

Lean Manufacturing In Reducing Waste In The Concrete Industry With VSM And VALSAT Methods

[Lean Manufacturing Dalam Mengurangi Waste Pada Industri Beton Dengan Metode VSM Dan VALSAT]

Rakha Andhika Nawawi¹⁾, Hana Catur Wahyuni^{*,2)}

¹⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: hanacatur@umsida.ac.id

Abstract. PT XYZ, a producer of precast concrete such as Corrugated Concrete Sheet Piles (CCSP), faced production wastage that hindered target achievement. Production only met the target in some weeks, while in other weeks the results were lower, such as week 2 (58/60 units) and week 9 (67/70 units). This study uses Lean Manufacturing with VSM and VALSAT to identify waste and improve efficiency. The main waste was inappropriate processing due to the absence of structured SOPs and inefficient workflow. Improvement solutions such as production process redesign and new SOPs successfully reduced activities from 31 to 21, decreased cycle time from 1038.92 to 889.54 minutes, and increased value-added activities from 79.42% to 95.03%. Lean Manufacturing proved to be effective in reducing waste and increasing productivity.

Keywords - Lean Manufacturing; Value Stream Mapping; Value Stream Analysis Tools; Production Efficiency; Waste

Abstrak. PT. XYZ, produsen beton pracetak seperti Corrugated Concrete Sheet Piles (CCSP), menghadapi pemborosan produksi yang menghambat pencapaian target. Produksi hanya memenuhi target pada beberapa minggu, sementara di minggu lain hasilnya lebih rendah, seperti minggu ke-2 (58/60 unit) dan minggu ke-9 (67/70 unit). Penelitian ini menggunakan Lean Manufacturing dengan VSM dan VALSAT untuk mengidentifikasi pemborosan dan meningkatkan efisiensi. Pemborosan utama adalah inappropriate processing akibat ketiadaan SOP terstruktur dan alur kerja tidak efisien. Solusi perbaikan seperti desain ulang proses produksi dan SOP baru berhasil mengurangi aktivitas dari 31 menjadi 21, menurunkan waktu siklus dari 1038,92 menjadi 889,54 menit, dan meningkatkan aktivitas bernilai tambah dari 79,42% menjadi 95,03%. Lean Manufacturing terbukti efektif dalam mengurangi pemborosan dan meningkatkan produktivitas.

Kata Kunci - Lean Manufacturing; Value Stream Mapping; Value Stream Analysis Tools; Efisiensi Produksi; Pemborosan

I. PENDAHULUAN

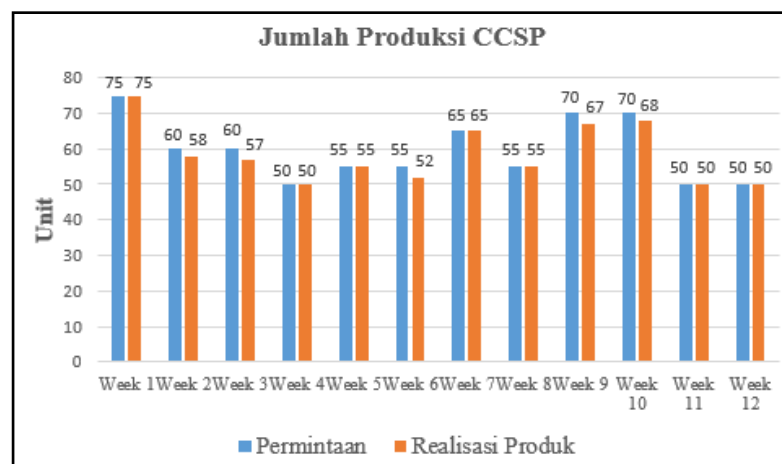
Saat ini, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, terutama di sektor industri, semakin cepat, mengakibatkan persaingan yang semakin ketat antar industri sejenis, sehingga produktivitas menjadi strategi penting untuk meningkatkan proses produksi, yang diukur dari efektivitas dan efisiensi perusahaan dalam menjalankan produksinya, di mana semakin efisien sistem produksinya, semakin sedikit waste yang dihasilkan[1]. Banyak industri di negara maju yang menerapkan *lean manufacturing* menunjukkan hasil yang signifikan[2]. *Lean* merupakan upaya berkelanjutan untuk mengurangi waste dan meningkatkan nilai tambah produk (barang/jasa) guna memberikan nilai kepada pelanggan. *Lean* berfokus pada identifikasi dan penghilangan aktivitas yang tidak menambah nilai dalam desain produksi (untuk sektor manufaktur) atau operasi (untuk sektor jasa) serta manajemen rantai pasokan, yang berhubungan langsung dengan pelanggan[3].

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang konstruksi dan pengembangan infrastruktur di Indonesia. Perusahaan ini juga memproduksi berbagai produk konstruksi, seperti beton pracetak putar dan beton pracetak non putar. Salah satu produk yang dihasilkan di PT. XYZ adalah beton pracetak non putar CCSP (Corrugated Concrete Sheet Piles). CCSP merupakan dinding vertikal yang memiliki ketebalan cukup tipis, dirancang untuk menahan tekanan tanah dan mencegah masuknya air ke dalam lubang galian[4]. Penggunaan produk CCSP semakin populer karena efektif menahan tanah di tepi sungai agar tidak tergerus aliran air[5]. Dengan demikian, produk ini membantu mengurangi risiko banjir yang disebabkan oleh pendangkalan sungai[4].

PT. XYZ bertujuan untuk memperkuat posisinya sebagai pemimpin pasar yang terpercaya di industri beton pracetak, baik di tingkat nasional maupun internasional. Untuk itu perusahaan harus siap menghadapi persaingan yang semakin ketat antar industri sejenis, sehingga produktivitas menjadi strategi penting untuk meningkatkan proses produksi, yang diukur dari efektivitas dan efisiensi perusahaan dalam menjalankan produksinya, di mana semakin efisien sistem produksinya, semakin sedikit waste yang dihasilkan[1]. Banyak industri di negara maju yang

menerapkan *lean manufacturing* menunjukkan hasil yang signifikan[2]. *Lean* merupakan upaya berkelanjutan untuk mengurangi *waste* di sepanjang proses produksinya dan meningkatkan nilai tambah produk (barang/jasa) untuk memberikan keuntungan kepada konsumen[6]. *Lean* berfokus pada identifikasi dan penghilangan aktivitas yang tidak menambah nilai dalam desain produksi (untuk sektor manufaktur) atau operasi (untuk sektor jasa) serta manajemen rantai pasokan, yang berhubungan langsung dengan pelanggan[3].

Namun, dalam proses produksi CCSP, PT. XYZ mengalami beberapa masalah yang dapat menyebabkan pemborosan dan penurunan efisiensi, sehingga berisiko tidak memenuhi target jumlah produksi yang diharapkan. Pada Gambar 1, terlihat bahwa jumlah produksi yang memenuhi target permintaan hanya tercapai pada minggu 1, 4, 5, 7, 8, 11, dan 12, sementara pada minggu lainnya, produksi tidak mencapai angka target yang telah ditetapkan. Misalnya pada minggu ke-2 untuk target produksi sebanyak 60 *unit* tetapi yang terlealisasikan hanya sebanyak 58 *unit*, pada minggu ke-3 untuk target produksi sebanyak 60 tetapi yang terlealisasikan hanya sebanyak 57 *unit*, pada minggu ke-6 untuk target produksi sebanyak 55 tetapi yang terlealisasikan hanya sebanyak 52 *unit*, pada minggu ke-9 untuk target produksi sebanyak 70 tetapi yang terlealisasikan hanya sebanyak 67 *unit*, pada minggu ke-10 untuk target produksi sebanyak 70 tetapi yang terlealisasikan hanya sebanyak 68 *unit*. Ketidakteraturan target mingguan dalam perusahaan *Make to Order* (MTO) seperti PT. XYZ disebabkan oleh fluktuasi permintaan pelanggan, variasi spesifikasi produk, serta waktu tunggu bahan baku. Karena produksi hanya dilakukan berdasarkan pesanan, target produksi mingguan tidak bisa tetap dan akan selalu berubah sesuai dengan kondisi pesanan yang diterima. Menurut hasil observasi, ketidakcapaian jumlah permintaan disebabkan oleh pemborosan (*waste*) berupa pemrosesan berlebih (*inappropriate processing*) yang tidak terlalu efisien terjadi pada beberapa proses produksi. Pemrosesan berlebih (*inappropriate processing*) mengakibatkan bertambahnya waktu siklus (*cycle time*). Pemborosan *inappropriate processing* dalam penelitian ini mengacu pada aktivitas produksi yang tidak efisien atau tidak perlu, yang menyebabkan waktu siklus lebih lama dan penggunaan sumber daya yang tidak optimal. Hasil observasi menunjukkan bahwa pembuatan lima produk (satu *line*) beton CCSP membutuhkan waktu siklus 17 jam, 2 jam lebih lama dari standar waktu siklus 15 jam yang ditetapkan perusahaan. Efisiensi disini jika menurut data dapat dikatakan turun dari 93% menjadi 88%. Untuk memenuhi target produksi, PT. XYZ perlu mengidentifikasi aktivitas atau proses yang memberikan nilai tambah pada produk serta mengeliminasi aktivitas atau proses yang tidak diperlukan, sehingga dapat menghindari pemborosan[7].



