melihat jumlah material pengotor yang masih terdapat pada underflow CST. Berdasarkan hasil pengamatan, kadar kotoran menunjukkan kecenderungan yang sama dengan kadar minyak, yaitu mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya rasio dan suhu air delusi.

Pada rasio 18%, kadar kotoran mengalami penurunan dari 11,61% pada suhu 90°C menjadi 9,61% pada suhu 95°C dan 5,99% pada suhu 100°C. Pada rasio 19%, kadar kotoran menurun dari 8,17% menjadi 6,79% dan 5,27%. Pada rasio 20%, kadar kotoran juga menurun dari 5,76% pada suhu 90°C menjadi 5,30% pada suhu 95°C dan 4,67% pada suhu 100°C.

Nilai tertinggi kadar kotoran terdapat pada rasio 18% dan suhu 90°C, yaitu 11,61%. Sebaliknya, nilai terendah diperoleh pada rasio 20% dan suhu 100°C, yaitu 4,67%. Perbedaan tersebut memperlihatkan adanya kecenderungan penurunan kadar kotoran yang cukup jelas ketika rasio dan suhu air delusi ditingkatkan.

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa rasio air delusi memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar kotoran dengan nilai signifikansi 0,000. Suhu air delusi juga memberikan pengaruh sangat nyata dengan nilai signifikansi 0,000. Dengan demikian, kedua faktor utama tersebut terbukti berpengaruh terhadap kadar kotoran pada underflow CST.

Hasil uji DMRT berdasarkan rasio menunjukkan rata-rata kadar kotoran sebesar 9,069% pada rasio 18%, 6,744% pada rasio 19%, dan 5,245% pada rasio 20%. Ketiga perlakuan memiliki kelompok yang berbeda sehingga menunjukkan adanya perbedaan nyata. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan rasio air delusi dalam penelitian ini diikuti dengan penurunan kadar kotoran.

Pada faktor suhu, rata-rata kadar kotoran sebesar 8,515% diperoleh pada suhu 90°C, kemudian turun menjadi 7,232% pada suhu 95°C dan 5,311% pada suhu 100°C. Hasil DMRT menunjukkan adanya perbedaan nyata antarperlakuan suhu. Dengan demikian, peningkatan suhu air delusi juga memberikan kecenderungan penurunan kadar kotoran.

Interaksi antara rasio dan suhu terhadap kadar kotoran tidak menunjukkan pengaruh nyata dengan nilai signifikansi 0,054. Hasil tersebut menunjukkan bahwa meskipun masing-masing faktor berpengaruh sangat nyata, kombinasi keduanya tidak



