

# IMPLEMENTASI *GREEN SUPPLY CHAIN* PADA INDUSTRI MANUFAKTUR UNTUK MENGURANGI PRODUK *DEFECT* PRODUKSI *PLYWOOD* PADA PT. SXX

Sinta Nur Azizah<sup>1</sup> dan Lolyka Dewi Indrasari<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri  
Jl. Selomangleng No. 1, Pojok, Mojoroto, Hutan, Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur 64115  
\*Email: sintanurazizah40@gmail.com

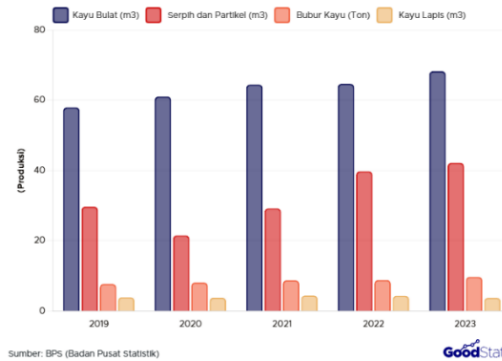
## Abstract

*This study aims to analyze the types and root causes of plywood product defects in the production process at PT. SXX using the Six Sigma approach through DMAIC stages (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). The main issue identified is the high defect rate of 2.9%, or 1,971 defective units out of a total production of 67,705 sheets in 2024. The critical defect types include bubbles, delamination, and core holes. This quantitative research employs tools such as Pareto diagrams, fishbone diagrams, and 5 Whys analysis to trace the root causes of defects. The results indicate that the dominant factors are improperly dried raw materials, unstable machinery, uneven glue distribution, and a lack of supervision and SOP understanding among operators. Improvements were made through the provision of MC meters, glue spreader calibration, operator training, and improvement of veneer storage environments. Post-improvement, the defect rate is targeted to drop below 2.9%. This study also supports the implementation of Green Supply Chain Management (GSCM) by promoting energy efficiency and reducing production waste, thereby contributing to the improvement of product quality and competitiveness.*

**Keywords:** Six Sigma, DMAIC, Green Supply Chain Management

## 1. Pendahuluan

Industri manufaktur sangat bergantung pada ketersediaan bahan baku untuk menjaga kelangsungan proses produksinya (Otabek & Shavkatbek, 2024). Di era globalisasi yang menekankan pentingnya keberlanjutan, pelaku industri tidak lagi dapat hanya fokus pada pencapaian laba, tetapi juga harus memperhatikan dampak lingkungan dari kegiatan operasionalnya. Konsep produksi ramah lingkungan kini menjadi prioritas dalam sistem industri modern. Hutan tidak hanya berperan secara ekologis, tetapi juga memiliki nilai ekonomi melalui pemanfaatan hasil hutan kayu dan non kayu. Produksi kayu bulat Indonesia naik 17,76% dari 2019 hingga 2023, mencapai 68,22 juta m<sup>3</sup> (Alfathi, 2024).



**Gambar 1.** Produksi Hasil Hutan Kayu Indonesia Tahun 2019-2023

Sumber : Alfathi, 2024

Akibat dari kondisi tersebut, terjadi ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan, yang berdampak pada penurunan kapasitas produksi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih berkelanjutan dan strategis dalam mengelola rantai pasok bahan baku (Ul Akram et al., 2024). Salah satu pendekatan yang relevan adalah *Green Supply Chain Management* (GSCM), yang tidak hanya mengoptimalkan efisiensi rantai pasok, tetapi juga

mempertimbangkan aspek lingkungan dan keberlanjutan jangka panjang.

Dalam hal ini kasus yang diteliti terkait dengan mengingat total produksi *plywood* di PT. SXX tahun 2024 mencapai 67.705 lembar dengan jumlah *defect* sebanyak 1.971 unit atau sekitar 2,9%. Dari total tersebut, *defect* dominan berupa gelembung sebanyak 785 kasus, delaminasi 711 kasus, dan *core hole* 478 kasus yang secara langsung menurunkan kualitas produk, menambah limbah produksi, serta berdampak pada efisiensi dan daya saing perusahaan di pasar. *Defect* ini tidak hanya menunjukkan kelemahan dalam pengendalian proses produksi, namun juga menjadi hambatan dalam penerapan prinsip *Green Supply Chain Management* (GSCM) yang menekankan efisiensi dan pengurangan limbah (Syahfitri et al., 2023). Menurut (Buriwan et al., 2022), penelitian menunjukkan dua *waste* utama: *defect* dan *excess processing putty*. Tingkat sigma PT. KTI Probolinggo Divisi PI sebesar 3,497 dengan DPMO 22.876. *Defect* dominan yaitu tidak rata (49,53%) dan ukuran tidak sesuai (34,64%). Menurut (Hisyam et al., 2021), Terdapat 4 *defect* utama pada *plywood* 15mm *oversanding*, *defect* tepi, delaminasi, dan noda. Penyebabnya meliputi faktor material, manusia, dan mesin. Nilai *six sigma* mencapai 3,69 disertai perbaikan kerja dan rencana pengendalian proses. Menurut (Dzakirah, 2024), Penelitian di PT. Sumber Graha Sejahtera mengidentifikasi 4 *defect* dominan *plywood* delaminasi *core*, *face/back*, *short core* panjang dan lebar. Delaminasi paling dominan, disebabkan faktor manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan. Nilai sigma diperbaiki lewat pelatihan, inspeksi, dan pengawasan. Menurut (Jayzuly & Setiafindari, 2024), Hasil penelitian menunjukkan rata-rata DPMO sebesar 685.416 dan level sigma 4,741, dengan *defect* dominan delaminasi *face/back* sebesar 8,91 m<sup>3</sup> atau 21,84%. Penyebab utamanya berasal dari faktor manusia, material, dan metode, disertai rekomendasi perbaikan teknis. Menurut (Hsu et al., 2023), Studi ini menunjukkan bahwa *plywood* dengan susunan *veneer* sudut kecil memiliki kekuatan lentur lebih baik dan regangan lebih rendah dibanding sudut besar. Perlakuan panas pada suhu 200 °C meningkatkan kekuatan (MOE hingga 9,2 GPa), menurunkan kadar air, dan memperbaiki stabilitas dimensi, terutama pada *veneer* yang dipanaskan sebagian.

Penelitian sebelumnya sudah banyak membahas soal cara mengurangi *defect* pada produk *plywood*, seperti gelembung, delaminasi, dan *core hole*. Tapi, kebanyakan hanya fokus memperbaiki mesin, melatih pekerja, atau mengecek bahan baku. Masalahnya, cara itu belum cukup menyeluruh. Padahal, *defect* produk bisa muncul karena proses dari awal sampai akhir belum berjalan dengan baik, misalnya pengeringan bahan yang kurang maksimal, suhu mesin tidak

stabil, atau lingkungan kerja yang lembab. Penelitian ini akan menggunakan metode *Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC secara lengkap, mulai dari menentukan masalah, mengukur, menganalisis, memperbaiki, sampai mengontrol proses produksi.

