
Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Academia Open

Vol. 11 No. 2 (2026): December
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.13897

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

Academia Open

Vol. 11 No. 2 (2026): December
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.13897

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

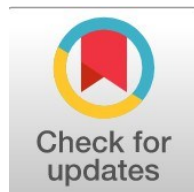
How to submit to this journal ([link](#))

Academia Open

Vol. 11 No. 2 (2026): December
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.13897

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Lean Bogie Production Optimization Using VSM and E-Kanban System: Optimalisasi Produksi Bogie dengan Pendekatan Lean Menggunakan VSM dan Sistem E-Kanban

Arya Dany Ardhiansah, 22032010214@student.upnjatim.ac.id (*)

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Joumil Aidil Saifuddin Z.S., joumilaidil.ti@upnjatim.ac.id

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background The railway manufacturing industry faces increasing demands for high operational efficiency and rapid production cycles to remain competitive. **Specific Background** PT XYZ, a strategic rail vehicle manufacturer in Indonesia, currently experiences significant bottlenecks in its Bogie production line, characterized by high Work-in-Process (WIP) accumulation and excessive lead times. **Knowledge Gap** While lean methodologies are well-documented, there is limited research providing an integrated framework that combines Value Stream Mapping (VSM) with real-time digital E-Kanban systems for complex bogie manufacturing environments. **Aims** This study seeks to identify and reduce critical waste—specifically overproduction, waiting, excess inventory, and overprocessing—within the Bogie production line. **Results** Through Current State VSM and Process Activity Mapping (PAM) under the Value Stream Analysis Tools (VALSAT) framework, the research reveals substantial process inefficiencies. The implementation of a SQL-backed E-Kanban system and synchronized digital dashboards resulted in a lead time reduction from 3,480 minutes to 2,985 minutes, achieving a total saving of 495 minutes. Furthermore, Process Cycle Efficiency (PCE) improved from 75.8% to 88.4%. **Novelty** This research offers a concrete, scalable framework for shop-floor digital transformation, merging traditional lean principles with real-time digital pull-based signaling. **Implications** These findings provide PT XYZ and similar heavy-manufacturing sectors with a validated roadmap for operational optimization, demonstrating that digital-lean integration is essential for modernizing manufacturing processes and achieving superior industrial productivity.

Highlights

- Critical waste identified as waiting, inventory, and overprocessing in bogie manufacturing.
- E-Kanban system implementation reduces production lead time by approximately 14.22%.
- Process cycle efficiency gains confirm the effectiveness of digital pull-based production control.

Keywords: Bogie, E-Kanban, Lean Manufacturing, Process Cycle Efficiency, Value Stream Mapping

Published date: 2026-07-09

Pendahuluan

Perkembangan industri saat ini sangat dipengaruhi oleh kemajuan teknologi dan tuntutan pasar yang semakin kompetitif. Salah satu cabang industri yang menjadi motor penggerak adalah industri manufaktur, yaitu kegiatan yang mengolah bahan mentah menjadi produk bernilai tambah tinggi. Industri manufaktur dituntut tidak hanya menghasilkan produk berkualitas, tetapi juga menjaga efisiensi biaya, waktu, dan sumber daya [1]. Perusahaan harus mengatur dirinya sendiri untuk merancang proses dan peralatan, merencanakan dan mengendalikan pesanan produksi, dan memenuhi persyaratan kualitas produk [2]. Dalam proses produksi, berbagai faktor seperti tenaga kerja, bahan baku, mesin, dan teknologi digabungkan secara sistematis untuk menghasilkan barang yang sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi konsumen [3].

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur strategis di Indonesia yang bergerak di bidang perkeretaapian. Sebagai produsen utama sarana perkeretaapian, PT XYZ mengintegrasikan manufaktur berbagai armada mulai dari kereta penumpang, barang, LRT, hingga kereta cepat. Dalam struktur kendaraan tersebut, Bogie memegang peranan krusial sebagai sistem rangka bawah yang berfungsi menahan beban, menjaga kestabilan, serta menjamin keselamatan operasional selama perjalanan. Mengingat tingkat kompleksitas dan fungsi vitalnya, lini perakitan Bogie menjadi fokus yang sangat relevan untuk dievaluasi dari aspek efisiensi dan efektivitas sistem produksinya.

Saat ini, arus operasional manufaktur Bogie masih dihadapkan pada tantangan berupa penumpukan *Work in Process* (WIP) yang tinggi serta indikasi *critical waste* di beberapa stasiun kerja, yang memicu pembengkakan durasi total (*lead time*) penyelesaian produk. Pemborosan *overproduction* yaitu ketika suatu proses memproduksi lebih banyak produk dari yang diperlukan atau lebih cepat daripada yang dibutuhkan. Pemborosan *waiting* yaitu pemborosan yang terjadi akibat menunggu proses selanjutnya. Pemborosan *excess inventory* yaitu terjadi penumpukan bahan baku, barang setengah jadi, atau produk jadi yang tidak diperlukan dalam proses produksi. Pemborosan *overprocessing* yaitu mengacu pada metode kerja atau urutan kerja yang dinilai kurang baik dan fleksibel.

Berdasarkan kondisi tersebut menunjukkan perlunya penerapan pendekatan yang mampu memperbaiki dan mengoptimalkan aliran aktivitas di lini produksi. Menurut Firdaus dan Wahyudin, (2023) salah satu strategi yang dapat digunakan untuk mengatasi pemborosan aktivitas produksi adalah metode *lean manufacturing* [4]. *Lean manufacturing* merupakan suatu pendekatan yang dilakukan secara sistematis dan terorganisir untuk meningkatkan efektivitas proses produksi dengan menekan biaya, memperpendek waktu produksi, serta meningkatkan mutu hasil produksi [5]. Dalam pendekatan *lean manufacturing*, dikenal beberapa jenis pemborosan (*waste*) yang dapat diidentifikasi dan diminimalkan dalam proses produksi, antara lain *transportation*, *excess inventory*, *motion*, *waiting*, *overproduction*, *overprocessing*, dan *defects* [6]. Dengan menerapkan prinsip *lean* di lini produksi, perusahaan bisa mendapatkan peningkatan yang signifikan, seperti peningkatan efisiensi operasional produksi dan pengurangan pemborosan [7]. Salah satu alat utama dalam *lean* adalah *Value Stream Mapping* (VSM), yang memetakan aliran *material* dan informasi sehingga perusahaan dapat mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah dan merancang kondisi masa depan yang lebih efisien [8]. VSM terdiri dari dua jenis, yaitu *Current State Mapping*, yang menunjukkan kondisi terkini dari aliran nilai produk menggunakan simbol dan istilah khusus untuk mengidentifikasi pemborosan serta area yang perlu diperbaiki, dan *Future State Mapping*, yang merupakan gambaran dari kondisi ideal hasil penerapan perbaikan berbasis *lean manufacturing* [9]. Usulan perbaikan kemudian diarahkan pada penerapan sistem *E-Kanban* guna mendukung fleksibilitas *Just-In-Time* (JIT) dalam mengatur sirkulasi material di lantai produksi. Dengan mengadopsi mekanisme *pull-based system*, pemenuhan komponen dapat berjalan secara presisi dan tepat waktu sesuai dengan volume kebutuhan tahapan proses selanjutnya [10].

Penelitian ini diarahkan untuk menghasilkan usulan perbaikan dalam bentuk future state map yang dapat meningkatkan efisiensi proses produksi Bogie di PT XYZ, dengan harapan mampu menekan jumlah WIP, mengurangi *lead time*, dan meningkatkan produktivitas lini proses produksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai usulan bagi PT XYZ dalam mengoptimalkan proses produksi Bogie, serta memperkuat daya saing perusahaan di pasar global yang menuntut efisiensi dan kualitas tinggi.

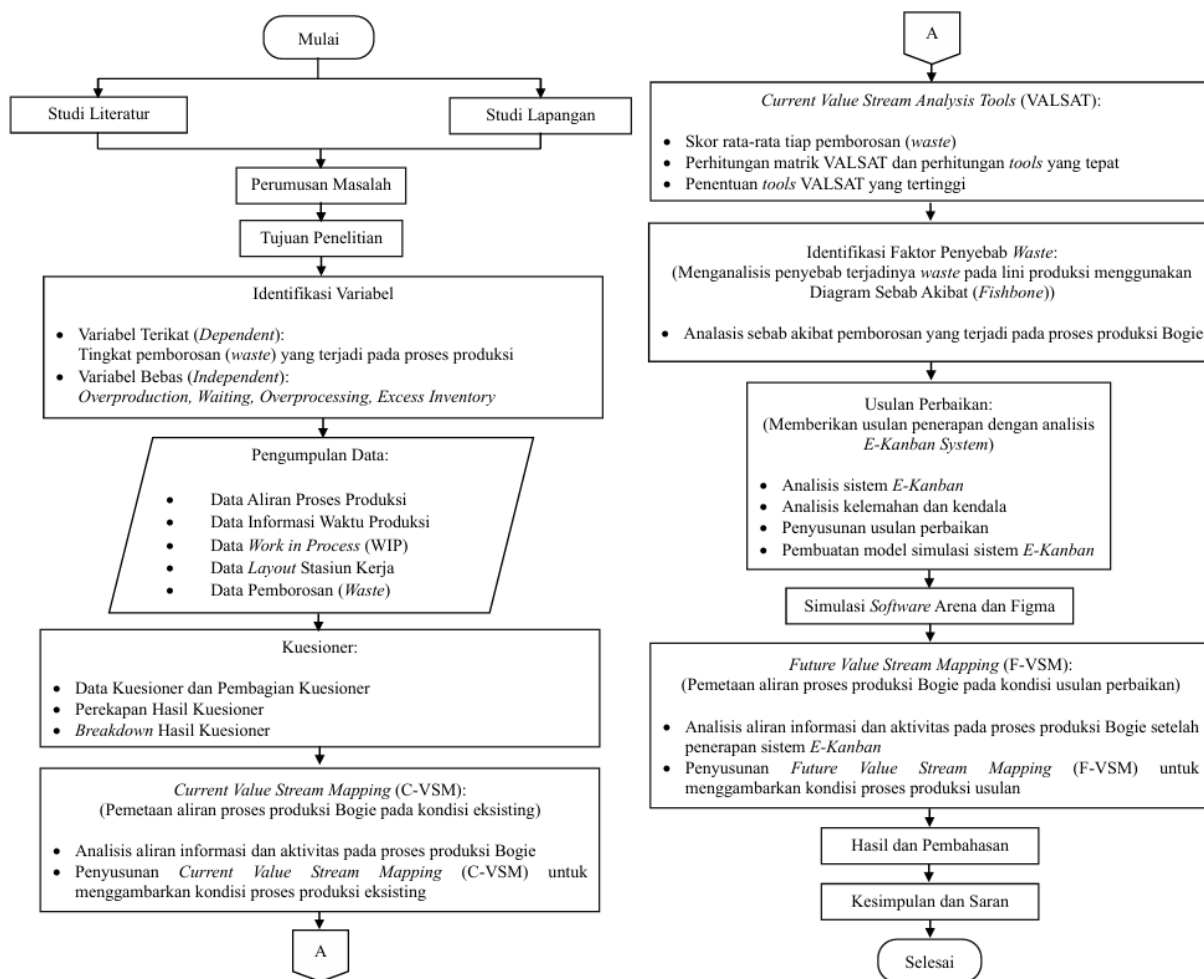
Metode

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ yang berlokasi di Jawa Timur, dimulai pada bulan Agustus 2025 hingga seluruh data yang diperlukan dalam penelitian berhasil dikumpulkan.

