

Perbaikan Kinerja *Defect Free Supply Chain* dengan Pendekatan Simulasi Model System Dynamics (Studi Kasus: PT. NPC)

Muhammad Rifki¹, Agus Mansur^{2*}, Fadhil Adita Ramadhan³

^{1,2,3} Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang No. Km. 14,5, Kabupaten Sleman, Yogyakarta
Email: m.rifki0115@gmail.com, agusmansur@uii.ac.id, 23916008@students.uii.ac.id

* Corresponding Author

ABSTRAK

Industri garmen memainkan peran penting dalam mendukung perekonomian Indonesia dengan pertumbuhan signifikan sebesar 15,08% pada 2019. Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan tingkat cacat (*defect rate*) pada *Line 9 Factory C*, PT. NPC, untuk menguatkan kinerja *supply chain*, khususnya kinerja yang terkait dengan *defect free supply chain*. Penelitian ini akan mengeksplorasi secara detail Tingkat kecacatan produksi dengan menggunakan pendekatan *Seven Tools* dan merancang strategi pengurangan cacat dengan pendekatan simulasi Sistem Dinamis. Metode *Seven Tools* membantu mengidentifikasi cacat dominan seperti *Poor Shape*, *Open Seam*, dan *Broken Stitch* melalui analisis *Check Sheet*, *Pareto*, dan *Fishbone Diagram*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi eksisting Perusahaan memiliki tingkat cacat rata-rata 12,15%, melebihi target perusahaan yaitu kurang dari 10%. Langkah strategis yang diusulkan adalah melakukan intervensi berupa pelatihan intensif untuk para operator dan penambahan petugas *Inline QC*. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa pelatihan menurunkan tingkat cacat sebesar 0,70%, sedangkan penambahan petugas *Inline QC* menurunkan Tingkat cacat hingga 1,16%. Kombinasi kedua strategi menghasilkan penurunan tingkat cacat terbesar hingga 1,34%, yang menunjukkan arah perbaikan positif menuju target perusahaan. Penerapan strategi pengendalian kualitas tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, peningkatan juga terjadi pada kinerja *supply chain* perusahaan.

Kata kunci: Kinerja, Supply Chain, Defect Free, *Seven Tools*, Simulasi Sistem Dinamis

ABSTRACT

The garment industry plays an important role in supporting the Indonesian economy with a significant growth of 15.08% in 2019. This study aims to reduce the defect rate at *Line 9 Factory C*, PT. NPC to strengthen supply chain performance, especially performance related to the defect free supply chain. This study will explore in detail the production defect rate using the *Seven Tools* approach and design a defect reduction strategy with a Dynamic System Simulation approach. The *Seven Tools* method helps identify dominant defects such as *Poor Shape*, *Open Seam*, and *Broken Stitch* through *Check Sheet*, *Pareto*, and *Fishbone Diagram* analysis. The simulation results show that the Company's existing condition has an average defect rate of 12.15%, exceeding the company's target of less than 10%. The proposed strategic steps are to conduct interventions in the form of intensive training for operators and the addition of *Inline QC* officers. The simulation results show that training reduces the defect rate by 0.70%, while the addition of *Inline QC* officers reduces the defect rate by 1.16%. The combination of both strategies resulted in the largest reduction in defect rates of up to 1.34%, indicating a positive direction of improvement towards the company's target. The implementation of quality control strategies not only increased operational efficiency, but also increased the company's supply chain performance.

Keywords: Performance, Supply Chain, Defect Free, *Seven Tools*, Dynamic Simulation

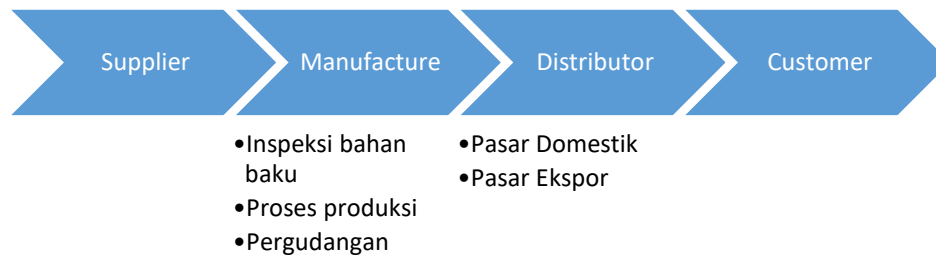
I. PENDAHULUAN

Industri termasuk dalam sektor utama yang memainkan peran utama untuk mendukung pertumbuhan perekonomian Indonesia (Nurhayani, 2022). Sektor industri dengan pertumbuhan signifikan yakni industri sandang, khususnya garmen. Dalam laporan pertumbuhan ekonomi Indonesia Triwulan III-2024, industri garmen mencatatkan pertumbuhan yang signifikan, jauh melampaui laju pertumbuhan ekonomi nasional pada periode yang sama. Dalam konteks perusahaan manufaktur, khususnya industri garmen, pengendalian kualitas memiliki peranan yang sangat vital dalam menjaga kelancaran proses produksi (Setyawan Firmansyah & Siagian, 2022). Pengendalian kualitas bukan hanya sekedar menjaga kualitas produk, tetapi

juga memastikan bahwa tingkat kecacatan produk dapat dikendalikan dengan baik, sehingga kualitas produk yang kualitasnya telah memenuhi standar (Mulyani & Basrowi, 2024) . Penerapan pengendalian kualitas yang efektif sangat diperlukan untuk mendukung perbaikan berkelanjutan dalam perusahaan. Ini juga menjadi kunci untuk meningkatkan daya saing produk di pasar yang semakin ketat (Arsiwi & Adi, 2020).

Produk yang cacat atau defect adalah hasil produksi dalam tahapan produksi yang gagal memenuhi kualitas, yang pada gilirannya dapat merugikan perusahaan baik dari sisi reputasi maupun biaya produksi (Hoque & Maalouf, 2022). Selain itu, kualitas yang terjaga sepanjang rantai pasok memastikan kelancaran aliran barang dan informasi, mengurangi risiko gangguan operasional, serta meningkatkan kepercayaan antara mitra dalam rantai pasok (Gong, 2023) . Ketika kualitas produk terjamin, perusahaan dapat mengurangi biaya tambahan akibat perbaikan atau pengembalian, memaksimalkan efisiensi, dan meningkatkan pengalaman pelanggan (Kurnia et al., 2021) . Dalam konteks *supply chain management*, pengendalian kualitas yang baik menciptakan hubungan yang lebih kuat antara pemasok, produsen, dan distributor, yang pada akhirnya mendorong keberhasilan rantai pasok secara keseluruhan (Lesmana, 2023) .

PT. NPC adalah perusahaan yang bergerak di industri garmen yang memiliki kepedulian terhadap perbaikan sistem rantai pasok dalam menunjang kelancaran operasional perusahaan. Salah satu permasalahan yang dihadapi oleh PT. NPC adalah sering terjadinya keluhan dari distributor dan konsumen terkait kualitas produk yang dihasilkan, khususnya rendahnya kinerja *free defect* dalam *supply chain*. PT. NPC memiliki target perbaikan untuk meningkatkan level defect free dalam *supply chain*. Sistem rantai pasok PT. NSC dapat dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Rantai Pasok PT. NPC