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya menyoroti perbaikan pada sebagian faktor penyebab *defect* seperti mesin, tenaga kerja, atau bahan baku, penelitian ini menghadirkan pendekatan DMAIC *Six Sigma* secara menyeluruh pada proses produksi *plywood* di PT. SXX dengan melibatkan analisis integratif 5M+1E (Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi akar penyebab *defect* tidak hanya dari sisi teknis, tetapi juga dari aspek lingkungan dan pengukuran proses yang selama ini sering diabaikan dalam penelitian serupa.

Selain itu, penelitian ini menambahkan dimensi *Green Supply Chain Management* (GSCM) secara deskriptif ke dalam tahapan *Improve* dan *Control*, dengan fokus pada efisiensi energi, pengurangan limbah, dan penerapan sistem produksi hijau. Aspek ini belum banyak dijelaskan secara komprehensif pada penelitian sebelumnya yang cenderung hanya mengevaluasi tingkat sigma tanpa mengaitkannya dengan keberlanjutan proses.

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan integratif metode *Six Sigma* berbasis DMAIC dengan analisis 5M+1E dan penguatan konsep GSCM untuk meningkatkan mutu produk sekaligus mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan proses produksi *plywood* secara holistik. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi model penerapan *Six Sigma* yang tidak hanya berorientasi pada kualitas produk, tetapi juga pada efisiensi sumber daya dan dampak lingkungan industri.

Studi ini bertujuan untuk menganalisis jenis dan jumlah *defect* produk *plywood* yang terjadi selama proses produksi di PT. SXX, serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama *defect* tersebut dengan menggunakan pendekatan *Six Sigma* melalui tahapan DMAIC (Adrian et al., 2024). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung nilai *defect rate*, DPMO (*Defects Per Million Opportunities*), dan sigma level sebagai indikator kinerja kualitas proses produksi. Dari hasil analisis tersebut, peneliti diharapkan mampu menyusun strategi perbaikan guna menurunkan jumlah *defect* produk serta menyusun langkah pengendalian (*control*) yang efektif agar perbaikan dapat berjalan secara berkelanjutan (Safitriani et al., 2023). Seluruh proses ini dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi dan keberlanjutan melalui prinsip *Green Supply Chain Management* (GSCM) (Sahar et al., 2020). Penelitian ini diharapkan berkontribusi pada pengembangan teknik industri melalui

penerapan *Six Sigma* dan *Green Supply Chain Management* (GSCM) dalam peningkatan mutu dan efisiensi produksi (Huang et al., 2023).

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Green Supply Chain

*Green Supply Chain Management* (GSCM) merupakan pengembangan dari konsep *Supply Chain Management* (SCM) dengan penekanan pada integrasi aspek lingkungan ke dalam seluruh rantai pasok. GSCM bertujuan untuk menciptakan efisiensi operasional yang berkelanjutan sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Dubey et al., 2017). Praktik-praktik utama dalam GSCM meliputi desain produk ramah lingkungan (*eco-design*), pengadaan hijau (*green purchasing*), dan manajemen lingkungan internal (Tseng et al., 2018). Penerapan GSCM memungkinkan perusahaan untuk meningkatkan kinerja lingkungan, memperkuat reputasi, serta membangun keunggulan kompetitif (Kumar & Rahman, 2015). GSCM juga mendorong kolaborasi antara berbagai pihak, baik internal maupun eksternal, dalam mencapai tujuan keberlanjutan dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan (Yildiz Çankaya & Sezen, 2019).

### 2.2 Six Sigma

*Six Sigma* merupakan pendekatan manajemen berbasis data yang digunakan untuk meningkatkan kualitas proses dengan mengurangi jumlah cacat (*defect*) secara sistematis (Indrasari et al., 2021). Metode ini menggunakan alat-alat statistik untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memperbaiki akar penyebab masalah dalam proses produksi maupun operasional (Setiyawan et al., 2025). Tujuan utamanya adalah mencapai tingkat presisi yang sangat tinggi guna memenuhi kepuasan pelanggan secara maksimal. Selain itu, *Six Sigma* juga berperan dalam meningkatkan produktivitas dan profitabilitas perusahaan dengan fokus pada efisiensi proses serta pengendalian variabilitas.

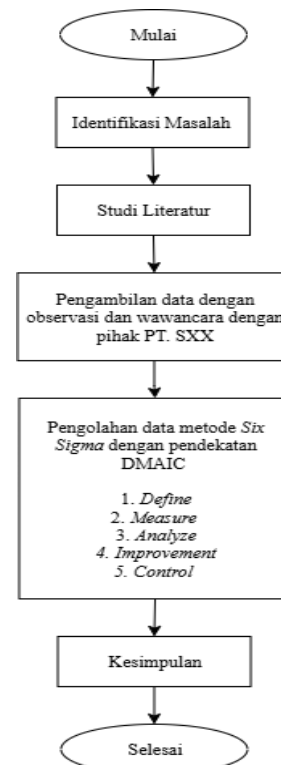
## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan Metode *Six Sigma* DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengurangi *defect* produk *plywood* di PT. SXX. Desain penelitian yang digunakan adalah studi kasus deskriptif, yang bertujuan untuk menggambarkan fenomena *defect* produksi secara mendalam berdasarkan data riil dari perusahaan. Fokus utama penelitian adalah tiga jenis *defect* kritis, yaitu gelembung, delaminasi, dan *core hole*,

yang telah diidentifikasi sebagai *Critical to Quality* (CTQ) (Romadhani et al., 2021).

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi cara pengumpulan data antara lain data produksi data kualitas log 130 cm dan jumlah *defect* tahun 2024, hasil observasi langsung di lapangan, wawancara semi terstruktur dengan kepala produksi dan operator terkait dengan jenis *defect* yang terjadi, serta dokumentasi bentuk *defect* dari log pada laporan kualitas perusahaan. Alat statistik mencakup diagram pareto, *fishbone diagram*, dan analisis *5 Whys* digunakan untuk menelusuri akar penyebab *defect*, sedangkan perhitungan *defect rate*, DPMO (*Defect Per Million Opportunities*), dan *sigma level* dilakukan untuk mengukur kinerja proses (Wulandari & Nurul Azizah, 2025).

Langkah analisa produk diawali dengan pengumpulan data jumlah produksi dan jumlah *defect* bulanan pada tahun 2024, kemudian dihitung persentase *defect rate* dan dibuat diagram Pareto untuk menentukan jenis *defect* dominan. Setelah itu, dilakukan analisis penyebab menggunakan diagram sebab akibat (*fishbone*) berdasarkan 5M+1E (*Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment*). Selanjutnya, akar penyebab dari setiap jenis *defect* dianalisis melalui pendekatan *5 Whys* (Indrasari et al., 2021). Adapun **Gambar 2.** menunjukkan alur penelitian yang menggambarkan tahapan penerapan metode DMAIC dalam mengidentifikasi dan mengurangi *defect* produk *plywood* untuk *green supply chain*.



