



TESIS

**MINIMASI WASTE PADA SEBUAH
PERUSAHAAN BATAKO MENGGUNAKAN
METODE *LEAN SIX SIGMA*, ECRS DAN TRIZ**

Paulino Gamboa

02411950018001

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Moses L. Singgih, M. Sc., MRegSc., Ph.D, IPU

Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Surabaya

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Oleh:

PAULINO GAMBOA

NRP: 02411950018001

Tanggal Ujian: 04 Juli 2021

Periode Wisuda: September 2021

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Prof. Ir. Moses L. Singgih, M. Sc., MRegSc., Ph.D, IPU
NIP: 195908171987031002



Penguji:

1. Dr. Ir. Mokhamad Suef, M.Sc. (Eng)
NIP: 196506301990031002
2. Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 1984407062009122007



Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem



Nuhach Siswanto, ST, MS.I.E., Ph.D
NIP: 197005231996

MINIMASI WASTE PADA SEBUAH PERUSAHAAN BATAKO MENGGUNAKAN METODE LEAN SIX SIGMA, ECRS DAN TRIZ

Nama Mahasiswa : Paulino Gamboa
NRP : 02411950018001
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Moses L. Singgih, M. Sc., MRegSc., Ph.D, IPU

ABSTRAK

Persaingan bisnis saat ini semakin ketat, sehingga semua organisasi bisnis berlomba-lomba untuk sukses dan berharap untuk lebih unggul dari para pesaingnya, tetapi terkadang kesuksesan yang diharapkan tidak dapat dicapai. Salah satu penyebab permasalahan tersebut adalah waste yang berlebihan. Tindakan korektif merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan pemborosan atau masalah yang terjadi di perusahaan. Penelitian ini menggunakan metode *lean six sigma*, *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (DMAIC). Pada tahap *define* membuat value stream mapping dan mengidentifikasi *critical waste*, tahap pengukuran mencari nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO), *level sigma*, dan kapabilitas proses. Pada tahap analisis menganalisis akar penyebab waste kritis dengan menggunakan *5-whys* dan tahap perbaikan menerapkan *Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify* (ECRS), *Theory of Inventive Problem Solving* (*Theory of Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch*, TRIZ), dan *Seri, Seiton, Seiso, Seiketsu*, dan *Shitsuke* (5S). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *waste defect* merupakan *critical waste* dengan nilai 25%, DPMO 13128,75 serta Level Sigma perusahaan berada pada 3.7 sigma dan nilai Kapabilitas proses adalah 1,63. Hasil *5-whys* menunjukkan bahwa *waste defect* disebabkan oleh beberapa hal, yaitu tidak ada alat angkut untuk menggantikan tenaga karyawan, belum ada standar kualitas secara formal, Kurangnya kesadaran atas *health & safety* dan adonan mortar belum matang. Solusi perbaikan pada *waste defect* adalah perlu melakukan pelatihan serta evaluasi terhadap pelaksanaan SOP, melakukan pembersihan lantai produksi, pemasangan CCTV di mesin pengaduk (*mixer*) untuk menghindari pengadukan ulang, melakukan penyesuaian tentang standar kualitas batako yang ditetapkan oleh pemerintah, dan membutuhkan alat angkut batako yang fleksibel, mudah digunakan, mudah diperbaiki, dan murah.

Kata Kunci: ECRS, *Lean Six Sigma*, *Waste*, TRIZ, 5S

WASTE MINIMIZATION IN A CONCRETE BLOCK COMPANY USING LEAN SIX SIGMA, ECRS, AND TRIZ METHODS

Name of Student : Paulino Gamboa
NRP : 02411950018001
Supervisor : Prof. Ir. Moses L. Singgih, M. Sc., MRegSc., Ph.D, IPU

ABSTRACT

Today's business competition is getting more challenging, so all business organizations are vying for success and hoping to be superior to their competitors, but sometimes the expected success cannot be achieved. One of the causes of these problems is an excessive waste. Corrective action is one strategy to minimize waste or problems that occur in the company. This study uses the lean six sigma method, Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC). In the define stage, create a value stream mapping and identify critical waste. The measurement stage looks for the Defect Per Million Opportunities (DPMO) value, sigma level, and process capability. In the analysis stage, analyzing the root causes of critical waste using 5-whys and the improvement stage applying Eliminate, Combine, Rearrange, simplify (ECRS), Theory of Inventive Problem Solving (Theory of Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch, TRIZ), and Seri, Seiton, Seiso, Seiketsu, and Shitsuke (5S). The results showed that the defect waste is a critical waste with a value of 25%, DPMO 13128.75, and the company's Sigma level is at 3.7 sigmas, and the value of process capability is 1.63. The 5-whys results show that several things cause the waste defect; namely, there is no means of transportation to replace employees, there is no formal quality standard, lack of awareness of health & safety, and immature mortar mix. The solutions for reducing the waste defect are to conduct training and evaluate the implementation of SOPs, clean the production floor, install CCTV in the mixer to avoid re-mixing, adapt the quality standards of bricks set by the government, and requires a brick transportation tool that is flexible, easy to use, easy to repair, and inexpensive.

Keywords: ECRS, Lean Six Sigma, Waste, TRIZ, 5S

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Essa, atas berkat dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan Laporan Tesis yang berjudul “Minimasi *Waste* Pada Sebuah Perusahaan Batako Menggunakan Metode *Lean Six Sigma*, ECRS dan TRIZ” ini dengan baik. Laporan Tesis ini ditulis dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Pascasarjana di Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan laporan tesis ini. Adapun pihak-pihak tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bapak Prof. Ir. Moses L. Singgih. M.Sc., MRegSc., Ph.D., IPU selaku dosen pembimbing dalam melaksanakan penelitian tesis ini sekaligus dosen wali selama penulis melaksanakan studi di Program Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
2. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng.) dan Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D., selaku tim dosen penguji, atas koreksi, motivasi, saran dan masukan dalam pengerjaan tesis ini.
3. Bapak Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Pascasarjana Teknik Industri, jajaran dosen dan staff di Program Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
4. Kedua orang tua penulis (bapak almarhum Augusto da Silva dan ibu almarhumah Joana Fernandes), walaupun telah tiada (telah dipanggil oleh Tuhan Yang Maha Kuasa) tetapi selalu menjadi inspirasi dan kekuatan bagi penulis untuk selamanya.
5. Istri tercinta Celina Pinto Quintão dan putra tersayang Pancelino Gamboa Pinto beserta seluruh keluarga tercinta yang selalu memberi dukungan, semangat dan doa dalam penyelesaian tesis ini.

