Volume 6, Nomor 2, 2025, hlm 214-221
Jurnal Terapan Teknik Industri
ISSN [print] 2722 3469 | ISSN [Online] 2722 4740
https://jurnal.sttmcileungsi.ac.id/index.php/jenius
https://doi.org/10.37373/jenius.v6i2

Meningkatkan output produksi dengan mengurangi downtime menggunakan metode DMAIC di Industri atap semen fiber

Increasing production output by reducing downtime using the DMAIC Method in the fiber cement roofing industry

Imbuh Rochmad*, Hamonangan Girsang, Kukuh Mahi Sudrajat

*Universitas Mercu Buana, Meruya, Jakarta, Indonesia

*Email: imbuh.rochmad@mercubuana.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel
- Artikel dikirim 5/7/2025
- Artikel diperbaiki 28/7/2025
- Artikel diterima 29/8/2025

ABSTRAK

Persaingan bisnis terus meningkat, terutama industri atap fibersemen. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya industri sejenis yang bermunculan. Untuk mempertahankan kelangsungan bisnisnya berbagai upaya perbaikan harus dilakukan oleh pelaku bisnis atap fibersemen, salah satunya adalah penerapan *Lean Manufacturing*. Penelitian ini dilakukan pada salah satu *line* mesin di industri atap fibersemen dengan *stoppages/downtime* mesinnya 4.45%, hal ini menjadi masalah besar terhadap hasil produksi. Perusahaan hanya memberikan batasan *stoppages/downtime* setiap mesin sebesar 2%. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui penyebab utama dari *downtime* mesin, kemudian menentukan tindakan perbaikan sebagai implementasi Tingkat Kesiapterapan Teknologi Level 8. Metode yang digunakan adalah DMAIC. DMAIC meliputi tahapan *define, measure, analyze, improve* dan *control.* Setelah diidentifikasi ternyata permasalahan menunjukkan bahwa proses pemotongan menggunakan *water jet* merupakan penyebab utama *downtime.* Tindakan perbaikan berupa penggantian sistem pemotongan menjadi *circular saw.* Hasil perbaikan ini dapat menurunkan *downtime* mesin sebesar 70% dari masalah utama yang sudah ditentukan.

Kata Kunci: Persaingan bisnis; *lean manufacturing system*; *downtime*; output produksi; biaya produksi.

ABSTRACT

Business competition continues to increase, especially in the fiber cement roofing industry. This is indicated by the increasing number of similar industries emerging. To maintain business continuity, various improvement efforts must be undertaken by fiber cement roofing businesses, one of which is the implementation of Lean Manufacturing. This research was conducted on one of the machine lines in the fiber cement roofing industry with machine stoppages/downtime of 4.45%, this is a major problem for production results. The company only limits stoppages/downtime for each machine to 2%. The purpose of this research is to determine the main causes of machine downtime, then determine corrective actions as an implementation of Technology Readiness Level 8. The method used is DMAIC. DMAIC includes the stages of define, measure, analyze, import and control. After identifying the problem, it turns out that the cutting process using a water jet is the main cause of downtime. The corrective action is to replace the cutting system with

JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

a circular saw. The results of this improvement can reduce machine downtime by 70% from the main problem that has been determined.