**Gambar 2.** Flowchart Alur Penelitian

#### 4. Pembahasan

Hasil dari penelitian ini diawali dengan tahapan dari *define, measure, analyze, improve* dan *control* dengan analisa sebagai berikut:

##### Tahap Define

Tahap *Define* atau pendefinisian merupakan langkah awal dalam pendekatan *Six Sigma*. Pada tahap ini, permasalahan kualitas pada produk diidentifikasi, termasuk penentuan faktor-faktor penyebab yang mengakibatkan terjadinya *defect* pada produk (Mabrur & Budiharjo, 2021).

**Tabel 1.** Daftar Spesifikasi Awal

Bulan	Kualitas Log 130 cm	Jumlah Defect	Total Produksi Plywood
Januari	6.992	216	7.424
Februari	4.464	138	4.740
Maret	4.703	145	4.994
April	3.748	116	3.982
Mei	3.593	111	3.816
Juni	5.509	170	5.850
Juli	5.781	179	6.138
Agustus	2.973	92	3.156
September	4.462	138	4.737
Oktober	5.900	182	6.265
November	7.464	231	7.926
Desember	8.170	253	8.676
<b>Jumlah</b>	<b>63.759</b>	<b>1971</b>	<b>67.705</b>

Sumber : Data PT. SXX

Berdasarkan **Tabel 1.** data produksi *plywood* PT. SXX sepanjang tahun 2024 menunjukkan total produksi sebanyak 67.705 lembar, dengan kualitas log 130 cm kategori super mencapai 63.759 unit. Selama periode ini, tercatat total jumlah *defect* sebanyak 1.971 unit, yang tersebar pada setiap bulan dengan fluktuasi produksi yang cukup signifikan. Bulan Desember

mencatat produksi dan jumlah *defect* tertinggi, yaitu 8.676 lembar dengan 253 *defect*. Sementara bulan Agustus memiliki jumlah produksi dan *defect* paling rendah. Data ini mencerminkan bahwa meskipun mayoritas log yang digunakan berkualitas baik, namun masih terjadi produk *defect* yang perlu ditindaklanjuti dengan evaluasi menyeluruh untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi secara berkelanjutan.

**Tabel 2.** Jenis Defect Plywood

Bulan	Jenis Defect Plywood			Jumlah Defect
	Gelembung	Delaminasi	Core Hole	
Januari	51	74	91	216
Februari	43	55	40	138
Maret	65	50	30	145
April	53	42	23	116
Mei	50	41	20	111
Juni	70	67	34	170
Juli	80	63	36	179
Agustus	41	32	18	92
September	60	50	28	138
Oktober	82	64	36	182
November	104	80	47	231
Desember	85	93	75	253
<b>Jumlah</b>	<b>784</b>	<b>711</b>	<b>478</b>	<b>1.971</b>

Data *Critical to Quality* (CTQ) pada tahun 2024 menunjukkan bahwa terdapat tiga jenis *defect* utama pada produk *plywood* di PT. SXX, yaitu gelembung, delaminasi, dan *core hole*, dengan total *defect* keseluruhan mencapai 1.971 unit. Dari jumlah tersebut, *defect* gelembung menjadi yang paling dominan dengan 785 kejadian, diikuti oleh delaminasi sebanyak 711, dan *core hole* sebanyak

478. *Defect* ini berkontribusi terhadap tingginya tingkat produk gagal dan berpengaruh langsung terhadap kualitas akhir *plywood* yang dihasilkan. CTQ ini menunjukkan bahwa proses produksi belum berjalan stabil dan memerlukan pengendalian kualitas yang ketat. Fokus perbaikan harus diarahkan pada pengendalian suhu, kelembaban, tekanan mesin, serta keterampilan operator, agar dapat menekan jumlah *defect* dan

meningkatkan kepuasan pelanggan secara signifikan. Berikut merupakan jenis *defect* produksi *plywood* di PT. SXX:

1. Gelembung



**Gambar 3.** Dokumentasi *Defect* Gelembung  
Sumber : Data PT. SXX

Merupakan *defect* yang terjadi ketika terdapat udara atau uap air yang terperangkap di antara lapisan veneer saat proses pengepresan, sehingga menimbulkan gelembung pada permukaan produk. Hal ini umumnya disebabkan oleh *veneer* yang masih basah, suhu *hot press* yang tidak optimal, atau kesalahan operator dalam penyusunan bahan.

2. Delaminasi



**Gambar 4.** Dokumentasi *Defect* Delaminasi  
Sumber : Data PT. SXX

Merupakan *defect* yang ditandai dengan terlepasnya lapisan-lapisan veneer setelah proses *press*. Penyebab utamanya adalah lemahnya daya rekat lem, penyebaran lem yang tidak merata, atau tekanan mesin *press* yang tidak sesuai standar. *Defect* ini mengurangi kekuatan dan daya tahan *plywood* secara signifikan.

3. *Core Hole*



**Gambar 5.** Dokumentasi *Defect* *Core Hole*  
Sumber : Data PT. SXX

Merupakan *defect* yang terjadi ketika terdapat lubang atau kekosongan pada bagian inti (*core*) *plywood*. Umumnya disebabkan oleh *veneer* yang tidak menutup bidang secara sempurna, ukuran *veneer* yang tidak seragam, atau kesalahan dalam penyusunan lapisan. *Core hole* berdampak pada struktur produk dan berpotensi mengurangi nilai jual.

Ketiga jenis *defect* ini dikategorikan sebagai *Critical to Quality* (CTQ) karena berdampak langsung terhadap kualitas akhir produk dan kepuasan pelanggan. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi akar masalah dan perbaikan proses secara berkelanjutan.

**Tabel 3.** Diagram SIPOC

<i>SUPPLIER</i>	<i>INPUT</i>	<i>PROCESS</i>	<i>OUTPUT</i>	<i>CUSTOMER</i>
Pemasok log (kayu)	Log (sengon)	Penerimaan dan <i>grading</i> log	<i>Plywood</i> lembaran	Perusahaan ekspor luar negeri Distributor bahan bangunan lokal
Pemasok lem/resin	Lem resin	Pengupasan kulit log & pembulatan	Produk <i>defect</i>	Perusahaan <i>furniture</i>
Vendor peralatan mesin	Air bersih	Pencucian kayu	Limbah sisa pemotongan kayu digunakan untuk bahan bakar <i>boiler</i>	Proyek konstruksi
Vendor bahan pendukung (ampas, dempul)	Tenaga kerja/operator produksi	<i>Rotary cutting veneer (face/back/core)</i>		

Data desain dan standar ukuran produk	Pengeringan <i>veneer (press dryer)</i>
Energi listrik dan panas ( <i>boiler</i> )	Pengeleman dan <i>cold press</i>
	Revisi basah (penambalan <i>defect veneer</i> )
	<i>Hot press</i> (pengeleman permanen dengan suhu dan tekanan tinggi)
	<i>Finishing</i> dempul pemotongan pengamplasan
	<i>Quality Control &amp; Grading</i>
	Pengemasan & pelabelan

Sumber : Pengolahan data

Alur proses produksi *plywood* di PT. SXX pada **Tabel 3.** dimulai dari pemasok yang menyediakan kayu log sengon, lem resin, peralatan mesin, serta bahan pendukung seperti ampas dan dempul. Kayu log diterima, kemudian melalui proses *grading*, pengupasan kulit, dan pencucian sebelum dipotong menggunakan *rotary cutter* menjadi lembaran *veneer*. *Veneer* dikeringkan menggunakan *press dryer*, dilanjutkan dengan proses pengeleman, *cold press*, serta penambalan pada *defect veneer* jika diperlukan. Setelah itu, dilakukan proses *hot press* untuk pengeleman permanen. Produk kemudian melewati tahap *finishing* dan *quality control* sebelum dikemas dan diberi label. Hasil akhirnya berupa *plywood* lembaran yang dipasarkan ke berbagai pelanggan seperti perusahaan ekspor, distributor bahan bangunan lokal, dan proyek konstruksi. Limbah hasil pemotongan dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar *boiler*, yang mencerminkan penerapan prinsip *Green Supply Chain Management (GSCM)*.