6. Rekan-rekan perkuliahan di Program Pascasarjana Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dari berbagai angkatan, atas dukungan ilmu, diskusi, dan semangat yang diberikan.
7. Kepada pemerintah Indonesia yang telah memberikan kesempatan beasiswa melalui program KNB beserta semua pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan dan bantuan serta motivasi yang diberikan sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis telah berusaha mengerjakan tesis ini dengan sebaik-baiknya. Namun demikian, penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dalam penulisan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan penelitian tesis ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik pada penelitian selanjutnya. Akhir kata, penulis mengharapkan laporan tesis ini dapat bermanfaat untuk seluruh pihak di kemudian hari.

Surabaya, 04 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah dan Asumsi	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Produktivitas.....	7
2.2 Konsep Lean.....	8
2.2.1 Klasifikasi Aktivitas.....	11
2.2.2 <i>Lean Manufacturing Roadmap</i>	12
2.3 <i>Six Sigma</i>	13
2.4 <i>Lean Six Sigma</i>	15
2.5 <i>Value Stream Mapping</i> (VSM).....	19
2.6 <i>Root Cause Analysis</i>	19
2.7 <i>Seri, Seiton, Seiso, Seiketsu, dan Shitsuke</i> (5S).....	20
2.8 <i>Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify</i> (ECRS)	22
2.9 <i>Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch</i> (TRIZ)	25
2.10 Penelitian Terdahulu.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1 Tahap Identifikasi Awal	41
3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	41
3.1.1 Pengumpulan Data	41

3.1.2	<i>Define</i>	42
3.1.3	<i>Measure</i>	42
3.2	Tahap Analisis dan Perbaikan.....	43
3.3	Tahap Kesimpulan dan Saran	44
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA		46
4.1	<i>Define</i>	46
4.1.1	<i>Breakdown</i> Proses Produksi dan Kalsifikasi aktivitass	46
4.1.2	<i>Value Stream Mapping (VSM)</i>	50
4.1.3	Identifikasi <i>Waste</i> Kritis	50
4.2	<i>Measure</i>	55
4.2.1	Pengukuran Tingkat Kinerja Proses	55
4.2.2	Penentuan Kapabilitas Proses	57
BAB 5 ANALISIS DAN PERBAIKAN		59
5.1	<i>Analyze</i>	59
5.1.1	Analisis VSM	59
5.1.2	Analisis <i>Waste</i> Kritis	60
5.1.3	Analisis Kapabilitas Proses	60
5.1.4	<i>Root Cause Analysis</i>	61
5.2	<i>Improve</i>	66
5.2.1	Metode <i>Eliminate, Combinate, Rearrange and Simplify (E CRS)</i> ... 66	
5.3	<i>Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (TRIZ)</i>	68
5.3.1	Kontradiksi	68
5.3.2	<i>Matrix Contradiction</i>	72
5.4	Metode 5S	76
5.5	Pembahasan	77
5.5.1	Pembahasan Tahap <i>Define</i>	77
5.5.2	Pembahasan Tahap <i>Measure</i>	78
5.5.3	Pembahasan Tahap <i>Analyze</i>	79
5.5.4	Pembahasan Tahap <i>Improvement</i>	80
BAB VI PENUTUP.....		86
6.1	Kesimpulan.....	86

6.2	Saran.....	87
	DAFTAR PUSTAKA.....	89
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Alur Proses Produksi batako	2
Gambar 2. 1 <i>Improvement Objectives</i>	16
Gambar 2. 2 Implementasi <i>Lean Six Sigma</i> di SMEs	17
Gambar 2. 3 Hubungan antara metode 5W1H dan prinsip ECRS	24
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	40
Gambar 4. 1 Simbol Untuk Klasifikasi Aktivitas	46
Gambar 4. 2 Tahap Pencampuran Material Prima	47
Gambar 4. 3 Tahap Pencetakan Batako	47
Gambar 4. 4 Tahap Pencetakan Batako	48
Gambar 4. 5 <i>Value Stream Mapping</i>	50
Gambar 5. 1 <i>Material Handling</i> (Gerobak) Sebelumnya.....	76
Gambar 5. 2 Contoh <i>Material Handling</i> Yang Direkomendasikan	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Produksi Batako Pada Bulan Nopember 2020	3
Tabel 2. 1 Jenis-Jenis <i>Waste</i>	11
Tabel 2. 2 <i>Level Six Sigma</i>	15
Tabel 2. 3 Formulir Analisis ECRS	25
Tabel 2. 4 Perbandingan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu	32
Tabel 2. 5 Perbandingan Posisi Penelitian	36
Tabel 4. 1 Klasifikasi Aktivitas.....	49
Tabel 4. 2 Data <i>Breakdown</i> Mesin Bulan Februari 2021	51
Tabel 4. 3 Jenis <i>Defect</i> pada Produk Batako.....	52
Tabel 4. 4 Data Produksi dan Produk <i>Defect</i>	52
Tabel 4. 5 Data Pemindahan Barang pada Proses Produksi.....	53
Tabel 4. 6 <i>Excess Processing</i>	53
Tabel 4. 7 <i>Waste</i> Kritis.....	55
Tabel 5. 1 Akar Penyebab <i>Waste Defect</i> dengan 5 <i>Whys</i>	61
Tabel 5. 2 Penentuan Nilai <i>Likelihood</i>	64
Tabel 5. 3 Penentuan Nilai <i>Consequence</i>	64
Tabel 5. 4 Penilaian Dampak Akar Penyebab <i>Defect</i>	65
Tabel 5. 5 Matriks Penilaian Risiko.....	65
Tabel 5. 6 Usulan Perbaikan Dengan Metode ECRS.....	66
Tabel 5. 7 Kontradiksi Untuk Standar Kerja dan <i>Material Handling</i>	69
Tabel 5. 8 <i>Contradiction Matrix</i> dari Standar Kerja.....	73
Tabel 5. 9 <i>Contradiction Matrix</i> dari adonan Mortar	74
Tabel 5. 10 Kontradiksi Untuk Alat Angkut (<i>Material Handling</i>)	75
Tabel 5. 11 <i>Waste</i> Kritis.....	78
Tabel 5. 12 Kapabilitas Sigma Dan Dpmo Pada Proses Saat Ini	78
Tabel 5. 13 Perbandingan Eksisting dan Target Cp dan Level Sigma.....	79
Tabel 5. 14 Penilaian Dampak Akar Penyebab <i>Defect</i>	79