Saat ini, proses produksi di PT. NPC menggunakan sistem *pure flow shop* dengan model *dedicated repetitive flow*, yang memungkinkan satu lini produksi fokus pada satu tipe produk dengan variasi warna, di mana seluruh proses produksi berjalan pada lini yang sama tanpa terlalu banyak variasi pekerjaan. Alur produksi ini memungkinkan perusahaan untuk melakukan perbaikan dalam mencapai efisiensi yang lebih tinggi, namun memerlukan pengawasan kualitas yang ketat agar tidak terjadi penyimpangan dalam sistem rantai pasoknya (Agustian et al., 2023) . Model ini memungkinkan produksi dilakukan secara lebih terstruktur dan terfokus, yang sangat penting dalam menjaga kualitas produk. Penelitian ini memanfaatkan *Seven Tools* untuk menggali problematika penyebab kualitas produksi. *Seven Tools* terdiri dari tujuh alat yang digunakan untuk menganalisis data statistik dan menyelesaikan masalah kualitas yang paling mendasar (Nursyamsi & Momon, 2022). Alat-alat tersebut meliputi *check sheet*, stratifikasi, *histogram*, *scatter diagram*, *control chart*, diagram pareto, dan *fishbone diagram*. Setiap alat ini memiliki peran penting dalam mengidentifikasi penyebab utama dari masalah kualitas yang terjadi di lapangan (Marlina et al., 2024). Pencarian alternatif dalam strategi pengendalian kualitas dilakukan dengan menggunakan pendekatan simulasi *system dynamics*. Simulasi ini digunakan untuk memahami perilaku sistem yang kompleks dalam periode waktu tertentu sehingga dapat digunakan untuk memprediksi perilaku sistem. Pendekatan ini membantu perusahaan mengambil keputusan yang optimal ketika menangani masalah kualitas (Kristanto Mulyono & Yeni Apriyani, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi tingkat cacat (*defect rate*) dalam proses produksi di PT. NPC, dengan harapan kinerja *free defect rate* dalam sistem rantai pasok dapat tercapai. Penurunan tingkat kecacatan diharapkan tidak hanya meningkatkan kualitas produk, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap pengurangan biaya operasional. Dengan demikian, pengendalian kualitas yang efektif dapat berkontribusi pada pencapaian efisiensi dan daya saing perusahaan yang lebih tinggi dalam industri garmen yang kompetitif. Dalam memperjelas posisi penelitian, berikut merupakan beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya berkaitan dengan topik penelitian ini:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

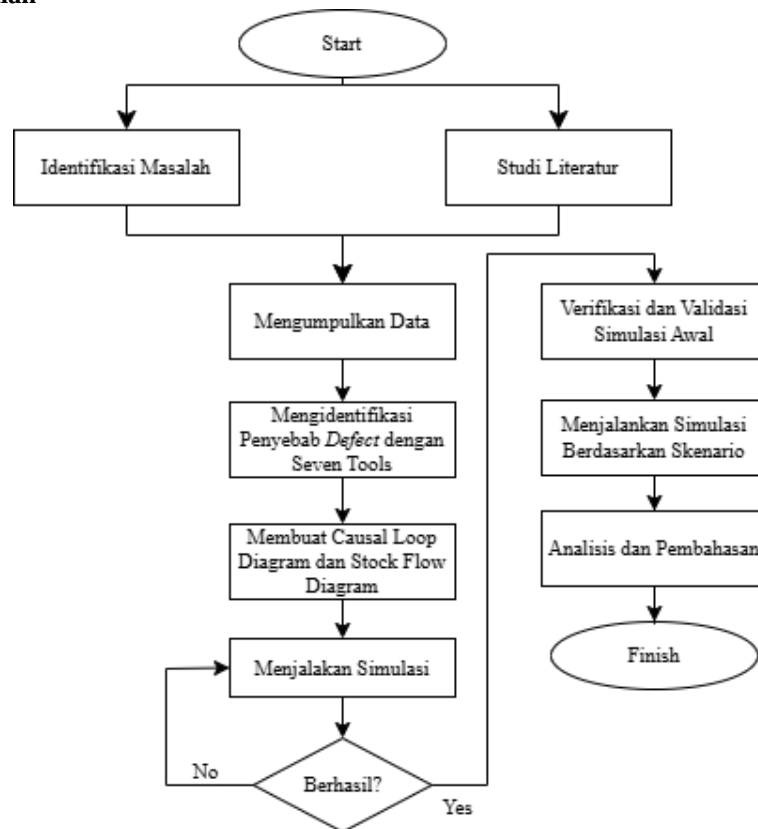
No	Judul	Pembahasan	Gap Penelitian
1.	A Supply Chain Waste	Mengembangkan model Penelitian ini	bersifat teknis-

No	Judul	Pembahasan	Gap Penelitian
	<i>Reduction Optimization Model Using Beam Search Algorithms For Two-Dimensional Cutting Problems With Defects</i> (Afsharian, 2023)	optimasi pemotongan dua dimensi untuk meminimalkan limbah bahan baku menggunakan algoritma beam search. Model ini efektif dalam meningkatkan efisiensi penggunaan material dan mengurangi defect akibat kesalahan pemotongan dalam sistem produksi.	operasional dan terbatas pada proses produksi spesifik (cutting process) dengan pendekatan algoritma. Belum mempertimbangkan dinamika sistem atau keterkaitan antar faktor penyebab defect secara menyeluruh di seluruh rantai pasok.
2.	<i>Supply Chain Integration As The Implementation Of Strategic Management In Improving Business Performance</i> (Anwar et al., 2025)	Studi ini membuktikan bahwa integrasi rantai pasok (internal, pemasok, pelanggan) secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional dan kinerja finansial, dengan kontribusi varians sebesar 84,7% dan 80,4%. Integrasi ini memperkuat kolaborasi, inovasi, serta responsivitas perusahaan melalui dukungan teknologi digital.	Penelitian ini terdapat perbedaan pada pendekatan dan objek analisisnya, dimana tidak adanya penekanan aspek mikro teknis produksi dan pengurangan cacat melalui simulasi System Dynamics.
3.	<i>System Dynamics: An Approach To Modeling Supply Chain Performance Measurement</i> (Liu et al., 2023)	Penelitian ini menggunakan model system dynamics untuk meningkatkan kinerja rantai pasok melalui optimalisasi <i>agility</i> dan <i>flexibility</i> , guna menekan biaya, mempercepat pengiriman, dan meningkatkan respons terhadap permintaan.	penelitian ini lebih berfokus pada penentuan level optimal AAF tanpa menitikberatkan pada perbaikan kualitas produk, yang mana tidak mengintegrasikan data riil dari proses produksi dan fokus pada perbaikan sistematis untuk mengurangi defect dan meningkatkan kualitas.
4.	<i>Supply Chain Simulation of Manufacturing Shirts Using System Dynamics for Sustainability</i> (Kaur & Kander, 2023)	Artikel ini membahas penggunaan System Dynamics Modeling (SDM) untuk mengoptimalkan bahan baku, tenaga kerja, dan peralatan dalam manufaktur pakaian, serta mengurangi dampak lingkungan melalui Life Cycle Assessment (LCA) menggunakan model STELLA®.	Perbedaan penelitian terletak pada fokus aplikasi. Penelitian ini lebih menekankan pada <i>sustainability</i> dan pengelolaan dampak lingkungan, sementara penelitian yang disebutkan lebih menitikberatkan pada optimasi kinerja rantai pasokan <i>defect free</i> .
5.	<i>A System Dynamic Model of Closed-Loop Supply Chain considering Recovery Strengthening and Product Differentiation</i> (Gao et al., 2022)	Penelitian ini menggunakan model System Dynamics pada Closed-Loop Supply Chain untuk menganalisis penguatan recovery dan diferensiasi produk. Hasil simulasi Vensim menunjukkan pengurangan amplifikasi order dan inventory serta permintaan yang stabil, dengan seluruh faktor berpengaruh signifikan terhadap performa rantai pasok..	Meskipun sama-sama menggunakan pendekatan System Dynamics, penelitian sebelumnya fokus pada optimalisasi sistem Closed-Loop secara menyeluruh. Penekanan eliminasi cacat dan peningkatan kualitas aliran material pada satu jalur produksi tertentu tidak dilakukan.

Pemaparan beberapa penelitian terdahulu yang disajikan dalam Tabel 1, mengungkapkan penelitian ini menempati posisi unik dalam literatur karena menawarkan pendekatan yang terintegrasi antara aspek teknis-produksi dan dinamika sistem. Berbeda dari penelitian terdahulu yang umumnya bersifat teknis-operasional pada satu proses spesifik, seperti proses cutting dengan algoritma tertentu, atau berfokus pada sustainability dan optimalisasi sistem *closed-loop* tanpa mempertimbangkan cacat produksi secara mikro, penelitian ini secara khusus menggabungkan data riil dari jalur produksi (*Line 9 Factory C*) dengan pendekatan *system dynamics*. Keterbaruan utama dari penelitian ini terletak pada pemodelan hubungan sebab-akibat berbagai faktor penyebab defect dalam satu sistem produksi nyata, serta penggunaan simulasi untuk memprediksi dan memperbaiki aliran material guna mencapai performa *defect free supply chain*. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam ranah manajemen operasi dengan mengisi celah antara analisis sistem makro dan kebutuhan peningkatan kualitas produksi secara mikro yang selama ini kurang mendapatkan perhatian. Penelitian ini tidak hanya menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif terhadap permasalahan defect, tetapi juga memberikan landasan yang kuat bagi pengambilan keputusan strategis dalam upaya mencapai efisiensi dan efektivitas dalam sistem rantai pasok manufaktur.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Alur Penelitian



Gambar 2. Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 2. diatas, penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah melalui pengamatan langsung di PT. NPC, diikuti dengan wawancara dengan supervisor dan tim teknis untuk mengidentifikasi penyebab potensi cacat produk. Kajian literatur dilakukan untuk meninjau penelitian terdahulu serta teori-teori yang mendasari analisis *free defect supply chain* pada kinerja kualitas dalam industri garmen (Wardah et al., 2022). Setelah menetapkan metode penelitian, data dikumpulkan melalui observasi langsung di lokasi produksi dan wawancara dengan pihak terkait seperti supervisor dan departemen teknis. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan *Seven Tools* untuk mengidentifikasi penyebab *defect* pada proses produksi, yang disusul proses pembuatan *Causal Loop Diagram* dan *Stock Flow Diagram* untuk membangun model simulasi *system dynamic*.