Berdasarkan hasil wawancara dan observasi lapangan di PT. SXX, diperoleh informasi bahwa *defect* produk pada hasil produksi *plywood* masih menjadi salah satu permasalahan krusial dalam proses operasional perusahaan. Jenis *defect* yang paling umum ditemukan antara lain gelembung (*bubble*), lubang pada *core (core hole)*, dan delaminasi, yaitu terlepasnya lapisan *veneer* akibat lemahnya daya rekat antar lapisan. Pihak perusahaan menyampaikan bahwa penyebab utama dari *defect* tersebut bersumber dari beberapa faktor

teknis dan operasional. Salah satunya adalah proses pengeringan *veneer* yang kurang sempurna, yang menyebabkan kadar air tidak merata sehingga memicu munculnya gelembung saat proses *hot press*. Selain itu, temperatur mesin yang kurang panas atau tidak sesuai standar produksi juga menjadi faktor yang memperbesar risiko *defect* tersebut, terutama pada proses pengeleman dan pressing.

Faktor lainnya adalah ketidaksesuaian ukuran *core veneer* (kurang panjang atau kurang lebar), yang menyebabkan celah antar *veneer* tidak tertutup sempurna dan memicu *defect* seperti *core hole* atau delaminasi. Kualitas *conditioning* bahan baku yang tidak optimal sebelum masuk ke tahap produksi juga turut berkontribusi terhadap ketidaksempurnaan hasil akhir. Masalah-masalah tersebut diperparah dengan masih adanya pengaturan mesin (*setting*) yang belum tepat, serta kelemahan dalam monitoring dan kontrol oleh operator. Kelalaian operator dalam menjaga standar operasional prosedur (SOP) menyebabkan beberapa proses berjalan tanpa pengecekan berkala yang seharusnya dilakukan, sehingga *defect* tidak terdeteksi sejak dini. Secara keseluruhan, persepsi lapangan menunjukkan bahwa jenis dan penyebab *defect* produk di PT. SXX merupakan kombinasi dari faktor mesin, bahan, metode, dan manusia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis dan peningkatan kontrol kualitas di setiap tahapan proses produksi untuk meminimalkan jumlah produk *defect* dan meningkatkan efisiensi operasional (Muchsinin & Sulistiyowati, 2023).

**Tahap Measure**

Tahap *Measure* dalam metode *Six Sigma* berfungsi untuk melakukan pengukuran secara kuantitatif. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan nilai *Defects Per Million Opportunities* (DPMO) dan *level sigma* sebagai dasar analisis kualitas proses (Retnowati et al., 2022). Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, jumlah total produksi

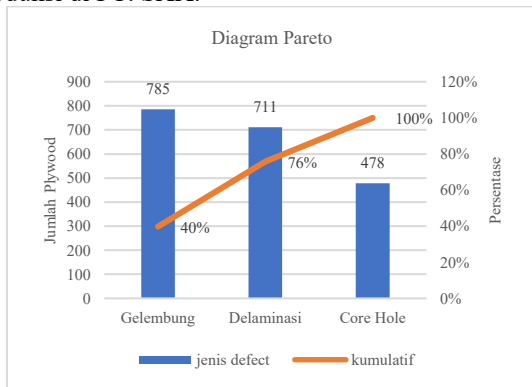
produk *plywood* pada periode tahun 2024 adalah sebanyak 67.705 lembar. Dari total produksi tersebut, jumlah produk *defect* berdasarkan hasil pengujian dari beberapa parameter mutu mencapai 1971,92 lembar. Rincian jenis dan jumlah *defect* produk tersebut disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Data Produksi dan *Defect*

Bulan	Kualitas Log 130 cm	Jenis <i>Defect</i> ( <i>Plywood</i> )			Jumlah <i>Defect</i>	Total Produksi ( <i>Plywood</i> )
		Gelembung	Delaminasi	Core Hole		
Januari	6.992	51	74	91	216	7.424
Februari	4.464	43	55	40	138	4.740
Maret	4.703	65	50	30	145	4.994
April	3.748	53	42	23	116	3.982
Mei	3.593	50	41	20	111	3.816
Juni	5.509	70	67	34	170	5.850
Juli	5.781	80	63	36	179	6.138
Agustus	2.973	41	32	18	92	3.156
September	4.462	60	50	28	138	4.737
Oktober	5.900	82	64	36	182	6.265
November	7.464	104	80	47	231	7.926
Desember	8.170	85	93	75	253	8.676
<b>Jumlah</b>	<b>63759</b>	<b>785</b>	<b>711</b>	<b>478</b>	<b>1971,92</b>	<b>67.705</b>

Sumber : Pengolahan data

Pada tahun 2024, total produksi *plywood* mencapai 67.705 lembar dengan jumlah produk *defect* sebanyak 1.971 unit. *Defect* paling dominan terjadi pada jenis gelembung, delaminasi, dan *core hole*. Data ini menjadi dasar pengukuran kinerja kualitas serta identifikasi prioritas perbaikan proses produksi di PT. SXX.



**Gambar 6.** Diagram Pareto

Sumber : Pengolahan data

Dari hasil diagram pareto pada **Gambar 6**, digunakan untuk mengidentifikasi jenis *defect* yang paling dominan dalam proses produksi *plywood* di PT. SXX selama tahun 2024. Berdasarkan grafik, terdapat tiga jenis utama *defect*, yaitu gelembung sebanyak 785 unit (40%), delaminasi sebanyak 711 unit (36%), dan *core hole* sebanyak 478 unit (24%), dari total 1.971 *defect*.

Kurva kumulatif menunjukkan bahwa 76% dari total *defect* berasal dari gelembung dan delaminasi. Hal ini mengindikasikan bahwa perbaikan fokus terhadap dua jenis *defect* tersebut akan memberikan dampak terbesar dalam menurunkan jumlah keseluruhan *defect*. Pendekatan ini sesuai dengan prinsip 80/20 Pareto, di mana sebagian besar masalah berasal dari sebagian kecil penyebab. Dengan demikian, gelembung dan delaminasi menjadi prioritas utama dalam perencanaan perbaikan kualitas, baik dari sisi operator, mesin, metode kerja, maupun bahan baku. Proses perhitungannya yaitu sebagai berikut.

1. Nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO)

DPMO menggambarkan jumlah *defect* atau kegagalan yang terjadi dalam setiap satu juta peluang proses (Bahauddin & Arya, 2020). Nilai DPMO dapat diperoleh melalui perhitungan dengan rumus sebagai berikut.

$$DPMO = \frac{\text{Total Produk Downgrade}}{\text{Total Produksi} \times \text{Totak CTQ}} \times 1.000.000 \quad (1)$$

2. *Level Sigma*

*Level sigma* digunakan untuk mengukur persentase tingkat kegagalan yang terjadi dalam proses produksi *plywood* di PT. SXX. Nilai *level sigma* dihitung untuk mengetahui seberapa jauh kualitas produksi telah memenuhi standar, dan perhitungannya dilakukan dengan menggunakan rumus berikut

Dengan demikian, nilai DPMO dan *level sigma* untuk tahun 2024 berhasil dihitung dan ditampilkan pada **Tabel 5.** berikut ini.

$$\text{Level Sigma} = \text{NORM.S.INV} \left( 1 - \frac{\text{DPMO}}{1.000.000} + 1,5 \right) \quad (2)$$

**Tabel 5.** Nilai DPMO dan *Level Sigma*

Bulan	Total Produksi	Jumlah Defect	Defect Rate (%)	DPMO	Sigma Level (Estimasi)
Januari	7.424	216	0,029	29127,139	3,39
Februari	4.740	138	0,029	29126,589	3,39
Maret	4.994	145	0,029	29126,241	3,39
April	3.982	116	0,029	29109,598	3,39
Mei	3.816	111	0,029	29127,166	3,39
Juni	5.850	170	0,029	29122,737	3,39
Juli	6.138	179	0,029	29126,214	3,39
Agustus	3.156	92	0,029	29126,214	3,39
September	4.737	138	0,029	29128,644	3,39
Oktober	6.265	182	0,029	29126,214	3,39
November	7.926	231	0,029	29126,100	3,39
Desember	8.676	253	0,029	29125,145	3,39
Total	67.705	1.972	0	349.498	41
Rata rata	<b>5.642</b>	<b>164</b>	<b>0,029</b>	<b>29.124,833</b>	<b>3,39</b>

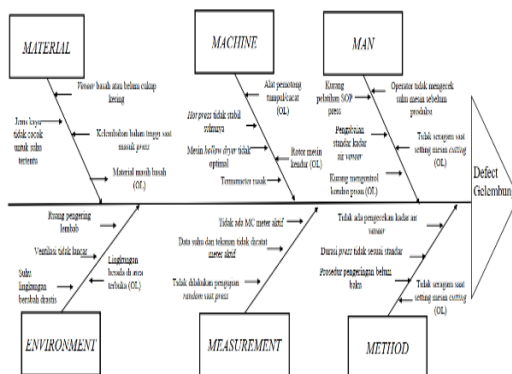
Sumber : Pengolahan data

Sumber : Pengolahan data

Berdasarkan perhitungan selama tahun 2024, rata-rata *defect rate* produksi *plywood* di PT. SXX tercatat sebesar 2,9% dengan DPMO sekitar 29.124. Nilai ini menghasilkan estimasi level sigma sebesar 3,39. Artinya, kualitas proses masih tergolong menengah dan memerlukan perbaikan agar mencapai tingkat sigma yang lebih tinggi dan minim *defect*. Jika perusahaan masih berada di level 3 sigma (66.807 DPMO, rugi 25–40% dari penjualan) ini sudah cukup berat, jadi harus *improvement* menuju minimal 4 sigma agar kerugian turun ke 15–25%.

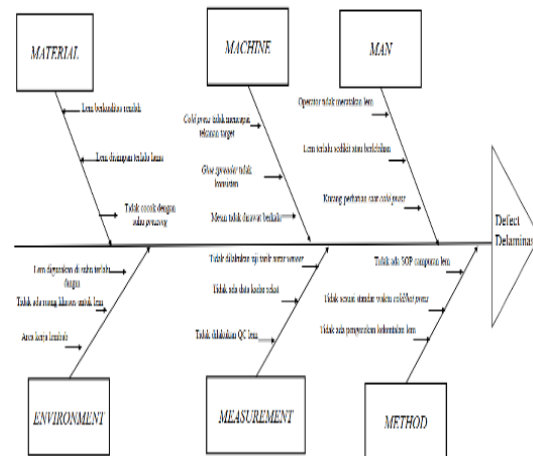
**Tahap Analyze**

Tahap ketiga dalam peningkatan kualitas *Six Sigma* adalah *Analyze*. Analisis stabilitas dan kemampuan proses dilakukan untuk melihat jenis *defect* produk atau CTQ dan kemudian mengurutkan dari frekuensi yang tertinggi ke frekuensi terendah.



**Gambar 7.** Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Gelembung

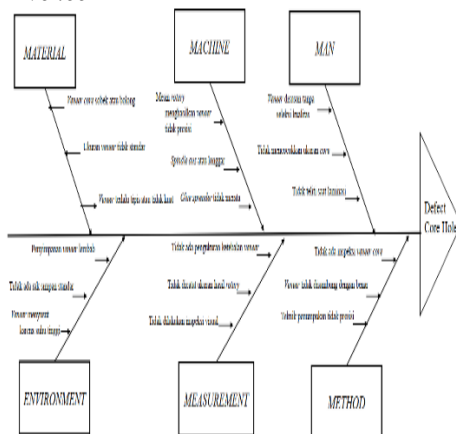
Berdasarkan diagram *fishbone* **Gambar 7.** digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama veneer masih basah (*Over Limit/OL*). Masalah ini disebabkan oleh beberapa faktor bahan dengan kadar air tinggi, mesin *hot press* yang tidak stabil, serta alat ukur dan mesin pengering yang tidak optimal. Faktor manusia juga berpengaruh, seperti kurangnya pelatihan dan pengabaian SOP. Selain itu, metode kerja belum baku dan setting mesin tidak seragam. Lingkungan yang lembab dan terbuka, serta pengukuran yang tidak akurat turut memperparah kondisi. Identifikasi ini membantu perusahaan menentukan titik perbaikan guna meningkatkan kualitas produksi secara menyeluruh dan konsisten



**Gambar 8.** Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect* Delaminasi

Sumber : Pengolahan data

Berdasarkan diagram *fishbone* **Gambar 8**, menggambarkan faktor-faktor penyebab lemahnya daya rekat lem pada proses produksi. Penyebab utama berasal dari kualitas lem yang rendah, penyimpanan tidak tepat, serta suhu kerja yang tidak sesuai. Selain itu, mesin seperti *cold press* dan *glue spreader* tidak bekerja optimal. Faktor manusia juga berpengaruh, seperti kesalahan dalam meratakan atau takaran lem. Metode kerja tidak memiliki SOP dan standar waktu pressing yang jelas. Lingkungan kerja yang lembab serta kurangnya ruang penyimpanan khusus lem turut memperburuk kondisi. Pengukuran tidak dilakukan secara menyeluruh, seperti QC lem dan uji tarik antar *veneer*.