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang beberapa hal yang menjadi dasar dari penelitian. Hal-hal yang akan dicantumkan dalam bab ini antara lain latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan, asumsi dan sistematika penulisan tesis ini.

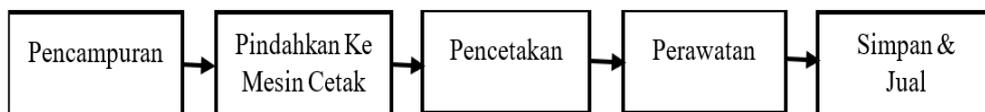
1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam persaingan dunia bisnis saat ini perusahaan yang bisa bertahan adalah perusahaan yang bisa beradaptasi dengan lingkungan bisnis dan bisa menyelesaikan permasalahan yang datang setiap saat. Salah satu penyebab permasalahan adalah kurangnya produktivitas yang menyebabkan daya saing ikut menurun (Aparicio et al., 2016a).

Permasalahan produktivitas adalah salah satu permasalahan yang kompleks dan sering dihadapi oleh organisasi dari masa ke masa. Produktivitas itu sendiri adalah ukuran perbandingan antara penggunaan *input* secara bertanggung jawab untuk menghasilkan keluaran yang bermanfaat bagi konsumen atau pengguna. Produktivitas adalah ukuran yang sangat penting dalam operasi manufaktur, selain omset dan laba, karena memberikan wawasan tentang efisiensi dan efektivitas operasi. Produktivitas juga disebut dengan efektivitas dan efisiensi yang digunakan perusahaan untuk mengonversi *input* menjadi *output*: yaitu, ukuran efektivitas dan efisiensi organisasi dalam menghasilkan *output* dengan sumber daya yang tersedia. Produktivitas adalah rasio dua skalar, *output* agregat dan *input* agregat (Aparicio et al., 2016b).

Perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri batako sejak tahun 2011 di Timor Leste tepatnya di kota Dili. Produk utama perusahaan adalah batako dengan sistem *make-to-stock* namun disamping itu perusahaan juga membuat produk selain batako yaitu produk Tiang Pagar, Loster, Pilar dan lain-lain dengan sistem *make-to-order*. Batako merupakan salah satu alternatif bahan dinding yang dibuat

dari campuran pasir, semen dan air. Batako dapat dicetak secara manual maupun dipress dengan menggunakan mesin. Proses pembuatan batako melalui beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu pencampuran semen, pasir dan air kemudian diaduk dengan mesin pengaduk adonan batako sampai merata, kedua yaitu mengirimkan hasil adonan beton dengan konveyor untuk memasukkan ke dalam mesin pencetak batako. Tahap ketiga yaitu mencetak (*press*) batako dan yang terakhir yaitu mengeluarkan hasil cetakan batako ke tempat penyimpanan sementara kemudian dibiarkan beberapa jam sebelum memindahkan ke tahap akhir (penyimpanan) untuk siap dijual. Alur proses produksi batako dapat dilihat pada Gambar 1.1. Perusahaan ini selalu menggunakan bahan baku yang berdasarkan kebutuhan pasar, yaitu pasir dan semen yang berkualitas namun pada kenyataannya masih terdapat banyak permasalahan yang muncul di perusahaan terkait kualitas dan kuantitas produk.



Gambar 1. 1 Alur Proses Produksi Batako

Menurut manajer perusahaan bahwa dalam aktivitas produksi perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI) menghadapi beberapa permasalahan, misalnya produk yang tidak sesuai, banyak produk cacat, waktu menganggur terlalu banyak dan tidak memenuhi target perusahaan. Ada batako yang ketika ditimbang sangat berat dan ada yang cukup ringan serta ada batako yang ketika dipegang butiran-butiran campuran terkelupas dan tercerai berai dan ada juga batako yang sangat kuat. Cacat produk yang sering terjadi yaitu cacat pecah, retak, aus atau permukaan produk yang tidak merata serta ketidaksesuaian lainnya pada produk batako. Berikut ini adalah sampel data produksi batako pada bulan Nopember 2020:

Tabel 1. 1 Data Produksi Batako Pada Bulan Nopember 2020

Bulan Nopember	Hari	Jumlah Produk	Produk Cacat	Target Produk	Sisa Produksi Tidak Tercapai Target
Minggu 1	6	20288	270	21000	712
Minggu 2	6	20321	268	21000	679
Minggu 3	5	1990	250	19500	17510
Minggu 4	5	1968	281	19500	17532
TOTAL	22	44567	1069	81000	36433

Tabel 1.1 menunjukkan bahwa jumlah produk yang rusak mencapai 1069 buah hanya pada bulan Nopember yang menyebabkan kerugian jika dikonversikan ke dalam biaya maka kerugiannya lebih dari USD534.50. Pada kasus ini dilihat bahwa kerugian dalam satu bulan begitu sangat besar akibat kerusakan (cacat) yang ada pada produk batako dan ketidakcapaian target produksi. Selain dari permasalahan pada *waste* cacat di atas ada juga masalah *waste* lain yang teridentifikasi di perusahaan sehingga sangat mempengaruhi produktivitas perusahaan dalam satu bulan tersebut, misalnya alur proses produksi yang tidak teratur, area produksi yang berantakan dan ketidakseriusan karyawan dalam melakukan pekerjaan. Aktivitas pemborosan tersebut menimbulkan konsumsi waktu lebih untuk menanganinya sehingga menyebabkan waktu lembur atau *lead time* proses produksi bertambah dan berkurangnya *output* produksi batako yang dihasilkan.