***Keywords**: Business competition; lean manufacturing system; downtime; production output; production costs*

1. Pendahuluan

Dalam era persaingan bisnis yang semakin kompetitif, perusahaan manufaktur dituntut untuk meningkatkan efisiensi operasional secara berkelanjutan khususnya industri atap fibersemen. Salah satu pendekatan yang telah banyak diadopsi untuk mencapai efisiensi tersebut adalah *Lean Manufacturing*. *Lean* bertujuan mengeliminasi pemborosan (*waste*) dalam berbagai bentuk, termasuk *downtime* periode ketika mesin atau proses berhenti beroperasi yang berdampak langsung pada produktivitas dan biaya produksi [1] [2]. *Downtime* menjadi kendala utama dalam implementasi *Lean* karena menyebabkan ketidakefisienan pada aliran proses dan keterlambatan pengiriman produk [3]. Penelitian menunjukkan bahwa *downtime* tidak hanya menurunkan output, tetapi juga mengganggu stabilitas jadwal produksi [4]. Oleh karena itu, pengurangan *downtime* merupakan komponen krusial dalam upaya implementasi *Lean* yang efektif [5]. Penelitian ini dilakukan pada salah satu *line* mesin di industri atap fibersemen dengan *stoppages/downtime* mesinnya 4.45%, hal ini menjadi masalah besar terhadap hasil produksi. Perusahaan hanya memberikan batasan *stoppages/downtime* setiap mesin sebesar 2%.

Sejumlah metode *Total Productive Maintenance* (TPM) dan SMED (*Single-Minute Exchange of Die*) telah terbukti mampu menekan waktu henti produksi [6][7]. Penerapan pendekatan tersebut juga dapat dikombinasikan dengan metode *Six Sigma* atau DMAIC untuk memperoleh hasil perbaikan yang lebih terukur dan berkelanjutan [8]. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh *downtime* terhadap *Lean Manufacturing* menjadi hal yang penting bagi pengambilan keputusan strategis dalam pengelolaan sistem produksi. *Lean Manufacturing* merupakan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (*waste*) dalam proses produksi, dengan tujuan akhir meningkatkan nilai bagi pelanggan [9]. Salah satu bentuk pemborosan yang sering terjadi di lantai produksi adalah *downtime*, yakni waktu ketika mesin atau proses tidak beroperasi secara efektif.

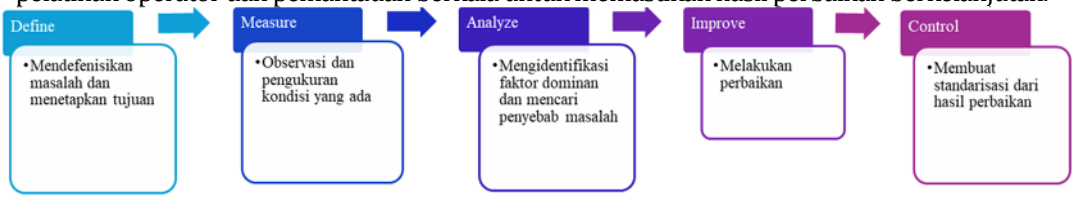
Hambatan utama dalam penerapan *Lean* di industri adalah kurangnya pemahaman terhadap faktor-faktor operasional seperti waktu henti mesin [10]. Ketidakkonsistenan jadwal pemeliharaan menjadi salah satu penyebab utama *downtime* dalam implementasi *Lean* [11]. Sementara itu *Lean* menekankan pentingnya keberlanjutan dalam *Lean* yang hanya dapat dicapai dengan mengeliminasi waktu tidak produktif secara sistematis [12]. Manurung et al. [13] dalam tinjauan pustakanya menyatakan bahwa *Lean* dapat dioptimalkan melalui pendekatan *continuous improvement* yang menyasar *downtime* sebagai salah satu prioritas utama. *Lean maintenance* sebagai strategi pemeliharaan preventif untuk meminimalkan waktu kerusakan dan memperpanjang usia mesin [14]. Integrasi *Lean* dengan metode *Six Sigma* seperti DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) telah terbukti efektif mengurangi *cost of poor quality* yang salah satunya berasal dari *downtime* [15]. Pendekatan DMAIC berhasil menurunkan *downtime* melalui analisis akar masalah dan peningkatan berkelanjutan [16]. Pengurangan waktu henti dan pergerakan yang tidak perlu berdampak signifikan terhadap throughput operasional. Dampak *downtime* terhadap ketidakstabilan jadwal produksi dan menekankan pentingnya penanganan downtime yang terjadwal dan tidak terjadwal [17]. Studi kasus sukses penerapan alat *Lean* seperti *value stream mapping* dan 5S dalam mengurangi *downtime* pada perusahaan manufaktur kecil [18][19]. Pendekatan *Lean Six Sigma* dapat menurunkan *E-Downtime* secara signifikan dalam proses produksi massal [20]. Menelusuri pengaruh durasi dan frekuensi *downtime* terhadap performa sistem produksi, menekankan pentingnya pemantauan data historis untuk perbaikan proses [21]. Prinsip-prinsip *Lean* seperti *pull system* dan *flow* memiliki efek signifikan dalam menurunkan *downtime* dan meningkatkan efisiensi [22]. Analisis statistik praktik *Total Productive Maintenance* membuktikan bahwa keandalan mesin yang baik mampu mengurangi frekuensi *downtime* secara substansial [23]. Sementara itu, pendekatan klasik melalui metode SMED secara khusus menyasar pengurangan waktu changeover, yang merupakan bentuk downtime umum [24]. Pentingnya pemetaan aliran nilai untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi *non-value-added activities*, termasuk *downtime* [25]. Berdasarkan literatur yang

