Jurnal Pengelolaan Perkebunan
Vol. 1, No. 1, Mei 2021, pp. 1-7
ISSN 2549-144X
http://ojs.polteklpp.ac.id/index.php/JPP/index

Evaluasi Kinerja *Kernel Silo* pada Berbagai Laju Luaran untuk Meningkatkan Kualitas Pengeringan *Kernel* di Pabrik Kelapa Sawit

Rengga Arnalis Renjani, Mhd. Taufik Ramadhan, Nuraeni Dwi Darmawati*

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, INSTIPER Yogyakarta, Indonesia
rengga_tepins@instiperjogja.ac.id; taufik202001@gmail.com: nuraeni.dwi.dharmawati@gmail.com
*Correspondent Author

Received: *Revised:* *Accepted:*

KATAKUNCI

Kadar air
Kernel silo
Laju luaran kernel
Pabrik kelapa sawit
Stasiun nut dan kernel

ABSTRAK

Proses pengeringan kernel pada pabrik kelapa sawit memang peran penting dalam menjaga mutu kernel dan stabilitas penyimpanan kernel. Permasalahan yang sering terjadi adalah kadar air kernel tidak sesuai dengan standar yang diharapkan (<6%), yang disebabkan waktu keluaran yang tidak optimal, sehingga menyebabkan distribusi bahan tidak merata di dalam kernel silo. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja kernel silo berdasarkan variasi laju luaran terhadap kualitas pengeringan kernel. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitaif dengan mengamati empat unit kernel silo, serta mengukur parameter laju luaran, kadar air, dan waktu inap di kernel silo. Data diperoleh melalui pengukuran waktu pengeluaran kernel sebanyak 1.500 kg dan analisis kadar air dari sampel kernel utuh. Hasil menunjukkan bahwa laju luaran masing-masing silo adalah 1,90; 2,32; 1,77; dan 1,69 kg/s, dengan kadar air akhir berkisar antara 5,09% hingga 5,17%, yang telah memenuhi standar industri. Waktu inap optimal kernel di dalam silo tercatat selama 30,85 jam. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaturan laju keluaran dan waktu tinggal kernel yang tepat dapat meningkatkan efisiensi proses pengeringan dan menjaga mutu kernel. Penerapan strategi ini sangat penting dalam mendukung operasional pabrik yang lebih andal, mengurangi risiko kerusakan kernel, dan meningkatkan efisiensi produksi pada industri kelapa sawit.

KEYWORDS

Kernel output rate
Kernel silo
Moisture
Nut and kernel station
Palm oil mill

Performance Evaluation of Kernel Silo at Varying Out Rates to Improve Kernel Drying Quality in Palm Oil Mills

The kernel drying process in palm oil mills played a crucial role in maintaining the quality and storage stability of palm kernels. A recurring issue was excessive kernel moisture content, often exceeding the industrial standard of <6%, due to suboptimal discharge timing. This led to uneven material distribution inside the kernel silo, reducing drying efficiency. This study aimed to evaluate the performance of kernel silos by examining the effect of different output rates on kernel drying quality. A quantitative approach was applied by monitoring four kernel silo units, measuring output rate, moisture content, and retention time. Data were collected by recording the time needed to discharge 1,500 kg of kernels and analyzing moisture content from whole kernel samples. The output rates of the four silos were 1,90; 2,32; 1,77; and 1,69 kg/s. Respectively, with final kernel moisture

 ISSN 2549-144X

content ranging from 5,09% to 5,17%, all within acceptable industry limits. The optimal retention time in the silo was determined to be 30,85 hours. The findings indicated that proper control of output rate and retention time enhanced drying performance and helped maintain kernel quality. This strategy contributed to more efficient plant operations, minimized quality degradation, and supported higher productivity in the palm oil industry.

This is an open-access article under the CC–BY-SA license.

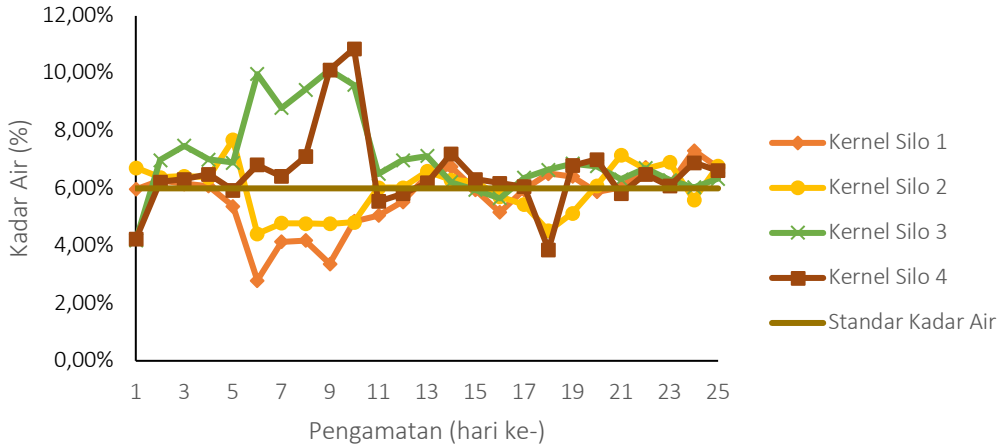
Pendahuluan

Pabrik kelapa sawit (PKS) mengelola tandan buah sawit (TBS) menjadi produk minyak kelapa sawit *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Palm Kernel* (PK). Proses pengolahan Tandan Buah Sawit (TBS) mempunyai alur proses yang panjang dan memerlukan kontrol yang tepat. Tahapan pengolahan TBS mempengaruhi pada tahap prosesnya [1]. Adapun tahapan yang dilakukan untuk proses pengolahan TBS antara lain penerimaan buah dilakukan sortasi sesuai dengan kriteria pada stasiun penerimaan, perebusan pada stasiun *sterilizer*, perontokan brondolan pada stasiun *thresher,* dilakukan pelumatan dan pengempaan pada stasiun *digester* dan *press*, minyak hasil pengempaan akan menuju stasiun klarifikasi, *cake (fiber and nut)* menuju stasiun *nut and kernel* [2].