B. Alur Pemecahan Masalah

Alur pemecahan masalah dan tahapan penelitian dalam studi ini digambarkan melalui *flowchart* yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah-Langkah Pemecahan Masalah

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk pemecahan masalah pada penelitian ini yaitu bisa dilihat pada penjelasan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan di PT XYZ melalui dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung di lapangan melalui wawancara, observasi, dan kuesioner. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen dan arsip perusahaan yang berkaitan dengan proses produksi, seperti data alur proses, waktu proses, dan informasi pendukung lainnya.

2. Kuesioner

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan kuesioner yang bertujuan untuk mengidentifikasi empat jenis pemborosan yang sering terjadi selama proses produksi.

3. Current Value Stream Mapping

Melalui C-VSM, aliran *material* dan informasi pada setiap stasiun kerja dapat digambarkan secara menyeluruh sehingga waktu yang dibutuhkan pada setiap tahapan proses dalam satu siklus produksi dapat dianalisis.

4. Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

Pada tahap ini, dilakukan penggambaran tabel VALSAT untuk mengetahui dan menetapkan bobot *waste*. Hasil dari pengolahan ini kemudian digunakan untuk melakukan pemilihan tools yang sesuai untuk mengatasi *waste* yang teridentifikasi.

5. Identifikasi Faktor Penyebab Waste Menggunakan Diagram Fishbone

Pemborosan yang telah diidentifikasi akan dianalisis satu per satu di setiap faktor (*man, material, method, machine, environment, dan measurement*) agar dapat diketahui faktor penyebab dari pemborosan yang terjadi di lini produksi Bogie PT XYZ

6. Usulan Perbaikan

Usulan perbaikan akan disusun berdasarkan usulan penerapan sistem *E-Kanban*. Sistem *E-Kanban* akan digunakan untuk mengoptimalkan aliran *material* dan pengelolaan inventaris, memastikan bahan dan komponen tersedia tepat waktu, dan mengurangi pemborosan (*waste*).

7. Simulasi Software

Tahap ini bertujuan untuk memvalidasi efektivitas usulan tersebut, dilakukan pembuatan model simulasi *E-Kanban* menggunakan *software* Arena dan Figma.

8. Future Value Stream Mapping

Setelah dilakukan simulasi terhadap usulan perbaikan proses produksi menggunakan sistem *E-Kanban*, tahap selanjutnya adalah penyusunan *Future Value Stream Mapping* (F-VSM). Melalui pemetaan ini, dilakukan analisis waktu pada setiap tahapan proses sehingga diperoleh nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE) [11]. Nilai PCE tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi adanya pemborosan dalam proses produksi.

$$PCE = \frac{VA}{\Sigma t} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

PCE = *Process Cycle Efficiency*

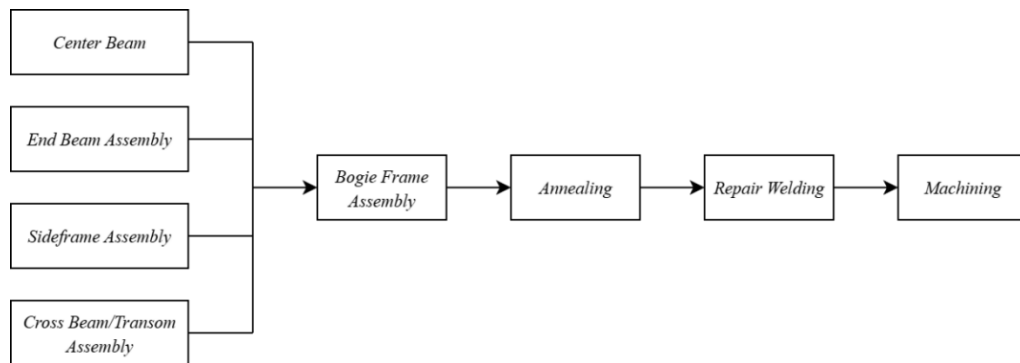
VA = *Value Added*

Σt = *Total Lead time*

Hasil dan Pembahasan

A. Pengumpulan Data

Untuk mengukur tingkat pemborosan (*waste*) dalam lini produksi Bogie sebagai bagian dari upaya penerapan *Lean manufacturing*, dilakukan pengumpulan data dari sumber primer dan sekunder. Berikut merupakan pengumpulan data yang disajikan pada Gambar 2, Tabel 1, dan Tabel 2. Pada Gambar 2 mengilustrasikan alur proses produksi Bogie di PT XYZ.



Gambar 2. Aliran Proses Produksi Bogie di PT XYZ

Tabel 1 menyajikan data waktu dan jenis aktivitas untuk proses produksi Bogie, yang mencakup tahapan-tahapan utama mulai dari penerimaan bahan baku hingga produk akhir siap dikirim, beserta durasi dan klasifikasinya. Data ini digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan keseimbangan lini produksi.

Tabel 1. Data Waktu dan Jenis Aktivitas Proses Produksi Bogie

No	Proses	Aktivitas	Waktu (Menit)	Jenis Aktivitas
1		Penerimaan dan pengecekan dokumen/ <i>material</i>	20	<i>Operation</i>
2	<i>Raw Material / Bahan Baku</i>	Inspeksi fisik <i>material</i> bahan baku	20	<i>Inspection</i>
3		Penyimpanan sementara <i>material</i>	15	<i>Storage</i>
4		Pengangkutan <i>material</i> ke area fabrikasi	15	<i>Transportation</i>
5		<i>Set up</i> peralatan pembuatan <i>center beam</i>	20	<i>Operation</i>
6	<i>Center Beam</i>	Proses fabrikasi/pengelasan <i>center beam</i>	180	<i>Operation</i>
7		Inspeksi hasil <i>center beam</i>	30	<i>Inspection</i>
8		Pengangkutan <i>center beam</i> ke area WIP/ <i>assembly</i>	5	<i>Transportation</i>
9		Pengambilan dan pengangkutan komponen <i>end beam</i>	5	<i>Transportation</i>
10	<i>End Beam Assembly</i>	<i>Set up</i> peralatan <i>end beam assembly</i>	20	<i>Operation</i>
11		Proses perakitan dan pengelasan <i>end beam</i>	240	<i>Operation</i>
12		Inspeksi hasil <i>end beam assembly</i>	30	<i>Inspection</i>
13		Pemindahan <i>end beam assembly</i> ke area WIP/ <i>assembly</i>	5	<i>Transportation</i>
14	<i>Sideframe Assembly</i>	Pengangkutan komponen <i>sideframe</i>	5	<i>Transportation</i>
15		<i>Set up</i> peralatan <i>sideframe assembly</i>	30	<i>Operation</i>
16		Proses perakitan dan pengelasan <i>sideframe</i>	420	<i>Operation</i>
17		Menunggu ketersediaan jig/mesin/peralatan	60	<i>Delay</i>
18		Inspeksi hasil <i>sideframe</i>	40	<i>Inspection</i>
19		Pemindahan <i>sideframe</i> ke area WIP/ <i>assembly</i>	5	<i>Transportation</i>
20		Pengangkutan komponen <i>cross beam/transom</i>	5	<i>Transportation</i>
21	<i>Cross Beam / Transom Assembly</i>	<i>Set up</i> peralatan <i>cross beam/transom</i>	20	<i>Operation</i>
22		Proses perakitan dan pengelasan <i>cross beam/transom</i>	300	<i>Operation</i>
23		Inspeksi hasil <i>cross beam/transom</i>	30	<i>Inspection</i>
24		Pemindahan <i>cross beam/transom</i> ke area WIP/ <i>assembly</i>	5	<i>Transportation</i>
25	<i>Bogie Frame Assembly</i>	<i>Set up</i> peralatan <i>bogie frame assembly</i>	40	<i>Operation</i>
26		Proses perakitan rangka bogie (<i>frame</i>)	600	<i>Operation</i>
27		Inspeksi hasil perakitan bogie (<i>frame</i>)	30	<i>Inspection</i>
28		Menunggu antrian proses <i>annealing</i>	90	<i>Delay</i>
29		Pengangkutan <i>bogie frame</i> ke area <i>annealing</i>	5	<i>Transportation</i>
30		<i>Set up furnace</i> dan <i>loading</i>	20	<i>Operation</i>
31	<i>Annealing</i>	Proses <i>annealing</i>	480	<i>Operation</i>
32		Pendinginan setelah <i>annealing</i>	120	<i>Delay</i>
33		Inspeksi pasca- <i>annealing</i>	20	<i>Inspection</i>
34		Pengangkutan ke area <i>repair welding</i>	5	<i>Transportation</i>
35	<i>Repair Welding</i>	<i>Set up</i> peralatan las	15	<i>Operation</i>
36		Perbaikan pengelasan (<i>repair welding</i>)	180	<i>Operation</i>
37		Inspeksi hasil <i>repair welding</i>	20	<i>Inspection</i>
38		Pengangkutan ke area <i>machining</i>	5	<i>Transportation</i>
39	<i>Machining</i>	<i>Set up</i> mesin/alat <i>machining</i>	20	<i>Operation</i>
40		Proses <i>machining</i> (pengerjaan presisi)	240	<i>Operation</i>
41		Inspeksi akhir dimensi dan kualitas	40	<i>Inspection</i>
42		Pemindahan bogie ke area <i>finishing</i> /penyimpanan	10	<i>Transportation</i>
43	<i>Finish Good / Gudang Barang Jadi</i>	Penyimpanan di gudang <i>finish good</i>	15	<i>Storage</i>

Tabel 2 menyajikan data replikasi waktu proses produksi Bogie, yang sudah diambil dari masing-masing stasiun kerja sebagai input simulasi.