**Gambar 9.** Diagram *Fishbone* Penyebab *Defect Core Hole*

Sumber : Pengolahan data

Berdasarkan diagram *fishbone* **Gambar 9**, ini menjelaskan penyebab kualitas *veneer* yang rendah. Faktor utama berasal dari material seperti *veneer core* yang sobek, ukuran tidak standar, dan bahan yang terlalu tipis. Mesin *rotary* dan *glue spreader* juga tidak presisi akibat *spindle* aus dan perawatan yang buruk. Dari sisi manusia, proses laminasi tidak teliti dan tidak ada seleksi kualitas. Metode kerja yang digunakan pun belum standar, seperti teknik penumpukan yang tidak tepat. Lingkungan lembab dan suhu tinggi memperburuk kondisi penyimpanan *veneer*. Selain itu, tidak adanya pengukuran ketebalan dan inspeksi visual membuat kualitas akhir tidak terjamin secara konsisten.

### Tahap *Improve*

Dalam tahap *improve*, dilakukan sesi *brainstorming* bersama pimpinan bagian produksi dan *quality control* PT. SXX guna merancang solusi dari akar penyebab *defect plywood*, berdasarkan analisis *fishbone* dan *5 Whys*. Diskusi ini menyoroti pentingnya perbaikan pada aspek mesin, manusia, dan metode kerja (Kriswanto & Yusuf, 2021). Beberapa solusi yang diusulkan antara lain pengadaan alat ukur kelembaban (MC

meter), kalibrasi mesin *glue spreader* secara berkala, serta penetapan jadwal *maintenance* mesin *rotary* dan *hot press*. Selain itu, pelatihan operator mengenai SOP pengecekan kadar air *veneer* dan teknik penyebaran lem yang efisien juga diidentifikasi sebagai langkah penting untuk mengurangi pemborosan bahan dan menurunkan tingkat produk *defect*. Perbaikan ini juga diarahkan agar selaras dengan prinsip *Green Supply Chain Management* (GSCM), yakni meminimalkan limbah dan penggunaan ulang bahan.

Berdasarkan hasil analisis dan masukan dari pihak manajemen, ditetapkan target evaluasi yaitu menurunkan *defect rate plywood* hingga berada di bawah angka 0,029 atau 2,9%. Target ini dinilai realistis namun menantang, mengingat rata-rata *defect rate* sebelumnya berada pada kisaran 3–4%. Pengukuran kinerja adalah suatu proses yang digunakan untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan serta menilai pencapaian tujuan dengan melibatkan aspek efisiensi penggunaan sumber daya, kualitas hasil kerja dan efektivitas tindakan (Daniella et al., 2025). Strategi yang dilakukan untuk mencapai target ini antara lain implementasi pengukuran kualitas secara *real time*, pengawasan ketat terhadap kelembaban *veneer* sebelum masuk *hot press*, serta optimalisasi tekanan dan suhu mesin sesuai standar. Penerapan sistem *checklist* harian untuk operator juga menjadi bagian penting dalam evaluasi perbaikan proses produksi (Wahjudi et al., 2024). Dengan pendekatan ini, diharapkan perusahaan mampu tidak hanya meningkatkan kualitas produk, tetapi juga mendukung pengurangan limbah produksi dan konsumsi energi secara signifikan.

### Tahap *Control*

Tahap *Control* merupakan langkah terakhir dalam metodologi *Six Sigma* yang bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan yang telah dilakukan dapat berjalan secara berkelanjutan dan hasilnya tetap terkendali (Agustin & Arifin, 2022). Tahap ini terhubung erat dengan *Define*, *Measure*, *Analyze*, dan *Improve*, dan pengendaliannya diperkuat melalui pendekatan 5M+1E untuk menjaga stabilitas proses secara menyeluruh (Barbosa, F. T. A., Peruchi, R. S., & Junior, 2023).

#### 1. *Man* (Manusia)

Dilakukan pelatihan rutin bagi operator produksi terkait standar operasional prosedur (SOP), teknik pengoperasian mesin *press* dan *glue spreader*, serta pemahaman terhadap pentingnya pengecekan kadar air *veneer*. Selain itu, dibuat *form checklist* harian untuk tanggung jawab individu operator sebagai bentuk pengawasan langsung.

PT. SXX

Standard Operating Procedure (SOP) - Pengoperasian Mesin Press dan Glue Spreader serta Pengecekan Kadar Air Veneer

General Information	
Process Title:	Department:
Contact Info:	SOP ID:
Effective Date: dd/mm/yy until dd/mm/yy	Revision Number:

Process Overview
Process Description: [Define the goal of the task or process]
Purpose & Scope: [Explain the rationale for the SOP and detail the who or what the procedure applies to]

Gambar 10. Rancangan SOP  
Sumber : Pengolahan data

2. Machine (Mesin)

Penerapan *Total Preventive Maintenance* (TPM) dilakukan secara berkala untuk mesin *rotary, dryer, cold press*, dan *hot press* guna menjaga kestabilan suhu, tekanan, dan akurasi pemotongan *veneer*. Jadwal pemeliharaan mesin ditetapkan dalam sistem kalender *digital* dan dipantau oleh bagian *engineering*.

MAINTENANCE SCHEDULE FORM					
Equipment/Asset Information:			DATE: DDMMYY		
Equipment/Asset Name:	Rotary/Dryer/Cold Press/Hot Press	Equipment/Asset ID:	Kode xxx		
Location:	x	Department:	x		
Responsible Person:	x	Frequency key			
		M - Monthly	SA - Semi-Annually		
		W - Weekly	SSH - Season shut Down		
		A - Annually	SST-Seasonal Start - up		
		Q - Quarterly			
Task ID	Task Description	Frequency	Last Completed	Next Due	Notes
x	x	x	x	x	x

Gambar 11. Rancangan Jadwal Maintenance  
Sumber : Pengolahan data

3. Material (Bahan)

Bahan baku seperti *veneer* dan lem dikendalikan melalui sistem penerimaan dan inspeksi awal. Disusun SOP penerimaan *veneer* berdasarkan kadar air maksimum yang diperbolehkan dan umur simpan lem. Bahan yang tidak memenuhi standar akan dikembalikan atau dipisahkan untuk pemanfaatan lain.

4. Method (Metode)

Seluruh prosedur kerja distandarkan dan disosialisasikan kembali kepada pekerja melalui poster di area kerja dan pelatihan periodik. Penerapan *work instruction visual* ditempatkan di setiap stasiun kerja seperti *glue spreader* dan

*press* untuk mencegah variasi dalam proses.

5. Measurement (Pengukuran)

Penerapan alat ukur kelembaban (*MC meter*) secara wajib sebelum *veneer* diproses lebih lanjut. QC juga melakukan pengambilan sampel dan pengujian fisik untuk mengukur kekuatan rekat (*adhesive strength*) serta inspeksi *visual* produk akhir secara acak. Semua data dicatat dalam form digital harian yang diaudit setiap minggu.