Stasiun *nut and kernel* terdapat unit yang digunakan untuk mengurangi kadar air kernel yaitu kernel silo yang berbentuk tabung besar. Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 1, diketahui bahwa kernel silo 1 memiliki kadar air 52%. Pada kenel silo 2 persentase kadar air yakni 60%, sedangkan pada kernel silo 3 sebesar 88%, dan kernel silo 4 sebesar 76%. Kadar air kernel yang melebihi standar umumnya disebabkan oleh waktu keluaran yang tidak terkontrol, sehingga proses pengeringan dalam silo tidak berjalan optimal dan distribusi bahan tidak merata. Oleh karena itu, kadar air kernel ideal dijaga di kisaran 5-6% sesuai standar industri. Kadar air kernel diturunkan hingga mencapai 6-7%, bertujuan agar menonaktifkan mikroorganisme, perkembangan jamur, dan proses kenaikan asam lemak bebas selama penyimpanan kernel produksi [3].

Menurut Wahyudi *et al.* [4] jika melebihi standar, dilakukan analisa untuk menemukan penyebab kenaikan dan melakukan kontrol pada setiap peralatan untuk mencari pemecahan masalah. Faktor-faktor yang mengakibatkan fluktiatifnya kadar air kernel dipengatuhi oleh: temperatur, umumnya terjadi karena input *steam* yang tidak terkontrol, perubahan volume dan suhu lingkungan [5].

 ISSN 2549-144X



Gambar 1. Kadar air sebelum penelitian

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-0002-1987 yaitu kadar air kernel maksimal 8%, kadar pengotor maksimal 6% dan inti pecah maksimal 15%. Kadar air adalah jumlah air yang terdapat pada suatu benda, seperti tanah (yang biasa disebut dengan kelembapan tanah), bebatuan, bahan pertanian dan lainnya [6]. Kadar Pengotor (*dirt*) kernel meliputi dari cangkang, serabut dan benda lainnya yang terikut pada proses produksi [3]. Kadar pengotor adalah suatu parameter untuk menentukan dari mutu kernel produksi. Jenis kadar pengotor terdiri dari batu, kayu, cangkang, kernel utuh dan kernel pecah, yang kemudian akan ditimbang jumlahnya untuk dicari persentasenya[7].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengaturan suhu 60-70°C efektif menurunkan kadar air kernel [8]. Putra *et al.* (2023) [9] menegaskan bahwa durasi pengeringan turut menentukan mutu akhir kernel. Dari penelitian oleh Rosyidi *et al*. (2016) [10] perancangan otomatisasi *feeding* dan *discharged* kernel *drier silo* menggunakan tenaga *pneumatic* sebagai penggeranya untuk menurunkan kadar air kernel.

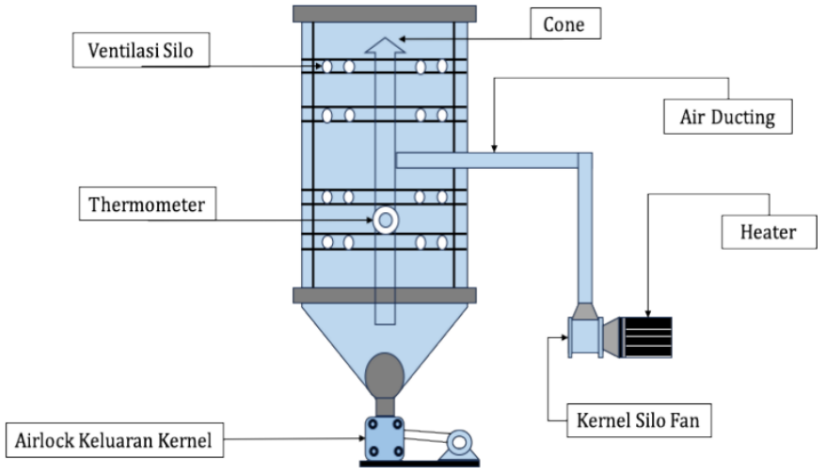
Berdasarkan penelitian yang berkembang, hingga sekarang belum ada penelitian khusus mengenai penentuan laju luaran kernel silo untuk mendapatkan kadar air minimum melalui waktu luaran, dan lama inap (*retention time)*. Penelitian dilakukan untuk menganalisis kadar air kernel berdasarkan waktu keluaran dan lama inap di kernel silo.