Simulasi dilakukan memodelkan kondisi eksisting, kemudian diverifikasi dan divalidasi menggunakan uji statistik untuk memastikan keakuratan model. Setelah model valid, simulasi dapat dijalankan untuk menguji skenario-skenario yang relevan dalam menurunkan *defect rate* (Jun et al., 2021). Hasil simulasi yang

diperoleh dianalisis dan dibahas untuk menghasilkan usulan kebijakan yang tepat guna mengurangi tingkat kecacatan produk, yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi operasional di PT. NPC.

2.2 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, jenis data yang digunakan mencakup data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari wawancara dengan pihak-pihak yang terlibat secara aktif dalam proses produksi di *Line 9 Factory C*, seperti Supervisor, tim Technical, serta staf dari Departemen Industrial Engineering. Wawancara ini bertujuan untuk menggali lebih dalam terkait permasalahan yang terjadi di Line 9, sekaligus memahami hubungan sebab-akibat yang menjadi penyebab terjadinya defect dalam hasil produksi. Selain itu, data primer juga diperkuat dengan dokumen internal perusahaan berupa *In-Line Daily Report*, *Daily Endline Sewing Report*, dan *Ramp-Up Report* yang secara spesifik mencatat aktivitas dan hasil produksi di Line 9. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari berbagai sumber literatur dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan isu defect free supply chain.

Dalam proses pengumpulan data, penelitian ini menggunakan instrumen berupa wawancara terstruktur serta pengumpulan data produksi dari internal perusahaan. Untuk mempermudah pemetaan hubungan antar faktor penyebab defect, peneliti juga memanfaatkan perangkat lunak simulasi *Powersim*. Adapun kriteria pemilihan sampel yang dimanfaatkan pada penelitian ini melalui teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan responden secara sengaja dengan mempertimbangkan kriteria tertentu. Kriteria tersebut mencakup pengalaman kerja yang memadai, keterlibatan langsung dalam proses operasional di Line 9, serta pemahaman yang baik mengenai sistem produksi dan pengendalian kualitas. Pendekatan ini dipilih agar informasi yang diperoleh benar-benar relevan dan mendalam, sehingga dapat mendukung penyusunan model simulasi yang akurat dan aplikatif.

2.3 Metode Analisis Data

Metode analisis yang diterapkan adalah *Seven Tools*, yang meliputi *Check Sheet*, Stratifikasi, Histogram, *Scatter Diagram*, *Control Chart*, Diagram Pareto, dan *Fishbone Diagram* (Law, 2022). Alat-alat ini diterapkan guna menemukan faktor penyebab defect dalam proses produksi *Line 9 Factory C*. Setelah analisis data dengan *Seven Tools*, penelitian dilanjutkan dengan simulasi Sistem Dinamis menggunakan *Powersim*. Proses simulasi dimulai dengan pembuatan *Causal Loop Diagram* (CLD) untuk menggambarkan interaksi antar variabel (Alfadilah et al., 2022), dan dilanjutkan dengan *Stock Flow Diagram* (SFD) untuk perhitungan matematis (Sari et al., 2022). Validasi dan verifikasi dilakukan dengan uji statistik untuk memastikan kesesuaian model simulasi dengan sistem nyata (Nur Latifah et al., 2022).

Setelah model dinyatakan valid, simulasi dijalankan berdasarkan skenario-skenario perbaikan untuk menemukan solusi yang optimal. Uji validasi yang dapat digunakan meliputi:

1. Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Uji kesamaan dua rata-rata adalah metode yang digunakan untuk menentukan perbandingan performa sistem nyata dengan model simulasi yang direpresentasikan dalam nilai rata-rata output kedua populasi (Rufaidah & Rosyidi, 2022). Untuk mencari t hitung digunakan rumus sebagai berikut:

$$Sp^2 = \frac{(N_1 - 1)V_1^2 + ((N_2 - 1)V_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \quad (1)$$

$$T \text{ hitung} = \frac{\text{Mean 1} - \text{Mean 2}}{\sqrt{Sp^2 * (\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2})}} \quad (2)$$

Hasil t hitung kemudian dibandingkan dengan t tabel ($t_{\frac{\alpha}{2}, N-1}$)

2. Uji Kesamaan Dua Variansi

Uji kesamaan dua variansi adalah metode yang dimanfaatkan dalam menganalisis perbandingan performa sistem nyata dengan model simulasi yang direpresentasikan dalam nilai variansi output kedua populasi (Dehbozorgi et al., 2023). Untuk menghitung F hitung dapat dilakukan dengan rumus:

$$F \text{ Hitung} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3)$$

3. Uji Chi-Square

Uji chi square adalah langkah validasi akhir yang mengevaluasi kesesuaian antara output hasil simulasi dengan output sistem nyata yang diamati (Antony et al., 2021). Dikenal pula sebagai pengujian kesesuaian atau kompatibilitas, bertujuan untuk menilai sejauh mana frekuensi yang dihasilkan oleh model simulasi konsisten dengan frekuensi teoretisnya (sistem nyata). Rumus yang dipakai mencakup:

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (4)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Penyebab Defect

Proses identifikasi penyebab *defect* dilakukan menggunakan *Check Sheet* untuk mencatat jenis cacat yang ditemukan pada produk di *Line 9*. Jenis-jenis cacat produksi yang diidentifikasi meliputi *Poor Shape*, *Open Seam*, *Broken Stitch*, dan lainnya, yang terdaftar dalam Tabel 2.

Tabel 2. *Defect* Clasification List (DCL)

No	Jenis Defect	Kode (SW)	Deskripsi	No	Jenis Defect	Kode (SW)	Deskripsi
1	<i>Poor Shape</i>	22	Bentuk tidak bagus	11	<i>Material Defect</i>	58(1)	Akibat material
2	<i>Open Seam</i>	5	Stich-an Terbuka/Jahitan Meleset	12	<i>Pleated</i>	46	Terlipat
3	<i>Broken Stitch</i>	1	Jahitan terputus/tidak nyambung	13	<i>Twisted</i>	14	Melintir
4	<i>Univen</i>	15	Bentuk jahitan tidak bagus	14	<i>Dirty</i>	58(2)	Kotor Oli (Hitam)
5	<i>Hi-Lo</i>	20	Pemasangan produk tidak presisi antara sisi kiri dan kanan	15	<i>Puckering</i>	4	Kerut
6	<i>Trimming</i>	10	Benang sisa jahitan tidak terpotong oleh operator	16	<i>Stain/oil</i>	58(3)	Kotor Minyak
7	<i>Needle Hole/Hole</i>	52	Lubang pada kain	17	<i>Chalk Mark</i>	7	Kotor Kapur
8	<i>Tension</i>	51	Jahitan kendor atau tidak sempurna	18	<i>Shadding</i>	6	Warna Belang
9	<i>Skip Stitch</i>	3	Jahitan loncat				Robekan kain akibat serat
10	<i>Exposed Stitch</i>	48	Jahitan bantu kelihatan	19	<i>Snaging</i>	25	tersangkut benda luar.