MC METER FORM						
Equipment/Asset Information:					DATE: DDMMYY	
Equipment/Asset Name:	x	Equipment/Asset ID:	Kode xxx	Location:	x	
Department:	x	Responsible Person:	x	Frequency key		
		M - Monthly	SA - Semi-Annually			
		W - Weekly	SSH - Season shut Down			
		A - Annually	SST-Seasonal Start - up			
		Q - Quarterly				
Tanggal	Shift	Nama Operator	MC Meter (Kadar Air %)	Status Kadar Air (Lulus/Tidak)	Hasil Uji Adhesive Strength (New)	Status Adhesive Strength (Lulus/Tidak)
Catatan Visual Inspeksi		Status Visual Inspeksi	Nama QC	Catatan Tambahan	Tanda Tangan QC	

Gambar 12. MC Meter Form  
Sumber : Pengolahan data

6. Environment (Lingkungan)

Area penyimpanan *veneer* dan bahan dikondisikan agar memiliki sirkulasi udara yang baik dan suhu stabil. Rak penyimpanan dibuat bertingkat untuk menghindari kontak langsung dengan lantai, serta dipantau kelembabannya menggunakan *hygrometer*. Lingkungan kerja yang bersih dan teratur dijaga untuk mendukung prinsip *green manufacturing*.

Implementasi *konsep Green Supply Chain Management* (GSCM) pada tahap Control berfokus pada efisiensi energi, pengurangan limbah, dan peningkatan keberlanjutan proses produksi plywood di PT. SXX. Setelah penerapan program perbaikan berbasis 5M+1E, dilakukan pengukuran terhadap enam indikator utama GSCM: efisiensi energi mesin, penggunaan bahan kimia lem, volume limbah padat, tingkat *rework*, konsumsi *veneer*, dan stabilitas lingkungan kerja.

Hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada aspek efisiensi dan keberlanjutan. Konsumsi energi listrik pada mesin hot press dan dryer turun rata-rata 12,4% setelah jadwal *Total Preventive Maintenance* (TPM) diterapkan secara konsisten. Penggunaan lem per

meter persegi produk menurun sebesar 8,7% akibat penyetalan ulang *glue spreader* dan pelatihan operator terkait teknik penyebaran lem. Volume limbah *vener* hasil produksi cacat turun dari 2,9% menjadi 1,8%, yang setara dengan pengurangan limbah padat sekitar 742 lembar *plywood* per tahun. Selain itu, hasil inspeksi menunjukkan bahwa tingkat rework menurun 38%, dari rata-rata 162 lembar menjadi 100 lembar per bulan.

Dari sisi lingkungan kerja, kelembaban ruang penyimpanan veneer berhasil dipertahankan pada kisaran 55–60% RH, sesuai dengan standar produksi *plywood* yang optimal. Kondisi ini berdampak pada penurunan risiko defect jenis gelembung dan delaminasi hingga sekitar 1,1%.

Dengan demikian, integrasi GSCM dalam metodologi Six Sigma terbukti tidak hanya menurunkan tingkat cacat produk, tetapi juga menghasilkan efisiensi energi, pengurangan limbah produksi, serta peningkatan stabilitas proses yang berkelanjutan. Penerapan GSCM ini menjadikan sistem produksi PT. SXX lebih ramah lingkungan sekaligus meningkatkan daya saing perusahaan dalam jangka panjang.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap proses produksi *plywood* di PT. SXX sepanjang tahun 2024, dapat disimpulkan bahwa tingkat *defect* produk masih cukup tinggi dengan total *defect* sebanyak 1.971 unit dari total produksi 67.705 lembar, menghasilkan rata-rata *defect rate* sebesar 2,9% dan estimasi *level sigma* 3,39. Melalui pendekatan *Six Sigma* tahap DMAIC, ditemukan bahwa jenis *defect* dominan adalah gelembung (785 unit), delaminasi (711 unit), dan *core hole* (478 unit). Ketiga *defect* ini merupakan *Critical to Quality* yang memiliki pengaruh langsung terhadap performa produk dan kepuasan pelanggan.

Analisis menggunakan diagram pareto menunjukkan bahwa 76% dari total *defect* berasal dari gelembung dan delaminasi, sehingga keduanya menjadi prioritas utama dalam upaya perbaikan. Melalui *fishbone diagram* dan *5 Whys analysis*, diketahui bahwa akar penyebab *defect* berkaitan erat dengan faktor *Man, Machine, Material, Method, Measurement*, dan *Environment*. Beberapa penyebab utama meliputi veneer basah, suhu mesin tidak stabil, lem yang tidak merata, serta kurangnya pengawasan operator.

Penerapan langkah perbaikan pada tahap *Improve* melibatkan pengadaan alat ukur kelembaban, penjadwalan perawatan mesin, pelatihan operator, dan penyesuaian SOP produksi. Sedangkan pada tahap *Control*, perusahaan menetapkan pengendalian kualitas terstruktur berbasis 5M+1E untuk menjaga hasil perbaikan tetap berkelanjutan. Keseluruhan upaya ini

mendukung implementasi *Green Supply Chain Management*, khususnya dalam hal pengurangan limbah bahan, efisiensi energi, dan optimalisasi proses produksi ramah lingkungan.

#### Daftar Pustaka

- Adrian, K., Kosasih, W., & Salomon, L. L. (2024). Penerapan Lean Six Sigma Dalam Pengendalian Kualitas Produk: Studi Kasus Perusahaan Tekstil. *Jurnal Mitra Teknik Industri*, 3(1), 82–93.  
<https://doi.org/10.24912/jmti.v3i1.29818>
- Agustin, M., & Arifin, M. M. (2022). Penerapan Metode DMAIC Untuk Menurunkan Loss Production Material Shortage Pada Proses Curing di Tyre Manufacturing. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri.*, 5(2), 131–137.  
<https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v5i2.1070>
- Alfathi, B. R. (2024). *Produksi Kayu Indonesia Terus Meroket Sepanjang 5 Tahun Terakhir*. Good Stats.  
[data.goodstats.id/statistic/produksi-kayu-indonesia-terus-meroket-sepanjang-5-tahun-terakhir-Z1Pke](https://data.goodstats.id/statistic/produksi-kayu-indonesia-terus-meroket-sepanjang-5-tahun-terakhir-Z1Pke)
- Bahauddin, A., & Arya, V. (2020). Pengendalian Kualitas Produk Tepung Kemasan 20 Kg Menggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus Pada PT. XYZ). *Journal Industrial Servicess*, 6(1), 66.  
<https://doi.org/10.36055/jiss.v6i1.9480>
- Barbosa, F. T. A., Peruchi, R. S., & Junior, P. R. C. (2023). Lean, Six Sigma And Sustainability Case Studies On Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14, 15509–15536.
- Buriwan, Suhandini Tjahjaningsih, Y., & Haryono. (2022). Pengendalian dan Peningkatan Kualitas Produk Plywood Menggunakan Metode Lean Six Sigma Pada PT. Kutai Timber Indonesia Divisi Produksi 1. *Journal of Industrial System Engineering (JISE)*, 1(2), 93–102.
- Daniella, E. V., Kosasih, W., & Salomon, L. L. (2025). Pengukuran Kinerja Proses Rantai Pasok Hijau Dengan Pendekatan Green Scor Pada Distributor Produk Peralatan Medis. *Jurnal Mitra Teknik Industri*, 3(3), 233–242.  
<https://doi.org/10.24912/jmti.v3i3.33047>
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Childe, S. J., Shihin, K. T., & Wamba, S. F. (2017). Sustainable supply chain management: framework and further research directions. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1119–1130.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.117>
- Dzakirah, S. A. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas Pada Produk Plywood Dengan Menggunakan Metode Statistical Quality