Metode

Penelitian dilakukan pada pabrik kelapa sawit Swasta yang terletak di Kecamatan Empanang, Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif melalui statistik sederhana [11] yang memerlukan data mengenai kadar air, suhu, waktu selama penyimpanan kernel pada kernel silo untuk mengetahui pengaruh lama waktu keluaran terhadap kadar air kernel produksi. Hal ini dapat dilihat dengan menghitung

 ISSN 2549-144X

persentase perubahan kadar air selama waktu pengeluaran. Pengamantan dilakukan mulai dari mengukur kadar air yang keluar dari kernel silo 1, kernel silo 2, kernel silo 3 dan kernel silo 4. Percobaan dilakukan selama beberapa hari, setiap hari diambil sampel sebanyak lima sampel setiap kernel silo. Skema kernel silo disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Kernel Silo

Prosedur pengambilan sampel dan data mengikuti tahapan penelitian yaitu dimulai dari tahapan mempelajari proses operasional kernel silo sesuai standar operasional prosedur. Pengujian kadar air dilakukan dengan mengambil sampel kernel produksi dari luaran kernel silo ±1 kg, kemudian memilah kernel bulat atau kernel utuh. Kernel bulat digerus atau dihancurkan menggunakan palu sampai kehalusan >5 mm. Menimbang wadah atau *petridish* dan catat berat wadah kosong tersebut. Sampel dimasukkan ke dalam *microwave* selama 8 menit (pemanasan pertama), didiamkan selama 5 menit lalu dipanaskan kembali selama 8 menit. Sampel yang telah dipanaskan, selanjutnya didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian ditimbang. Pengujian kadar air dapat dilakukan dengan rumus berikut: [12]

$$KA = \frac{W2-W3}{W2-W1} X\ 100\ \% \quad \ldots\ldots (1)$$

Keterangan
KA = Kadar Air (%)
W1 = Berat Wadah (gr)
W2 = Berat Wadah dan Sampel Basah (gr)
W3 = Berat Wadah dan Sampel Kering (gr)

Laju luaran kernel dilakukan dengan menampung kernel di *outlet* kernel silo, kemudian mencatat massa kernel yang keluar dalam selang waktu tertentu. Massa hasil timbangan dibagi dengan durasi waktu pengeluaran, sehingga didapat nilai laju luaran dalam satuan kg/s. Adapun rumus untuk menghitung laju luaran adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{\Delta_m}{\Delta_t} \quad \ldots\ldots (2)$$

 ISSN 2549-144X

Keterangan:
Q = Laju luaran (kg/s)
Δm = massa kernel (kg)
Δm = waktu yang dibutuhkan untuk mengeluarkan kernel (detik atau jam)

Tahapan menghitung waktu retensi (*retention time*) dihitung berdasarkan perbandingan antara volume kernel yang ditampung dalam silo dan laju aliran keluaran kernel dari silo. Adapun cara menghitung waktu retensi, adalah sebagai berikut:

$$W_r = \frac{V_{ks}}{L_k} \quad \text{..... (3)}$$

Keterangan:
Wr = Waktu retensi (jam)
Wks = Volume Kernel silo (kg)
Lk = Laju Luaran Kernel (kg/jam)

Hasil dan Pembahasan

1. Kadar Air Luaran dari Kernel Silo

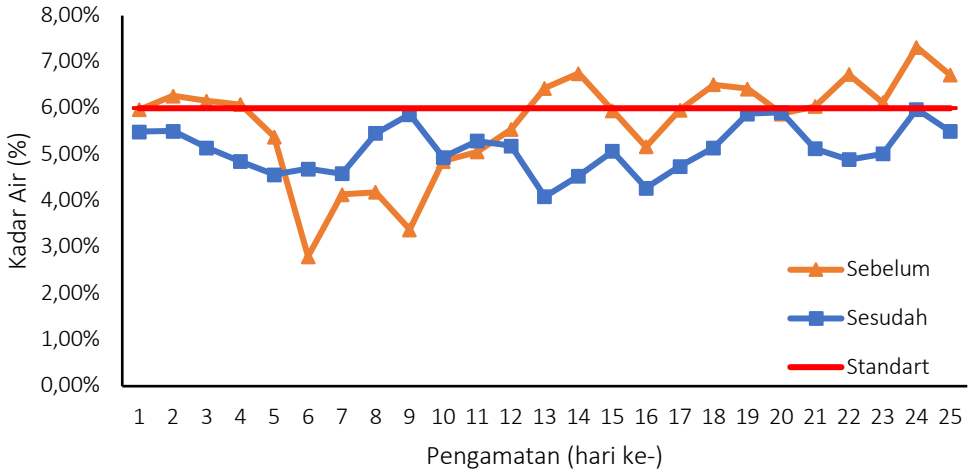
Hasil pengukuran kadar air kernel yang keluar dari silo sebelum dilakukan penelitian disajikan pada Gambar 1 dalam bentuk grafik. Kadar air yang kurang optimal terjadi karena waktu luaran yang tidak diperhatikan yang menyebabkan proses pengeringan di kernel silo tidak maksimal. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dornelas *et* al (2022) [13] waktu luaran kernel yang lama menyebabkan penumpukan kernel yang tidak merata, bahan menumpuk lebih banyak di satu sisi bagian kernel silo, mengakibatkan distribusi bahan yang tidak seimbang. Kernel cenderung menggumpal atau memiliki sifat aliran yang kurang baik, hal tersebut menyebabkan penurunan kualitas bahan karena pemadatan yang berlebihan di dalam silo[13].