Gambar 1. Diagram Produksi Beton CCSP
(Sumber: PT. XYZ, 2024)

Untuk mengatasi masalah yang ada, akan diterapkan metode *lean manufacturing* guna mengidentifikasi pemborosan selama proses produksi. *Lean manufacturing* dimaksudkan untuk mengurangi *waste* dan memaksimalkan penggunaan sumber daya[8]. Setelah itu menentukan alat untuk analisis *waste* dengan metode VSM untuk memetakan aliran proses sehingga diketahui berapa banyak *Non Value Added* (NVA) dan *leadtime existing*[9]. Dan metode VALSAT (*Value Stream Analysis Tools*) digunakan untuk memilih alat analisis aliran proses sebagai panduan untuk mengidentifikasi pemborosan dan dapat menganalisis pemborosan secara rinci dalam aliran nilai dengan fokus. Secara prinsip, alat analisis aliran nilai digunakan untuk menggambarkan aliran nilai dan proses nilai tambah secara terperinci. Pemetaan yang mendetail ini berguna untuk mengidentifikasi penyebab pemborosan[10].

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dijadikan rujukan untuk menjadi pendukung penelitian ini antara lain penelitian Rakhmasari[11] yang membahas perampingan proses produksi untuk meningkatkan efisiensi karena terjadi permintaan produk yang meningkat setelah pandemi menyebabkan perusahaan tidak dapat memenuhi pesanan sesuai dengan target yang diharapkan dengan menggunakan metode VSM. Penelitian dari Firdaus[12] menggunakan konsep *lean manufacturing* mengutamakan analisis terhadap aliran arus dalam proses produksi *steel*

door dan menyusun peta pemborosan atau *waste* yang ada, dengan mengenali kegiatan-kegiatan yang memiliki nilai tambah maupun yang tidak. Selanjutnya penelitian dari Fannysia[13] membahas masalah di PT. Perkasa Primarindo, ketidakmampuan perusahaan untuk memenuhi target produksi secara optimal dianalisis menggunakan metode VALSAT, yang berfungsi untuk menilai pemborosan awal, pemborosan dominan, *lead time* aktivitas produksi, dan memberikan rekomendasi perbaikan.

Pada penelitian ini terdapat perbedaan dari penelitian terdahulu yakni dengan menggunakan integritas dua metode yaitu metode VSM yang digunakan untuk menggambarkan proses aliran material dan informasi yang diperlukan dalam proses produksi dari tahap awal hingga tahap akhir dan metode VALSAT yang digunakan untuk untuk memilih alat dari pemetaan aliran proses yang nantinya akan digunakan sebagai pedoman dalam mengidentifikasi pemborosan (*waste*). Diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran perusahaan untuk mengurangi pemborosan yang terjadi yang mengakibatkan bertambahnya waktu siklus dalam proses produksi beton CCSP. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui aktivitas yang dapat digolongkan sebagai *value added*, *non-value added*, serta *non-necessary value added* dalam proses produksi beton CCSP (2) identifikasi faktor penyebab pemborosan utama dalam proses produksi beton (3) untuk mengevaluasi hasil peningkatan *value added* produk beton setelah penerapan *lean manufacturing* (4) rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan oleh perusahaan.

II. METODE

Penelitian dilakukan selama enam bulan di PT. XYZ ini menggunakan metode observasi, wawancara, dan kuisioner untuk mengumpulkan data. Observasi dilakukan dengan mengamati proses produksi beton, mencatat data *cycle time* dan *lead time* untuk metode VSM (*Value Stream Mapping*), serta mengidentifikasi hambatan dalam mencapai target produksi. Wawancara dilakukan dengan kepala pengawas dan karyawan yang terlibat langsung, mencakup informasi produksi dan potensi pemborosan. Data wawancara digunakan untuk menyusun kuisioner yang berfungsi membobotkan *waste* untuk analisis metode VALSAT (*Value Stream Analysis Tools*). Kuisioner dibuat sistematis dengan kriteria terstruktur dan diisi oleh responden yang memahami proses produksi beton CCSP. Dalam penelitian ini untuk mengurangi *waste* akan menggunakan konsep *lean manufacturing* dengan menggunakan alat analisis VSM dan VALSAT. Tabel 1 merupakan tabel *seven waste* yang berpotensi mengakibatkan pemborosan berupa bertambahnya waktu siklus saat proses produksi beton CCSP di PT. XYZ.

Tabel 1. Identifikasi *Waste*

No.	Jenis <i>Waste</i>	Pemborosan yang Terjadi
1.	<i>Overproduction</i> : Adanya produksi yang berlebih yang berbentuk dalam barang jadi maupun barang setengah jadi tetapi tidak ada <i>order</i> dari <i>customer</i> .	• Produksi beton melebihi jumlah yang dipesan oleh pelanggan.
2.	<i>Waiting/Delay</i> : pemborosan yang terjadi karena saat seorang atau mesin tidak melakukan pekerjaan. Menunggu dapat dikarenakan adanya kerusakan mesin maupun penumpukan produk.	• Adanya operator yang berhenti bekerja karena kekurangan material • Adanya perbaikan mesin
3.	<i>Transportation</i> : Pemborosan yang terjadi karena pergerakan berlebih dari orang, produk, atau material yang disebabkan oleh <i>layout</i> yang kurang baik.	• Jarak mesin satu dengan mesin lainnya berjauhan • Penggunaan alat pemindah material tidak efisien
4.	<i>Innapropriate Processing</i> : Pemborosan yang terjadi akibat dari proses –proses yang tidak memberikan nilai tambah karena prosedur dalam produksi salah dan tidak sesuai.	• Adanya pengerjaan yang menunggu pekerjaan sebelumnya selesai • Proses yang terlalu kompleks atau langkah tambahan yang tidak memberikan nilai tambah.