Data cacat yang tercatat selama periode pemeriksaan pada 16 November hingga 28 Desember 2023 menunjukkan jumlah cacat terbanyak pada kategori *Poor Shape* dengan 415 unit, diikuti oleh *Open Seam* (367 unit) dan *Broken Stitch* (349 unit), sesuai dengan yang disebutkan di Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *Check Sheet*

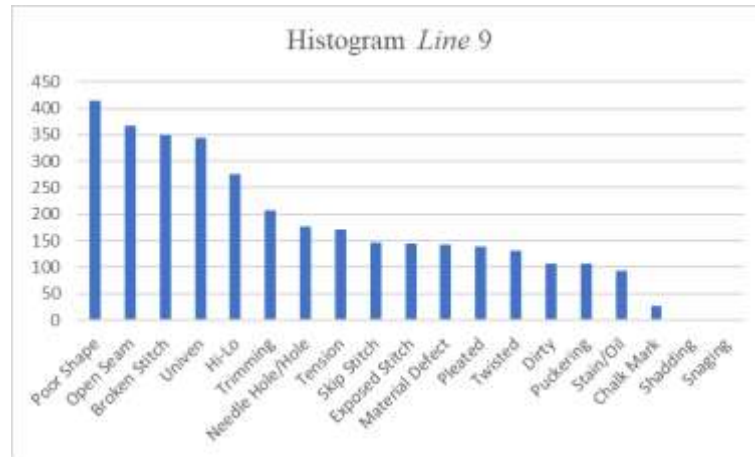
	Defect (Kode SW)																			
Date	1	5	4	52	46	3	48	58(3)	58(2)	52	25	6	51	14	22	15	58(1)	7	10	
12/26 Tue	13	11	1		4	7	4	1	1	10	-	-	7	3	19	15	4	1	8	
12/27 Wed	17	13		4	5	6	4	1	3	11			2	2	20	12	4	1	7	
12/28 Thu	13	16	4	3	3	3	4	2		6			6	2	19	14	3	1	8	
Jumlah	349	367	105	177	139	147	143	94	106	278	1	3	172	131	415	346	142	25	208	

Berdasarkan data tersebut, stratifikasi cacat dilakukan untuk mengelompokkan jenis cacat berdasarkan jumlah unit, dengan hasil yang terlihat di Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Stratifikasi

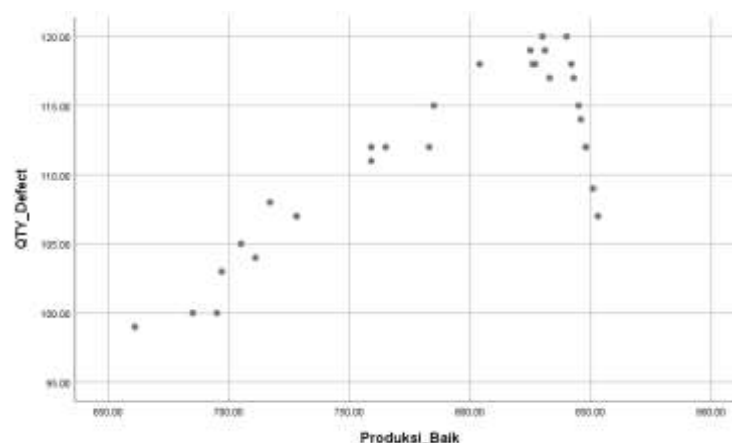
No	Jenis Defect	Jumlah Defect (Unit)	No	Jenis Defect	Jumlah Defect (Unit)
1	Poor Shape	415	11	Material Defect	143
2	Open Seam	367	12	Pleated	139
3	Broken Stitch	349	13	Twisted	131
4	Univen	344	14	Dirty	107
5	Hi-Lo	276	15	Puckering	106
6	Trimming	207	16	Stain/oil	94
7	Needle Hole/Hole	177	17	Chalk Mark	26
8	Tension	172	18	Shadding	3
9	Skip Stitch	147	19	Snaging	1
10	Exposed Stitch	144			
Total Defect (Unit)					3.348

Selanjutnya, untuk memvisualisasikan distribusi cacat, dibuatlah sebuah histogram yang menunjukkan frekuensi masing-masing jenis cacat, dengan *Poor Shape* mendominasi jumlah cacat terbanyak, sementara Snaging tercatat sebagai cacat yang paling sedikit. Diagram ini membantu dalam memahami sebaran cacat secara lebih jelas.



Gambar 3. Hasil Histogram

Untuk menganalisis hubungan antara jenis cacat, digunakan *Scatter Diagram* yang menunjukkan adanya korelasi antara jumlah cacat dengan hasil produksi, yang dapat mempengaruhi kualitas produk.



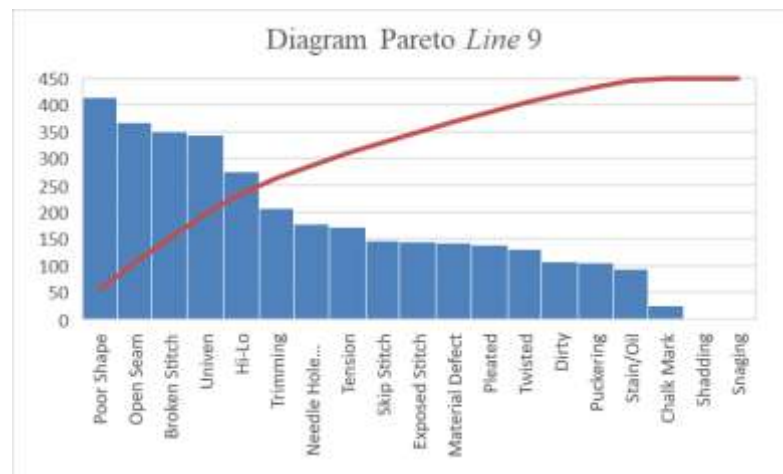
Gambar 4. Hasil Scatter Diagram

Proses kontrol kualitas juga dipantau menggunakan *Control Chart*, di mana hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh data masih dalam wilayah pengendalian, yang mengindikasikan proses berjalan di dalam kontrol dan stabil.

Tabel 5. Hasil *Control Chart*

Tanggal	QTY <i>Defect</i>	Hasil Produksi	Proporsi	LCL	CL	UCL
16/11/2023	99	760	0,13	0,10978	0,12438	0,13947
17/11/2023	107	835	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
20/11/2023	112	871	0,129	0,10978	0,12438	0,13947
21/11/2023	100	785	0,127	0,10978	0,12438	0,13947
22/11/2023	115	900	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
23/11/2023	107	835	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
24/11/2023	103	800	0,129	0,10978	0,12438	0,13947
27/11/2023	105	810	0,13	0,10978	0,12438	0,13947
28/11/2023	104	815	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
29/11/2023	118	922	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
30/11/2023	108	825	0,131	0,10978	0,12438	0,13947
01/12/2023	100	795	0,126	0,10978	0,12438	0,13947
04/11/2023	111	870	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
05/11/2023	120	950	0,126	0,10978	0,12438	0,13947
06/11/2023	119	944	0,126	0,10978	0,12438	0,13947
07/11/2023	112	877	0,128	0,10978	0,12438	0,13947
08/11/2023	112	895	0,125	0,10978	0,12438	0,13947
11/12/2023	118	944	0,125	0,10978	0,12438	0,13947
12/12/2023	118	945	0,125	0,10978	0,12438	0,13947
13/12/2023	119	950	0,125	0,10978	0,12438	0,13947
14/12/2023	117	950	0,123	0,10978	0,12438	0,13947
15/12/2023	118	960	0,123	0,10978	0,12438	0,13947
18/12/2023	117	960	0,122	0,10978	0,12438	0,13947
19/12/2023	115	960	0,12	0,10978	0,12438	0,13947
20/12/2023	120	960	0,125	0,10978	0,12438	0,13947
21/12/2023	114	960	0,119	0,10978	0,12438	0,13947
22/12/2023	112	960	0,117	0,10978	0,12438	0,13947
26/12/2023	109	960	0,114	0,10978	0,12438	0,13947
27/12/2023	112	960	0,117	0,10978	0,12438	0,13947
28/12/2023	107	960	0,111	0,10978	0,12438	0,13947