Tabel 2. Data Replikasi Waktu Proses Produksi Bogie

Proses	Replikasi Waktu Proses Produksi Bogie (Menit)										Rata-Rata (Menit)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Center Beam</i>	232	237	235	236	233	235	238	234	236	234	235
<i>End Beam Assembly</i>	297	302	300	301	298	300	303	299	301	299	300
<i>Sideframe Assembly</i>	557	562	560	561	558	560	563	559	561	559	560
<i>Cross Beam Assembly</i>	357	362	360	361	358	360	363	359	361	359	360
<i>Bogie Frame Assembly</i>	762	767	765	766	763	765	768	764	766	764	765
<i>Annealing</i>	641	647	645	646	643	645	648	644	646	645	645
<i>Repair Welding</i>	217	222	220	221	218	220	223	219	221	219	220
<i>Machining</i>	307	312	310	311	308	310	313	309	311	309	310
Total	3370	3411	3395	3403	3379	3395	3419	3387	3403	3388	3395

B. Kuesioner

Berdasarkan penyebaran kuesioner yang dilakukan di PT XYZ, diperoleh data dari lima orang responden yang mewakili dalam perusahaan [12]. Diperoleh hasil rekapitulasi data kuesioner yaitu pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi Kuesioner Pemborosan (*Waste*)

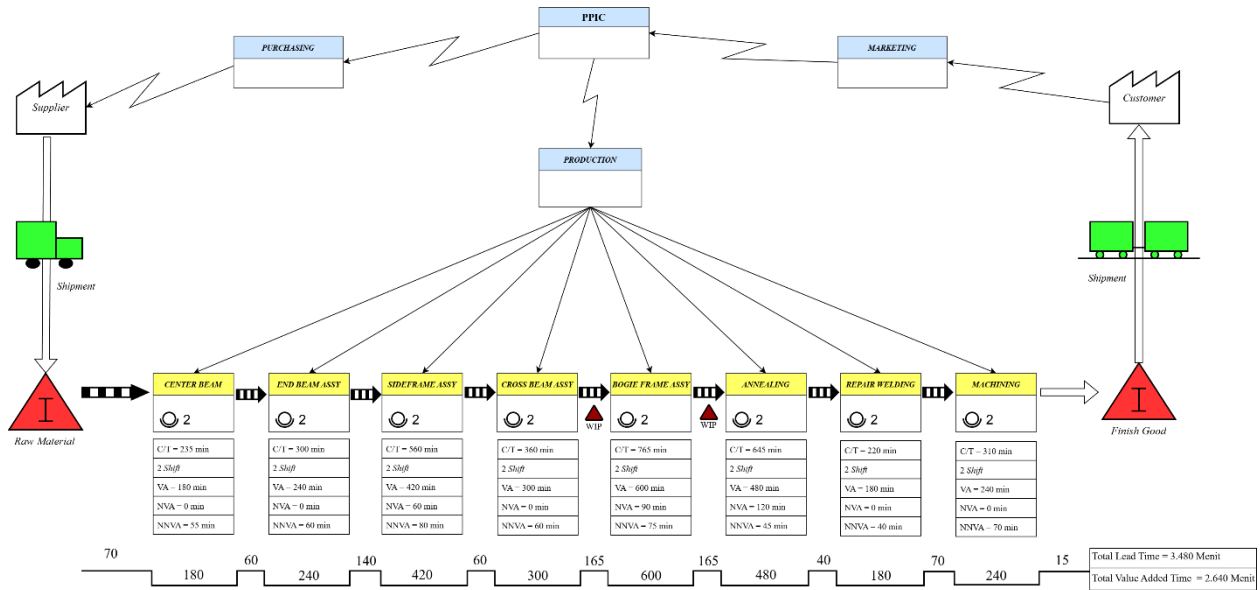
No	Tipe Pemborosan (<i>Waste</i>)	Responden					Skor Rata-Rata	Ranking
		1	2	3	4	5		
1	Menunggu (<i>Waiting</i>)	4	4	4	4	4	4	1
2	Inventaris Berlebih (<i>Excess inventory</i>)	4	4	4	4	3	3,8	2
3	Proses Berlebihan (<i>Overprocessing</i>)	3	4	4	4	4	3,8	3
4	Produksi Berlebih (<i>Overproduction</i>)	3	3	4	3	3	3,2	4

Dengan Keterangan Skor:

- 1: Hampir Jarang Terjadi
- 2: Kadang Sering Terjadi
- 3: Hampir Sering Terjadi
- 4: Sering Terjadi
- 5: Sangat Sering Terjadi

C. Current Value Stream Mapping

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan dan diolah, tahap selanjutnya adalah menyusun pemetaan proses dalam bentuk *Current Value Stream Mapping* (C-VSM). Pemetaan ini berfungsi untuk mengungkap keberadaan pemborosan (*waste*), termasuk sumber serta lokasi terjadinya pemborosan tersebut [13][14]. Berikut adalah pemetaan *Current Value Stream Mapping* (C-VSM) yang dihasilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Current Value Stream Mapping

Dari pemetaan Current Value Stream Mapping didapat total waktu produksi atau *lead time* produksi di PT XYZ yaitu 3.480 menit atau 58 jam. Dengan rincian waktu siklus yaitu *center beam* sebesar 235 menit, *end beam assembly* sebesar 300 menit, *sideframe assembly* sebesar 560 menit, *cross beam assembly* sebesar 360 menit, *bogie frame assembly* 765 menit, *annealing* sebesar 645 menit, *repair welding* sebesar 220 menit, dan *maching* sebesar 310 menit. Klasifikasi aktivitas menunjukkan VA = 2640 menit, NVA = 300 menit, NNVA = 540 menit. Maka perhitungan nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE) adalah sebagai berikut:

Dapat diketahui dari hasil perhitungan, diperoleh *Process Cycle Efficiency* (PCE) sekitar 75,8%.

D. Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

Skor rata-rata yang telah dihitung akan dianalisis lebih lanjut menggunakan alat bantu *Value Stream Mapping Analysis Tools* (VALSAT). VALSAT sering digunakan dalam konteks *Lean manufacturing* untuk mengurangi pemborosan, meningkatkan efisiensi, dan mempercepat waktu produksi [15]. Analisis *Value Stream Mapping Analysis Tools* (VALSAT) dilakukan berdasarkan hasil perhitungan bobot yang diperoleh dari kuesioner pada Tabel 3. Nilai rata-rata bobot tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode VALSAT untuk menentukan alat analisis yang paling sesuai dalam mengidentifikasi pemborosan pada proses produksi. Penerapan matriks VALSAT dilakukan dengan mengalikan nilai rata-rata bobot kuesioner dengan bobot yang terdapat pada setiap kolom dalam matriks VALSAT. Hasil analisis tersebut selanjutnya ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis VALSAT

No.	Waste	Bobot	VALSAT						
			PAM	SCRM	PVF	QFM	DAM	DPA	PS
1	Waiting	4	36	36	4	-	12	12	-
2	Excess inventory	3,8	11,4	34,2	11,4	-	34,2	11,4	3,8
3	Overprocessing	3,8	34,2	-	11,4	3,8	-	3,8	-
4	Overproduction	3,2	3,2	9,6	-	3,2	9,6	9,6	-
	Total Skor		84,8	79,8	26,8	7	55,8	36,8	3,8
	Ranking		1	2	5	6	3	4	7

Berdasarkan hasil pada tabel 4, *Process Activity Mapping* (PAM) memiliki nilai VALSAT tertinggi dengan total sebesar 84.8. Oleh karena itu, PAM dipilih sebagai alat analisis utama dan dilakukan analisis lanjutan.

Process Activity Mapping (PAM) merupakan gambaran tahapan aktivitas yang berlangsung dimulai dari operasi, transportasi, inspeksi, *delay* dan *storage* kemudian mengelompokkannya sesuai jenis kegiatan *Value Added* (VA), *Non-Value Added* (NVA) dan *Necessary Non-Value Added* (NNVA). *Tools* ini juga digunakan untuk mengidentifikasi *lead time* dan waktu proses yang tidak efisien, serta mencari perbaikan untuk permasalahan yang terjadi [16].

Tabel 5. Process Activity Mapping (PAM)

Proses	Aktivitas	Waktu (Menit)	O T I S D					VA/NVA/NNVA
			O	T	I	S	D	
Raw Material / Bahan Baku	Penerimaan dan pengecekan dokumen/material	20	O					NNVA
	Inspeksi fisik material bahan baku	20			I			NNVA
	Penyimpanan sementara material	15				S		NNVA
	Pengangkutan material ke area fabrikasi	15		T				NNVA
	Set up peralatan pembuatan center beam	20	O					NNVA
Center Beam	Proses fabrikasi/pengelasan center beam	180	O					VA
	Inspeksi hasil center beam	30			I			NNVA
	Pengangkutan center beam ke area WIP/assembly	5		T				NNVA
	Pengambilan dan pengangkutan komponen end beam	5		T				NNVA
	Set up peralatan end beam assembly	20	O					NNVA
End Beam Assembly	Proses perakitan dan pengelasan end beam	240	O					VA
	Inspeksi hasil end beam assembly	30			I			NNVA
	Pemindahan end beam assembly ke area WIP/assembly	5		T				NNVA
	Pengangkutan komponen sideframe	5		T				NNVA
	Set up peralatan sideframe assembly	30	O					NNVA
Sideframe Assembly	Proses perakitan dan pengelasan sideframe	420	O					VA
	Menunggu ketersediaan jig/mesin/peralatan	60					D	NVA
	Inspeksi hasil sideframe	40			I			NNVA
	Pemindahan sideframe ke area WIP/assembly	5		T				NNVA
	Pengangkutan komponen cross beam/transom	5		T				NNVA
Cross Beam / Transom Assembly	Set up peralatan cross beam/transom	20	O					NNVA
	Proses perakitan dan pengelasan cross beam/transom	300	O					VA
	Inspeksi hasil cross beam/transom	30			I			NNVA
	Pemindahan cross beam/transom ke area WIP/assembly	5		T				NNVA
	Set up peralatan bogie frame assembly	40	O					NNVA
Bogie Frame Assembly	Proses perakitan rangka bogie (frame)	600	O					VA
	Inspeksi hasil perakitan bogie (frame)	30			I			NNVA
	Menunggu antrean proses annealing	90					D	NVA
	Pengangkutan bogie frame ke area annealing	5		T				NNVA
	Set up furnace dan loading	20	O					NNVA
Annealing	Proses annealing	480	O					VA
	Pendinginan setelah annealing	120					D	NVA
	Inspeksi pasca-annealing	20			I			NNVA
	Pengangkutan ke area repair welding	5		T				NNVA
	Set up peralatan las	15	O					NNVA

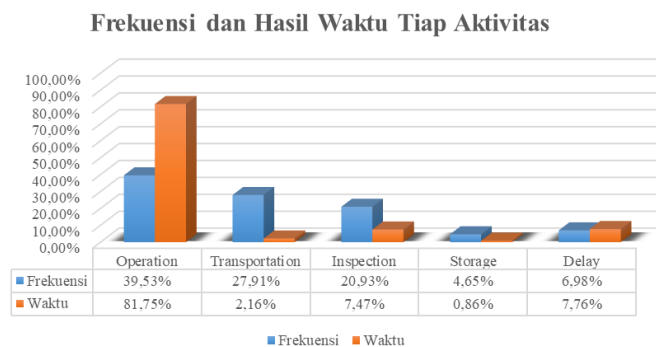
Proses	Aktivitas	Waktu (Menit)	O	T	I	S	D	VA/NVA/NNVA
<i>Repair Welding</i>	Perbaiki pengelasan (<i>repair welding</i>)	180	O					VA
	Inspeksi hasil <i>repair welding</i>	20			I			NNVA
	Pengangkutan ke area <i>machining</i>	5		T				NNVA
	Set up mesin/alat <i>machining</i>	20	O					NNVA
<i>Machining</i>	Proses <i>machining</i> (pengerjaan presisi)	240	O					VA
	Inspeksi akhir dimensi dan kualitas	40			I			NNVA
	Pemindahan bogie ke area <i>finishing</i> / penyimpanan	10		T				NNVA
<i>Finish Good / Gudang Barang Jadi</i>	Penyimpanan di gudang <i>finish good</i>	15					S	NNVA
TOTAL		3480	1 6	1 2	1 0	2	3	VA=8, NVA=3, NNVA=32

Berdasarkan Tabel 5, dapat dikalkulasikan menurut kategori aktivitas dan jenis aktivitas awal, yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Total Aktivitas Produksi Awal

Aktivitas	Frekuensi	Persentase	Total Waktu (Menit)	Persentase
<i>Operation</i>	16	37,21%	2825	81,18%
<i>Transportation</i>	12	27,91%	75	2,16%
<i>Inspection</i>	10	23,26%	280	8,05%
<i>Storage</i>	2	4,65%	30	0,86%
<i>Delay</i>	3	6,98%	270	7,76%
TOTAL	43	100%	3480	100%
VA	8	18,60%	2640	75,86%
NVA	3	6,98%	270	7,76%
NNVA	32	74,42%	570	16,38%
TOTAL	43	100%	3480	100%
WAKTU PRODUKSI	3480 Menit			

Hasil dari perhitungan persentase frekuensi dan waktu tiap aktivitas pada Tabel 6 disajikan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 4.