Pada operasional kernel silo, pengaturan waktu keluaran kernel belum diterapkan secara sistematis. Operator umumnya hanya menekan tombol *release* tanpa mempertimbangkan durasi pengeluaran yang optimal. Kondisi ini menyebabkan proses pengeringan tidak berjalan efisien dan berdampak pada kadar air kernel yang melebihi standar. Berdasarkan temuan ini, diperlukan pendekatan penentuan laju luaran yang terukur untuk memperoleh kadar air kernel yang sesuai spesifikasi mutu industri kelapa sawit.

Kualitas dari kernel harus dijaga, agar mendapatkan kualitas produk yang bernilai tinggi. Parameter kualitas kernel menurut SNI 01-0002-1987 adalah kadar *moisture* maksimal 8%, kadar pengotor maksimal 6%, dan *broken nut* maksimal 15%. Standar internal kernel di pabrik kelapa sawit yaitu kadar *moisture* maksimal 5-6%, kadar pengotor maksimal 6% dan *broken nut* maksimal 15% [14].

 ISSN 2549-144X

Apabila kadar air kernel hasil produksi melebihi standar, maka kadar asam lemak bebas cenderung meningkat dan selama penyimpanan di *Kernel Silo Bin* (KSB), kernel produksi menjadi lebih rentan terhadap pertumbuhan jamur, Apabila *moisture* kernel di bawah standar mengakibatkan kerugian perusahaan, karena kadar air dibawah standar mempengaruhi tonase timbangan[15], [16]. Pada Gambar 2 disajikan perbandingan kadar air setelah dan sebelum penelitian terhadap standar operasional pabrik.



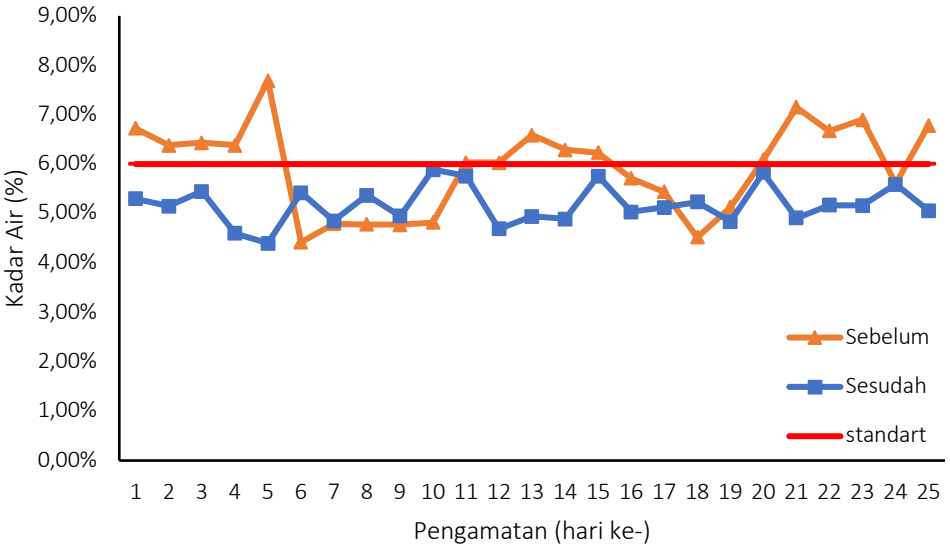
Gambar 3. Hasil pengukuran kadar air di kernel silo satu

Berdasarkan Gambar 3, kadar air pada kernel silo 1 menunjukkan penurunan signifikan setelah penyesuaian laju aliran. Sebelum perlakuan, kada air tertinggi sebesar 7,32% yang melebihi batas standar mutu. Setelah perlakuan kadar air tertinggi menurun menjadi 5,51%, dengan nilai rata-rata berada di bawah ambang batas standar industri. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengaturan laju keluaran kernel secara tepat meningkatkan efektivitas proses pengeringan dan menjaga kestabilan kadar air sesuai spesifikasi yang ditetapkan. Menurut Wijaya *et.* al., (2022) [17] suhu berpengaruh pada kadar air kernel sawit pada kernel silo, semakin tinggi suhu yang digunakan maka kadar air yang dihasilkan semakin rendah. Suhu kernel silo yang kurang, menyebabkan kadar air kernel masih tinggi sehingga mempercepat berkembangnya jamur pada kernel.

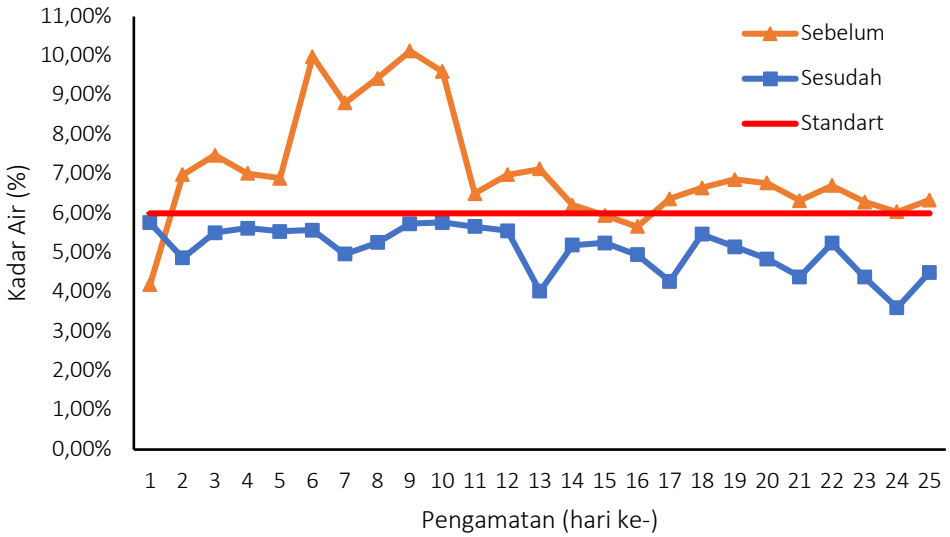
Pada Gambar 4 terlihat bahwa kadar air kernel pada silo 2, setelah dilakukan penyesuaian pengaturan luaran kernel berada dalam rentang yang sesuai dengan standar industri (pabrik kelapa sawit). Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar air kernel pada kernel silo 4 sebelum penyesuaian rata-rata berada di atas standar, dengan nilai tertinggi mencapai 10,12%. Setelah penyesuaian dilakukan, kadar air menurun hingga nilai tertinggi adalah 5,76% dan rata-rata berada dalam kisaran standar yang ditetapkan. Gambar 6 memperlihatkan perbandingan kadar air kernel sebelum dan sesudah penyesuaian. Secara umum, grafik setelah