- | | |
|--|--|
| 5. <i>Unnecessary Inventory</i> : Pemborosan yang terjadi karena akumulasi barang jadi maupun bahan mentah yang berlebih sehingga mengakibatkan peningkatan biaya. | • Terjadi penumpukan digudang |
| 6. <i>Unnecessary Motion</i> : Pemborosan yang terjadi karena gerakan pekerja atau mesin yang tidak efisien dan tidak memiliki nilai tambah sehingga terganggunya <i>lead time</i> produksi. | • Gerakan pekerja yang tidak efisien, seperti mencari alat atau memindahkan bahan secara manual. |
| 7. <i>Defect</i> : Pemborosan yang terjadi karena kesalahan yang terjadi saat proses pengerjaan, sehingga kualitas produk yang dihasilkan buruk dan adanya kerusakan. | • Beton cacat seperti retak, dimensi tidak sesuai, atau kekuatan tidak memenuhi standar. |

1. Uji Kecukupan dan Keseragaman Data

Uji keseragaman data bertujuan memastikan bahwa data yang diperoleh berasal dari sistem yang konsisten. Berikut rumus uji keseragaman data[14] :

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2)$$

$$BKA = \bar{x} + k\sigma \quad (3)$$

$$BKB = \bar{x} - k\sigma \quad (4)$$

Sumber: [14]

Keterangan:

BKA = Batas kendali atas

BKB = Batas kendali bawah

$\bar{x}$ = Nilai rata-rata

σ = Standar deviasi

k = Tingkat kepercayaan

Uji kecukupan data dilakukan untuk mengevaluasi apakah data yang dikumpulkan, yang merupakan sampel dari pengukuran waktu kerja dalam kondisi terbatas, sudah mencukupi untuk analisis lebih lanjut. Berikut rumus uji keseragaman data[14] :

$$N' = \left(\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (5)$$

Sumber: [14]

Keterangan:

N' = Jumlah observasi yang dibutuhkan

N = Jumlah observasi aktual yang dilakukan

k = Koefisien

s = Derajat ketelitian

2. Metode Borda

Metode voting Borda digunakan dalam pengambilan keputusan kelompok untuk menentukan satu atau lebih pemenang. Metode ini memberikan poin tertentu kepada setiap kandidat berdasarkan urutan pilihannya. Total poin yang diperoleh masing-masing kandidat digunakan untuk menentukan pemenang. Pendekatan Borda menghasilkan keputusan dengan memilih opsi yang memiliki skor tertinggi setelah seluruh poin diproses. Teknik ini mempertimbangkan kompleksitas pemilihan dalam sistem suara[15].

Tahapan perhitungan menggunakan metode Borda adalah sebagai berikut[15]:

- Menyusun kuesioner pemborosan dengan skala 1 hingga 7.
- Menyebarkan kuesioner kepada responden.
- Merekapitulasi hasil kuesioner.
- Memberikan bobot pada nilai setiap jawaban.
- Menghitung peringkat setiap pemborosan berdasarkan bobot yang diberikan.
- Menyajikan hasil akhir menggunakan metode Borda.

3. Lean Manufacturing

Definisi *lean manufacturing* dapat berbeda-beda, tetapi secara umum, *lean manufacturing* adalah pendekatan terstruktur untuk mengurangi semua aktivitas yang tidak memberikan nilai, dengan fokus pada perbaikan berkelanjutan guna meningkatkan kepuasan pelanggan[16][17]. Dalam pelaksanaannya, konsep *lean manufacturing* memiliki beberapa langkah sebagai berikut[17]: menemukan pemborosan (*waste*), mengelompokkan dan mengidentifikasi penyebab utama pemborosan, memilih alat *lean* untuk mengurangi penyebab utama *waste*, melakukan uji coba dan penerapan alat penilaian *lean*.

4. Value Stream Mapping (VSM)

Salah satu metode dalam *lean* adalah *Value Stream Mapping* (VSM). VSM berfungsi sebagai alat manajemen untuk menggambarkan dan menganalisis aliran material serta informasi yang dibutuhkan dalam proses produksi dari awal hingga akhir. Alat ini membantu dalam mengidentifikasi pemborosan, memperbaiki aliran kerja, dan mengoptimalkan proses produksi. Di industri manufaktur, VSM terbukti efektif dalam mengurangi waktu siklus, menekan biaya, dan meningkatkan kualitas[18]. Berikut adalah langkah-langkah dalam pembuatan *value stream mapping* (VSM)[19]: mengidentifikasi dan memetakan semua pihak yang terlibat dalam proses produksi, menggambarkan setiap proses dalam VSM serta menentukan arah dan jenis informasi yang mengalir dari setiap proses tersebut, menyertakan jumlah operator, menghitung waktu dengan mengalikan jumlah produk dalam satu *batch* dengan rata-rata waktu penyelesaian untuk satu *unit*, membuat diagram waktu untuk aktivitas yang bernilai tambah dan yang tidak bernilai tambah di bagian bawah VSM, kemudian menghitung rasio nilai tambah, yang merupakan persentase dari total kegiatan yang memberikan nilai tambah.

5. Value Stream Analysis Tools (VALSAT)

Value Stream Analysis Tool (VALSAT) adalah perangkat yang digunakan untuk melakukan pemetaan rinci berdasarkan jenis pemborosan yang ditemukan di perusahaan. *Value stream mapping* yang dipilih adalah hasil dari VALSAT dengan skor tertinggi, yang akan digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan secara mendetail. Pemilihan ini didasarkan pada fakta bahwa *mapping* dengan nilai tertinggi tersebut paling cocok untuk mengidentifikasi pemborosan dalam *value stream*[20]. Metode ini mempunyai urutan tahap sebagai berikut[21]:

- Menjumlahkan hasil dari kuisioner tingkat keseringan terjadinya *waste*
- Mempersiapkan tabel *seven stream mapping tools*

Tabel 2. Seven Stream Mapping Tools [22][23][24][25]

Wastes/Structure	Mapping Tool						
	Process Activity Mapping	Supply Chain Response Matrix	Production Variety Funnel	Quality Filter Mapping	Demand Amplification Mapping	Decision Point Analysis	Physical Structure (a)voleme (b)value
Overproduction	L	M		L	M	M	
Waiting	H	H	L		M	M	
Transport	H						L
Inappropriate Processing	H		M	L		L	
Unnecessary Inventory	M	H	M		H	M	L
Unnecessary Motion	H	L					
Defects	L			H			
Overall Structure	L	L	M	L	H	M	H

Notes: H = High Correlation and Usefulness (9)
M = Medium Correlation and Usefulness (3)
L = Low Correlation and Usefulness (1)

- Melakukan perhitungan pada tabel *seven stream mapping tools*

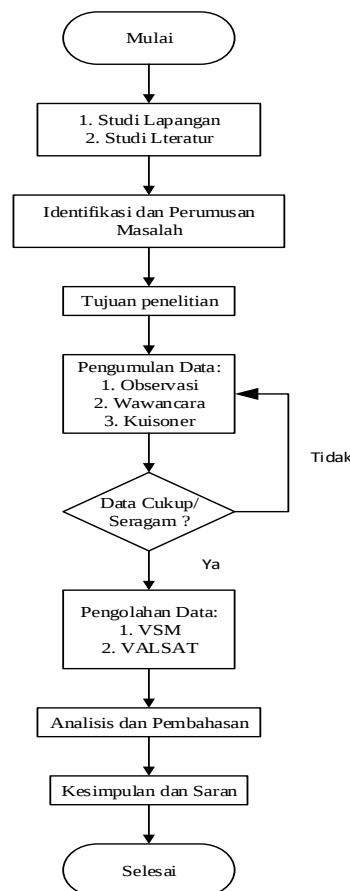
$$\text{VALSAT} = \text{Bobot waste} \times \text{Nilai Korelasi (H, M, L)} \quad (6)$$

Sumber: [21][23][24][25]

$$\text{Bobot waste didapatkan dari} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (7)$$

Sumber: [21][23][24][25]

- Merekap hasil perhitungan.
- Menentukan *tools* pada tabel *seven stream mapping tools* dengan memilih hasil total perhitungan terbesar



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Dari gambar 2 diketahui penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan proses produksi beton CCSP di PT. XYZ melalui penerapan *lean manufacturing* menggunakan metode VSM dan VALSAT. Langkah-langkahnya meliputi studi lapangan, studi literatur, identifikasi masalah, dan perumusan tujuan, yaitu mengurangi aktivitas *non-value added* dan meningkatkan nilai tambah produk. Data dikumpulkan melalui wawancara, kuisioner, observasi, dan studi pustaka, kemudian diuji dan diolah untuk menghasilkan *current value stream mapping*, analisis VALSAT, dan usulan *future value stream mapping*. Analisis dilakukan menggunakan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi akar masalah, dan rekomendasi perbaikan diberikan berdasarkan hasil analisis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan *lean manufacturing* dan metode *Value Stream Mapping* (VSM) dan metode *Value stream Analysis Tools* (VALSAT) serta menggunakan *fishbone diagram* untuk menganalisis akar penyebab pemborosan utama yang terjadi disepanjang aliran proses produksi beton CCSP di PT. XYZ.

Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan waktu baku untuk menentukan durasi yang diperlukan untuk setiap aktivitas, dengan menggunakan 5 sampel data waktu yang diambil menggunakan *stopwatch*, yang kemudian data pengukuran tersebut akan diproses lebih lanjut untuk kepentingan penelitian. Setelah data dikumpulkan, dilakukan pengujian keseragaman dan kecukupan data. Pengujian keseragaman data dilakukan dengan tingkat kepercayaan 95% dan tingkat ketelitian 5%. Berikut adalah perhitungan uji keseragaman data menggunakan rumus persamaan 1, 2, 3, 4:

- a. Menghitung Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(20,45 - 20,47)^2 + (20,43 - 20,47)^2 + (20,48 - 20,47)^2 + (20,52 - 20,47)^2 + (20,47 - 20,47)^2}{5-1}}$$

$$\sigma = 0,03$$

- b. Menghitung BKA dan BKB

$$\begin{aligned}
 BKA &= \bar{x} + k\sigma \\
 BKA &= 20,47 + (2 \times 0,03) \\
 BKA &= 20,54 \\
 \bar{x} &= 20,47 \\
 BKB &= \bar{x} - k\sigma \\
 BKB &= 20,47 - (2 \times 0,03) \\
 BKB &= 20,40
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, uji kecukupan data dilakukan untuk memastikan apakah jumlah sampel yang diambil sudah memadai. Data dianggap cukup jika hasil perhitungan uji kecukupan lebih kecil dari jumlah sampel yang dikumpulkan ($N' < N$). Berikut ini adalah hasil perhitungan kedua uji tersebut. Berikut adalah perhitungan uji keseragaman data menggunakan rumus persamaan 5 :

$$\begin{aligned}
 N' &= \left(\frac{\frac{k}{2} \sqrt{N \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \\
 N' &= \left(\frac{\frac{2}{0,05} \sqrt{5 \times 2095,11 - 10475,52}}{102,35} \right)^2 \\
 N' &= 0,00
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan uji kecukupan dan keseragaman data dari setiap proses operasi, maka hasil secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 3. Rekapitulasi Uji Kecukupan dan Keseragaman Data

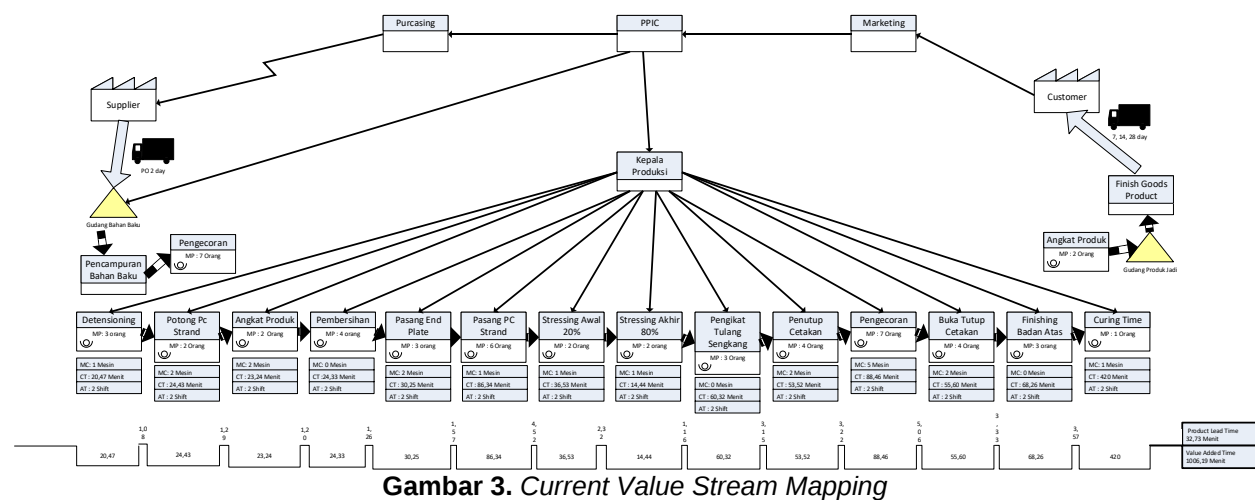
No	Alur Proses Produksi	1	2	Pengamatan 3	4	5	Total	$(\sum x)^2$	$\sum x^2$	σ	N'	BKA	Rata-rata	BKB
1	Release Produk (Detensioning)	20,45	20,43	20,48	20,52	20,47	102,35	10475,52	2095,11	0,03	0,00	20,54	20,47	20,40
		1,11	1,08	1,02	1,12	1,07	5,4	29,16	5,84	0,04	1,70	1,16	1,08	1,00
2	Pemotongan PC strand	24,55	24,43	24,39	24,43	24,35	122,15	14920,62	2984,15	0,07	0,01	24,58	24,43	24,28
		1,3	1,29	1,23	1,32	1,31	6,45	41,60	8,33	0,04	0,96	1,36	1,29	1,22
3	Pengangkatan Produk	23,28	23,26	23,17	23,25	23,24	116,2	13502,44	2700,50	0,04	0,00	23,32	23,24	23,16
		1,2	1,21	1,22	1,19	1,18	6	36	7,20	0,02	0,22	1,23	1,2	1,17
4	Pembersihan dan Pelumasan Cetakan	24,36	24,33	24,36	24,3	24,3	121,65	14798,72	2959,75	0,03	0,00	24,39	24,33	24,27
		1,26	1,27	1,26	1,24	1,27	6,3	39,69	7,94	0,01	0,12	1,28	1,26	1,24
5	Pemasangan End Plate	30,22	30,26	30,26	30,28	30,23	151,25	22876,56	4575,31	0,02	0,00	30,30	30,25	30,20
		1,57	1,57	1,55	1,59	1,57	7,85	61,6225	12,33	0,01	0,10	1,60	1,57	1,54
6	Pemasangan Rakitan Tulang Kepala dan PC Strand	86,34	86,35	86,33	86,33	86,35	431,7	186364,9	37272,98	0,01	1,72E-05	86,36	86,34	86,32
		4,55	4,52	4,52	4,5	4,51	22,6	510,76	102,15	0,02	0,02	4,56	4,52	4,48
7	Stressing Awal 20%	36,53	36,56	36,54	36,5	36,52	182,65	33361,02	6672,21	0,02	0,00	36,57	36,53	36,49
		2,31	2,32	2,33	2,34	2,3	11,6	134,56	26,91	0,02	0,06	2,35	2,32	2,29
8	Stressing Akhir 80%	14,48	14,46	14,43	14,43	14,42	72,2	5215,7	1043,15	0,03	0,00	14,49	14,44	14,39
		1,21	1,16	1,17	1,13	1,13	5,8	33,64	6,73	0,03	1,05	1,23	1,16	1,09
9	Pengikat Tulangan Sengkang dan Titik Angkat	60,29	60,33	60,35	60,3	60,33	301,6	90962,56	18192,51	0,02	0,00	60,37	60,32	60,27
		3,16	3,12	3,16	3,15	3,16	15,75	248,06	49,61	0,02	0,04	3,18	3,15	3,12
10	Penutupan Cetakan	53,49	53,55	53,5	53,54	53,52	267,6	71609,76	14321,95	0,03	0,00	53,57	53,52	53,47
		3,23	3,22	3,22	3,23	3,2	16,1							

		3,59	3,56	3,58	3,55	3,57	17,85	318,62	63,73	0,02	0,03	3,60	3,57	3,54
14	Curing	420	420	420	420	420	2100	4410000	882000	0	0	420	420	420
	Total	1039,26	1039,03	1038,83	1038,87	1038,63	5194,62						1038,92	

Hasil uji keseragaman data menunjukkan bahwa seluruh data pengukuran waktu proses pada setiap elemen kerja berada dalam rentang Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB), sehingga data dapat dianggap seragam. Jika data berada di luar rentang BKA dan BKB, data akan dibuang dan uji keseragaman diulang. Uji kecukupan data juga menunjukkan bahwa seluruh nilai $N' < N$, sehingga seluruh data pengukuran waktu proses dapat dianggap cukup untuk analisis.