dianalisis, penelitian ini akan menggunakan metode DMAIC sebagai tahapan dalam menyelesaikan masalah tingginya *downtime.* Tujuan penelitian ini adalah mengetahui penyebab utama dari downtime mesin, kemudian menentukan tindakan perbaikan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC*) untuk mengatasi tingginya *downtime* pada *Sheet Machine* 3, yang mencapai 4,45%, melebihi target maksimal perusahaan sebesar 2%. Tahapan DMAIC tersusun secara sistematis, dimana setiap tahapannya mempunyai objektif. Tahapan DMAIC dapat dilihat pada Gambar 1. Berikut penjelasan masing-masing tahapan:

- *Define: M*asalah utama diidentifikasi. *downtime sheet machine* 3 melebihi batas standar. Tujuannya untuk menurunkan *downtime* hingga ≤ 2%.
- *Measure:* Dilakukan observasi dan pencatatan data *downtime*, kemudian stratifikasi berdasarkan aktivitas penyebab. Data menunjukkan bahwa proses pemotongan menjadi sumber utama *downtime.*
- *Analyze:* Diagram Pareto digunakan untuk mengidentifikasi faktor dominan. Proses pemotongan dengan teknologi *water jet trim* menjadi kontributor terbesar terhadap d*owntime* karena sering mengalami gangguan teknis.
- *Improve:* Solusi perbaikan yang dilakukan dengan mengganti sistem pemotongan dari *water jet trim* menjadi *circular saw*, yang lebih andal dan cepat. Hasilnya, *downtime* berhasil ditekan hingga di bawah 2%.
- *Control:* Bagian ini dibuatkan *Standard Operation Procedure* (SOP) baru diterapkan, disertai pelatihan operator dan pemantauan berkala untuk memastikan hasil perbaikan berkelanjutan.



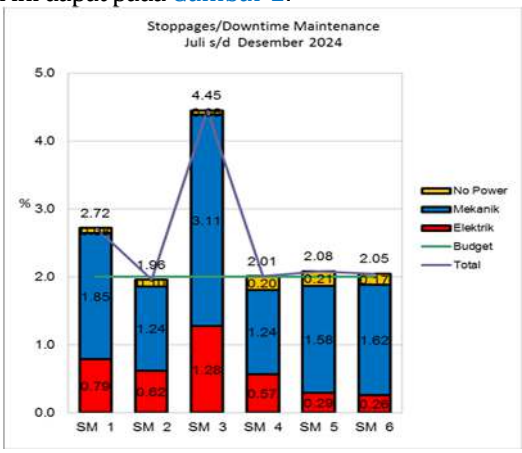
Gambar 1. Tahapan DMAIC

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas aspek improvisasi dengan pendekatan DMAIC dan diakhir dilakukan pembahasan atas pencapaian dari target.