 ISSN 2549-144X

penyesuaian menunjukkan perbaikan signifikan dan berada dalam rentang standar. Meskipun pada pengamatan hari ke-22 masih ditemukan kadar air yang melebihi standar yang ditetapkan yakni sebesar 6,82%.



Gambar 4. Hasil pengukuran kadar air di kernel silo dua

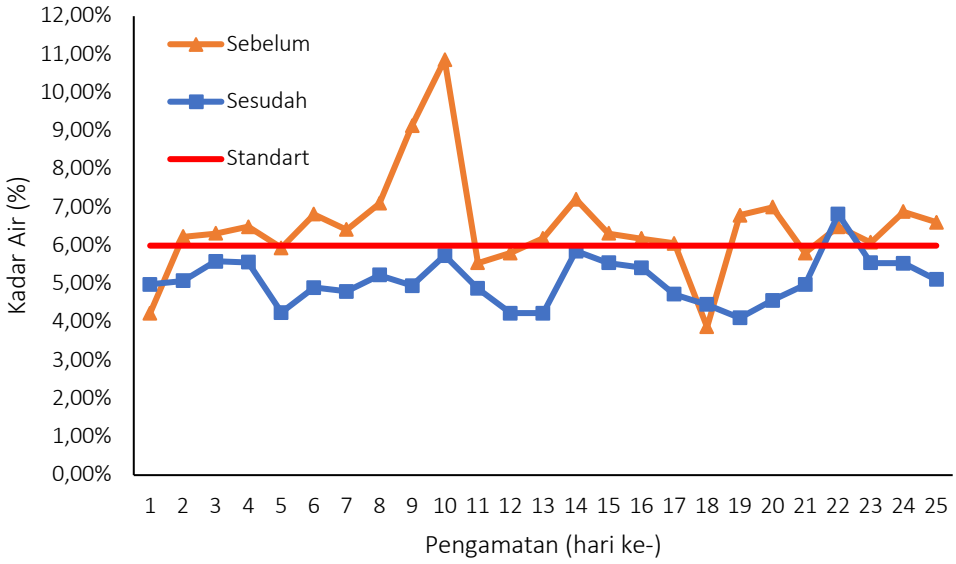


Gambar 5. Hasil pengukuran kadar air di kernel silo tiga

Penelitian ini membuktikan bahwa pengendalian laju luaran kernel silo melalui pengeturan waktu pengosongan (discharge time) berperan penting dalam menurunkan kadar air kernel hingga mendekati atau sesuai standar industri. Optimalisasi dilakukan dengan memperhatikan tiga parameter utama, yaitu: laju luaran (*flow rate*), suhu di dalam silo, serta lama waktu inap (*retention time*). Kombinasi pengaturan ini menghasilkan kadar air akhir kernel yang stabil dan konsisten, serta mengukung efisiensi kualitas produk akhir. Hal ini

 ISSN 2549-144X

sejalan dengan pernyataan Rosyidi *et.* al., (2016) [10] yang menyebutkan bahwa lama waktu pengeringan, debit umpan, dan waktu luaran, akan mempengaruhi efisiensi pascapanen.



Gambar 6. Hasil pengukuran kadar air di kernel silo empat

2. Hasil Luaran Kernel Silo

Laju luaran menggambarkan kecepatan pengeluaran kernel dari silo. Semakin tinggi laju luaran, semakin cepat kernel dikeluarkan, sehingga waktu kontak kernel dengan panas atau udara pengering menjadi lebih singkat. Jika laju luaran terlalu besar, pengeringan menjadi tidak tuntas dan kadar air cenderung masih tinggi. Hasil luaran kernel silo tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil luaran kernel silo

No.	Unit yang digunakan	Total waktu untuk mengeluarkan 1500 kg (menit)	Laju keluaran (kg/m)	Laju keluaran (kg/s)
1.	Kernel Silo satu	13,14	114,17	1,90
2.	Kernel Silo dua	10,76	139,40	2,32
3.	Kernel Silo tiga	14,05	106,71	1,77
4	Kernel Silo empat	14,71	101,93	1,69

Berdasarkan hasil luaran pada Tabel 1 kernel silo 1 untuk mengeluarkan 1500 kg membutuhkan waktu 13,14 menit atau laju luaran 1,90 kg/s. Pada kernel silo 2 untuk menghasilkan berat keluaran sebesar 1500 kg membutuhkan waktu 10,76 menit (2,32 kg/s). Kernel silo 3 untuk berat 1500 kg membutukan waktu 14,05 menit (1,77 kg/s), dan Kernel silo

 ISSN 2549-144X

4 membutuhkan waktu 14,71 menit untuk mengeluarkan kernel seberat 1500 kg atau sebanyak 1,69 kg/s.