Pengendalian proses produksi adalah salah satu tindakan penting yang perlu dilakukan agar dapat meminimasi *waste* yang mengakibatkan produktivitas perusahaan pada umumnya. Selain meminimasi *waste*, evaluasi proses produksi juga akan membantu meningkatkan daya saing dan meminimasi investasi yang berlebihan oleh perusahaan. Oleh karena itu, pengendalian proses produksi terutama evaluasi proses kerja serta penekanan *defect* dan pemborosan lainnya dengan menerapkan beberapa langkah antisipasi.

Pengembangan metode yang bisa membantu pekerjaan para manajer adalah sangat penting untuk perusahaan dan pengembangan keilmuan di masa depan. *Lean Six Sigma* adalah salah satu metode untuk pengendalian dan perbaikan

kualitas yang diciptakan oleh *Motorola Company* dengan tujuan untuk mengurangi variabilitas dan membuat perbaikan umum dengan menekankan pada perbaikan proses. Metode *Lean Six Sigma* adalah salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi *waste* dan memberi langkah dalam untuk mengetahui seberapa tingkat *Sigma* serta dapat membantu memberikan solusi terbaik untuk mengatasi masalah produktivitas perusahaan. *Lean Six Sigma* merupakan salah satu metodologi yang dapat digunakan untuk meningkatkan *shareholder value* dengan melakukan perbaikan yang berfokus pada kepuasan pelanggan, biaya, kualitas, kecepatan proses, dan modal investasi (George, 2002). *Lean* digunakan untuk menghilangkan pemborosan yang diakibatkan oleh *Defect, Overproduction, Waiting, Transportation, Inventory, Motion, Excess processing* sehingga dengan *Lean* dapat membantu meminimasi aktivitas *non-value-added activities* pada proses produksi batako. *Lean Six Sigma* juga sebagai proses dari semua perbaikan yang bersifat berkelanjutan, seperti keterlambatan dan *defect* yang selalu terjadi pada aktivitas produksi perusahaan. Proses perbaikan *Lean Six Sigma* meliputi tahapan *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (DMAIC). Metode yang digunakan untuk membantu dalam pengambilan keputusan perbaikan sehingga dengan mudah bisa meningkatkan produktivitas perusahaan yaitu dengan menggunakan metode ECRS dan TRIZ. Metode *Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify* (ECRS) adalah salah satu metode perbaikan yang bisa membantu meminimasi *waste*. TRIZ merupakan salah satu metode yang mendefinisikan masalah-masalah teknis yang digunakan untuk memecahkan masalah yang kemungkinan langkah-langkah dalam penyelesaiannya tidak diketahui (*non-routine problems*) (Nurkertamanda & Ahman, 2010). TRIZ dapat digunakan sebagai alat efektif untuk melakukan perbaikan pada defect sehingga produktivitas perusahaan meningkat (Hakim & Singgih, 2019).

Dengan permasalahan perusahaan diatas maka penelitian ini akan dilakukan untuk membantu menemukan akar permasalahan dan melakukan perbaikan dengan menggunakan metode yang sesuai, yaitu metode *Lean Six Sigma*, ECRS dan TRIZ. *Lean Six Sigma* digunakan untuk mengidentifikasi *waste* pada proses

produksi batako serta ECRS dan TRIZ diintegrasikan dengan *Lean Six Sigma* untuk melakukan perbaikan pada proses produksi batako sehingga dapat meningkatkan produktivitas perusahaan. Pendekatan *lean* akan mengidentifikasi aktivitas *non-value-added* dan *value-added* sehingga dapat menindak-lanjuti agar aktivitas produksi dapat sesuai harapan. Selanjutnya *waste* yang diidentifikasi akan dipilih yang paling kritis untuk melakukan analisis perbaikan dengan bantuan diagram *Pareto*. Setelah melakukan pemilihan atas *waste* kritis lalu melakukan analisis penyebab dengan *Root Cause Analysis* serta melakukan analisis perbaikan dengan menggunakan pendekatan ECRS dan TRIZ. Kontribusi utama penelitian ini yaitu kerangka kerja dapat meningkatkan produktivitas produksi terutama meminimasi *waste* pada produksi batako dan proses di semua tahapan dengan lebih efektif yang dapat mempertimbangkan beberapa aspek dan mengabungkan beberapa metode perbaikan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui dan mereduksi *waste* kritis yang terjadi pada produksi batako di perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI). Metode ECRS dan TRIZ diterapkan pada *Lean Six Sigma* sebagai model solusi untuk mengatasi permasalahan produktivitas yang dihadapi oleh perusahaan, yaitu untuk melakukan perbaikan produktivitas dengan berdasarkan pada tahapan proses DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*).

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada latar belakang dan permasalahan di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *waste* pada proses produksi batako di perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI).
2. Menemukan faktor-faktor penyebab *waste* kritis pada proses produksi batako di perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI).

3. Melakukan usulan perbaikan pada permasalahan kritis yang menyebabkan buruknya produktivitas pada perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI).

1.4 Batasan Masalah dan Asumsi

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis dan perbaikan akan dilakukan berdasarkan data *waste* pada bulan Februari 2021.
2. Penelitian ini hanya dapat mencapai pada tahap usulan perbaikan dan tidak mencapai tahap *control* karena pada saat penelitian Timor Leste sedang *lockdown* akibat pandemi Covid-19.