1. Membuat Current Value Stream Mapping

Current Value Stream Mapping (CVSM) merupakan suatu gambaran proses produksi aktual yang meliputi aliran informasi dan material. Tujuan pemetaan ini adalah untuk mengidentifikasi seluruh jenis pemborosan yang terjadi di sepanjang aliran proses produksi serta untuk mengambil langkah perbaikan dalam upaya mengeliminasi pemborosan tersebut, yang akan dirancang dalam bentuk peta Future Value Stream Mapping (FVSM). Adapun Current Value Stream Mapping pada aliran proses produksi beton CCSP pada PT. XYZ pada gambar 3.



Gambar 3. Current Value Stream Mapping

Current value stream mapping (peta awal) menggambarkan kondisi perusahaan sebelum dilakukan perbaikan. Peta ini, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3, digunakan untuk memperoleh waktu siklus berdasarkan data seperti cycle time, lead time, jumlah operator, dan alur proses produksi. Berdasarkan gambar 3, lead time proses produksi tercatat sebesar 32,73 menit, sementara cycle time mencapai 1006,19 menit.

2. Melakukan Pembobotan Waste dengan Metode VALSAT

Terdapat tujuh jenis pemborosan yang dapat merugikan perusahaan, yaitu *overproduction*, *time waiting*, *transport*, *inappropriate processing*, *unnecessary inventory*, *unnecessary motion*, dan *product defect*. Berdasarkan wawancara dan pengisian kuesioner pada setiap tahap proses produksi tahu di PT. XYZ, pemborosan yang paling sering terjadi adalah *inappropriate processing*. Analisis proses dilakukan menggunakan Value Stream Analysis Tools (VALSAT), dengan hasil perhitungan pemilihan tools ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pembobotan Waste

No	Waste	Skor						Total
		Kepala Pengawas 1	Kepala Pengawas 2	Karyawan	Karyawan	Karyawan	Operator	
1.	Overproduction	1	1	2	2	2	2	10
2.	Waiting	5	5	3	4	5	2	24
3.	Transportation	2	2	3	3	2	2	14
4.	Innapropriate Processing	5	6	5	4	3	3	26
5.	Unnecessary Inventory	2	1	2	2	2	2	11
6.	Unnecessary Motion	4	3	4	4	4	3	22

7.	Defects	2	2	2	3	3	1	13
----	---------	---	---	---	---	---	---	----

Setelah kondisi perusahaan digambarkan, analisis pemborosan dilakukan menggunakan alat bantu dari VALSAT. Tahap pertama melibatkan estimasi beban masing-masing jenis pemborosan berdasarkan tujuh kategori pemborosan. Tabel 4 menunjukkan total beban untuk setiap kategori pemborosan tersebut.

Total pemborosan pada tabel 4 menunjukkan bahwa pemborosan terbesar adalah *inappropriate processing* mencapai total skor 26, diikuti oleh *waiting* dengan total skor 24. Skor tertinggi ditemukan pada *waste inappropriate processing*, yaitu 26 poin. Hal ini disebabkan terdapat proses operasi yang tidak efisien selama proses produksi beton CCSP. Akibatnya, terjadi penambahan waktu siklus sehingga terdapat perbedaan dengan standar yang telah ditetapkan oleh PT. XYZ.

Tabel 5. Penentuan Penggunaan Tools

No	Waste	Total Skor	%	Process Activity Mapping	Supply Chain Response Matrix	Production Variety Funnel	Mapping Tools				Physical Structure
							Quality Filter Mapping	Demand Amplification Mapping	Decesion Point Analysis		
1	Overproduction	10	8,33%	0,08	0,25		0,08	0,25	0,25		
2	Waiting	24	20,00%	1,80	1,80	0,20		0,60	0,60		
3	Transportation										

Tabel 5 menunjukkan hasil penggunaan alat VALSAT, yaitu *process activity mapping* (PAM), dengan total bobot sebesar 3,92. Oleh karena itu, perbaikan proses produksi beton CCSP di PT. XYZ akan dilakukan menggunakan pendekatan PAM.

PAM memetakan waktu, jumlah operator, dan lima jenis aktivitas, yaitu operasi (O), transportasi (T), pemeriksaan (I), penyimpanan (S), dan menunggu (D). Berdasarkan aktivitas perusahaan, data jumlah dan kategori aktivitas dapat diperoleh, seperti yang ditampilkan pada tabel 6. Kegiatan diklasifikasikan menjadi VA (*Value Added*) yang memberikan nilai tambah, NVA (*not value added*) yang tidak memberikan nilai tambah, dan NNVA (*Non Necessary Value Added*) yang diperlukan tetapi tidak memberikan nilai tambah.

Tabel 6. Process Activity Mapping

No	Proses	Aktivitas	Mesin/Alat	Jarak (M)	Waktu (menit)	Jumlah Tenaga Kerja	Aktivitas					VA/NVA/NNVA
							O	T	I	S	D	
1	Release Produk (Detensioning)	Mengendorkan PC strand	Anchoring system		20,47	2	●					NNVA
		Menyiapkan alat potong PC strand			1,08	1		●			NVA	
2												

		Selanjutnya masuk ke tahap pemasangan end plate		1,26		●		NVA
5	Pemasangan End Plate	Memasang end plate kedua sisi cetakan	Bor Tangan dan Portal Crane	30,25	3	●		NNVA
		Selanjutnya masuk ke tahap pemasangan PC strand		1,57		●		NVA
6	Pemasangan Rakitan Tulang Kepala dan PC Strand	Memasang PC strand dan tulangan kepala	Anchoring System	86,34	6	●		VA
		Selanjutnya masuk ke tahap stressing awal		4,52		●		NVA
7	Stressing Awal 20%	Melakukan penarikan PC Strand dengan kekuatan 20%	Hydraulic Jack	36,53	2	●		VA
		Selanjutnya masuk ke tahap stressing akhir		2,32		●		NVA
8	Stressing Akhir 80%	Melakukan penarikan PC Strand dengan kekuatan 80%	Hydraulic Jack	14,44	2	●		VA
		Selanjutnya masuk ke tahap tulangan sengkang		1,16		●		NVA
9	Pengikat Tulangan Sengkang dan Titik Angkat	Memasang tulangan sengkang dan titik angkat		60,32	3	●		VA
		Selanjutnya masuk ke tahap penutupan cetakan		3,15		●		NVA
10	Penutupan Cetakan	Memasang penutup cetakan dan baut	Portal Crane dan Bor Tangan	53,52	4	●		NNVA
		Selanjutnya masuk ke tahap pengecoran		3,22		●		NVA
		Melakukan uji adonan beton	Slump Test Batchin g Plant, Vribator	1	1		●	VA
11	Pengecoran	Melakukan tahap pengecoran	Trolley, dan Portal Crane	87,46	7	●		VA
		Selanjutnya masuk ke tahap pengangkatan tutup cetakan		5,06		●		NVA
12	Pengangkatan Tutup Cetakan	Melepaskan baut pada cetakan	Bor Tangan Portal Crane	43,39	2	●		NNVA
		Melepas penutup atas cetakan		12,21	2	●		NNVA
		Selanjutnya masuk ke tahap finishing		3,33		●		NVA
13	Finishing Badan dan Atas	Merapikan badan dan atas beton		68,26	3	●		VA
		selanjutnya masuk ke tahap curing beton		3,57		●		NVA
14	Curing	Perawatan beton	Sprayer Water	420	1		●	VA
Total				12	1038,92	14	142	1