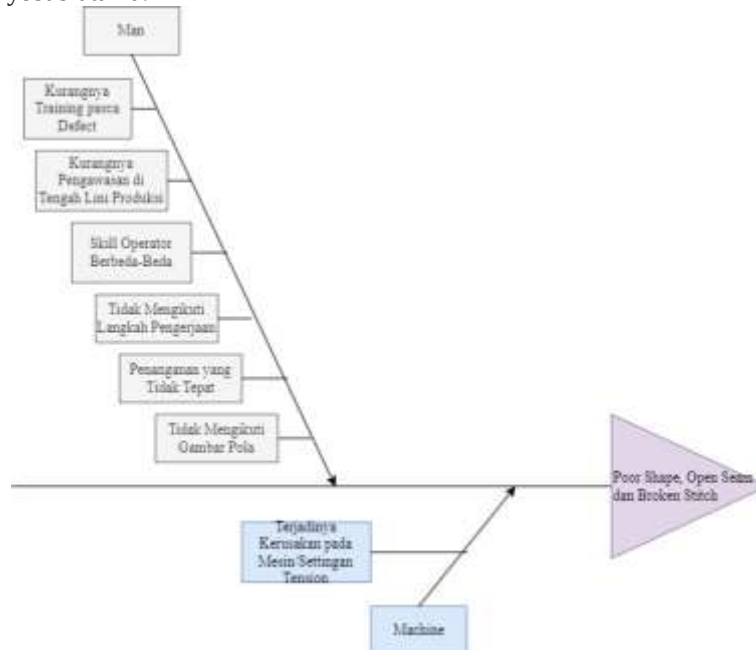
Untuk lebih memahami prioritas perbaikan, digunakan diagram Pareto, yang menunjukkan bahwa jenis cacat *Poor Shape*, *Open Seam*, dan *Broken Stitch* merupakan prioritas utama untuk diperbaiki berdasarkan prinsip hukum 80/20 yang disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Diagram Pareto

Terakhir, dalam upaya menemukan penyebab utama dari cacat terbesar, *fishbone* diagram digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama dari ketiga jenis cacat terbesar. Analisis menunjukkan bahwa faktor manusia, mesin, lingkungan, metode, dan material berperan penting dalam terjadinya kecacatan. Faktor-

faktor seperti perbedaan keterampilan operator, kurangnya pelatihan pasca-*defect*, dan pengawasan yang lemah menjadi penyebab utama.



Gambar 6. Fishbone Diagram 3 Defect Terbesar

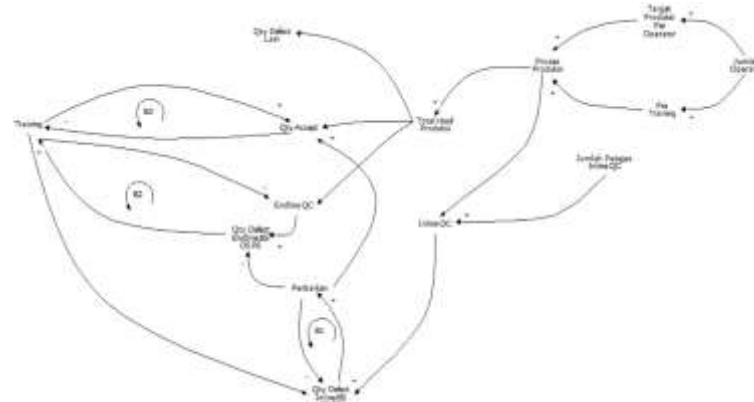
Berikut merupakan aspek penjelasan dari tiga faktor *fishbone* diagram diatas:

Tabel 6. Aspek Penjelasan Fishbone 3 Defect Terbesar

Defect	Faktor	Faktor Penyebab	Penjelasan
Poor Shape, Open Seam, dan Broken Stitch	Man	Skill operator berbeda-beda	Skill operator bervariasi karena pemahaman mesin dan langkah produksi berbeda.
		Kurangnya <i>training</i> pasca <i>defect</i>	Training pasca <i>defect</i> minim, hanya berupa pemberitahuan tanpa pengembangan skill.
		Kurangnya Pengawasan di Tengah Lini Produksi	Pengawasan kurang akibat produksi cepat dan sedikit petugas <i>Inline QC</i> .
		Penanganan Tidak Tepat	Penanganan salah karena operator bekerja sembarangan dan pengawasan lemah.
		Tidak Mengikuti Pola	Tidak mengikuti pola karena mengabaikan instruksi cutting dan pengawasan kurang.
		Tidak Mengikuti Langkah Pengerjaan	Langkah pengerjaan diabaikan karena operator bekerja tanpa mengikuti prosedur.
	Machine	Terjadinya kerusakan pada mesin/settingan <i>tension</i>	Kerusakan mesin/ <i>tension</i> memicu <i>defect</i> , diperburuk oleh respons lambat operator.

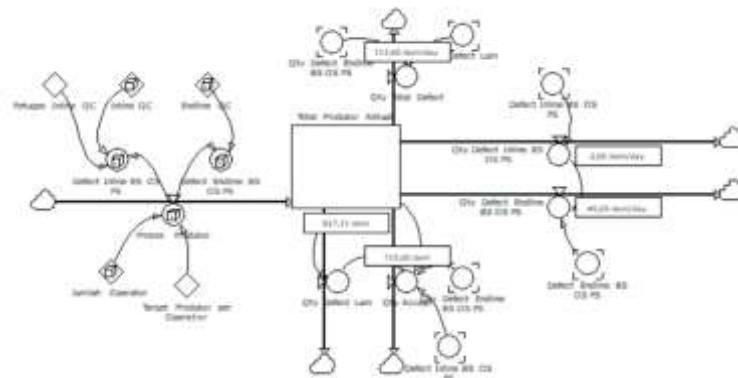
3.2 Simulasi Awal

Model awal dalam penelitian ini dibangun menggunakan data primer, sekunder, dan literatur lainnya. Data yang digunakan mencakup data produksi dan *defect* dari 16 November hingga 28 Desember 2023. Hasil simulasi dalam penelitian ini ditampilkan selama 30 hari produksi setelah 28 Desember 2023 untuk memproyeksikan sistem produksi *Line 9 Factory C* ke depannya. Tahapan simulasi model awal dimulai dengan pembuatan *Causal Loop Diagram* (CLD) menggunakan software Powersim, yang menghasilkan tiga loop balancing, yaitu B1, B2, dan B3 (Gambar 19).



Gambar 7. *Causal Loop Diagram*

Diagram ini berfungsi untuk menggambarkan dinamika sistem yang berkaitan dengan proses produksi. Selanjutnya, *Stock Flow Diagram* (SFD) yang dikembangkan dengan Powersim menghasilkan representasi visual dari 14 variabel, termasuk *Level*, *In Rate*, *Out Rate*, *Auxiliaries*, dan *Constant*.



Gambar 8 Hasil *Stock Flow Diagram*

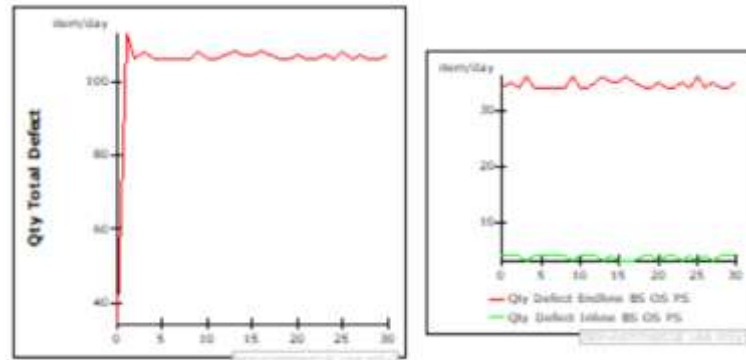
Hasil simulasi model awal berdasarkan SFD ditampilkan secara terperinci dalam Tabel 7, mencakup variabel seperti Qty Accept, Qty Total Defect, Qty Defect Inline, Qty Defect EndLine, dan Defect Rate.