Define

Berdasarkan hasil observasi awal, *Sheet Machine* 3 mengalami rata-rata *downtime* sebesar 4,45% dari total waktu produksi, melebihi batas toleransi perusahaan yaitu 2%. Data *downtime* yang dikumpulkan selama periode Juli–Desember 2024 menunjukkan bahwa penyebab utama berasal dari proses pemotongan. Kondisi ini dapat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Stoppages/downtime sheet machine*

Berdasarkan data *downtime* kemudian dianalisis penyebab masalah terbesar untuk mengidentifikasi pada faktor yang berpengaruh signifikan.

Measure

Melalui stratifikasi data pada Tabel 1, Tabel 2, didapatkan frekuensi *downtime* dan akumulasi waktu dalam *stoppages sheet* mesin 3. Berikut datanya dapat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Stoppages Sheet Machine* 3

No	Area	*Stoppages* (menit)	Frekuensi
1	*Dry End*	3045	262
2	*Stacker*	2383	233
3	*Wet End*	1770	58
4	*Preparation*	455	23
	Total	7653	576

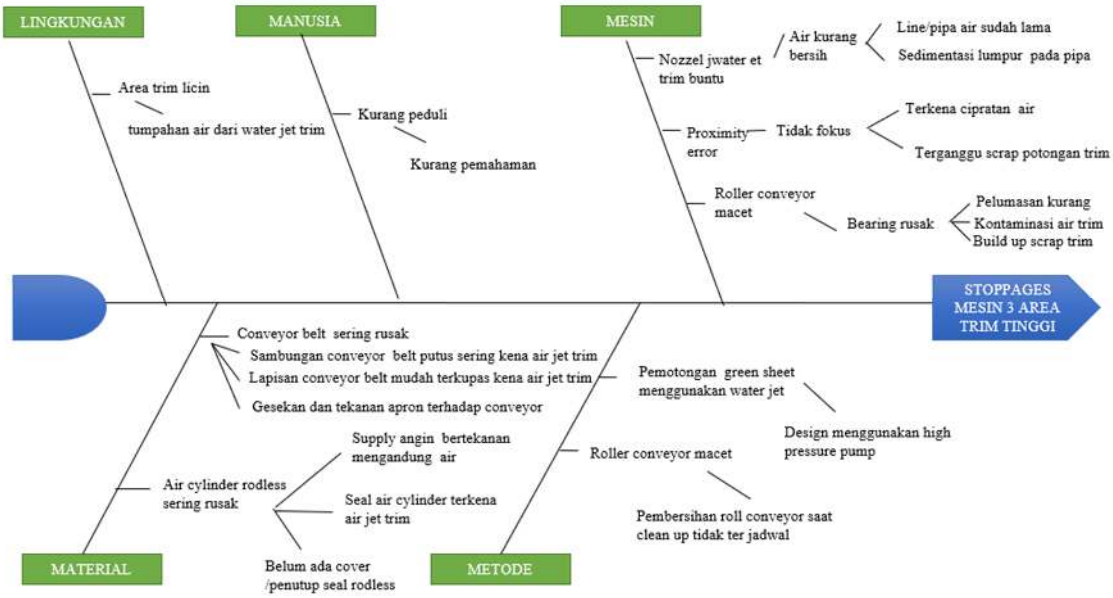
Tabel 1 menunjukkan bahwa area *Dry End* memberikan kontribusi terbesar pada *stoppages/downtime Sheet Machine* 3 yaitu 3045 menit. Selain data *stoppages/downtime Sheet Machine* 3 juga dilakukan pengamatan terhadap stoppages di area *Dry End.* Area ini penyumbang *stoppages* tertinggi adalah sistem pemotongan (*Trim*) yaitu 1455 menit sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Stoppages* di Area *Dry End*

No	Area	*Stoppages* (menit)	Frekuensi
1	*Trim*	1455	101
2	*Main Drive*	1100	67
3	*Scrap Pulper*	200	66
4	*Inspection*	150	16
5	*Run off*	140	12
	Total	3045	262