Asumsi yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Selama penelitian semua aktivitas tetap berjalan normal sesuai *job* dan keahlian masing-masing pekerja.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan penambahan bagi literatur dan ilmu pengetahuan serta dapat mengusulkan solusi perbaikan untuk meningkatkan produktivitas perusahaan di masa depan.
2. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi penerapan ilmu pengetahuan dalam industri manufaktur di Timor Leste terutama bagi perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI) sehingga perusahaan dapat melakukan aktivitas proses produksi dengan baik dan dapat meningkatkan produktivitas perusahaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 ini akan berisi mengenai tinjauan pustaka yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini. Tinjauan pustaka yang menjadi fokus pembahasan pada Bab 2 ini adalah *Lean Six Sigma*, ECRS dan TRIZ.

2.1 Produktivitas

Definisi umum produktivitas adalah hubungan antara *output* yang dihasilkan oleh sistem produksi atau layanan dan *input* yang disediakan untuk membuat *output* ini (Burawat, 2019a). Produktivitas adalah pemanfaatan yang efektif dan efisien dari semua sumber daya; tenaga kerja, tanaman dan bahan (Prokopenko, 1987). Produktivitas adalah hubungan antara *output* yang dihasilkan dari sistem dan *input* yang disediakan untuk membuat *output* tersebut. *Input* berupa tenaga kerja (sumber daya manusia), modal (aset modal fisik dan finansial), energi, material, dan data dimasukkan ke dalam suatu sistem. Sumber daya ini diubah menjadi keluaran (barang dan jasa). Produktivitas adalah hubungan jumlah yang diproduksi oleh sistem tertentu selama periode waktu tertentu, dan jumlah sumber daya yang dikonsumsi untuk membuat atau menghasilkan keluaran ini selama periode waktu yang sama (Sink, 1985). Jadi produktivitas itu sendiri adalah pemanfaatan *input* secara efisien untuk menghasilkan *output* yang benar-benar sesuai harapan konsumen atau pengguna.

Minimasi *waste* pada perusahaan adalah salah satu hal yang sangat diperhatikan dan ditingkatkan setiap saat untuk mencapai tujuan perusahaan. organisasi bisnis (industri) adalah unit proses yang mengolah sumber daya (*input*) menjadi *output* dengan proses transformasi tertentu. Dalam proses pengukuran dan perbaikan produktivitas ini menggunakan metode atau *tools* tertentu misalnya dengan Menggunakan metode *Objective Matrix* (OMAX), *Green Productivity*, *Lean Six Sigma*, *Line Balancing*, *Just in Time* serta ECRS, TRIZ, 5S, FMEA, *Design Of Experiment*, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Banyak metode yang telah digunakan dalam penelitian untuk meningkatkan produktivitas di

berbagai institusi baik itu industri jasa maupun manufaktur. Metode yang akan digunakan adalah metode *Lean Six Sigma*, *Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify* (ECCRS), *Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch's theory* (TRIZ, *Theory of Inventive Problem Solving*), and *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke* (5S). Metode-metode yang digunakan ini adalah metode yang telah diketahui efektivitasnya dalam minimasi *waste* sehingga dapat meningkatkan produktivitas produksi perusahaan dan sangat cocok untuk diimplementasikan di perusahaan batako (Laureani & Antony, 2011).

2.2 Konsep Lean

Lean merupakan salah satu alat untuk perbaikan terus menerus yang sudah banyak dikenal di kalangan masyarakat akademisi saat ini. *Lean* sendiri bisa digunakan di semua bidang, misalnya *Lean* bisa diimplementasikan di bidang manufaktur, produksi, konstruksi dan lain-lain. Menyusun rencana tindakan untuk mengurangi *waste* dan perbaikan terus menerus adalah dasar dari pemikiran *Lean*. *Lean* dicetuskan oleh Taiichi Ohno pada 1950-an dan muncul dari Sistem Produksi Toyota dengan aspek-aspek utama termasuk pencarian yang tidak pernah berakhir untuk kesempurnaan, pencarian berkelanjutan untuk dihilangkan (Pavlović & Božanić, 2012). *Lean* merupakan suatu pendekatan sistemik dan sistematis untuk mendefinisikan dan menghilangkan pemborosan (*waste*) atau kegiatan-kegiatan tidak bernilai tambah (*non-value adding activities*) melalui peningkatan secara terus menerus secara radikal dengan mengalirkan produk (*material, work-in-process, output*) dan informasi menggunakan sistem tarik dari pelanggan internal dan eksternal untuk mengejar keunggulan dan kesempurnaan (Gaspersz, 2007).

Dalam industri manufaktur dan industri jasa (layanan) sudah mengimplementasikan prinsip *Lean*, dengan tujuan untuk menjamin kualitas dan efisiensi produksi sehingga perusahaan maupun pelanggan sama-sama mendapatkan kepuasan. Untuk mencapai target kualitas dan efisiensi yang ditetapkan perusahaan memperbaiki proses produksi dalam seluruh kegiatan sehingga menghasilkan produk yang berkualitas sesuai dengan keinginan

konsumen. Dengan demikian bisa mengidentifikasi bagian yang memberi nilai atau tidak memberi nilai tambah bagi perusahaan untuk mengambil tindakan lebih lanjut, karena semua kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah hanya menimbulkan pemborosan saja. Berikut ini adalah prinsip *Lean* (Gaspersz, 2007):

1. Spesifikasi secara tepat nilai produk yang diinginkan oleh pelanggan
2. Identifikasi *value stream* untuk setiap produk
3. Eliminasi semua pemborosan yang terdapat dalam aliran proses setiap produk agar nilai mengalir tanpa hambatan
4. Menetapkan sistem tarik (*pull system*) menggunakan *kanban* yang memungkinkan pelanggan menarik nilai dari produsen
5. Mengejar keunggulan untuk mencapai kesempurnaan (*zero waste*) melalui peningkatan terus-menerus secara radikal (*radical continuous improvement*)

Selain prinsip-prinsip *lean manufacturing* di dalam *lean manufacturing* terdapat dimensi tertentu yang sangat berkontribusi. Terdapat tujuh dimensi dalam *lean manufacturing* yang mencakup beberapa faktor (Wahab et al., 2013). Berikut adalah deskripsi dari tujuh dimensi *lean manufacturing*:

1. *Manufacturing Process and Equipment*

Bertujuan untuk memastikan bahwa standar kualitas selalu diprioritaskan. Usaha besar dilakukan untuk mengurangi *setup time*, *redesign* proses produksi, dan *preventive maintenance*.