Tabel 7. Hasil Simulasi Awal

Day	Qty Accept	Qty Total Defect	Qty Defect Inline BS PS OS	Qty Defect EndLine BS OS PS	Defect Rate
1	836	113	35	4	11,91%
2	764	106	34	4	12,18%
3	769	108	36	3	12,31%
4	772	106	34	4	12,07%
5	771	106	34	4	12,09%
6	771	106	34	4	12,09%
7	771	106	34	4	12,09%
8	771	106	34	4	12,09%
9	768	108	36	3	12,33%
10	772	106	34	4	12,07%
11	772	106	34	4	12,07%
12	772	107	35	4	12,17%
13	768	108	35	3	12,33%
14	769	107	35	4	12,21%
15	769	107	35	4	12,21%
16	770	108	35	4	12,30%
17	770	107	35	4	12,20%
18	771	106	34	4	12,09%
19	772	106	34	4	12,07%
20	772	107	35	4	12,17%

Day	Qty Accept	Qty Total Defect	Qty Defect Inline BS PS OS	Qty Defect EndLine BS OS PS	Defect Rate
21	772	106	34	4	12,07%
22	772	106	34	4	12,07%
23	769	107	35	4	12,21%
24	772	106	34	4	12,07%
25	769	108	36	3	12,31%
26	772	106	34	4	12,07%
27	772	106	34	4	12,07%
28	773	106	34	4	12,06%
29	771	107	34	4	12,19%
30	770	107	35	4	12,20%
Rata-Rata					12,15%

Berdasarkan tabel tersebut, tingkat *defect* pada *Line 9* menunjukkan pola stagnan dengan rata-rata *defect* rate sebesar 12,15%. Hal ini divisualisasikan dalam Grafik Hasil Simulasi Awal:



Gambar 9. Grafik Hasil Simulasi Awal

Hasil tersebut menjelaskan banyak produk belum mencapai standar kualitas yang ditargetkan, sehingga memerlukan intervensi lebih lanjut untuk menurunkan tingkat *defect*. Salah satu langkah penting adalah memastikan keandalan model simulasi melalui verifikasi dan validasi. Verifikasi bertujuan memastikan struktur fungsional dari model, seperti pada Powersim, mengikuti alur proses yang ditentukan (*Causal Loop Diagram*, yang ditandai dengan tidak adanya tanda merah (?) dan kuning (#). Validasi dilakukan untuk menentukan apakah model simulasi mencerminkan sistem nyata dapat dilakukan dengan menggunakan uji kesamaan rata-rata, variansi, dan chi square. Uji validasi pada penelitian difokuskan dengan chi square. Berikut ini adalah hasil uji validasi model awal:

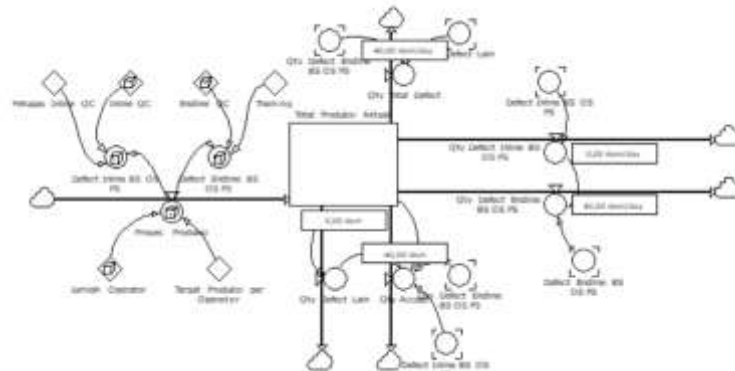
Tabel 8. Hasil Mean dan Variance

No	Output Historis	Output Simulasi	No	Output Historis	Output Simulasi
1	99	113	16	112	108
2	107	106	17	112	107
3	112	108	18	118	106
4	100	106	19	118	106
5	115	106	20	119	107
6	107	106	21	117	106
7	103	106	22	118	106
8	105	106	23	117	107
9	104	108	24	115	106
10	118	106	25	120	108
11	108	106	26	114	106
12	100	107	27	112	106
13	111	108	28	109	106
14	120	107	29	112	107
15	119	107	30	107	107
				Mean	111,6
				SD(V)	6,404
					106,833
					1,392

Nilai Chi-Square untuk $df = 29$ dan signifikansi 0,05, menghasilkan nilai chi-square tabel adalah 42,557. Hasil perhitungan menjelaskan nilai Chi Kuadrat Hitung sebesar 18,122 dibawah nilai Chi Kuadrat Tabel 42,557. Ini menandakan H_0 diterima, yang mengindikasikan kesesuaian simulasi dengan produksi nyata, dimana hasil simulasi dianggap valid dan sesuai dengan kondisi aktual. Model dapat dianggap valid karena uji chi-square menyatakan validitasnya, meskipun hasil uji dua rata-rata dan variansi menunjukkan ketidaksesuaian dengan sistem produksi riil.

3.3 Simulasi Perbaikan Berdasarkan Skenario

Desain perbaikan simulasi bertujuan meningkatkan sistem produksi *Line 9 Factory C*. Model alternatif mencakup penambahan training dan petugas *Inline QC* sebagai rekomendasi solusi untuk mengatasi masalah defect:



Gambar 10. Stock Flow Diagram Model Perbaikan

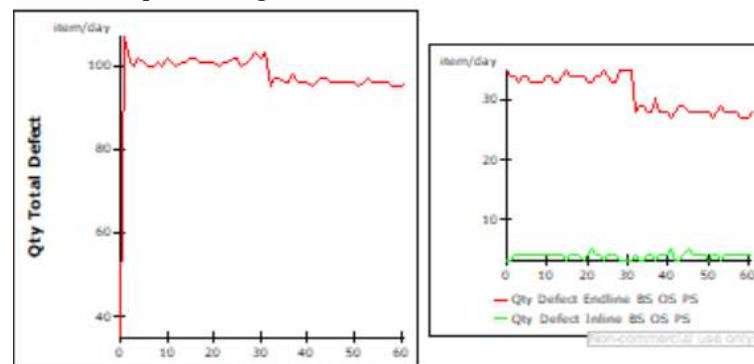
1. Pemberlakuan Training

Setelah dilakukan *Improvement* yaitu pemberlakuan training, dapat dilihat perubahan pada tabel dibawah:

Tabel 9. Hasil *Improvement* Pemberlakuan Training

Waktu Perbaikan	Defect Rate
Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,34%
Rata-Rata Setelah Perbaikan	11,64%
Penurunan	0,70%

Berdasarkan tabel diatas, dapat dibuat grafik dibawah ini:



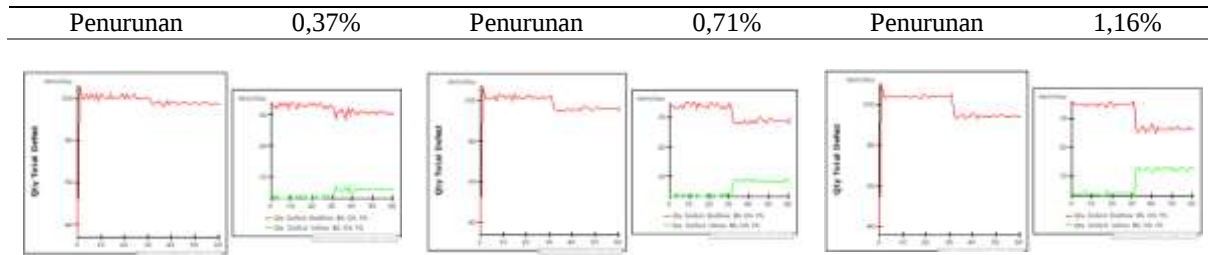
Gambar 11. Grafik Hasil *Improvement* Pemberlakuan Training

Bisa dilihat diatas terdapat penurunan pada 30 periode setelah dilakukan *Improvement* pemberlakuan training sebesar 0,70%.