Gambar 4. Persentase Frekuensi dan Hasil Waktu Tiap Aktivitas

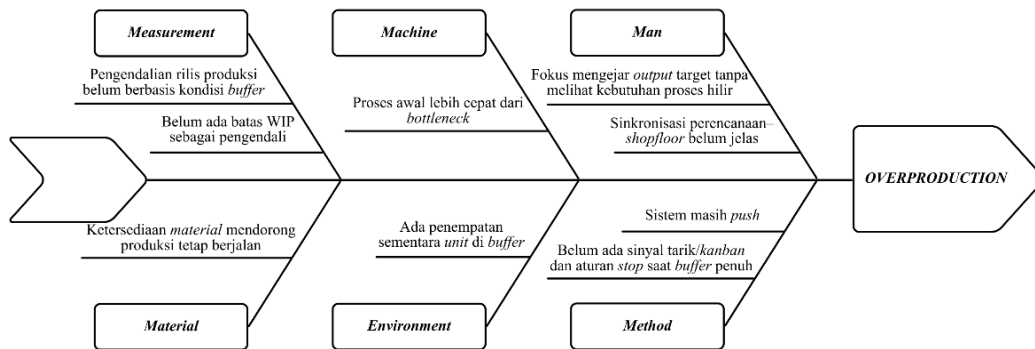
Berdasarkan hasil dari data pada Tabel 6 dan Gambar 4, dapat dianalisis terhadap aktivitas yang terjadi dalam proses produksi Bogie di PT XYZ. Data menunjukkan distribusi frekuensi dan durasi waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing jenis aktivitas selama proses berlangsung. Aktivitas yang paling dominan secara frekuensi maupun waktu adalah *operation* (proses kerja) sebesar 37,21% dari total frekuensi aktivitas dan menghabiskan 81,18% dari total waktu produksi. Aktivitas *non-operasi* seperti *inspection* menyita 8,05% waktu, sedangkan *delay* dan *transportation* masing-masing sebesar 7,76% dan 2,16%, yang mengindikasikan masih terdapat waktu yang teralokasi pada aktivitas yang

tidak selalu menambah nilai langsung terhadap produk. Selain itu, *storage* juga memerlukan waktu meskipun kecil yaitu 0,86%, yang merepresentasikan adanya 110 penumpukan/penyimpanan sementara dalam aliran proses. Secara keseluruhan, perbandingan antara frekuensi dan durasi ini menegaskan bahwa walaupun beberapa aktivitas seperti *transportation* dan *inspection* cukup sering terjadi, kontribusi waktu terbesar tetap berasal dari *operation*, sementara porsi waktu pada *delay* dan aktivitas pendukung lainnya tetap perlu menjadi fokus perbaikan karena berpotensi dikurangi melalui pengendalian aliran dan pengurangan WIP.

E. Identifikasi Faktor Penyebab Waste Menggunakan Diagram Fishbone

Diagram *fishbone* adalah alat yang digunakan untuk menganalisis dan menggambarkan penyebab suatu masalah atau efek yang terjadi dalam suatu proses [17][18]. Berikut adalah identifikasi penyebab dan akibat dari pemborosan yang terjadi pada proses produksi Bogie di PT XYZ menggunakan diagram sebab-akibat:

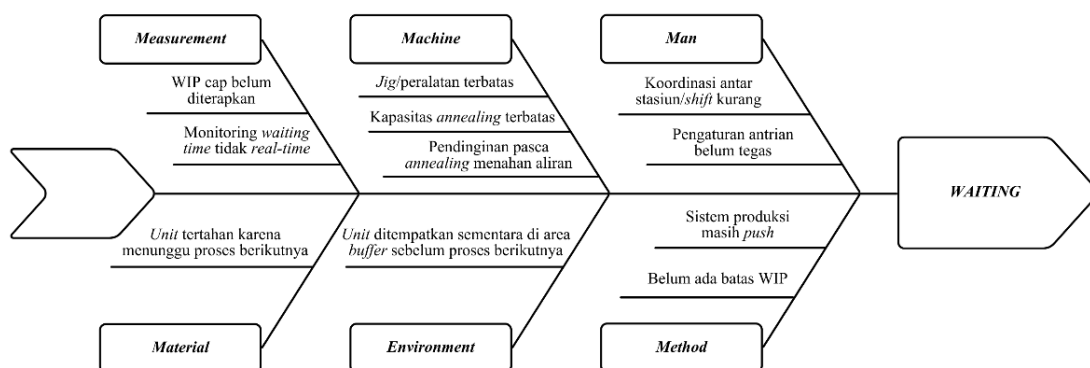
1. Jenis Pemborosan Produksi Yang Berlebih (*Overproduction*)



Gambar 5. Diagram Fishbone Overproduction

Dari sisi *measurement*, pengendalian rilis produksi belum berbasis kondisi *buffer* serta belum terdapat batas WIP sebagai pengendali jumlah produksi. Dari sisi *machine*, proses awal produksi berjalan lebih cepat dibandingkan kapasitas *bottleneck* sehingga memicu kelebihan produksi pada tahap berikutnya. Dari sisi *man*, operator dan perencanaan produksi masih berfokus pada pencapaian target *output* tanpa mempertimbangkan kebutuhan proses hilir, serta sinkronisasi antara perencanaan dan *shopfloor* belum berjalan optimal. Faktor *material* juga berkontribusi karena ketersediaan *material* mendorong produksi tetap berjalan meskipun proses hilir belum siap. Selain itu, dari sisi *environment*, keberadaan area *buffer* memungkinkan adanya penempatan sementara *unit* yang berpotensi memicu penumpukan. Sementara itu, dari sisi *method*, sistem produksi masih menerapkan pola *push* serta belum terdapat mekanisme sinyal tarik (*kanban*) dan aturan penghentian produksi ketika *buffer* telah penuh.

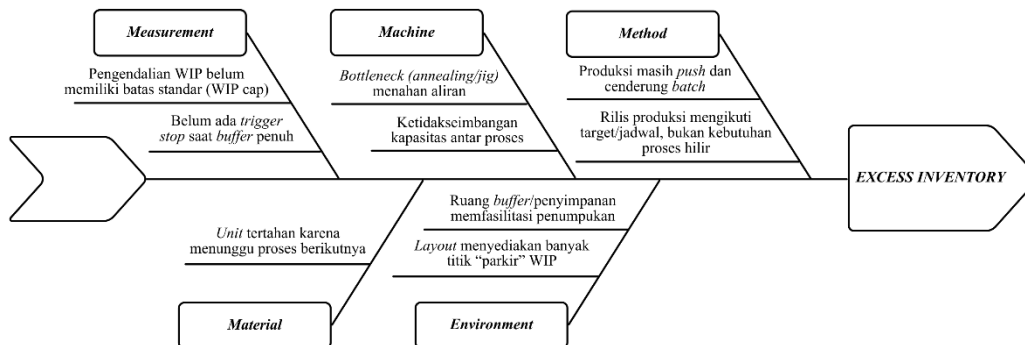
2. Jenis Pemborosan Waktu Menunggu (*Waiting*)



Gambar 6. Diagram Fishbone Waiting

Dari sisi *measurement*, WIP belum diterapkan dan *monitoring waiting time* belum dilakukan secara *real-time*. Pada faktor *machine*, keterbatasan *jig/peralatan*, kapasitas *annealing* yang terbatas, serta proses pendinginan pasca *annealing* menghambat kelancaran aliran produksi. Dari sisi *man*, koordinasi antar stasiun atau *shift* masih kurang dan pengaturan antrian belum tegas. Faktor *material* menunjukkan *unit* harus tertahan sambil menunggu proses berikutnya, sedangkan pada *environment* *unit* hanya ditempatkan sementara di area *buffer*. Sementara itu, pada *method*, sistem produksi masih bersifat *push* dan belum terdapat batas WIP, sehingga menimbulkan penumpukan dan waktu tunggu yang panjang.

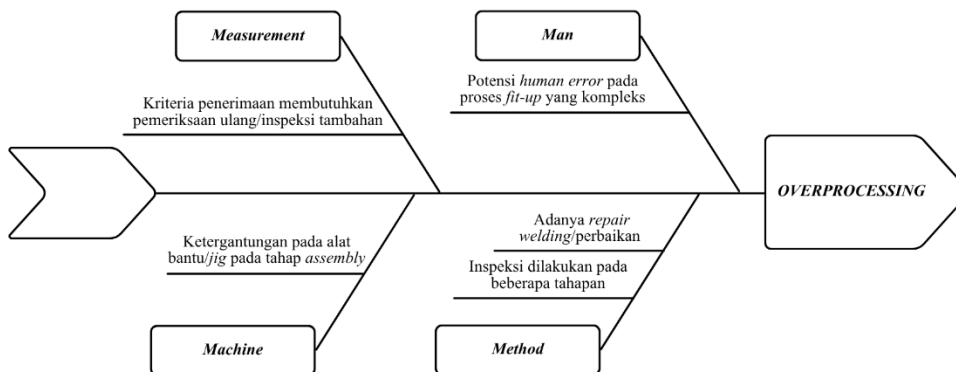
3. Jenis Pemborosan Inventaris Yang Berlebih (*Excess inventory*)



Gambar 7. Diagram Fishbone Excess inventory

Dari sisi *measurement*, pengendalian WIP belum memiliki batas standar (WIP cap) serta belum terdapat mekanisme *trigger stop* ketika *buffer* telah penuh. Dari sisi *machine*, *bottleneck* pada proses *annealing/jig* serta ketidakseimbangan kapasitas antar proses menyebabkan aliran produksi tertahan. Pada aspek *method*, sistem produksi masih menerapkan pola *push* dan *batch* sehingga rilis produksi lebih mengikuti target jadwal dibandingkan kebutuhan proses hilir. Selain itu, dari sisi *material* terdapat *unit* yang tertahan karena menunggu proses berikutnya. Faktor *environment* juga berkontribusi melalui ketersediaan ruang *buffer* yang memfasilitasi penumpukan serta *layout* yang menyediakan banyak titik penyimpanan WIP.