Tabel 7. Rekapitulasi Total Aktivitas Pada Process Activity Mapping

Kategori	O	T	I	S	D	Total
VA	9		2		1	12
NVA		13				13
NNVA	5	1				6
Total	14	14	2	0	1	31

Keterangan:

O : Operasi

T : Transportasi
 I : Pemeriksaan
 S : Penyimpanan
 D : Menunggu

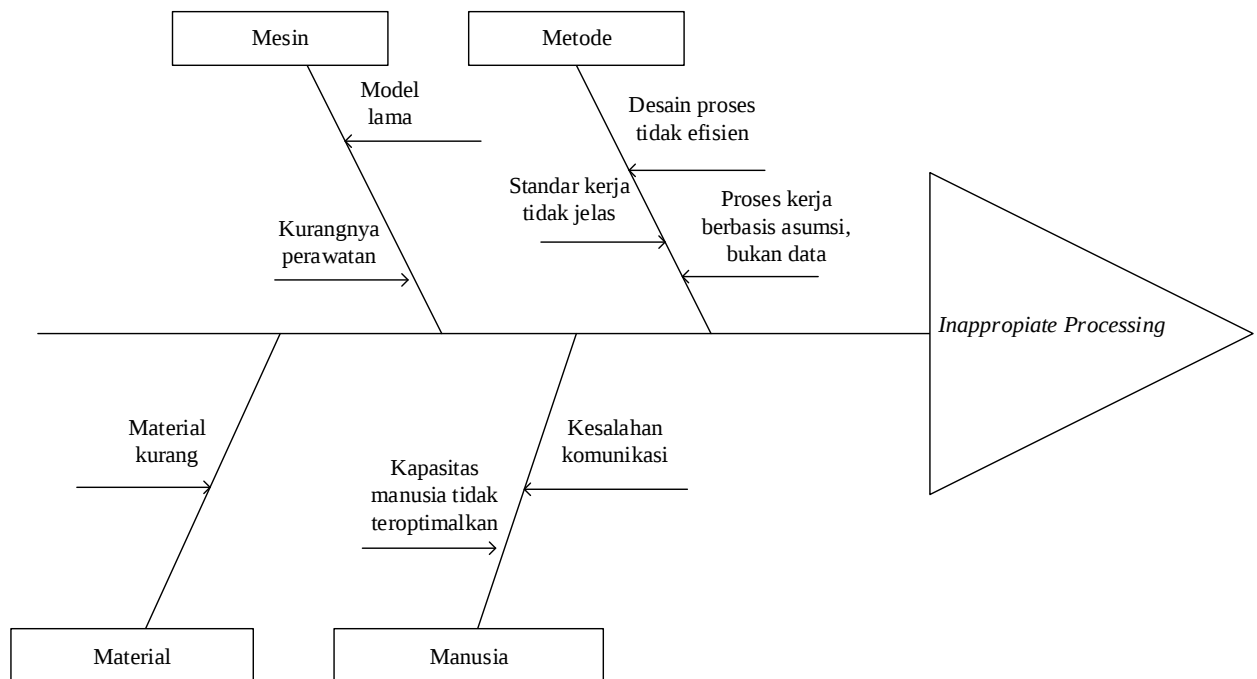
Tabel 8. Rekapitulasi Total Waktu Pada *process Activity Mapping*

Kategori	O	T	I	S	D	Total Waktu	Presentase
VA	402,11		3		420	825,11	79,42%
NVA		32,73				32,73	3,15%
NNVA	159,84	21,24				181,08	17,43%
Total	561,95	53,97	3	0	420	1038,92	1

Berdasarkan tabel 7 dan 8 data menunjukkan bahwa aktivitas nilai tambah (VA) memiliki proporsi terbesar, yaitu 79,42% dengan total 12 aktivitas, diikuti oleh aktivitas tidak menambah nilai langsung (NNVA) sebesar 17,43% dengan total 13 aktivitas, dan aktivitas tidak bernilai tambah (NVA) hanya 3,15% dengan total 12 aktivitas. Untuk meningkatkan efisiensi pada proses produksi beton CCSP, perlu dilakukan evaluasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah serta pengoptimalan aktivitas bernilai tambah. Dalam penelitian ini, analisis akar masalah dilakukan menggunakan *fishbone diagram*.

3. Usulan Perbaikan

Setelah diketahui hasil dari analisis menggunakan *process activity mapping*. Maka untuk mencari penyebab terjadinya pemborosan berupa *inappropriate processing* (proses yang tidak tepat) dan memberikan usulan perbaikan dilakukan dengan membuat *fishbone diagram*. Penerapan *fishbone diagram* sebagai alat analisis untuk mengetahui penyebab permasalahan penurunan efisiensi pada proses produksi beton CCSP. Adapun hasil *fishbone diagram* seperti gambar 4.



Gambar 4. *Fishbone Diagram Inappropriate Processing*

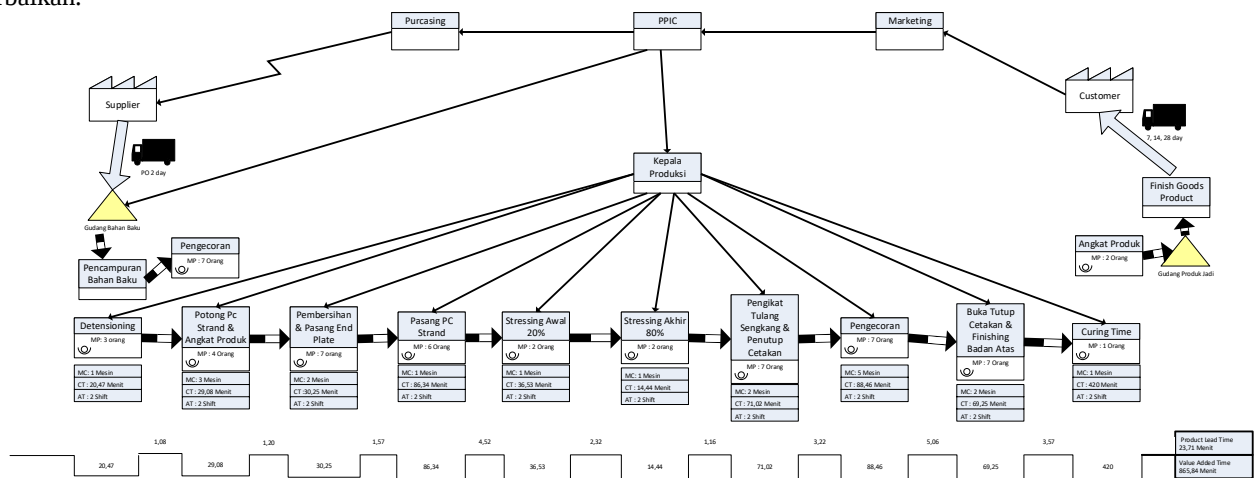
Pada gambar 4 pemborosan *inappropriate processing* dalam proses produksi beton CCSP di PT. XYZ dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu metode, manusia, mesin, dan material. Dari sisi metode, ketiadaan standar operasional prosedur (SOP) yang terstruktur serta alur kerja yang kurang efisien menjadi faktor utama penyebabnya. Pada aspek manusia, minimnya pelatihan bagi operator serta kesalahan kerja akibat kurangnya pemahaman atau konsentrasi turut menjadi kendala. Dari aspek mesin, efisiensi terganggu oleh peralatan yang sering mengalami kerusakan dan teknologi yang tidak sesuai dengan kebutuhan produksi. Sedangkan pada faktor material, kualitas bahan baku yang tidak stabil serta ketidaksesuaian jumlah material yang tersedia dengan kebutuhan menimbulkan waktu proses tambahan yang tidak diperlukan.