2. *Manufacturing Planning and Scheduling*

Manufacturing planning and scheduling bertujuan untuk sinkronisasi produksi dan *market demand*. Tujuan ini dapat dicapai melalui *leveled production*, penggunaan *lot* kecil, kontrol aliran tarik dan sebagainya.

3. *Visual Information System*

Sistem informasi sederhana yang mengandalkan aliran informasi langsung ke pembuat keputusan yang relevan, yang memungkinkan umpan balik cepat dan tindakan korektif. Terdiri dari informasi kinerja yang ditampilkan di papan pengumuman

4. *Product Development and Technology*

Pilihan mengenai struktur produk, bahan, dan solusi teknis. Penerapan praktek inovatif dalam desain produk/metodologi canggih seperti QFD, *design review*, FMEA dan sebagainya

5. *Workforce Management*

Meliputi keterlibatan pekerja dalam program peningkatan kualitas berkelanjutan, perluasan otonomi dan tanggung jawab mereka. Di dalamnya termasuk rekrutmen dan seleksi, pendidikan dan pelatihan, evaluasi dan *reward* dalam rangka mempromosikan kontribusi karyawan dan meningkatkan pemberdayaan dan tanggung jawab karyawan.

6. *Supplier Relationship*

Untuk meningkatkan tingkat integrasi operasional antara pembeli dan pemasok. Ini mempengaruhi beberapa aspek dalam R&D dan logistik

7. *Customer Relationship*

Upaya yang dilakukan untuk memastikan pengiriman yang andal dan cepat, untuk mengembangkan teknik komersial dan pemasaran untuk membuat tuntutan yang lebih mudah diprediksi dan lebih stabil dan juga untuk meningkatkan profesionalisme dan kompetensi personel yang terlibat langsung dalam hubungan dengan pelanggan.

Peningkatan terus menerus pada perusahaan sangat dibutuhkan untuk meningkatkan efisiensi produksi. Terdapat beberapa jenis *waste* yang biasanya ada dan menjadi permasalahan pada perusahaan antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Jenis-Jenis Waste

Kategori	Sektor Manufaktur
<i>Inventory</i> (Persediaan)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bahan Baku ✓ Pekerjaan Sedang Berlangsung ✓ Barang Jadi ✓ Persediaan Habis Pakai
<i>Waiting</i> (Menunggu)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bagian ✓ Cetak ✓ Inspeksi ✓ Informasi ✓ Perbaikan mesin
<i>Motion</i> (Gerak)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mencari item yang diperlukan (bagian, alat, cetakan, dll.) ✓ Penyortiran melalui bahan ✓ Menjangkau alat ✓ Mengangkat kotak suku cadang
<i>Defect</i> (Cacat)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Scrap</i> (Memo) ✓ Pengerjaan Ulang ✓ Kegagalan Lapangan ✓ Bagian yang Hilang ✓ Variasi
<i>Transportation</i> (Transportasi)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Memindahkan suku cadang ke dan dari penyimpanan ✓ Memindahkan material dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja lain
<i>Overprocessing</i> (Overprosesing)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bagian pembersihan <i>multiple times</i> ✓ Dokumen ✓ Alat/bagian yang didesain
<i>Overproduction</i> (Kelebihan produksi)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Memproduksi produk ke stok berdasarkan perkiraan penjualan ✓ Memproduksi lebih banyak untuk menghindari kehabisan produk ✓ Proses <i>batching</i> menghasilkan <i>output</i> tambahan

Sumber: (Ellis, Francina, 2016)

2.2.1 Klasifikasi Aktivitas

Ada tiga macam aktivitas yang menjadi bahasan utama didalam *lean manufacturing* (Hines & Taylor, 2000) yakni:

1. Value Added (VA) Activity

Value Added merupakan aktivitas-aktivitas yang bernilai tambah dalam hal produk dan jasa di mata para pelanggan. Contohnya termasuk

mengubah bijih besi (dengan hal-hal lain) menjadi mobil, atau memperbaiki mobil yang rusak di jalan raya.

2. *Necessary but Non-Value Added (NNVA) Activity*

NNVA merupakan aktivitas yang dianggap tidak mempunyai nilai tambah oleh pelanggan terhadap produk atau jasa namun aktivitas tersebut tetapi dibutuhkan. *Waste* semacam itu lebih sulit dihilangkan dalam jangka pendek dan harus menjadi target untuk perubahan jangka panjang atau radikal. Contohnya adalah: memeriksa setiap produk di akhir proses karena prosesnya menggunakan mesin lama yang dikenal tidak dapat diandalkan.

3. *Non-value adding (NVA),*

NVA merupakan aktivitas yang dinilai tidak mempunyai nilai tambah terhadap produk atau jasa oleh pelanggan. Aktivitas ini termasuk *waste* dan harus dieliminasi. Kegiatan-kegiatan ini jelas '*waste*' dan karenanya harus menjadi target penghapusan segera atau jangka pendek.