4. Jenis Pemborosan Proses Berlebihan (*Oveprocessing*)



Gambar 8. Diagram Fishbone Oveprocessing

Dari sisi *measurement*, kriteria penerimaan produk masih memerlukan pemeriksaan ulang atau inspeksi tambahan sehingga meningkatkan aktivitas proses yang tidak bernilai tambah. Dari sisi *man*, terdapat variasi keterampilan dan ketelitian operator pada proses *welding* dan *fit up* yang berpotensi memicu ketidaksesuaian hasil pekerjaan. Dari sisi *machine*, ketergantungan terhadap alat bantu atau *jig* pada tahap *assembly* turut mempengaruhi kelancaran proses. Sementara itu, dari sisi *method*, adanya aktivitas *repair welding* serta inspeksi yang dilakukan pada beberapa tahapan proses menyebabkan bertambahnya aktivitas pemrosesan yang tidak memberikan nilai tambah pada produk.

F. Usulan Perbaikan

Dalam penentuan jumlah *kanban* pada aliran produksi Bogie, diperlukan perhitungan untuk setiap titik kendali yang menjadi lokasi pengendalian penumpukan *Work In Process* (WIP) sebelum memasuki proses kritis [19]. Perhitungan jumlah *kanban* ini didukung oleh data *input* yang digunakan sebagai dasar pengendalian sistem tarik (*pull*), sehingga pelepasan *unit* dari proses sebelumnya hanya dilakukan ketika terdapat kebutuhan dari proses berikutnya. Data yang digunakan untuk perhitungan jumlah kartu *kanban* sebagai berikut:

1. Kapasitas *kanban* (Q) : 1 unit/ *kanban*
2. Demand rate (D) : 3 unit/hari
3. Waktu kerja efektif per hari (Te) : 960 menit/hari
4. Actual takt time (TT) : 320 menit/unit
5. Faktor pengamanan (S) : 0,10
6. Waktu pengumpulan *kanban* : 1 menit
7. Waktu pengiriman/konfirmasi *kanban* : 1 menit
8. Waktu supply/transfer unit : 10 menit

9. *Lead time* sistem : 3.480 menit

Berdasarkan *demand rate* dan *takt time* tersebut, selanjutnya yaitu menghitung total waktu tunggu (*M*) dan waktu *set up* (*P*) sebagai dasar perhitungan jumlah kartu *kanban*. Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke rumus *kanban* bersama faktor pengamanan dan kapasitas *kanban* untuk memperoleh jumlah kartu yang beredar.

1. Kebutuhan *unit* per menit

$$D = \frac{\text{Jumlah produksi per hari} \times \text{penggunaan per unit}}{\text{Waktu kerja per hari (menit)}}$$

$$D = \frac{3 \times 1}{960} = 0,003125 \text{ unit/menit}$$

2. Total waktu tunggu (*M*)

$M = \text{lead time} + \text{waktu pengumpulan kanban} + \text{waktu pengiriman kanban} + \text{waktu supply}$

$$M = 3480 + 1 + 1 + 10 = 3492 \text{ menit}$$

3. Waktu *set up* (*P*)

Waktu *set up* adalah waktu persiapan sebelum proses berjalan. Pada penelitian ini digunakan waktu *set up* acuan sebesar 20 menit

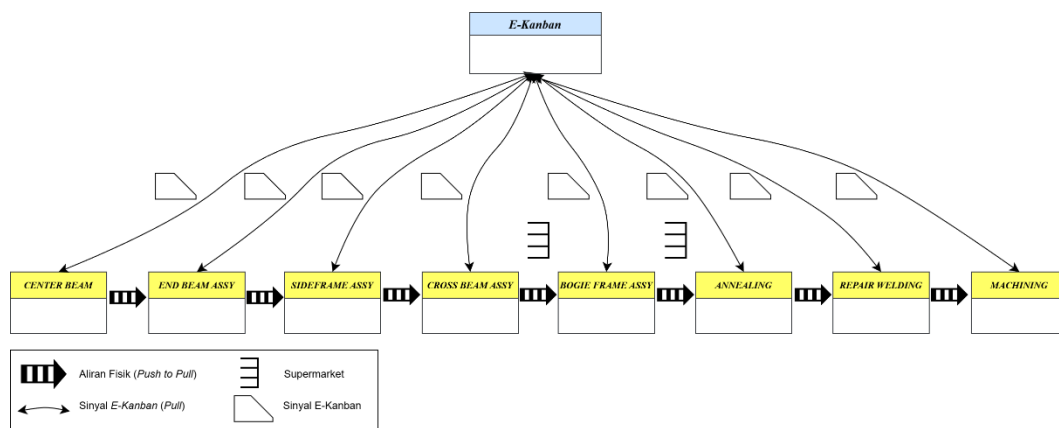
4. Jumlah *kanban* yang beredar

$$N \geq \frac{D(M+P)(1+S)}{Q}$$

$$N \geq \frac{0,003125(3492+6)+(1+0,10)}{1} = 12,024 \approx 13 \text{ kartu kanban}$$

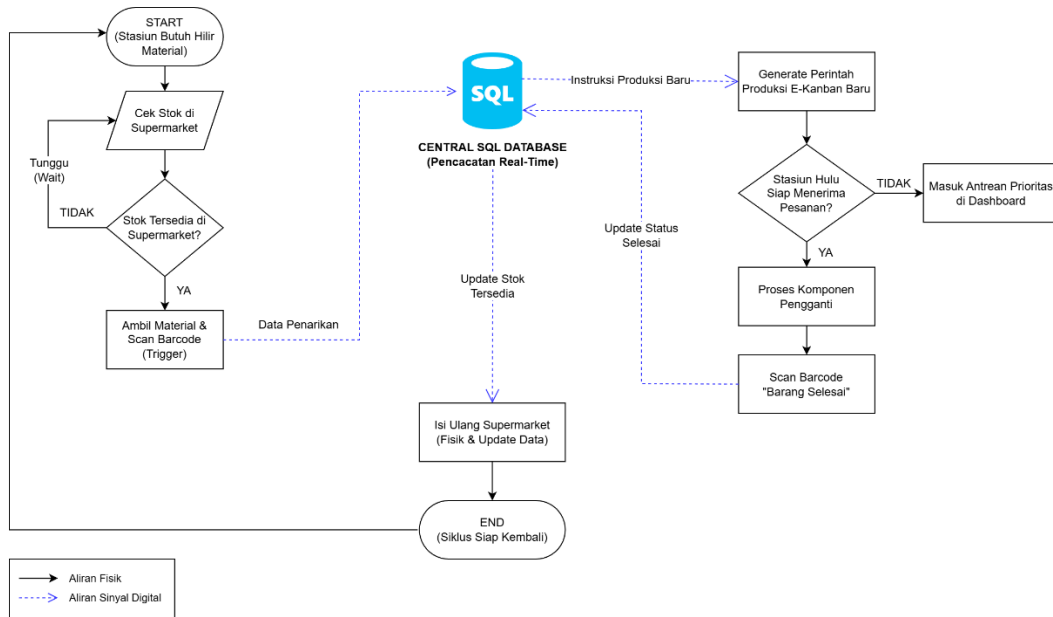
Jumlah kartu *kanban* yang digunakan adalah 13 kartu (dibulatkan ke atas) agar pengendalian berjalan stabil dan tidak kekurangan otorisasi pelepasan *unit*.

Dari hasil identifikasi terhadap faktor *material, man, method, environment* dan *machine*, dan *measurement* disusun usulan perbaikan untuk seluruh pemborosan guna mengoptimalkan performansi sistem. Usulan perbaikan sistem *E Kanban* sebagai solusi digital untuk menggantikan mekanisme *manual* yang ada di PT XYZ. Berikut disusun usulan perbaikan melalui skenario *E-Kanban* yang dilihat pada Gambar 9.



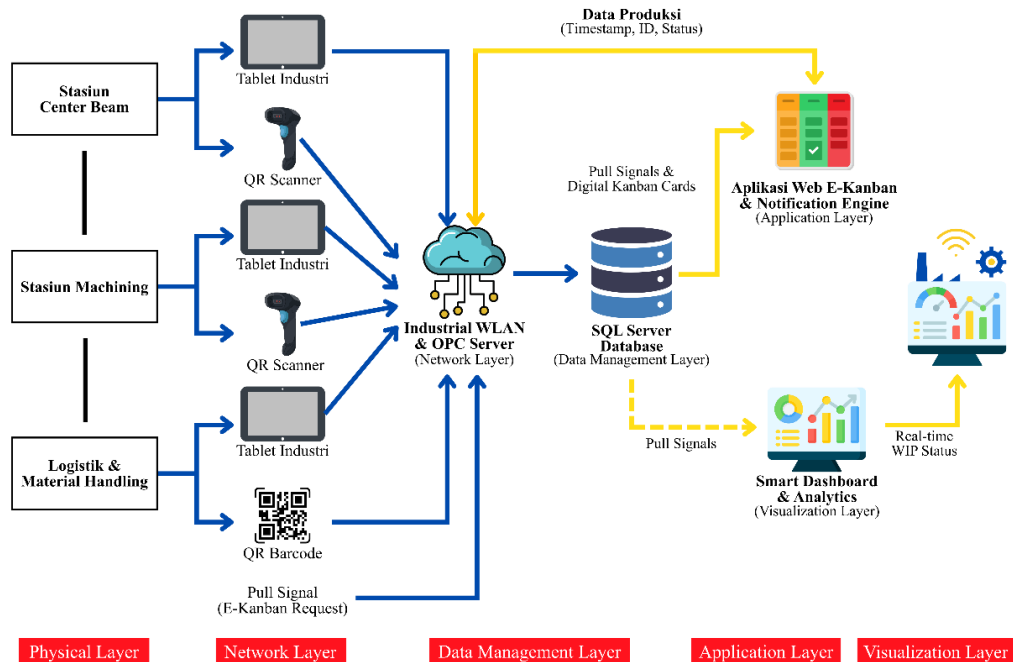
Gambar 9. Skenario *E-Kanban*

Berdasarkan skenario *E-Kanban* pada Gambar 9, aliran informasi dikelola secara terpusat melalui pusat kendali digital yang berfungsi memantau seluruh lini secara real-time. Sinyal *E-Kanban* bergerak secara dua arah antara setiap stasiun kerja dan pusat kendali untuk mengirimkan status produksi serta perintah penarikan *material* (*pull signal*). Logika sistem ini secara tegas memisahkan aliran fisik produk dengan sinyal perintah; di mana *material* hanya diperbolehkan bergerak maju jika stasiun di depannya telah siap, sementara sinyal tarik bergerak mundur untuk memicu penarikan *unit* dari stasiun sebelumnya atau melalui titik Supermarket. Untuk menjalankan skenario tersebut, sistem bekerja berdasarkan logika aliran informasi yang memisahkan antara pergerakan fisik produk dengan sinyal tarik digital. Mekanisme koordinasi reaktif yang mendasari seluruh aliran operasional ini dijelaskan melalui alur kerja yang dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Logika Aliran E-Kanban

Logika aliran E-Kanban dimulai ketika stasiun hilir membutuhkan *material* untuk melanjutkan proses produksi. Dengan sistem E Kanban ini, aliran *material* di seluruh lini produksi terjaga dengan baik, meminimalkan pemborosan, dan memastikan bahwa setiap *material* hanya diproduksi atau dipindahkan sesuai dengan permintaan yang ada. Agar koordinasi antar komponen dalam ekosistem E-Kanban berjalan selaras dan optimal, diperlukan sebuah mekanisme alur informasi yang terintegrasi untuk meminimalisir risiko ketidakakuratan informasi. Visualisasi mengenai bagaimana alur data dari aktivitas operator di lini produksi mengalir menuju *unit* penyimpanan data (*server*) untuk diproses menjadi sinyal tarik digital dijelaskan pada Gambar 11.