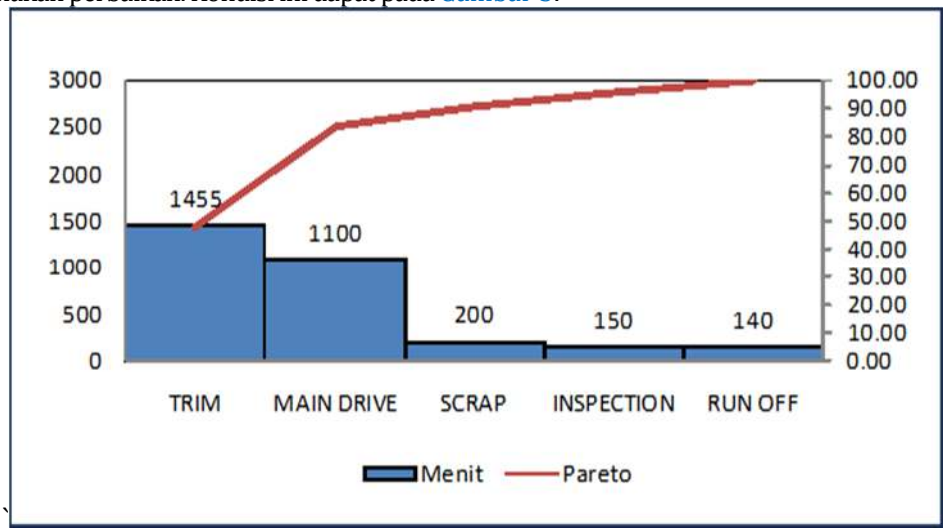
Analyze

Bagian ini dilakukan pencarian akar masalah yang paling terbesar dan signifikan untuk dilakukan perbaikan. Analisis ini dilakukan dengan diagram *fishbone* untuk mendefinisikan seluruh permasalahan yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. *Fishbone* analisis

Berdasarkan diagram *fishbone* yang sudah didefinisikan selanjutkan dilakukan pencarian prioritas perbaikan dengan diagram pareto. Tujuannya untuk mendapatkan permasalahan utama yang akan segera dilakukan perbaikan. Kondisi ini dapat pada Gambar 3.



Gambar 4. Diagram Pareto *Stoppages/Downtime* di area *Dry End*

Analisis diagram Pareto yang ditunjukkan pada Gambar 4. Ditemukan bahwa lebih dari 40% *downtime* berasal dari proses pemotongan yang menggunakan sistem *water jet*. Masalah yang sering terjadi meliputi tekanan air tidak stabil, penyumbatan *nozzle*, serta waktu *setup* dan perawatan yang lama. Hal ini berdampak langsung terhadap rendahnya efektivitas mesin dan terganggunya alur produksi.

Improve

Perbaikan dilakukan dengan menggunakan 5W1H dimana lebih fokus pada perbaikan mesin 3. Berikut analisis dengan 5W1H dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbaikan dengan 5W1H

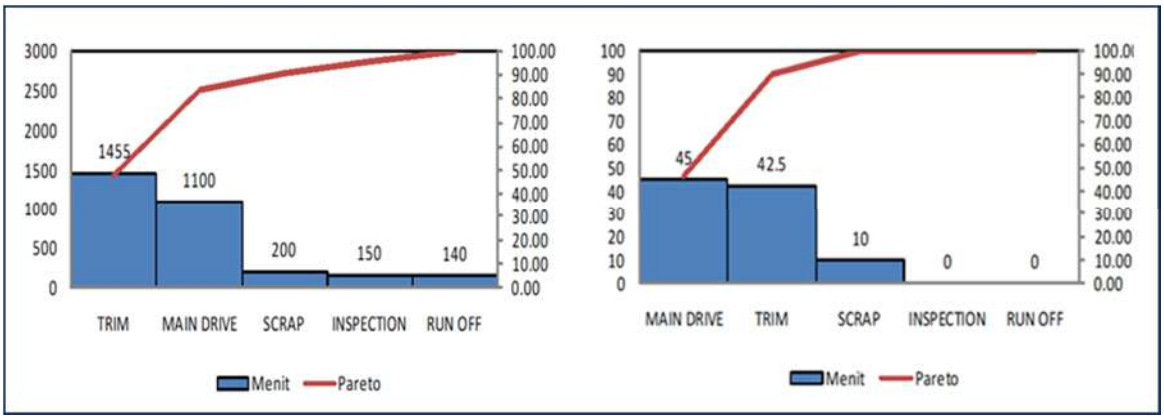
Faktor	***What***	***Why***	***Where***	***When***	***Who***	***How***
Metode	Proses pemotongan menggunakan water jet	Desain masih menggunakan high pressure pump	Bagian produksi *printing*	Jan 2025	Tim	Penggantian sistem pemotongan dari *water jet trim* menjadi *circular saw*