Perbedaan laju keluaran kernel disebabkan karena ada perbedaan spesifikasi komponen mesin. Kernel silo 1, 3 dan 4 menggunakan *airlock* dengan *teeth sprocket* ukuran 13/27. Kernel Silo 2 menggunakan *airlock* dengan *teeth sprocket* penggerak luaran kernel dengan ukuran 13/32, menyebabkan putaran rotor berbeda sehingga kernel silo 2 dapat mengeluarkan kernel 1500 kg dengan waktu 10,76 m, lebih cepat dari kernel silo lainnya. Penelitian yang telah dilakukan, sejalan dengan penelitian Qistan *et* al (2023) [18] yang menyatakan perbedaan spesifikasi mesin seperti kecepatan putaran *screw* dan jarak *rotor bar* menjadi penyebab perbedaan nilai yang cukup signifikan.

3. Analisis Lama Tinggal Optimum

Waktu retensi merupakan indikator penting dalam menentukan efektivitas proses penurunan kadar air kernel di dalam silo. Kadar air kernel dipengaruhi secara langsung oleh laju luaran dan waktu inap (*retention time*) dalam silo. Laju luaran yang terlalu cepat akan mempersingkat waktu retensi, sehingga proses pengeringan tidak optimal dan kadar air cenderung tinggi. Sebaliknya, laju luaran yang lebih lambat memungkinkan waktu inap lebih lama, sehingga pengeringan berlangsung merata dan kadar air dapat diturunkan hingga mencapai standar mutu yang ditetapkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan kapasitaas silo sebesar 46,28 ton dan laju keluaran kernel sebesari 1500 kg/jam, waktu inap kernel mencapai 30,85 jam. Durasi ini dinilai optimal, sebab mampu mempertahankan kadar air kernel dalam batas standar industri (<6%), serta mencegah terjadinya penumpukan material yang dapat mengganggu distribusi penyebaran panas.

Simpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa pengaturan laju keluaran dan waktu inap kernel pada kernel silo secara signifikan menurunkan kadar air yang sesuai standar industri (<6%). Waktu keluaran kernel di setiap kernel silo yaitu: kernel silo 1 dengan laju luaran 1,90 kg/s, kernel silo 2 dengan laju luaran 2,32 kg/s, kernel silo 3 dengan laju luaran 1.77 kg/s, kernel silo 4 dengan laju luaran 1,69 kg/s. Laju keluaran pada masing-masing kernel silo yang telah disesuaikan menghasilkan kadar air rata-rata yang berbeda dalam rentang standar industri. Kernel silo 1 tercatat kadar air rata-rata sebesar 5,17%, silo 2 sebesar 5,09%, silo 3 sebesar 5,11%, dan silo 4 sebesar 3,13%. Lama waktu inap *(retention time)* kernel di kernel silo yaitu 30,85 jam. Melalui penelitian ini, menawarkan metode optimasi penyimpanan yang dapat diterapkan dalam rangka meningkatkan efisiensi pasca produksi di pabrik sejenis.

Daftar Pustaka

[1] G. Muslih and H. Iswarini, "Analisis Manajemen Produksi Agribisnis Pabrik Kelapa Sawit PT. Buluh Cawang Plantation Dabuk Rejo Kecamatan Lempung Kabupaten Ogan Komering Ilir," *Societa*, vol. XI, no. 1, pp. 50–59, 2022.

[2] M. Hafiz, R. A. Renjani, A. Haryanto, N. Araswati, and I. D. M. Subrata, "Design of Temperature and Volume Control System at Crude Palm Oil (CPO) Storage Tank," *Proceedings of AESAP*, vol. 13, no. 14, pp. 95–102, 2016, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316880188.

[3] Irwansyah and L. Angraeni, "Analisis Mutu Kernel Produsi Kelapa Sawit pada Kernel Dryer di PT. Socfin Indonesia Kebun Seunagan," *Jurnal Pertanian Agros*, vol. 25, no. 2, pp. 1470–1476, 2023.

[4] J. Wahyudi, R. A. Renjani, and Hermantoro, "Analisis Oil Losses pada Fiber dan Broken Nut di Unit Screw Press dengan Variasi Tekanan," *Prosiding Seminar Nasional Perpeta*, vol. 13, no. 14, pp. 399–404, 2012, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/288221911

[5] R. A. Renjani, R. Sugiarto, and N. D. Dharmawati, "Pengamatan Kualitas CPO pada Storage Tank Dengan Penambahan Sistem Pengadukan pada Berbagai Variasi Temperatur," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, vol. 9, no. 4, pp. 343–352, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9.i4.343-352.

[6] T. F. Prasetyo, A. F. Isdiana, and H. Sujadi, "Implementasi Alat Pendeteksi Kadar Air pada Bahan Pangan Berbasis Internet Of Things," *SMARTICS Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 81–96, Oct. 2019, doi: 10.21067/smartics.v5i2.3700.

[7] S. Maryati and S. Suhaini, "Analisis Kadar Air Dan Kadar Kotoran Terhadap Mutu Inti Kelapa Sawit (Palm Kernel) Di Kernel Bin PT. Socfindo Kebus Seunagan," *Jurnal Pertanian Agros*, vol. 25, no. 1, pp. 159–168, 2023.