Hasil analisis dari *fishbone diagram* diusulkan untuk perbaikan proses produksi yang menyebabkan penurunan efisiensi atau terjadi perbedaan waktu siklus yang telah ditetapkan oleh PT. XYZ. Rekomendasi yang dapat diberikan antara lain:

- Pada aspek metode, perusahaan perlu membuat dan menerapkan SOP yang terstruktur serta melakukan evaluasi alur kerja untuk menghilangkan langkah yang tidak bernilai tambah[26].
- Pada faktor manusia, disarankan untuk mengadakan program pelatihan rutin bagi pekerja dan operator, khususnya terkait efisiensi kerja dan teknologi terbaru, serta menerapkan sistem monitoring dan evaluasi kinerja[27].
- Pada aspek mesin, pemeliharaan preventif perlu dilakukan secara berkala untuk mengurangi downtime, dan investasi dalam peralatan produksi modern yang lebih sesuai kebutuhan dapat meningkatkan efisiensi[28].
- Sedangkan untuk faktor material, perusahaan perlu menetapkan standar kualitas bahan baku, memilih pemasok yang terpercaya, dan memperbaiki sistem manajemen inventaris untuk memastikan ketersediaan material sesuai kebutuhan[29].

4. Membuat *Future Value Stream Mapping*

Setelah dilakukan usulan perbaikan khususnya pada faktor metode kerja pada proses produksi beton CCSP di PT. XYZ, yaitu mendesain ulang proses produksi. Selain itu, SOP baru dibuat untuk menyesuaikan dengan proses produksi yang diusulkan. Selanjutnya, dilakukan pemetaan *future value stream mapping* gambar 5 setelah memberikan solusi perbaikan.



Gambar 5. Future Value Stream Mapping

Tabel 9. Rekapitulasi Perbaikan Total Aktivitas Pada *Process Activity Mapping*

Kategori	O	T	I	S	D	Jumlah
VA	8		2		1	11
NVA		9				9
NNVA	1					1
Total	9	9	2	0	1	21

Tabel 10. Rekapitulasi Perbaikan Total Waktu Pada *process Activity Mapping*

Kategori	O	T	I	S	D	Total Waktu	Presentase
VA	422,37		3		420	845,37	95,03%
NVA		23,7				23,7	2,66%
NNVA	20,47					20,47	2,30%
Total	442,84	23,7	3	0	420	889,54	1

Hasil pemetaan *future value stream mapping* pada gambar 5 menunjukkan total waktu siklus setelah perbaikan sebesar 889,54 menit berbeda 149,36 menit dari total waktu siklus sebelum perbaikan. Pada tabel 9 menunjukkan terjadi perubahan total aktivitas setelah perbaikan yaitu dengan mendesain ulang pada proses produksi beton CCSP dengan total aktivitas 21 yang awalnya sebelum perbaikan memiliki 31 aktivitas dalam proses produksi beton CCSP. Berdasarkan perbandingan antara VA (*Value Added*), NNVA (*Non-Necessary Value Added*), dan NVA (*Non-Value Added*) pada tabel 10, terdapat peningkatan aktivitas yang memberikan nilai tambah. Aktivitas Value Added (VA) menghasilkan waktu proses sebesar 845,37 menit atau 95,03%, yang menunjukkan peningkatan dibandingkan

sebelum perbaikan dilakukan yaitu sebesar 79,42% atau meningkat sebesar 15,61% . Selain itu, aktivitas *Non-Value Added* (NVA) mengalami penurunan dari 3,15% menjadi 2,26%. Aktivitas *Non-Necessary Value Added* (NNVA) juga mengalami penurunan dari 17,43% menjadi 2,30%.

Perbedaan antara gambar 3 (CVSM) dan gambar 5 (FVSM) terletak pada efisiensi produksi sebelum dan sesudah perbaikan dengan *Lean Manufacturing*. Gambar 3 menunjukkan kondisi awal dengan 31 aktivitas produksi dan waktu siklus 1038,92 menit, di mana banyak pemborosan (*waste*) seperti *inappropriate processing* akibat SOP yang tidak jelas dan alur kerja tidak efisien. Setelah perbaikan, Gambar 5 (FVSM) menunjukkan peningkatan efisiensi, dengan aktivitas berkurang menjadi 21, waktu siklus turun menjadi 889,54 menit (lebih cepat 149,36 menit), membuat produksi lebih cepat dan responsif. Dengan SOP baru dan alur kerja yang lebih optimal, tenaga kerja dan mesin digunakan lebih efisien, contoh seperti pada proses pembersihan cetakan dan proses pemasangan end plate pada gambar 3 masih menunjukkan proses tersebut dikerjakan secara terpisah, tetapi pada gambar 5 menunjukkan proses tersebut bisa dikerjakan secara bersama. Bisa dikerjakan bersama dikarenakan pekerjaan proses tersebut tidak mengganggu pekerjaan proses lainnya (tanpa menambah jumlah SDM dan alat). Terdapat beberapa proses bisa dikerjakan secara bersama tetapi dengan catatan misalnya pada proses pemotongan PC strand harus selesai dulu untuk cetakan pertama (satu *line* terdiri dari 5 cetakan) baru bisa dilanjutkan proses angkat produk. Untuk waktu siklus pada proses yang bisa dikerjakan secara bersama akan dipilih waktu siklus yang terpanjang terlihat pada gambar 3 pada proses pembersihan dan pelumasan cetakan dengan waktu siklus 24,33 menit dan proses pemasangan end plate dengan waktu siklus 30,25 menit dan pada gambar 5 pada proses pembersihan pelumasan cetakan dan proses pemasangan end plate memiliki waktu siklus sebesar 30,25 menit. Dan untuk waktu siklus proses yang bisa dikerjakan secara bersama tetapi dengan catatan maka untuk menghitung waktu siklusnya yaitu dengan menambah waktu siklus pada proses pertama ditambah waktu siklus untuk 1 cetakan pada proses kedua contoh pada gambar 3 pada proses pemotongan PC strand dengan waktu siklus 24,43 menit dan pada proses angkat produk dengan waktu siklus 23,24 menit dan pada gambar 5 pada proses pemotongan PC strand dan proses angkat produk memiliki waktu siklus sebesar 29,08 menit yang didapatkan dari $24,43 + (23,24 \times 20\%)$ sehingga menghasilkan waktu siklus sebesar 29,08 menit.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pemborosan, meningkatkan efisiensi, dan mengoptimalkan proses produksi beton CCSP di PT. XYZ melalui penerapan metode *lean manufacturing* menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM) dan *Value Stream Analysis Tools* (VALSAT). Berdasarkan hasil analisis, dari pemborosan utama ditemukan yaitu, *inappropriate processing* yang berdampak signifikan pada waktu siklus produksi. Pemborosan *inappropriate processing* dalam produksi beton CCSP di PT. XYZ disebabkan oleh beberapa faktor seperti metode, manusia, mesin, dan material meliputi ketiadaan SOP terstruktur, alur kerja tidak efisien, kurangnya pelatihan operator, kerusakan alat, teknologi yang tidak sesuai, serta kualitas dan ketersediaan bahan baku yang tidak optimal.

Setelah dilakukan usulan perbaikan, yaitu desain ulang proses produksi, pembuatan SOP baru, dan pengurangan aktivitas tidak bernilai tambah, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Jumlah aktivitas dalam proses produksi berkurang dari 31 aktivitas pada *current value stream mapping* menjadi 21 aktivitas pada *future value stream mapping*.
- Total waktu siklus menurun dari 1038,92 menit menjadi 889,54 menit, dengan penghematan waktu sebesar 149,36 menit.
- Aktivitas bernilai tambah (*Value Added*) meningkat dari 79,42% menjadi 95,03%, sementara aktivitas tidak bernilai tambah (*Non-Value Added*) menurun dari 3,15% menjadi 2,66% dan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah langsung (*Non-Necessary Value Added*) menurun secara signifikan dari 17,43% menjadi 2,30%.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa penerapan metode *lean manufacturing* efektif dalam mengurangi pemborosan dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Rekomendasi perbaikan yang diusulkan dapat digunakan sebagai panduan bagi perusahaan untuk terus mengoptimalkan proses produksinya dan mencapai target produksi secara konsisten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan perusahaan PT. XYZ yang telah mendukung penelitian ini.