2. Penambahan Petugas *Inline QC*

Tabel 10. Hasil *Improvement* Penambahan Petugas *Inline QC*

Penambahan 1 Petugas		Penambahan 2 Petugas		Penambahan 3 Petugas	
Waktu Perbaikan	Defect Rate	Waktu Perbaikan	Defect Rate	Waktu Perbaikan	Defect Rate
Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,27%	Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,38%	Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,40%
Rata-Rata Setelah Perbaikan	11,90%	Rata-Rata Setelah Perbaikan	11,67%	Rata-Rata Setelah Perbaikan	11,24%



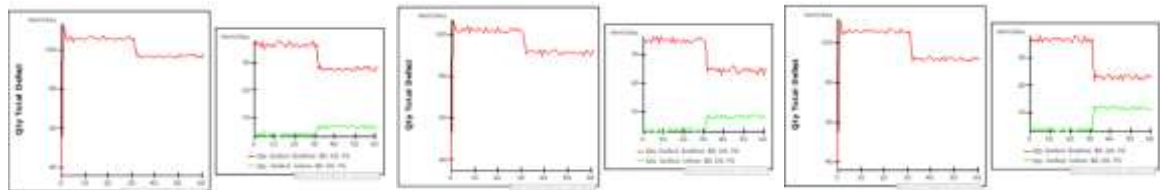
Gambar 12. Grafik Hasil *Improvement* Penambahan 1, 2, dan 3 Petugas *Inline QC*

Analisis menunjukkan penurunan signifikan dalam 30 periode setelah penambahan petugas *Inline QC*. Penurunan tercatat sebesar 0,37% dengan 1 petugas, 0,71% dengan 2 petugas, dan 1,16% dengan 3 petugas, yang menunjukkan bahwa semakin banyak petugas yang ditambahkan, semakin besar perbaikan kinerja yang tercapai

3. Kombinasi Pemberlakuan Training dan Penambahan Petugas *Inline QC*

Tabel 11. Hasil *Improvement* Pemberlakuan Training dan Penambahan 2 Petugas *Inline QC*

1 Petugas		2 Petugas		3 Petugas	
Waktu Perbaikan	Defect Rate	Waktu Perbaikan	Defect Rate	Waktu Perbaikan	Defect Rate
Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,65%	Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,46%	Rata-Rata Sebelum Perbaikan	12,64%
Rata-Rata Setelah Perbaikan	11,51%	Rata-Rata Setelah Perbaikan	11,12%	Rata-Rata Setelah Perbaikan	10,91%
Penurunan	1,14%	Penurunan	1,34%	Penurunan	1,73%



Gambar 13. Grafik Hasil *Improvement* Pemberlakuan Training dan Penambahan 1, 2, dan 3 Petugas *Inline QC*

Penambahan petugas *Inline QC* dan pelatihan berhasil menurunkan *defect* sebesar 1,14% dengan 1 petugas, meningkat menjadi 1,34% dengan 2 petugas, dan stabil pada 3 petugas, menunjukkan efektivitas optimal dengan dua tambahan petugas. Langkah selanjutnya adalah mengukur keefektifan strategi ini untuk meminimalkan *defect* secara berkelanjutan.

Tabel 12. Perhitungan Keefektifan Simulasi

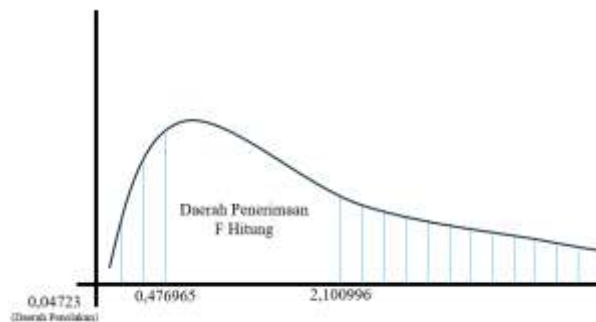
Strategi Perbaikan	Simulasi Rata-Rata Penurunan Defect Rate	Data Historis Terakhir	Hasil Pengurangan Defect Rate Simulasi dan Historis
Pemberlakuan <i>Training</i> Pasca <i>Defect</i>	0,70%	11,15%	10,45%
Penambahan 1 Petugas <i>QC Inline</i>	0,34%	11,15%	10,78%
Penambahan 2 Petugas <i>QC Inline</i>	0,71%	11,15%	10,44%
Penambahan 3 Petugas <i>QC Inline</i>	1,16%	11,15%	9,99%
Pemberlakuan <i>Training</i> dan Penambahan 1 Petugas <i>QC Inline</i>	1,14%	11,15%	10,01%
Pemberlakuan <i>Training</i> dan Penambahan 2 Petugas <i>QC Inline</i>	1,34%	11,15%	9,81%
Pemberlakuan <i>Training</i> dan Penambahan 3 Petugas <i>QC Inline</i>	1,73%	11,15%	9,42%

3.4 Verifikasi dan Validasi Hasil

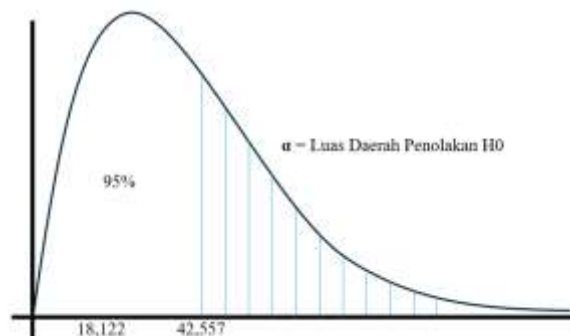
Verifikasi dan validasi merupakan dua tahapan penting yang perlu dilakukan untuk memastikan bahwa model simulasi yang dikembangkan benar-benar dapat diandalkan. Tahap verifikasi bertujuan untuk memastikan bahwa cara kerja model yang diimplementasikan dalam perangkat lunak Powersim, dimana hasilnya sudah sesuai dengan alur logika yang dirancang sebelumnya dalam diagram sistem. Pada kasus produksi di *Line 9 Factory C*, proses ini dilakukan dengan mengecek apakah terdapat tanda (?) berwarna merah atau (#) berwarna kuning pada tampilan Stock Flow Diagram. Jika kedua tanda tersebut tidak muncul, artinya model telah lolos verifikasi dan tidak ditemukan kesalahan dalam struktur maupun parameter yang digunakan. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan tahap validasi yang berfokus pada sejauh mana model tersebut mampu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil simulasi dengan data historis menggunakan tiga jenis uji statistik, yaitu uji kesamaan dua rata-rata, uji kesamaan dua variansi, dan uji chi-square. Data yang digunakan meliputi tingkat cacat (*defect rate*) dari hasil produksi aktual serta dari hasil simulasi yang telah dikonversi dalam format yang sama. Dari hasil pengujian ini, dapat diketahui seberapa besar tingkat kecocokan antara model dan kenyataan, sehingga dapat disimpulkan apakah model tersebut layak digunakan sebagai alat bantu dalam menganalisis sistem dan mendukung proses pengambilan keputusan. Berikut merupakan hasil dari validasi berdasarkan dari data historis dan data simulasi terkait jumlah defect:



Gambar 14. Uji Kesamaan Dua Rata-Rata



Gambar 15. Uji Kesamaan Dua Variansi



Gambar 16. Uji Chi-Square

Hasil pengujian validitas model melalui tiga pendekatan statistik menunjukkan hasil yang beragam. Pada uji kesamaan dua rata-rata, diperoleh nilai T_{hitung} sebesar -3,98406 yang lebih kecil dari $-t_{\alpha/2}$ sebesar -2,002. Ini menjelaskan terdapat perbedaan signifikan antara hasil simulasi dan data produksi riil, sehingga H_1 diterima. Begitu pula pada uji kesamaan variansi, nilai F_{hitung} sebesar 0,04723 lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 0,47596, yang juga mengindikasikan bahwa hasil simulasi belum sepenuhnya mencerminkan kondisi

riil. Namun, berbeda halnya dengan uji Chi-Square. Hasil perhitungan menunjukkan nilai Chi Kuadrat sebesar 18,122, yang berada di bawah nilai Chi Kuadrat tabel yaitu 42,557. Artinya, tidak ada perbedaan signifikan antara distribusi hasil simulasi dan sistem nyata, sehingga H_0 diterima. Berdasarkan ketiga hasil uji tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat ketidaksesuaian pada aspek rata-rata dan variansi, model simulasi ini masih dianggap valid karena telah memenuhi uji kesesuaian probabilitas yang menunjukkan bahwa model tetap dapat digunakan sebagai representasi dari sistem riil secara keseluruhan.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa strategi *defect free supply chain* berbasis simulasi *System Dynamics* terbukti efektif untuk menurunkan tingkat *defect* pada proses produksi di Line 9 PT. NPC. Dengan menggabungkan analisis *Seven Tools* dan simulasi dinamis, tim peneliti berhasil mengidentifikasi akar penyebab utama cacat produksi seperti *Poor Shape*, *Open Seam*, dan *Broken Stitch*. Hasilnya, skenario intervensi seperti pelatihan operator dan penambahan petugas Inline QC secara nyata mampu menurunkan defect rate dari 12,15% menjadi 9,42%. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan berbasis data dan simulasi mampu menghadirkan solusi yang konkret dan berkelanjutan bagi permasalahan kualitas di industri garmen.