[8] D. Rachmat and A. P. Putra, "Analisis Setting Temperature Dan Bukaan Steam Valve Terhadap Kadar Air Kernel Pada Kernel Silo Dengan Metode Regresi Di Pabrik Kelapa Sawit," *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, vol. 4, no. 2, 2022.

[9] B. A. Putra, Hermantoro, and G. Supriyanto, "Pengaruh Suhu Dan Waktu Pengeringan Terhadap Kadar Air Kernel Di Kernel Silo," *AE Innovation: Agricultural Engineering Innovation Journal*, vol. 1, no. 01, 2023, [Online]. Available: https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/AEI

[10] E. Rosyidi, A. Aulia, and S. Ardi, "Disain Otomatisasi Sistem Feeding dan Discharged pada Kernel Srier Silo untuk Menurunkan Moisture Kernel Produksi Hingga Mencapat 5.5-6.5%," *Technologic*, vol. 7, no. 2, 2016.

[11] N. N. Fadhilah, L. Safitri, U. A. Alfian, N. D. Dharmawati, and R. A. Renjani, "Minimize Oil Losses in Palm Oil Mill through Optimalization of Sludge Separator Performance," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, vol. 13, no. 1, p. 123, Feb. 2024, doi: 10.23960/jtep-l.v13i1.123-131.

[12] D. Kusdiandi, Rosmawati, and J. S. M. Purba, "Analisa Kadar Air dan Kadar Kotoran Inti Di Pabrik Kelapa Sawit Aek Nabara Selatan PT. Perkebunan Nusantara III," *Jurnal Teknologi Informasi dan Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 78–86, 2023.

[13] K. C. Dornelas *et al.*, "Flow Properties For Silo Design - A Review," *International Journal of Development Research*, vol. 12, no. 07, pp. 57772–57777, Jul. 2022, doi: 10.37118/ijdr.24977.07.2022.

[14] H. B. Daulay, P. Imam, and M. Hidayat Subha, "Profil dan Konsistensi Mutu Kernel Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. Daria Dharma Pratama Lubuk Bento," *Jurnal Agroindustri* , pp. 109–117, 2019, doi: 10.31186/j.agroind.9.2.109-116.

[15] A. B. Rantawi, A. Mahfud, and E. R. Situmorang, "Korelasi Antara Kadar Air pada Kernel Terhadap Mutu Kadar Asam Lemak Bebas Produk Palm Kernel Oil Yang Dihasilkan (Studi Kasus pada PT XYZ)," *Industrial Engineering Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 36–42, 2017.

[16] L. Laila and S. Alamsyah, "Kajian Pengaruh Tekanan Kerja Steam pada Mesin Steam Heater terhadap Kadar Air Kernel di Pabrik Kelapa Sawit," *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, vol. 2, no. 2, 2020.

[17] M. F. Wijaya, Suliawati, and B. Harahap, "Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air pada Inti Sawit di Kernel Silo pada Stasiun Kernel Dengan Metode Rancang Acak Lengkap," *Buletin Utama Teknik*, vol. 17, no. 2, pp. 1410–4520, 2022.

[18] M. I. M. Qistan, Satriana, and Juanda, "Efisiensi Kinerja Mesin Ripple Mill pada Stasiun Kernel di PT X Jambi," *Jurnal Serambi Engneering*, vol. VIII, no. 3, pp. 6217–6225, 2023.

[1] Arifin, Z., & Suryanto, A., "Kinerja Sistem Pengeringan Kernel Silo pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 60 Ton TBS/Jam," Jurnal Keteknikan Pertanian, vol. 9, no. 1, pp. 45-56, 2021. Available: https://doi.org/10.19028/jtep.09.1.45-56

[2] Bakar, N. A., & Ahmad, S., "Heat Transfer and Moisture Loss Modeling in Industrial Oil Palm Kernel Silo Dryers," Journal of Oil Palm Research, vol. 31, no. 3, pp. 455-467, 2019. Available: https://doi.org/10.21894/jopr.2019.0041

[3] Bukit, E., & Sembiring, S., "Analisis Efisiensi Termal Udara Panas pada Kernel Silo Heater di Pabrik Kelapa Sawit," Jurnal Teknik Mesin Indonesia, vol. 15, no. 2, pp. 89-98, 2020. Available: https://doi.org/10.36289/jtmi.v15i2.156

[4] Corley, R. H. V., & Tinker, P. B., "The Oil Palm (5th ed,"). John Wiley & Sons, 2016. Available: https://doi.org/10.1002/9781118953297

[5] Darmosarkoro, W., & Rahutomo, S., "Faktor Penentu Kualitas Inti Sawit (Palm Kernel): Kadar Air, Asam Lemak Bebas, dan Kontaminasi Cangkang," Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, vol. 27, no. 2, pp. 99-110, 2019. Available: https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.2019.27.2.99

[6] Fauzi, Y., & Paeru, R. H., "Pengolahan Pascapanen Kelapa Sawit dari TBS Menjadi CPO dan Kernel," Penebar Swadaya, 2020. Available: https://books.google.com/books?id=pascapanen-sawit2020

[7] Gunawan, A., & Handayani, T., "Pengaruh Laju Aliran Udara Pengering Terhadap Waktu Tinggal dan Kadar Air Inti Sawit di Kernel Silo," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 12, no. 1, pp. 55-66, 2021. Available: https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.01.6