2.2.2 *Lean Manufacturing Roadmap*

Prinsip-prinsip *lean* pada dasarnya adalah nilai yang mendorong pelanggan, yang membuat mereka banyak menyesuaikan situasi manufaktur dan distribusi. Lima prinsip dasar *lean* manufaktur umumnya *acknowledged and the lean roadmap* yang disebut VVFPP sesuai klarifikasi berikut (Mousa, 2013):

- 1) *Understanding customer value (V)*. Hanya apa yang bernilai bagi pelanggan adalah penting dan nilai yang bermakna dibutuhkan dan *requirements*.
- 2) *Value stream analysis (V)*. Setelah memahami nilai bagi pelanggan, langkah selanjutnya adalah menganalisis proses bisnis untuk menentukan mana yang benar-benar *add value*. Jika tindakan tidak menambah nilai, tindakan itu harus dimodifikasi atau dihilangkan dari proses. Fase VSM adalah fase penting untuk menentukan *value added* dan *non-value added* dan nilai tambah bisnis dalam setiap proses.

- 3) *Flow* (F). Fokus pada pengorganisasian aliran berkelanjutan melalui produksi atau rantai pasokan daripada memindahkan komoditas dalam *batches* besar, dalam fase ini kami mengubah proses menjadi satu buah aliran untuk menghilangkan *waste* dan *work in process* (WIP).
- 4) *Pull* (P) Manajemen rantai permintaan (*Demand chain management*) mencegah produksi komoditas ke stok, yaitu menarik permintaan pelanggan produk jadi melalui sistem. Tidak ada pekerjaan yang dilakukan kecuali hasilnya diperlukan di hilir (*downstream*).
- 5) *Perfection* (P) Penghapusan *non-value adding elements* (limbah) merupakan proses perbaikan berkelanjutan atau *continuous improvement* (CIP). Tidak ada akhir untuk mengurangi waktu, biaya, ruang, kesalahan, dan usaha (Andersson et al., 2006).

2.3 Six Sigma

Six Sigma adalah salah satu metode yang bisa menghasilkan nilai tambah karena *Six Sigma* menggunakan alat statistik dengan lebih detail dalam penyelesaian masalah. *Six Sigma* adalah implementasi yang ketat, fokus, dan sangat efektif dari prinsip dan teknik kualitas yang terbukti (Pyzdek, 2003). *Sigma* (σ) adalah huruf dalam alfabet Yunani yang digunakan oleh ahli statistik untuk mengukur variabilitas dalam proses. Kinerja perusahaan diukur dengan tingkat *Sigma* dari proses bisnis mereka. Secara tradisional perusahaan menerima tiga atau empat tingkat kinerja *Sigma* sebagai norma, terlepas dari kenyataan bahwa proses ini tercipta antara 6.200 dan 67.000 *problems per million opportunities*. Standar *Six Sigma* dari 3,4 *problems per million opportunities* adalah respons terhadap meningkatnya harapan pelanggan dan meningkatnya kompleksitas produk dan proses modern. *Six Sigma* berfokus pada eliminasi variasi proses dan produk yang cacat (Sriutami & Singgih, 2017).

Berikut ini merupakan keuntungan dari *Six Sigma* (Brue, 2002):

1. *Cost*

Proses yang tidak efisien akan membutuhkan waktu yang lebih lama dan pemborosan terhadap sumber daya. Hal ini tentu saja akan memunculkan biaya yang tidak seharusnya dikeluarkan. Biaya yang timbul sebagai akibat dari proses yang tidak efisien disebut sebagai *Cost of Poor Quality* (COPQ). Penerapan *Six Sigma* mampu mereduksi variasi proses sehingga produk yang cacat dapat berkurang dan COPQ akan menurun.

2. *Customer Satisfaction*

Six Sigma berfokus pada *Critical To Quality* (CTQ) yang merupakan keinginan dari pelanggan terhadap produk. *Six Sigma* mampu melihat faktor kritis dari sebuah proses untuk mereduksi variasi proses sehingga kualitas produk menjadi seperti apa yang diinginkan oleh pelanggan.

3. *Quality*

Fokus dari *Six Sigma* adalah mereduksi variasi proses sehingga produk cacat akan berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas baik dari proses atau produk tersebut akan menjadi lebih baik. Kualitas yang baik akan memberikan nilai tambah bagi perusahaan di mata pelanggan dan *investor*.

4. *Impact on Employees*

Penerapan Six Sigma akan berdampak positif bagi karyawan. Karyawan akan menjadi lebih termotivasi untuk melakukan pekerjaan dengan lebih baik untuk mendapatkan target yang telah ditetapkan. Selain itu, *Six Sigma* juga menanamkan budaya dan sikap kepada karyawan sehingga semua proses, produk, dan pelayanan sesuai dengan apa yang diinginkan oleh pelanggan.

5. *Growth*

Six Sigma mampu mereduksi variasi proses, sehingga produk cacat yang dihasilkan semakin sedikit dan produk sesuai dengan keinginan pelanggan. Hal ini akan berpengaruh terhadap pendapatan perusahaan yang akan semakin meningkat.

6. *Competitive Advantages*

Sebuah perusahaan yang mampu mereduksi biaya, memenuhi keinginan pelanggan secara efektif dan efisien, memiliki kualitas yang baik akan memiliki keunggulan bersaing.

Tabel 2. 2 Level Six Sigma

<i>Process Capability or Sigma Level</i>	<i>Defect (or Errors) Per Million Opportunities (DPMO)</i>	<i>Percent Acceptable</i>
6	3,4	99,99966%
5	233	99,976%
4	6,210	99,379%
3	66,807	93,32%
2	303,538	69,15%
1	691,462	30,9%

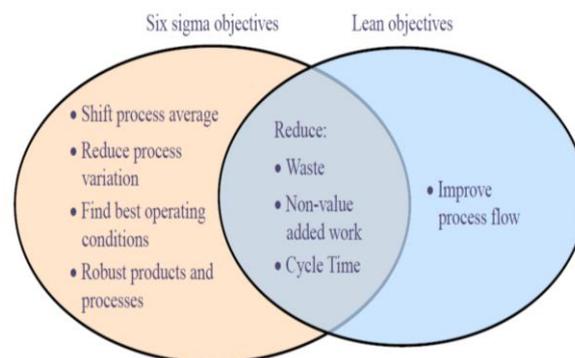
Sumber: (Pyzdek, 2003)