menunjukkan pengaruh interaksi yang cukup kuat secara statistik. Oleh sebab itu, penurunan kadar kotoran lebih tepat dijelaskan berdasarkan pengaruh masing-masing faktor, yaitu rasio dan suhu air delusi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, rasio dan suhu air delusi berpengaruh sangat nyata terhadap kadar minyak, kadar air, dan kadar kotoran pada underflow Continuous Settling Tank (CST). Peningkatan rasio dan suhu air delusi cenderung menurunkan kadar minyak dan kadar kotoran, tetapi meningkatkan kadar air. Interaksi rasio dan suhu berpengaruh nyata terhadap kadar air, sedangkan terhadap kadar minyak dan kadar kotoran tidak berpengaruh nyata. Perlakuan 18% dengan suhu 90°C menghasilkan kadar minyak tertinggi sebesar 10,84%, sedangkan perlakuan 20% dengan suhu 100°C menghasilkan kadar minyak terendah sebesar 7,80% dan kadar kotoran terendah sebesar 4,67%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penyusunan manuskrip ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan terima kasih kepada PKS Pagar Merbau yang telah memberikan izin, fasilitas, serta membantu dalam pelaksanaan penelitian dan pengambilan data. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, seluruh civitas akademika Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI) Medan, keluarga, teman-teman, serta seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan, bantuan, doa, dukungan, dan motivasi selama proses penelitian hingga penyusunan manuskrip ini. Penulis menyadari bahwa manuskrip ini masih memiliki kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan dan perbaikan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustien, F. D. (2024). Manajemen penerimaan tandan buah segar kelapa sawit di PT Sawit Arum Madani Kabupaten Blitar.
- Alhuraishawy, A. K., Bai, B., Wei, M., Geng, J., & Pu, J. (2018). Mineral dissolution and fine migration effect on oil recovery factor by low-salinity water flooding in low-permeability sandstone reservoir. *Fuel*, 220, 898–907.
- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik kelapa sawit Indonesia 2022. Badan Pusat Statistik.
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. H. (2015). *The oil palm*. John Wiley & Sons.
- Damanik, G., Aisyah, S., & Giyanto. (2022). Agro Fabrica: Jurnal Teknik Pengolahan Hasil Perkebunan Kelapa Sawit dan Karet, 4(2).
- Febianto, A. N. (2020). Ekstraksi minyak kelapa menggunakan enzim bromelin dari buah nanas. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, 5(1), 389–394. <https://doi.org/10.26874/jt.vol5no1.254>
- Febianton, A. (2023). Perancangan mesin perontok tandan buah kelapa sawit yang restan. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(4), 1251–1259. <https://doi.org/10.31004/jutin.v6i4.20188>
- Fernanduss. (2023). Pengaruh penambahan air delusi (air pengencer) terhadap pemisahan minyak dan NOS di stasiun screw di PT Perkebunan Nusantara III Sei Mangkei.
- Hikmawan, O., & Naufa, M. (2021). Penentuan persen komposisi air, lumpur dan minyak kelapa sawit pada heavy phase di decanter di pabrik kelapa sawit. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 16(31), 28–35.
- Hutasoit, S. P. (2022). Pengaruh temperatur air delusi terhadap proses pengendapan sludge pada crude palm oil.
- Kokal, S. (2005). Crude-oil emulsions: A state-of-the-art review. *SPE Production & Facilities*, 20(1), 5–13.
- Lai, O. M., Tan, C. P., & Akoh, C. C. (2015). *Palm oil: Production, processing, characterization, and uses*. Elsevier.
- Lubis, A. U. (2008). Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Indonesia. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Meijaard, E., Brooks, T. M., Carlson, K. M., Slade, E. M., Garcia-Ulloa, J., Gaveau, D. L. A., Lee, J. S. H., Santika, T., Juffe-Bignoli, D., Struebig, M. J., Wich, S. A., Ancrenaz, M., Koh, L. P., Zamira, N., Abrams, J. F., Prins, H. H. T., Sendashonga, C. N., Murdiyarso, D., Furumo, P. R., et al. (2020). The environmental impacts of palm oil in context. *Nature Plants*, 6(12), 1418–1426. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00813-w>
- Naibaho, P. M. (1998). Teknologi pengolahan kelapa sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- Pahan, I. (2012). Panduan lengkap kelapa sawit: Manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir. Penebar Swadaya.
- Purwanti, A., & Rahmawati. (2019). Analisis proses pemisah kadar produksi crude palm oil (CPO) di PTP Nusantara 1 Tanjung Seumantoh-Aceh Tamiang. *Jurnal Hadron*, 1(1), 5–8. <https://www.ejurnalunsam.id/index.php/jh/article/download/1530/1487>
- Rahayu, S. N. K. (2011). Analisa pengaruh retention time terhadap persentase kadar kotoran pada crude palm oil (CPO). *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 3(2), 20–30.
- Remit Winardi, R., & Aldriany Prasetyo, H. (2025). Pengaruh temperatur air delusi terhadap komposisi fraksi pada cairan dan ampas keluaran screw press. 8(1).
- Reza, A. U. A. F., & Dharmawati, N. D. (2023). Analisis minyak keluaran digester dan press, vibrating screen dan variasi komposisi air pengencer terhadap minyak. *Agrotechnology, Agribusiness, Forestry, and Technology: Jurnal Mahasiswa Instiper (AGROFORETECH)*, 1(2), 1185–1193.
- Rizki, J., Nusril, N., & Asriani, P. S. (2014). Analisis penanganan penerimaan tandan buah segar pada PT Bio Nusantara Teknologi di Kecamatan Pondok Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah. *Jurnal AGRISEP: Kajian Masalah Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 103–130.
- Rosmiati, R., Kurnia, D., & Lumbantoruan, S. (2024). Perhitungan oil losses pada ampas press di proses



- pengepresan unit screw press PT XYZ. *Jurnal Vokasi Teknik*, 2(1), 1–5.
- Simatupang, H. O. (2024). Analisis perhitungan steam yang dibutuhkan pada proses pelumatan buah kelapa sawit di unit digester. Universitas Medan Area.
- Sitanggang, E., Hasibuan, A., & Novarika, W. (2019). Analisa pengaruh variasi penambahan air terhadap oil losses ampas press dan kadar air CPO pada stasiun screw press dengan metode linier berganda di PT Eastern Sumatra Indonesia Bukit Maradja Kota Pematang Siantar. 2(2).
- Subramaniam, V. (2016). Quantification of greenhouse gas emissions for the production of crude palm kernel oil: A cradle to gate study. *Journal of Oil Palm Research*, 28(3), 359–365.
<https://doi.org/10.21894/jopr.2016.2803.12>
- Sugiarto, M. J., Nagaginta, V. A., & Balpa, R. E. Y. (2020). Proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO (Crude Palm Oil) di PT Rea Kaltim Plantations, Kutai Kartanegara.
- Sujadi, H. A. H., & Rivani, M. (2017). Karakterisasi minyak selama pematangan buah pada tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) varietas DXP Simalungun. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 25(2), 59–70.
- Sundram, K., Sambanthamurthi, R., & Tan, Y. A. (2003). Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12(3).
- Wulandari, E. (2021). Pengaruh laju air pengencer terhadap persentase oil losses di PTPN 14 Unit Usaha PKS Luwu.