[8] Hadi, M., & Tarwotjo, U., "Kerusakan Mekanis dan Fisiologis Kernel Sawit Akibat Suhu Pengeringan Berlebih pada Silo," Jurnal Riset Industri Hasil Perkebunan, vol. 15, no. 1, pp. 23-32, 2020. Available: https://doi.org/10.24111/jrihp.v15i1.5120

[9] Hartono, S., & Muningsih, R., "Standar Mutu dan Pengendalian Kehilangan Minyak Kernel (Kernel Losses) di Stasiun Klarifikasi dan Kernel Plant," Jurnal Industri Pertanian, vol. 4, no. 1, pp. 33-44, 2022. Available: https://doi.org/10.25181/jip.v4i1.2145

[10] Hasan, B., & Munir, M., "Efek Waktu Retensi Kernel Silo Terhadap Kenaikan Kadar Asam Lemak Bebas (ALB) Inti Sawit," Jurnal Teknologi Agroindustri, vol. 7, no. 2, pp. 112-121, 2020. Available: https://doi.org/10.34128/jtai.v7i2.112

[11] Kurnia, D., & Setiawan, A., "Optimasi Parameter Operasi Kernel Silo untuk Mencapai Standar Kadar Air Ekspor (< 7%)," Jurnal Teknik Industri Pertanian, vol. 31, no. 2, pp. 145-156, 2021. Available: https://doi.org/10.24961/jtip.31.2.145

[12] Lubis, R. E., & Widanarko, A., "Pedoman Operasional Pabrik Kelapa Sawit," AgroMedia Pustaka, 2019. Available: https://books.google.com/books?id=pks-pedoman2019

[13] Mankin, K. R., & Salyani, M., "Drying Kinetics and Airflow Distribution in Deep Bed Grain and Kernel Silos," Transactions of the ASABE, vol. 62, no. 4, pp. 889-901, 2019. Available: https://doi.org/10.13031/trans.13245

[14] Nangoi, R., & Suprijono, E., "Neraca Massa dan Energi pada Stasiun Pemecah Biji dan Kernel Silo PKS," Jurnal Mekanisasi Agroindustri, vol. 2, no. 1, pp. 15-26, 2020. Available: https://doi.org/10.35308/jma.v2i1.2140

[15] Pahan, I., "Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Pengolahan Pabrik dan Pemasaran," Penebar Swadaya, 2019. Available: https://books.google.com/books?id=pahan-pks2019

[16] Prasetyo, A., & Utomo, C., "Evaluasi Performa Steam Heater dan Blower Induced Draft pada Silo Pengering Inti Kelapa Sawit," Jurnal Mekanika Terapan, vol. 8, no. 2, pp. 77-86, 2021. Available: https://doi.org/10.31186/jmt.8.2.77-86

[17] Pusat Penelitian Kelapa Sawit., "Standar Kualitas Pengolahan Inti Sawit dan Pengendalian Losses Pabrik," PPKS Medan, 2021. Available: https://iopri.org/kernel-quality-manual

[18] Rahman, M. M., & Ismail, B. S., "Quality Assessment of Crude Palm Kernel Oil Extracted from Stored Palm Kernels," Food Chemistry, vol. 280, pp. 245-254, 2019. Available: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.067

[19] Rao, V. S., "Postharvest Technology of Oilseeds and Nuts (2nd ed,"). CRC Press, 2020. Available: https://doi.org/10.1201/9780429198124

[20] Sari, D. P., & Wibowo, A., "Pencegahan Terjadinya Titik Panas (Hot Spots) dan Self-Heating pada Silo Penyimpanan Kernel Sawit," Jurnal Teknik Pertanian Lampung, vol. 10, no. 1, pp. 34-43, 2021. Available: https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i1.34-43

[21] Setiawan, D., & Wardani, N., "Audit Energi Termal pada Pengeringan Inti Sawit di PTPN IV Kebun Luwu," Jurnal Manajemen Agroindustri, vol. 10, no. 2, pp. 167-178, 2022. Available: https://doi.org/10.24843/JMA.2022.v10.i02.p08

[22] Siahaan, M. M., & Hidayat, F., "Pengaruh Suhu dan Kelembaban Udara Pengering Terhadap Pembentukan Jamur Aspergillus flavus pada Kernel Sawit," Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, vol. 28, no. 3, pp. 133-144, 2020. Available: https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.2020.28.3.133

[23] Sudradjat, S., & Latif, M., "Manajemen Stasiun Nut and Kernel untuk Memaksimalkan Efisiensi Ekstraksi Minyak Inti Sawit (CPKO)," Jurnal Manajemen Perkebunan, vol. 8, no. 1, pp. 67-78, 2020. Available: https://doi.org/10.32832/jmp.v8i1.3341

[24] Widodo, T., & Nugroho, A., "Otomasi Pengaturan Suhu Kernel Silo Berbasis Sensor Thermocouple Multi-Level," Jurnal Enjiniring Pertanian, vol. 18, no. 2, pp. 89-98, 2020. Available: https://doi.org/10.21082/jep.v18i2.2020.89-98

[25] Yusuf, M., & Pratama, R., "Pengaruh Laju Pengeluaran Inti Sawit (Discharge Rate) Terhadap Homogenitas Kadar Air Akhir di Silo," Jurnal Rekayasa Proses, vol. 15, no. 1, pp. 45-56, 2021. Available: https://doi.org/10.22146/jrekpros.59124