Gambar 11. Mekanisme Aliran Data E-Kanban

Penjelasan Alur Sistem:

1. *Physical Layer*: Mencakup *unit* fungsional di lapangan seperti stasiun Bogie dan bagian logistik yang dilengkapi perangkat input untuk memulai siklus informasi.
2. *Network Layer*: Bertindak sebagai jembatan yang mengirimkan data dari lantai produksi menuju *server* melalui jaringan nirkabel industri.
3. *Data Management Layer*: Menggunakan SQL Server untuk mengelola dan menyimpan seluruh histori transaksi produksi secara sistematis.


4. *Application & Visualization Layer*: Data yang telah diproses kemudian ditampilkan dalam bentuk *dashboard* interaktif untuk memudahkan pengawasan WIP dan performansi sistem oleh pihak *manajemen*.

Perancangan kartu *E-Kanban* dalam sistem ini mencakup dua elemen vital, yaitu Kartu Penarikan (*Withdrawal Kanban*) untuk mengendalikan aliran antar stasiun kerja dan Kartu Produksi (*Production Kanban*) sebagai instruksi pengerjaan *unit*. Hal ini bertujuan untuk menerjemahkan logika digital dari *database* menjadi instruksi visual yang praktis, memastikan setiap petugas di lapangan memiliki rujukan data yang konsisten dalam menjalankan aktivitas operasionalnya. Kartu Penarikan dapat dilihat pada Gambar 12.

KANBAN PENARIKAN (WITHDRAWAL KANBAN)	
KANBAN ID: KB-10452	PART NAME: Bogie Frame Assembly
PART CODE: BFA-S2-500Y 	MOVE QTY: 1 Unit
	SOURCE STATION: Supermarket 2
	DESTINATION STATION: Annealing Station
STATUS: SIAP DIAMBIL (READY TO MOVE) LEAD TIME TARGET: 7 H	

Gambar 12. Kartu Penarikan (*Withdrawal Kanban*)

Kartu Penarikan berfungsi sebagai sinyal permintaan untuk mengambil *material* atau komponen dari stasiun kerja sebelumnya atau dari titik penyimpanan (Supermarket). Kartu Produksi dapat dilihat pada Gambar 13.

INSTRUKSI PRODUKSI (PRODUCTION KANBAN)	
KANBAN ID: KB-10452	PART NAME: Cross Beam
PART CODE: CB-S1-500X 	LOT SIZE / QTY: 1 Unit
	ORIGIN STATION: Station Cross Beam
	DESTINATION: 1 Unit
STATUS: MENUNGGU PROSES (PENDING) TIME TRIGGERED: 10:45 AM	

Gambar 13. Kartu Produksi (*Production Kanban*)

Kartu Produksi berfungsi sebagai perintah kerja digital yang menginstruksikan stasiun kerja untuk mulai memproses sejumlah *unit* komponen tertentu.

Untuk mengoptimalkan aliran produksi Bogie, langkah pertama yang diambil adalah mengklasifikasikan aktivitas yang dapat dihilangkan atau dikurangi durasinya, yaitu dengan mengeliminasi aktivitas *Non-Value Added* (NVA) seperti menunggu ketersediaan *jig*/mesin (60 menit), menunggu antrean annealing (90 menit), pendinginan setelah *annealing* (120 menit). Alasan mengeliminasi aktivitas-aktivitas tersebut dikarenakan termasuk dalam kategori *waste of waiting* atau pemborosan waktu tunggu. Dengan menghilangkan total waktu tunggu sebesar 270 menit, *lead time* dapat dikurangi tanpa mengganggu kualitas teknis produk Bogie. Selanjutnya mereduksi aktivitas *Necessary Non-Value Added* (NNVA) seperti aktivitas *set-up* peralatan (185 menit) dan aktivitas inspeksi (280 menit). Alasan mereduksi aktivitas-aktivitas tersebut yaitu meskipun aktivitas *set-up* dan inspeksi penting untuk kelancaran operasional, aktivitas tersebut tidak menambah nilai jual produk secara langsung. Pengurangan durasi pada kategori ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas operator serta efisiensi dalam penggunaan mesin, yang secara keseluruhan akan mempercepat proses produksi. Mereduksi aktivitas *set-up* dengan cara menerapkan metode *Single Minute Exchange of Die* (SMED) untuk mempercepat proses persiapan alat sebelum produksi dimulai yang mampu mereduksi waktu awal yaitu 185 menit menjadi 85 menit. Selanjutnya mereduksi aktivitas inspeksi dengan cara menerapkan *self-inspection* oleh operator terlatih dan menggunakan alat ukur presisi otomatis untuk mengurangi durasi inspeksi yang mampu mereduksi waktu awal yaitu 280 menit menjadi 155 menit. Rekapitulasi penghematan waktu produksi Bogie dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Penghematan Waktu Produksi Bogie

Kategori Aktivitas	Waktu Saat Ini (Menit)	Potensi Setelah Perbaikan (Menit)	Status
<i>Delay</i>	270	0	<i>Eliminate</i>
<i>Inspection</i>	280	155	<i>Reduce</i>
<i>Set-up Operations</i>	185	85	<i>Reduce</i>

Berdasarkan Tabel 7, dengan menghilangkan aktivitas *delay* sebesar 270 menit, *lead time* dapat dipotong secara signifikan. Selain itu, dengan mengurangi durasi inspeksi sebanyak 125 menit dan reduksi waktu *set-up operations* sebesar 100 menit, angka *value added time* murni sebesar 2640 menit dapat tercapai. Hal ini akan meningkatkan efisiensi siklus produksi secara keseluruhan, mempercepat aliran produksi, dan mengurangi pemborosan waktu yang tidak memberikan nilai tambah. Dengan perbaikan ini, proses produksi Bogie dapat menjadi lebih optimal dan lebih cepat, menghasilkan peningkatan produktivitas yang signifikan. Selanjutnya terdapat perbandingan *before* dan *after* penghematan waktu produksi yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Penghematan Waktu Produksi Bogie

Indikator Performa	Kondisi Eksisting	Usulan Perbaikan	Selisih (Efisiensi)
Total <i>Lead time</i>	3.480 Menit	2.985 Menit	-495 Menit
Waktu Tunggu (<i>Delay</i>)	270 Menit	0 Menit	-270 Menit
Waktu Inspeksi	280 Menit	155 Menit	-125 Menit
Waktu <i>Set-up</i> Mesin	185 Menit	85 Menit	-100 Menit

Berdasarkan Tabel 8, dapat dikalkulasikan dari waktu usulan perbaikan menurut kategori aktivitas dan jenis aktivitas akhir, yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Total Aktivitas Produksi Akhir

Aktivitas	Frekuensi	Persentase	Total Waktu (Menit)	Persentase
<i>Operation</i>	16	40,00%	2725	91,29%
<i>Transportation</i>	12	30,00%	75	2,51%
<i>Inspection</i>	10	25,00%	155	5,19%
<i>Storage</i>	2	5,00%	30	1,01%
<i>Delay</i>	0	0,00%	0	0,00%
TOTAL	40	100%	2985	100%
VA	8	20,00%	2640	88,44%
NVA	0	0,00%	0	0,00%
NNVA	32	80,00%	345	11,56%
TOTAL	40	100%	2985	100%
WAKTU PRODUKSI	2985 Menit			

Penerapan skenario *E-Kanban* ini memungkinkan pengendalian jumlah barang setengah jadi (*Work-in-Process*) secara otomatis di sepanjang lini produksi Bogie. Dengan mengeliminasi waktu tunggu pasif sebesar 270 menit terutama pada antrean *Annealing* dan ketersediaan *jig* sistem dapat beroperasi lebih ramping (*lean*). Reduksi waktu *set-up* dan inspeksi juga berkontribusi besar dalam menurunkan total *lead time* hingga mencapai potensi 2.985 menit, tanpa mengurangi standar kualitas teknis yang ditetapkan. Hal ini menciptakan efisiensi yang signifikan dalam proses produksi, dengan pengurangan 495 menit dari waktu total produksi sebelumnya yang mencapai 3.480 menit. Maka didapatkan hasil rekapitulasi waktu setelah perbaikan sistem *E-Kanban* disajikan pada Tabel 9.

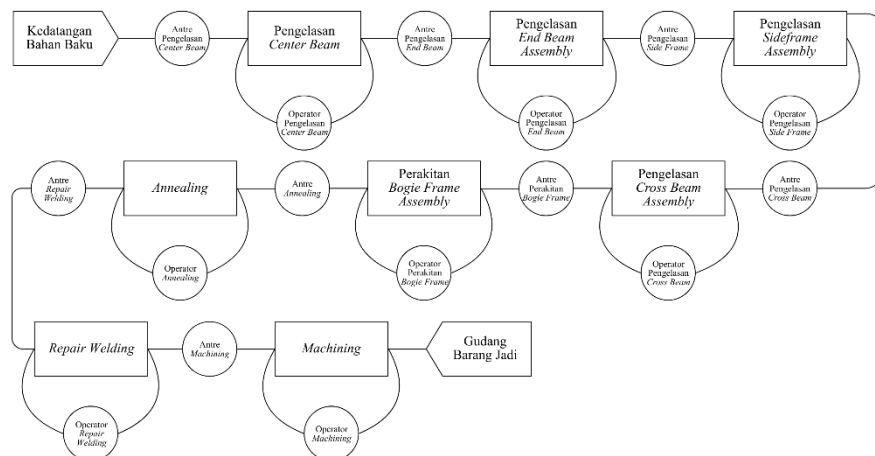
Tabel 9 Replikasi Waktu Setelah Perbaikan *E-Kanban*

Proses	Replikasi Waktu Proses Produksi Bogie (Menit)										Rata-Rata (Menit)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Center Beam</i>	208	213	211	212	209	211	214	210	212	210	211
<i>End Beam Assembly</i>	275	280	278	279	276	278	281	277	279	277	278