Secara manajerial, hasil penelitian ini memberi arah baru bagi perusahaan dalam menyusun strategi pengendalian kualitas yang lebih presisi dan berbasis sistem. Manajemen kini dapat mengambil keputusan penting, seperti menentukan jumlah personel pengawasan atau frekuensi pelatihan, dengan lebih percaya diri karena didukung oleh hasil simulasi yang valid. Dari sisi teoritis, penelitian ini memberikan kontribusi dengan menghadirkan model integratif yang menghubungkan antara data *real time* di lini produksi dan pemodelan sistemik. Pendekatan ini membuka ruang bagi teori manajemen operasi dan kualitas untuk berkembang lebih dinamis, khususnya dalam konteks industri dengan tingkat variasi produksi yang tinggi.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi efektivitas strategi *defect mitigation* dalam konteks multi lini produksi atau *multi site manufacturing* agar model yang dikembangkan dapat lebih generalis dan aplikatif di berbagai tipe industri. Selain itu, penggunaan pendekatan *hybrid* seperti integrasi *System Dynamics* dengan *Agent-Based Modeling* atau *Discrete Event Simulation* dapat memperkaya dinamika perilaku individu maupun entitas dalam sistem rantai pasok. Aspek lain yang layak diteliti lebih lanjut adalah pengaruh adopsi teknologi digital (IoT, *machine learning*) dalam mendeteksi dan merespons cacat secara *real time* sebagai bagian dari pengembangan sistem *smart supply chain* yang adaptif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afsharian, M. (2023). A supply chain waste reduction optimization model using beam search algorithms for two-dimensional cutting problems with defects. *Supply Chain Analytics*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2023.100006>
- Agustian, K., Maksum, C., Zen, A., Sekarini, R. A., & Malik, A. J. (2023). Evaluation of the Effectiveness of Statistical Management Tools in Improving the Performance of Business Organisations. *Journal of Contemporary Administration and Management (ADMAN)*, 1(2), 118–127. <https://doi.org/10.61100/adman.v1i2.56>
- Alfadilah, H., Hadining, A. F., & Hamdani, H. (2022). Pengendalian Kualitas Produk Cacat Piece Pivot pada PT. Trijaya Teknik Karawang Menggunakan Seven tool dan Analisis Kaizen. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3667>
- Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Fernandes, M. M., & Ribeiro, R. V. C. (2021). A study on the Ishikawa's original basic tools of quality control in South American companies: results from a pilot survey and directions for further research. *The TQM Journal*, 33(8), 1770–1786. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0004>
- Anwar, U. A. A., Rahayu, A., Wibowo, L. A., Sultan, M. A., Aspiranti, T., Furqon, C., & Rani, A. M. (2025). Supply chain integration as the implementation of strategic management in improving business performance. *Discover Sustainability*, 6(1), 101. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00867-w>
- Arsiwi, P., & Adi, P. W. (2020). Interpretive Structural Modelling Untuk Meningkatkan Daya Saing Rantai Pasok UKM Mina Indo Sejahtera. *Jurnal PASTI*, 14(1). <https://doi.org/10.22441/pasti.2020.v14i1.003>
- Dehbozorgi, R., Shahriari, M., Fereidooni-Moghadam, M., & Moghimi-Sarani, E. (2023). Family-centered collaborative care for patients with chronic mental illness: A systematic review. *Journal of Research in Medical Sciences*, 28(1). https://doi.org/10.4103/jrms.jrms_410_22
- Gao, N., Qu, L.-C., & Jiang, Y.-T. (2022). A System Dynamic Model of Closed-Loop Supply Chain considering Recovery Strengthening and Product Differentiation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/3778597>

- Gong, C. (2023). Supply chain management practices, competitive advantages and business performance of small and medium enterprises in China: Basis to develop an improved supply chain management framework. *International Journal of Research Studies in Management*, 11(6). <https://doi.org/10.5861/ijrsm.2023.1076>
- Hoque, I., & Maalouf, M. M. (2022). Quality intervention, supplier performance and buyer–supplier relationships: evidence from the garment industry. *Benchmarking: An International Journal*, 29(8), 2337–2358. <https://doi.org/10.1108/BIJ-02-2021-0075>
- Jun, X., Wang, J., Zhou, J., Meng, S., Pan, R., & Gao, W. (2021). Fabric defect detection based on a deep convolutional neural network using a two-stage strategy. *Textile Research Journal*, 91(1–2), 130–142. <https://doi.org/10.1177/0040517520935984>
- Kaur, G., & Kander, R. (2023). Supply Chain Simulation of Manufacturing Shirts Using System Dynamics for Sustainability. *Sustainability*, 15(21), 15353. <https://doi.org/10.3390/su152115353>
- Kristanto Mulyono, & Yeni Apriyani. (2021). ANALISIS PENGENDALIAN QUALITAS PRODUK DENGAN METODE SQC (STATISTICAL QUALITY CONTROL). *JENIUS : Jurnal Terapan Teknik Industri*, 2(1), 41–50. <https://doi.org/10.37373/jenius.v2i1.93>
- Kurnia, H., Setiawan, S., & Hamsal, M. (2021). Implementation of statistical process control for quality control cycle in the various industry in Indonesia: A systematic literature review. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 13(2), 194. <https://doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i2.018>
- Law, A. M. (2022). How to Build Valid and Credible Simulation Models. *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1283–1295. <https://doi.org/10.1109/WSC57314.2022.10015411>
- Lesmana, T. (2023). Impact of Supply Chain Integration, Supplier Collaboration, and Quality Management on the Performance of Manufacturing Companies in Indonesia (Case Study of a Manufacturing Company in West Java). *West Science Interdisciplinary Studies*, 1(05), 68–76. <https://doi.org/10.58812/wsis.v1i05.75>
- Liu, P., Atifteh, M., Khorshidnia, M., & Taheri, S. G. (2023). SYSTEM DYNAMICS: AN APPROACH TO MODELING SUPPLY CHAIN PERFORMANCE MEASUREMENT. *Technological and Economic Development of Economy*, 29(4), 1291–1317. <https://doi.org/10.3846/tede.2023.19211>
- Marlina, W. A., Armijal, A., & Arasid, D. W. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas Dengan Menggunakan Metode Seven Tools Di Usaha Gula Aren Saka Halaban Sumatera Barat. *Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(1), 1–8.
- Mulyani, S., & Basrowi, B. (2024). The effect of environmentally oriented leadership and public sector management quality on supply chain performance: The moderating role of public sector environmental policy. *Uncertain Supply Chain Management*, 12(1), 471–480. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2023.9.005>
- Nur Latifah, Y., Indhira P. Susanto, Nabila I. Mulia, & Isna Nugraha. (2022). ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK ROTI UD. XYZ DENGAN TOTAL QUALITY CONTROL (TQC). *WALUYO JATMIKO PROCEEDING*, 15(1), 180–185. <https://doi.org/10.33005/waluyojatmiko.v15i1.41>
- Nurhayani, N. (2022). Analisis sektor industri manufaktur di Indonesia. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, 17(3), 713–722.
- Nursyamsi, I., & Momon, A. (2022). Analisa pengendalian kualitas menggunakan metode seven tools untuk meminimalkan return konsumen di PT. XYZ. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1).
- Rufaidah, A., & Rosyidi, Moh. R. (2022). Analisis Pengendalian Kualitas Kerupuk dengan Metode Seven Tools. *Jurnal Optimalisasi*, 8(2), 154. <https://doi.org/10.35308/jopt.v8i2.6128>
- Sari, S. A., Indriani, S., & A, Salammia. L. (2022). Penerapan Metode Seven Tools untuk Pengendalian Kualitas Produk Minuman Pada UMKM Sari Buah Naga Phitay. *Prosiding SENIATI*, 6(3), 527–534. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i3.5090>
- Setyawan Firmansyah, H., & Siagian, H. (2022). Impact of Information Sharing on Supply Chain Performance through Supplier Quality Management, Supply Chain Agility, and Supply Chain Innovation. *Petra International Journal of Business Studies*, 5(2), 119–131. <https://doi.org/10.9744/ijbs.5.2.119-131>
- Wardah, S., Suharto, S., & Lestari, R. (2022). ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI PRODUK NATA DE COCO DENGAN METODE STATISTIC QUALITY CONTROL (SQC). *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 9(2), 165. <https://doi.org/10.24853/jisi.9.2.165-175>