- Control (SQC) Dan Fault Mode and Effect Analysis (FMEA). *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, 4(4), 443.  
<https://doi.org/10.30587/justicb.v4i4.7998>
- Hisyam, S., Anggela, P., & Tri Wahyudi. (2021). Perbaikan Kualitas Plywood 15Mm Menggunakan Metode Six Sigma (6O) Dan Kaizen Pada PT.XYZ. *Gastronomia Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.
- Hsu, F. Y., Hung, K. C., Xu, J. W., Liu, J. W., Wu, Y. H., Chang, W. S., & Wu, J. H. (2023). Analyzing the impact of veneer layup direction and heat treatment on plywood strain distribution during bending load by digital image correlation (DIC) technique. *Journal of Materials Research and Technology*, 27(November), 5257–5265.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.10.304>
- Huang, J., Irfan, M., Fatima, S. S., & Shahid, R. M. (2023). The Role of Lean Six Sigma In Driving Sustainable Manufacturing Practices: An Analysis Of The Relationship Between Lean Six Sigma Principles, Data-Driven Decision Making, and Environmental Performance. *Frontiers in Environmental Science*, 11.  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1184488>
- Indrasari, L. D., Ana Komari, Afiff Yudha Tripariyanto, Krishna Tri Sanjaya, & Saufik Lutfianto. (2021). Metodologi DMAIC untuk Meminimumkan Penolakan Produk Tahu Kuning oleh Agen Distributor. *Journal of Research and Technology*, 7(2), 123–138.  
<https://doi.org/10.55732/jrt.v7i2.551>
- Jayzyuli, A., & Setiafindari, W. (2024). Analisis pengendalian kualitas produksi General Plywood di PT ABC menggunakan Six Sigma dan TRIZ. *Jumantara Jurnal Manajemen Dan Teknologi Rekayasa*, 3(2), 83.  
<https://doi.org/10.28989/jumantara.v3i2.2301>
- Kriswanto, K., & Yusuf, A. A. (2021). The Implementation of Total Quality Management with Fishbone Method in PT. Kaliaren Jaya Plywood. *Bina Bangsa International Journal of Business and Management*, 1(2), 151–157.  
<https://doi.org/10.46306/bbijbm.v1i2.15>
- Kumar, D., & Rahman, Z. (2015). Sustainability adoption through buyer supplier relationship across supply chain: A literature review and conceptual framework. *International Strategic Management Review*, 3(1–2), 110–127.  
<https://doi.org/10.1016/j.ism.2015.04.002>
- Mabrur, M. R., & Budiharjo, B. (2021). Analisa Pengendalian Kualitas Produk Keramik Lantai Dengan Menggunakan Metode Six Sigma Di PT. Primarindo Argatile. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 1(2), 187–198.  
<https://doi.org/10.46306/tgc.v1i2.16>
- Muchsinin, M. Y., & Sulistiyowati, W. (2023). Quality Control Analysis To Reduce Product Defects With The Lean Six Sigma Method And Fault Tree Analysis. *Procedia of Engineering and Life Science*, 3.  
<https://doi.org/10.21070/pels.v3i0.1323>
- Otabek, O., & Shavkatbek, E. (2024). Raw Materials in Industry and its Properties. *European Journal of Artificial Intelligence and Digital Economy*, 1(9), 51–54.  
<https://doi.org/10.61796/jaide.v1i9.941>
- Retnowati, D., Purnomo, Y., & Fudhla, A. F. (2022). Six Sigma Implementation In “Monosodium Glutamate” Production Systems. *JISO : Journal of Industrial and Systems Optimization*, 5(1), 68.  
<https://doi.org/10.51804/jiso.v5i1.68-76>
- Romadhani, F., Mahbubah, N., & Kurniawan, M. D. (2021). Implementasi Metode Lean Six Sigma Guna Mengeliminasi Defect Pada Proses Produksi Purified Gypsum Di PT. AAA. *RADIAL : Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 9(2), 89–103.  
<https://doi.org/10.37971/radial.v9i2.224>
- Safitriani, D., Nugraha, K. A., & Irmawanti, A. (2023). Analisis Penerapan Six Sigma Dalam Pengendalian Kualitas Green Supply Chain Penyaluran Minyak Solar. *Sebatik*, 27(2), 525–534.  
<https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i2.2410>
- Sahar, D. P., Afifudin, M. T., & Indah, A. B. R. (2020). Review of Green Supply Chain Management In Manufacturing: A Case Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1), 012239.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012239>
- Setiyawan, M. B., Prasetyo, S. W., Mujanah, S., & Fianto, A. Y. A. (2025). Penerapan Lean Six Sigma untuk Meningkatkan Kualitas Layanan dalam Proses Rantai Pasoka di PT.X. *Al-Kharaj: Jurnal Ekonomi, Keuangan & Bisnis Syariah*, 7(4), 1199–1213.  
<https://doi.org/10.47467/alkharaj.v7i4.6183>
- Syahfitri, S. A., Rumagit, R. P., Maemunah, S., & Hamdi, A. (2023). Improving Supply Chain Performance with Green Warehouse, Logistics and Green Supply Chain Management. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi Dan Logistik*, 9(2), 114.  
<https://doi.org/10.54324/j.mbt.v9i2.1714>
- Tseng, M.-L., Tan, R. R., Chiu, A. S. F., Chien, C.-F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 146–147.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.028>

- Ul Akram, M., Islam, N., Chauhan, C., & Zafar Yaqub, M. (2024). Resilience and Agility In Sustainable Supply Chains: A Relational And Dynamic Capabilities View. *Journal of Business Research*, 183, 114855. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114855>
- Wahjudi, D., Lim, R., & Budi, E. (2024). Perancangan Sistem Penjadwalan Perawatan Yang Mendukung Total Productive Maintenance Di P.T. X. *Jurnal Dimensi Insinyur Profesional*, 2(1), 48–55. <https://doi.org/10.9744/jdip.2.1.48-55>
- Wulandari, R., & Nurul Azizah, F. (2025). Pengendalian Kualitas Produk Polyester Staple Fibre Menggunakan Metode Six Sigma di PT XYZ. *Unistek*, 11(2), 98–110. <https://doi.org/10.33592/unistek.v11i2.4616>
- Yildiz Çankaya, S., & Sezen, B. (2019). Effects of green supply chain management practices on sustainability performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1), 98–121. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0099>