Proses	Replikasi Waktu Proses Produksi Bogie (Menit)										Rata-Rata (Menit)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Sideframe Assembly</i>	473	478	476	477	474	476	479	475	477	475	476
<i>Cross Beam Assembly</i>	333	338	336	337	334	336	339	335	337	335	336
<i>Bogie Frame Assembly</i>	647	652	650	651	648	650	653	649	651	649	650
<i>Annealing</i>	512	518	516	517	514	516	519	515	517	516	516
<i>Repair Welding</i>	214	219	217	218	215	217	220	216	218	216	217
<i>Machining</i>	298	303	301	302	299	301	304	300	302	300	301
Total	2960	3001	2985	2993	2969	2985	3009	2977	2993	2978	2985

G. Simulasi Software

Setelah dilakukan usulan perbaikan menggunakan sistem *E-Kanban*, selanjutnya mensimulasikan waktu proses produksi Bogie dan *interface*-nya untuk menjalankan sistem *E-Kanban*. Sebelum melakukan simulasi menggunakan *software* Arena harus disusun model konseptual simulasi untuk menggambarkan aliran produksi Bogie secara sederhana namun tetap mewakili kondisi nyata di lapangan. Pada pemodelan simulasi sistem diskrit, model konseptual dapat dibuat dalam sebuah *Activity Cycle Diagram* (ACD). Penyusunan model konseptual dilakukan berdasarkan urutan proses pada *Current Value Stream Mapping* (C-VSM) dan hasil pengumpulan data waktu proses, sehingga setiap stasiun kerja yang dilalui *unit* dapat didefinisikan secara sistematis. Model konseptual yang telah dibuat disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Model Konseptual Menggunakan ACD

Selanjutnya dibuatlah model simulasi dalam penelitian ini berdasarkan model konseptual yang telah dibuat dan data yang dikumpulkan. Sebelum dilakukannya simulasi, data replikasi waktu proses produksi Bogie harus diuji terlebih dahulu yaitu, uji keseragaman data dan uji kecukupan data. Setelah dilakukan uji tersebut dan data telah dinyatakan seragam dan cukup maka bisa untuk disimulasikan. Dalam tahap ini, perancangan model simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Arena (*Layout* pada *Location*) sehingga dapat disimulasikan seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Model Simulasi pada Produksi Bogie dengan *Software* Arena

Berdasarkan Gambar 15 dapat diketahui bahwa proses pertama yang dilakukan adalah kedatangan bahan baku yang disimbolkan dengan *Create*, yang berfungsi untuk menunjukkan kedatangan entitas bahan baku ke dalam simulasi. Selanjutnya, terdapat simbol *Assign* yang berfungsi untuk memberikan penetapan nilai kepada variabel pengguna. Kemudian, terdapat stasiun pertama yaitu *Center Beam*, yang disimbolkan dengan *Process*. Proses ini melibatkan pengolahan *Center Beam* yang akan dilanjutkan ke proses berikutnya, yaitu *End Beam Assembly*. Setiap stasiun yang dilalui oleh entitas (*unit*) akan melewati simbol *Process* untuk menunjukkan bahwa *unit* sedang dalam proses tersebut. Selanjutnya, entitas yang telah melewati proses *assembly* seperti *Sideframe Assembly*, *Cross Beam Assembly*, dan *Bogie Frame Assembly* akan menuju stasiun *Annealing*. Setelah itu, proses berlanjut ke *Repair Welding* dan *Machining* yang masing-masing disimbolkan dengan *Process* dan *Assign* modul untuk mencatatkan data dan hasil variabel pengguna. Terakhir, proses model simulasi diakhiri dengan *Record* yang berfungsi untuk mengumpulkan data hasil simulasi dan *Simpan Gudang* untuk menandai titik akhir dari simulasi model produksi bogie.

1. Menghitung Jumlah Replikasi

Tabel 9 Replikasi Aktivasi *E-Kanban* pada Bogie

Replikasi	Total Waktu	
	Jam	Konversi Menit (X1)
1	49,636895	2978,2137
2	49,859727	2991,58362
3	49,640489	2978,42934
4	49,957407	2997,44442
5	49,808775	2988,5265
6	49,824169	2989,45014
7	49,866847	2992,01082
8	49,811301	2988,67806
9	49,641256	2978,47536
10	49,697941	2981,87646
Rata-Rata	49,7744807	2986,468842
Standar Deviasi	0,112916884	6,775013028
Variansi	0,012750223	45,90080152

Tabel 10 Perbandingan *Output Real System* dan Simulasi Perbaikan Arena

Replikasi	<i>Real System</i> (Menit)	Arena (Menit)
1	2960	2978,2137
2	3001	2991,58362
3	2985	2978,42934
Rata-Rata	2982	2982,74222
Standar Deviasi	20,66397832	7,657636099
Variansi	427	58,63939062
N	3	3
n-1	2	2

Sehingga didapatkan hasil dari *confidence interval*-nya adalah:

$$P(X_1 - X_2) - hw \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (X_1 - X_2) + hw$$

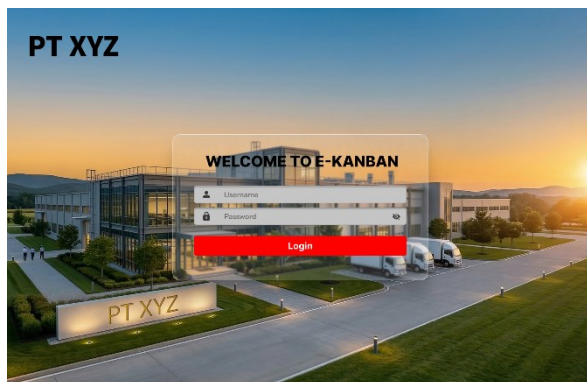
$$P[-0,74222 - 51,33273177 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq -0,74222 + 51,33273177]$$

$$[-52,07495177 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 50,59051177]$$

Karena model sudah mampu mencerminkan kondisi *real* di lapangan secara akurat, maka skenario usulan perbaikan menggunakan sistem *E-Kanban* ini dinyatakan valid dan sudah sangat siap untuk diterapkan guna mengoptimalkan efisiensi produksi. Selanjutnya pembuatan prototipe *interface E-Kanban* menggunakan *software* Figma yang menjadikan representasi nyata dari usulan transformasi *pull system* menuju basis digital, yang berfungsi menghubungkan ke *database* terpusat dengan realitas operasional pada lini produksi Bogie di PT XYZ. Penggunaan prototipe ini memungkinkan visibilitas aliran produksi Bogie menjadi jauh lebih jelas dan terkontrol, di mana setiap mobilisasi komponen dipandu oleh sinyal digital yang sinkron dan terintegrasi secara *real-time*, sehingga meminimalisir risiko terjadinya keterlambatan dalam proses produksi [20].

1. Login

Pada *E-Kanban* ini, setiap pengguna diharuskan memiliki akun terlebih dahulu untuk dapat akses sistem. Dan sebelum menggunakan, setiap pengguna harus melakukan *login* untuk dapat menjalankan sistem kanban elektronik ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Tampilan (*Interface*) Login

2. Dashboard Interface

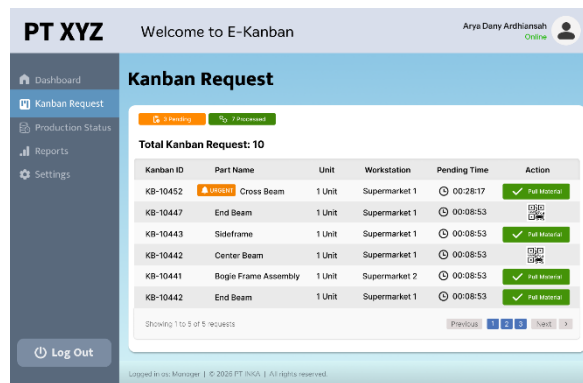
Berdasarkan visualisasi dashboard yang ada pada Gambar 17 berikut, sistem menampilkan informasi status operasional secara *real-time* yang terbagi ke dalam tiga kategori utama, yaitu *waiting*, *on-progress*, dan *done*.



Gambar 17. Tampilan (Interface) Dashboard

3. Menu Kanban Request

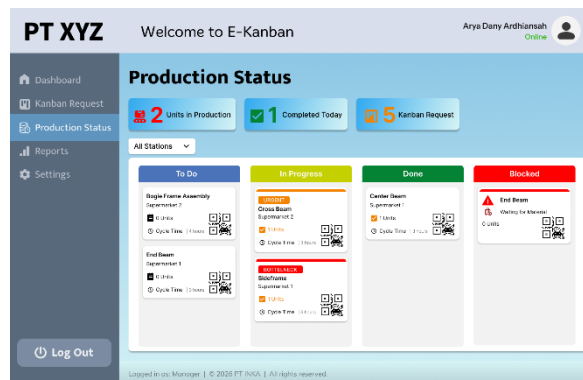
Berdasarkan tampilan *Kanban Request* yang ditampilkan pada Gambar 18 berikut, terdapat beberapa informasi utama yaitu *timestamp* (waktu pengerjaan), ID Kanban, dan histori operator.



Gambar 18. Tampilan (Interface) Kanban Request

4. Menu Production Status

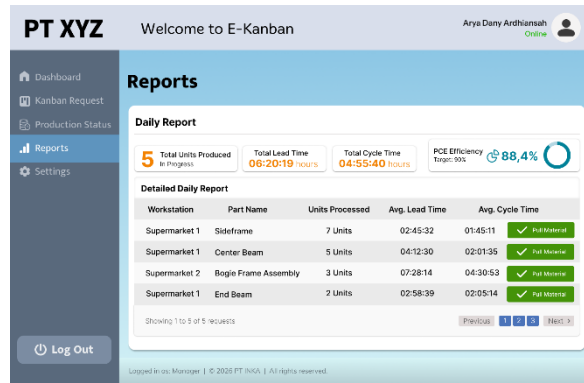
Berdasarkan tampilan halaman Status Produksi (*Production Status*) yang ditunjukkan pada Gambar 19 berikut, terdapat beberapa informasi utama yaitu nomor seri Bogie, posisi stasiun kerja (*workstation*), dan durasi pengerjaan.



Gambar 19. Tampilan (Interface) Production Status

5. Menu Report

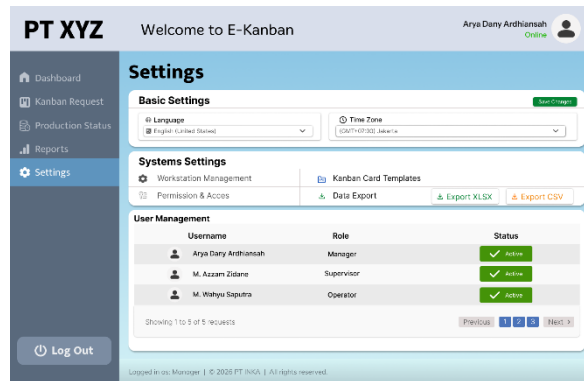
Berdasarkan tampilan *interface Report* yang ditunjukkan pada Gambar 20 berikut, informasi utama yang disajikan mencakup perbandingan *actual lead time* terhadap *standard lead time* serta identitas stasiun kerja dengan durasi pengerjaan tertinggi.