REFERENSI

- [1] I. Ramadhan, A. B. Syaher, M. Mukti, and A. Z. Alfariytsy, "PENDEKATAN LEAN MANUFACTURING MENGGUNAKAN METODE VALUE STREAM MAPPING (VSM) PADA UMKM SAMIKEM SABLON," *J. Ilm. Penelit. Mhs.*, vol. 2, no. 4, pp. 423–432, 2024.

- [2] F. N. Amin and P. D. Karningsih, "Studi Literatur Kerangka Kerja Implementasi Lean untuk Usaha Kecil dan Menengah (UKM) di Indonesia," 2020.
- [3] D. Nurdiansyah, S. N. Fatimah, H. Nurwiyanti, and M. Fauzi, "Usulan Efisiensi Waste Proses Produksi Bed Sheet di PT. ABC Menggunakan Metode Value Stream Mapping," *J. Bayesian J. Ilm. Stat. dan Ekon.*, vol. 2, no. 1, pp. 93–106, 2022.
- [4] R. Pratiwi, M. Mustakim, and L. Sucilianti, "Pengendalian Kualitas Pada Corrugated Concrete Sheet Pile Dengan Metode Six Sigma: Quality Control On Corrugated Concrete Sheet Pile With The Six Sigma Method," *J. Ilm. Tek. Sipil TRANSUKMA*, vol. 3, no. 2, pp. 99–113, 2021.
- [5] S. Elia and D. Novianto, "Analisis Perencanaan Sheet Pile pada Tanggul Sungai (Studi Kasus: Sungai Lungun, Sabanar Baru, Kabupaten Bulungan)," *J. Appl. Civ. Eng. Infrastruct. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 14–22, 2021.
- [6] H. C. Wahyuni and W. Sulistiyowati, *Buku Ajar Pengendalian Kualitas Industri Manufaktur dan Jasa*. Sidoarjo: UMSIDA Press, 2020.
- [7] F. Sumasto *et al.*, "Peningkatan Value Added dalam Industri Tahu melalui Penerapan Lean Manufacturing dan Analisis Waste," *J. Serambi Eng.*, 2023.
- [8] H. F. Kawarizmi and S. Suseno, "Mereduksi Waste Pada Proses Produksi tahu di UMKM. XYZ Menggunakan Lean Manufacturing," *J. SAINS STUDENT Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 85–94, 2024.
- [9] M. A. Pahmi, "A System Modelling Approach Optimization Process and Machine Utilization In Casting Plant Using Lean Manufacturing Simulation Model," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 2, no. 2, pp. 116–121, 2021.
- [10] 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," *J. Sains Dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 57–73, 2023.
- [11] A. A. Rakhmasari and I. Dharmayanti, "Integrasi Value Stream Mapping dengan Simulasi Kejadian Diskrit: Studi Kasus Lean Distribution," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 9, no. 2, pp. 117–126, 2023.
- [12] R. Z. Firdaus and W. Wahyudin, "Penerapan Konsep Lean Manufacturing untuk Meminimasi Waste pada PT Anugerah Damai Mandiri (ADM)," *J. Integr. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 21–31, 2023, doi: 10.28932/jis.v6i1.5632.
- [13] D. Fannysia, S. Hartini, and P. P. P. Santosa, "Analisis Lean Manufacturing Produk Keramik dengan Pendekatan VALSAT dan Pemodelan DES Pada PT. Perkasa Primarindo," *J. Teknol. dan Manaj.*, vol. 20, no. 2, pp. 133–148, 2022.
- [14] P. Moengin and N. Ayunda, "Lean Manufacturing untuk Meminimasi Lead Time dan Waste agar Tercapainya Target Produksi (Studi kasus: PT. Rollflex Manufacturing Indonesia)," *J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 77–92, 2021.
- [15] S. Rakhmaputri, B. Aribowo, N. Nurhasanah, and A. T. Purwandari, "Analisis waste pada UMKM konveksi maxsupply menggunakan pendekatan lean manufacturing," *J. Metris*, vol. 24, no. 1, pp. 49–58, 2023.
- [16] S. Hartini, *Buku Ajar Lean Manufacturing System*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, 2022.
- [17] D. D. Harjanto and P. D. Karningsih, "Pengembangan dimensi dan indikator lean assessment tools untuk UMKM di Indonesia." Prozima, 2021.
- [18] R. Herlianti and H. Hasbullah, "Implementasi Value Stream Mapping dalam Optimalisasi Proses Bisnis: Tinjauan Pustaka," *J. Media Tek. dan Sist. Ind.*, vol. 8, no. 2, pp. 124–134, 2024.
- [19] H. Ponda, N. F. Fatma, and I. Siswanto, "Usulan Penerapan Lean Manufacturing Dengan Metode Value Stream Mapping (VSM) Dalam Meminimalkan Waste Pada Proses Produksi Ban Motor Pada Industri Pembuat Ban," *J. Heuristic*, vol. 19, pp. 23–42, 2022.
- [20] S. Suparno and A. S. Susanto, "Peningkatan Produktivitas Leaf Spring Jenis Minicup Tipe MMS 2230 dengan Mengurangi Pemborosan Proses Produksi Melalui Penerapan Metode Lean Manufacturing," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 89–100, 2021.
- [21] I. R. Salsabila and R. Rochmoeljati, "Analisis Penerapan Konsep Lean Manufacturing Pada Proses Produksi Stainless Steel Coil Untuk Mereduksi Pemborosan (Waste) di PT. XYZ," *JUMINTEN*, vol. 2, no. 2, pp. 120–131, 2021.
- [22] P. Hines and N. Rich, "The seven value stream mapping tools," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 17, no. 1, pp. 46–64, 1997.
- [23] I. V. Abdul, F. Rachman, and B. W. Karuniawan, "Pendekatan Lean Manufacturing Menggunakan Metode VALSAT Untuk Mengidentifikasi Waste Pada Produksi Kontruksi Baja (Studi Kasus Di PT. Ometraco Arya Samanta)," in *Proceedings Conference On Design Manufacture Engineering And Its Application*, 2024, pp. F7–F11.
- [24] A. N. Rasyid, I. A. Hendaryanto, W. Setiawan, and A. Winarno, "Analisis Re-Layout Line Machining Oil Separator dengan Metode Value Stream Mapping dalam Meningkatkan Efisiensi Produktivitas di PT Astra Otoparts Divisi Nusametal," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 8, no. 2, pp. 96–105, 2024.
- [25] D. I. Ayunani, A. K. Garside, and R. W. Wardana, "Minimasi Waste pada Proses Produksi Susu Pasteursiasi

- dengan Pendekatan Lean Manufacturing,” *Performa Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 23, no. 2, pp. 97–106.
- [26] V. Febrilian, I. Baihaqi, and M. F. Sugihartanto, “Usulan Perbaikan Proses Bisnis dan Penyusunan Prosedur Standar Operasi Menggunakan Metode DMAIC (Studi Kasus pada Asrama Mahasiswa ITS),” *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. F40–F45, 2021.
- [27] K. Y. Harefa, S. Waruwu, H. Lase, and E. Telaumbanua, “Implementasi Sistem Monitoring dan Evaluasi Dalam Meningkatkan Kinerja Karyawan Pada Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Umu Kabupaten Nias,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 2054–2061, 2023.
- [28] R. Rahmat, “Analisis Faktor Pemeliharaan Mesin terhadap Kelancaran Proses Produksi Pupuk Dolomite pada Lmc-lianco Group Tapanuli Selatan,” *J. Educ. Dev.*, vol. 8, no. 2, p. 561751.
- [29] W. Wagimin and W. N. Cahyo, “Analisis Pemilihan Pemasok Bahan Baku Soda Ash Menggunakan Metode Analytical Network Process,” *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 9, no. 2, pp. 147–154, 2023.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.