Berdasarkan data stratifikasi dan diagram Pareto sebagai solusi dilakukan penggantian sistem pemotongan dari *water jet trim* menjadi *circular saw*, yang memiliki keunggulan dalam hal kecepatan, kemudahan perawatan, dan stabilitas operasional. Setelah implementasi perubahan ini, dilakukan pemantauan performa mesin selama beberapa minggu. Hasilnya menunjukkan penurunan *downtime* secara signifikan seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Stoppages* di area *Dry End* setelah dilakukan tindakan perbaikan

No.	Area	*Stoppages* (menit)	Frekuensi
1	*Main drive*	45	1
2	*Trim*	42.5	3
3	*Scrap Pulper*	10	1
4	*Inspection*	0	0
5	*Run Off*	0	0
	Total	97.5	5

Tabel 4 menunjukkan penurunan *downtime* yaitu dari 4,45% menjadi 1,65% sehingga berhasil mencapai target perusahaan, hal ini ditunjukkan dengan perbandingan data sebelum dilakukan tindakan perbaikan dan setelah dilakukan tindakan perbaikan seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan data stoppages sebelum dan setelah tindakan perbaikan

Dengan memperhitungkan ketersediaan waktu produksi terhadap *stoppages/downtime* mesin maka dapat dapat diketahui persentase *stoppages/downtime* sebagai berikut:

Stoppages/downtime sebelum tindakan perbaikan $= \frac{1455}{185613} x100\% = 0.78\%$ (1)

Stoppages/downtime setelah tindakan perbaikan $= \frac{42.5}{14400} x100\% = 0.29\%$ (2)

Berdasarkan perhitungan tersebut terjadi penurunan *stoppages/downtime* pada area Trim sebesar 62.8% ~ 63%, jika dibandingkan dengan *stoppages/downtime* sebelumnya (4.45%) terjadi penurunan.

Penurunan stoppages = 4.45% - (4.45 x 0.63) = 1.65% ≤ 2 ➔ memenuhi target yang diharapkan.

Control dan Evaluasi

Penurunan ini menunjukkan bahwa pemilihan teknologi pemotongan yang tepat sangat berpengaruh terhadap efisiensi produksi, sejalan dengan prinsip *Lean Manufacturing* yang menekankan eliminasi pemborosan, termasuk pemborosan waktu akibat *downtime*. Perubahan ini juga mendukung tujuan *Lean* untuk menciptakan aliran produksi yang lancar dan responsif terhadap kebutuhan pelanggan.

Selain itu, perbaikan ini berdampak positif terhadap kinerja operator, karena *circular saw* lebih mudah dioperasikan dan membutuhkan waktu setup yang lebih singkat. Dari sisi biaya, penggantian sistem juga menunjukkan potensi penghematan dalam jangka panjang karena menurunnya frekuensi kerusakan dan biaya perawatan. Dengan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode DMAIC efektif dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan menyelesaikan masalah *downtime* secara sistematis, serta mendorong peningkatan berkelanjutan.

4. Simpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatkan produktivitas dapat dengan menurunkan downtime mesin. Ditemukan bahwa downtime terbesar terjadi di mesin 3, setelah diidentifikasi ternyata permasalahan menunjukkan bahwa proses pemotongan menggunakan *water jet* merupakan penyebab utama *downtime*. Tindakan perbaikan berupa penggantian sistem pemotongan menjadi *circular saw* berhasil menurunkan *downtime* menjadi 1,65%, sehingga memenuhi target perusahaan. Hasil ini membuktikan bahwa pemilihan teknologi proses yang tepat serta mampu meningkatkan efisiensi produksi dan mendukung prinsip produksi ramping dalam mengeliminasi pemborosan waktu. Kontribusi penelitian ini memberikan dampak besar bagi perusahaan atap fibersemen dimana perusahaan dapat meningkatkan produktivitas terkhusus pada proses pemotongan/*trimming* dan seluruh elemen proses produksi.

Referensi

[1] R. Thorat and G. T. Mahesha, "Improvement in productivity through TPM Implementation," *Mater. Today Proc.*, vol. 24, pp. 1508–1517, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.470. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.470

[2] T Budi Agung, Miftahul Imtihan, and Suwaryo Nugroho, "Usulan Perbaikan Melalui Penerapan Total Productive Maintenance Dengan Metode Oee Pada Mesin Twin Screw Extruder Pvc Di Pt. Xyz," *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 10–22, 2021, doi: 10.37373/tekno.v8i1.78. https://doi.org/10.37373/tekno.v8i1.78

[3] F. Nurprihatin, M. Angely, and H. Tannady, "Total productive maintenance policy to increase effectiveness and maintenance performance using overall equipment effectiveness," *J. Appl. Res. Ind. Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 184–199, 2019, doi: 10.22105/jarie.2019.199037.1104.

[4] B. Fadhilah, P. Aulia, and A. J. Pratama, "Overall Equipment Effectiveness (OEE) Analysis to Minimize Six Big Losses in Continuous Blanking Machine," *IJIEM (Indonesian J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–32, 2020. https://doi.org/10.22441/ijiem.v1i1.8037

[5] E. O. Wijaya, W. Atikno, I. Setiawan, R. Susanto, and H. Kurnia, "Analysis of BTA16 CNC Machine Performance Improvement with Total Productive Maintenance Approach," *IJIEM - Indones. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 3, no. 3, p. 200, 2022, doi: 10.22441/ijiem.v3i3.15770. https://doi.org/10.22441/ijiem.v3i3.15770

[6] F. Fauliyadi, A. Nalhadi, D. Cahyadi, E. H. Sucipto, and S. Supriyadi, "Perencanaan Sistem Perawatan Mesin Dust Collector Pecs Id Fan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–40, 2021, doi: 10.37373/jenius.v2i1.102. https://doi.org/10.37373/jenius.v2i1.102

[7] M. W. Wakjira and A. P. Singh, "Total Productive Maintenance: A casey study," *Glob. J. Res. Eng. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 1, 2013.

[8] H. Rifqi, A. Zamma, S. B. Souda, and M. Hansali, "Lean Manufacturing Implementation through DMAIC Approach : A Case Study in the Automotive Industry," *Qual. Innov. Prosper.*, vol. 25, no. 2, pp. 54–77, 2021, doi: 10.12776/QIP.V25I2.1576. https://doi.org/10.12776/qip.v25i2.1576

[9] H. Kurnia and H. H. Purba, "A Systematic Literature Review of Lean Six Sigma in Various Industries," *J. Eng. Manag. Ind. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 19–30, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1003/1/012096. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012096

[10] R. Kumar and V. Kumar, "Barriers in Implementation of Lean Manufacturing System in Indian industry: A survey," *Int. J. Latest Trends Eng. Technol. Barriers*, vol. 4, no. 2, pp. 243–251, 2014, doi: 10.1002/9781119975595. https://doi.org/10.1002/9781119975595

[11] N. Upadhye, Deshmukh, and S. Gerg, "Key issues for the implementation of lean manufacturing system," *Glob. Bus. Manag. Reserach*, vol. 1, no. 3, 2009.