Gambar 20. Tampilan (Interface) Menu Report

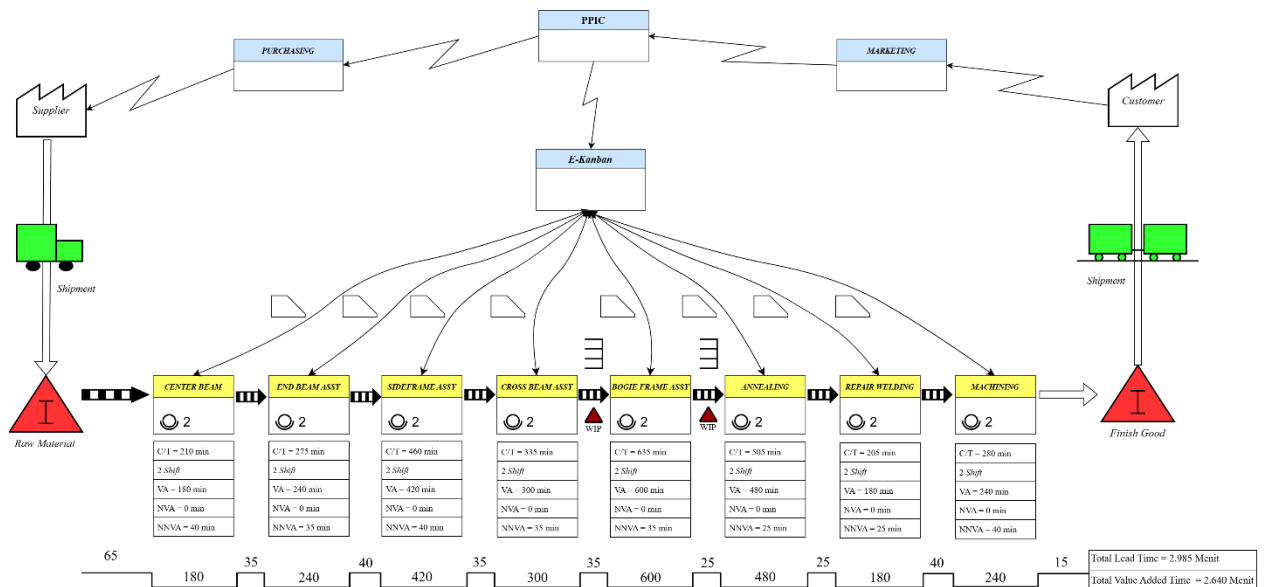
6. Menu Settings

Berdasarkan tampilan *interface Settings* yang ditunjukkan pada Gambar 21 berikut, terdapat beberapa informasi utama yaitu manajemen akun pengguna (*user management*), pengaturan hak akses, dan profil instansi.



Gambar 21. Tampilan (Interface) Settings

H. Future Value Stream Mapping



Gambar 21. Future Value Stream Mapping Usulan Perbaikan

Dari pemetaan *Future Value Stream Mapping* didapat total waktu produksi atau *lead time* produksi di PT XYZ yaitu 2.985 menit atau 49 jam 45 menit. Dengan rincian waktu siklus yaitu *center beam* sebesar 210 menit, *end beam assembly* sebesar 275 menit, *sideframe assembly* sebesar 460 menit, *cross beam assembly* sebesar 335 menit, *bogie frame assembly* 635 menit, *annealing* sebesar 505 menit, *repair welding* sebesar 205 menit, dan *maching* sebesar 280 menit. Klasifikasi aktivitas menunjukkan VA = 2640 menit, NVA = 30 menit, NNVA = 315 menit. Maka perhitungan nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE) adalah sebagai berikut:

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *Process Cycle Efficiency* (PCE) sebesar 88,4%. Nilai tersebut menunjukkan adanya peningkatan sebesar 14,22% dibandingkan dengan PCE pada kondisi awal.

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis pada lini produksi Bogie di PT XYZ, sistem pengendalian produksi pada kondisi eksisting masih bersifat konvensional sehingga efisiensinya belum optimal. Hal ini ditunjukkan oleh total *lead time* produksi sebesar 3.480 menit dengan aliran informasi yang masih bergantung pada koordinasi verbal dan penggunaan kartu *manual*. Identifikasi pemborosan menunjukkan adanya *waste waiting* sebesar 270 menit akibat antrean proses *annealing* dan waktu pendinginan *material*, *waste inventory* sebesar 30 menit akibat penumpukan *material* pada buffer stasiun kerja, *waste overproduction* dengan rata-rata kelebihan produksi 2 unit per bulan, serta *waste overprocessing* dengan tingkat *rework* sebesar 90,63%. Usulan perbaikan melalui penerapan sistem *E-Kanban* yang didukung simulasi menggunakan *software Arena* mampu meningkatkan efisiensi proses dengan menurunkan total *lead time* menjadi 2.985 menit, atau berkurang 495 menit (14,22%), serta mengeliminasi waktu tunggu pada proses produksi. Sistem usulan ini juga didukung oleh rancangan infrastruktur jaringan, struktur *database* terintegrasi, serta prototipe antarmuka yang memungkinkan pemantauan data produksi secara *real-time* sehingga dapat meminimalkan potensi kesalahan pada rantai produksi. Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan integrasi sistem *E-Kanban* hingga ke tingkat pemasok (*external kanban*) maupun dengan modul *Enterprise Resource Planning* (ERP) perusahaan agar aliran *material* dan informasi dapat dikelola secara lebih luas dan terintegrasi dari hulu hingga hilir.

References

1. Rizka, M. Asbari, and R. A. Setiawan, "Penerapan Prinsip Lean Manufacturing untuk Efisiensi Operasional dan Produktivitas: Tinjauan Literatur," *Jurnal Ilmu Sosial, Manajemen, Akuntansi dan Bisnis*, vol. 1, no. 2, pp. 42–46, 2024, doi: 10.70508/z3c9yp63.
2. S. Supriyatin, *Manajemen Produksi dan Operasi*. Bandung, Indonesia: Mitra Kreatif Publisher, 2023.
3. M. S. H. Simarangkir, "Penerapan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) pada Sistem Monitoring Mesin Produksi Berbasis Web," *Electro Luceat*, vol. 9, no. 1, pp. 73–86, 2023, doi: 10.32531/jelekn.v9i1.609.
4. R. Z. Firdaus and W. Wahyudin, "Penerapan Konsep Lean Manufacturing untuk Meminimasi Waste pada PT Anugerah Damai Mandiri (ADM)," *Journal of Integrated System*, vol. 6, no. 1, pp. 21–31, 2023, doi: 10.28932/jis.v6i1.5632.
5. Q. Nurlaila, R. I. Yuniawati, L. Susanti, and A. Cahyati, *Lean Manufacturing*. Bandung, Indonesia: Penerbit Widina, 2023.
6. N. T. Putri and I. R. Saputra, "Peningkatan Kinerja Logistik Gudang dengan Prinsip Lean," in *Proc. Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI)*, 2023, pp. 117–129. [Online]. Available: <https://ojs.uajy.ac.id/index.php/SENASTI/article/view/7933>
7. S. Patil, M. V. Pisal, and C. T. Suryavanshi, "Application of Value Stream Mapping to Enhance Productivity by Reducing Manufacturing Lead Time in a Manufacturing Company: A Case Study," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 11–22, 2021, doi: 10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1488.
8. Setiawan, I. Setiawan, H. Kurnia, M. Wahid, and H. H. Purba, "Implementasi Metode Value Stream Mapping pada Industri: Tinjauan Literatur Sistematis," *Inaque: Journal of Industrial and Quality Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 103–116, 2022, doi: 10.34010/iqe.v10i2.5989.
9. D. Novitasari and R. Rochmoeljati, "Implementasi Value Stream Mapping dan Value Stream Analysis untuk Meminimalisir Pemborosan Waktu Pendistribusian di PT Nur Jaya Energi," *JUMINTEN*, vol. 2, no. 6, pp. 132–143, 2021, doi: 10.33005/juminten.v2i6.336.
10. Romeira, F. Cunha, and A. Moura, "Development and Application of an E-Kanban System in the Automotive Industry," in *Proc. IEOM Monterrey Conference*, 2021, pp. 613–624. [Online]. Available: <https://ieomsociety.org/proceedings/2021monterrey/101>
11. C. Kurniawan and M. I. Zamzani, "Identifikasi Waste pada Proses Remanufaktur Blade Lift Cylinder D-8R dengan Pendekatan Lean Manufacturing," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 12, no. 2, pp. 153–160, 2022, doi: 10.25105/jti.v12i2.15641.
12. Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2016.
13. R. J. Syalendra, N. Nofirza, M. I. H. Umam, M. Yola, and M. Hartati, "Analisis VSM (Value Stream Mapping) pada Proses Pembuatan Produk Egrek Sawit di Unit Pandai Besi Asadi," *Jurnal Perangkat Lunak*, vol. 6, no. 1, pp. 156–165, 2024, doi: 10.32520/jupel.v6i1.3089.

14. Kurnia and I. G. A. Widyadana, "Identifikasi dan Eliminasi Pemborosan dengan Menggunakan Kombinasi Metode Value Stream Mapping (VSM) dan Cost Time Profile (CTP): Studi Kasus di PT Sabe Indonesia," *Dimensi Utama Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 168–183, 2022, doi: 10.9744/duts.9.2.168-183.
15. M. Maulana, E. Suhendar, and A. T. Prasasty, "Penerapan Lean Management untuk Meminimasi Waste pada Lini Produksi CV Mandiri Jaya dengan Metode WAM dan VALSAT," *Jurnal Optimasi Teknik Industri (JOTI)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.30998/joti.v5i1.13747.
16. W. D. Nugroho and A. Z. Al Faritsy, "Meminimasi Waste Proses Produksi dengan Pendekatan Lean Manufacturing," *Jurnal Aplikasi Ilmu Teknik Industri (JAPTI)*, vol. 5, no. 1, pp. 40–52, 2024, doi: 10.32585/japti.v5i1.5208.
17. C. Moreira, L. M. D. F. Ferreira, and P. Silva, "A Case Study on FMEA-Based Improvement for Managing New Product Development Risk," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 38, no. 5, pp. 1130–1148, 2021, doi: 10.1108/IJQRM-06-2020-0201.
18. Y. D. N. Ariska and E. Aryanny, "Analisis Tingkat Pemborosan Waktu Pelayanan Poli Mata dengan Value Stream Mapping dan Value Stream Analysis pada RSUD Muhammadiyah Ponorogo," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 57–73, 2023, doi: 10.58169/saintek.v2i1.136.
19. S. Adiansyah and A. Z. Al Faritsy, "Perancangan Sistem Kanban untuk Mengurangi Work in Process di Lantai Produksi," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 3, no. 2, pp. 151–159, 2024, doi: 10.55826/jtmit.v3i2.324.
20. M. Suparman *et al.*, "Mengenal Aplikasi Figma untuk Membuat Content Menjadi Lebih Interaktif di Era Society 5.0," *Abdi Jurnal Publikasi*, vol. 1, no. 6, pp. 552–555, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.portalpublikasi.id/index.php/AJP/article/view/283>