[12] N. Upadhye, S. G. Deshmukh, and S. Garg, "Lean Manufacturing for Sustainable Development," *Glob. Bus. Manag. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 125–137, 2010, [Online]. Available: https://www.proquest.com/scholarly-journals/lean-manufacturing-sustainable-development/docview/916926058/se-2?accountid=210316. https://doi.org/10.1504/IJAOM.2010.034589

[13] M. Putra, C. Manurung, A. Ishak, and A. Anizar, "Implementation of Lean Manufacturing Methodology and Its Application : A Literature Review," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 26, no. 1, pp. 35 – 46, 2024, doi: 10.32734/jsti.v26i1.12158. https://doi.org/10.32734/jsti.v26i1.12158

[14] R. Smith and B. Hawkins, *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*. Butterworth-Heinemann Limited, 2004. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=yVAWogEACAAJ

[15] A. Prashar, "Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality," *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 63, no. 1, pp. 103–126, Jan. 2014, doi: 10.1108/IJPPM-01-2013-0018. https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2013-0018

[16] A. B. Patil and Inamdar, "Process Improvement using DMAIC Approach : Case Study in Downtime Reduction," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 1930–1934, 2014.

[17] P. Kaźmierczak, K. Żywicki, and P. Rewers, "The Impact of Downtime on the Stability of the Production Schedule," 2025. doi: 10.3390/app15010150. https://doi.org/10.3390/app15010150

[18] F. Henríquez-Alvarado, V. Luque-Ojeda, Macassi-Jauregui, I. J. M. Alvarez, and C. Raymundo-Ibañez, "Process Optimization Using Lean Manufacturing to Reduce Downtime: Case Study of A Manufacturing SME in Peru," in *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial and Business Engineering*, in ICIBE '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, pp. 261–265. doi: 10.1145/3364335.3364383. https://doi.org/10.1145/3364335.3364383

[19] F. K. De-La-Cruz-Arcela, J. S. Martinez-Castillo, E. Altamirano-Flores, and J. C. Alvarez-Merino, "Application of Lean Manufacturing Tools to Reduce Downtime in a Small Metalworking Facility," in *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2019, pp. 551–555. doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978711. https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978711

[20] R. Y. K. B. Lumbanraja, F. Fahm, and E. Pujiyanto, "Implementation of lean six sigma reducing E-DOWNTIME waste proposed improvement of flooring board production at PT. LBB," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2674, no. 1, p. 30024, May 2023, doi: 10.1063/5.0116342. https://doi.org/10.1063/5.0116342

[21] A. L. Patti and K. J. Watson, "Downtime variability: the impact of duration–frequency on the performance of serial production systems," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 48, no. 19, pp. 5831–5841, Oct. 2010, doi: 10.1080/00207540903280572. https://doi.org/10.1080/00207540903280572

[22] M. A. Taher and M. Al Bashar, "The Impact Of Lean Manufacturing Concepts On Industrial Processes' Efficiency And Waste Reduction," *Int. J. Progress. Res. Eng. Manag. Sci.*, vol. 4, no. 6, pp. 338–349, 2024.

[23] M. S. Prabhuswamy, P. Nagesh, and K. P. Ravikumar, "Statistical Analysis and Reliability Estimation of Total Productive Maintenance," *IUP J. Oper. Manag.*, vol. 12, no. 1, pp. 7–20, 2013.

[24] H. H. Azwir, N. C. Wijaya, and H. Oemar, "Implementasi Metode Single Minute Exchange Of Die Untuk Mengurangi Waktu Persiapan dan Penyesuaian Mold di Industri Polimer," *JISI J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 8, no. 2, p. 41, 2021, doi: 10.24853/jisi.8.2.41-52. https://doi.org/10.24853/jisi.8.2.41-52

[25] M. Rother and J. Shook, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, 1st ed. Cambridge: Lean Enterprise Institute, Inc, 2003. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books/about/Learning_to_See.html?id=mrNIH6Oo87wC&redir_esc=y