2.4 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma adalah metodologi perbaikan yang ditemukan sejak akhir 1990-an. Ini adalah integrasi metode *Lean* dan *Six Sigma*. *Lean* dan *Six Sigma* digunakan bersamaan untuk saling melengkapi atau menutupi kelemahan dari kedua metode. *Lean manufacturing* digunakan untuk menghilangkan/mengurangi *waste* pada perusahaan tetapi tidak dapat mengurangi variasi proses sedangkan *Six Sigma* dapat mengurangi variasi proses tetapi tidak dapat mengurangi kerugian atau waktu produksi. Oleh karena itu, kedua konsep ini diterapkan bersama, disebut *Lean Six Sigma* yang bertujuan untuk menghilangkan kerugian dalam proses produksi dan menggunakan prinsip statistik untuk mengurangi variasi dalam proses produksi (Burawat, 2019a).

Siklus peningkatan DMAIC adalah alat inti dan dapat digunakan sebagai kerangka kerja untuk aplikasi perbaikan apa pun. Penyelesaian satu siklus berlanjut dengan awal siklus berikutnya. Siklus DMAIC terdiri dari lima langkah atau fase berturut-turut. Pertama, *define* (mendefinisikan) (D) adalah masalah bisnis, tujuan, sumber daya potensial, ruang lingkup proyek, dan garis waktu proyek tingkat tinggi dengan jelas. Informasi ini biasanya diambil dalam dokumen piagam proyek. yaitu menuliskan apa yang saat ini diketahui, berusaha

untuk mengklarifikasi fakta, menetapkan tujuan, dan membentuk tim proyek. Kedua, *measure* (M) bertujuan untuk secara objektif menetapkan *baseline* saat ini sebagai dasar perbaikan. Ini adalah langkah pengumpulan data, yang tujuannya adalah untuk menetapkan garis dasar kinerja proses. Ketiga, *analyze* (A) bertujuan untuk mengidentifikasi, melakukan validasi, dan memilih akar penyebab eliminasi. Keempat, *improvement* (I) bertujuan untuk mengidentifikasi, menguji, dan mengimplementasikan solusi untuk masalah tersebut, sebagian atau secara keseluruhan. Ini tergantung pada situasi, misalnya mengidentifikasi solusi kreatif untuk menghilangkan penyebab akar utama untuk memperbaiki dan mencegah masalah proses. Terakhir, *control* (C) adalah memastikan keberlanjutan; ini kadang-kadang disebut sebagai membuat tongkat perubahan. Setelah solusi menyelesaikan masalah, perbaikan harus distandarisasi dan berkelanjutan dari waktu ke waktu (Burawat, 2019a; Ghaleb, 2017). Tujuan perbaikan *Lean Six Sigma* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

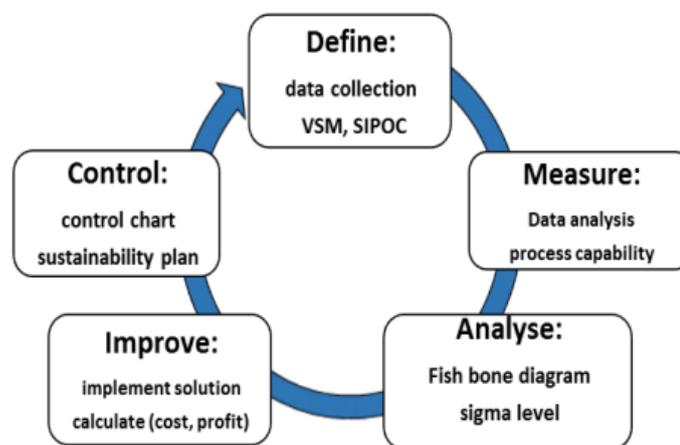


Gambar 2. 1 Improvement Objectives

Sumber: (Snee, 2010)

Kerangka kerja *Lean Six Sigma* memiliki 5 fase seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2 dengan setiap fase memberikan panduan struktural menuju identifikasi akar penyebab masalah, oleh karena itu mengusulkan dan mengimplementasikan *cement bags* untuk menghilangkan akar penyebab melalui waktu persiapan dan mengurangi cacat. Perlu dicatat bahwa kerangka kerja ini adalah bahwa teknik yang dapat digunakan dalam penerapan *Lean Six Sigma*.

Kerangka kerja *Lean Six Sigma* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2 benar-benar penyederhanaan dari metodologi DMAIC *Six Sigma* dengan langkah-langkah terpandu dalam memanfaatkan alat ramping tertentu di setiap fase. Kerangka kerja ini menggunakan pendekatan standar berbasis data dan terpandu dari enam metodologi *Six Sigma* DMAIC sedangkan menggunakan alat *Lean* di setiap fase untuk melihat peluang peningkatan dan analisis tambahan masalah (Ghaleb, 2017).



Gambar 2. 2 Implementasi *Lean Six Sigma* di SMEs
Sumber: (Ghaleb, 2017)

Berikut ini penjelasan mengenai tahap DMAIC menurut (Gaspersz, 2007):

1. *Define*

Mendefinisikan secara formal sasaran peningkatan proses yang konsisten dengan permintaan atau kebutuhan pelanggan dan strategi perusahaan.

2. *Measurement*

Mengukur kinerja proses pada saat sekarang (*baseline measurement*) agar dapat dibandingkan dengan target yang ditetapkan. Lakukan pemetaan proses dan mengumpulkan data yang berkaitan dengan indikator kinerja kunci (*Key performance indicators = KPIs*).

3. *Analysis*

Menganalisa hubungan sebab akibat berbagai faktor yang dipelajari untuk mengetahui faktor-faktor dominan yang perlu dikendalikan.

4. *Improve*

Mengoptimalkan proses menggunakan analisis-analisis seperti *design of experiment* (DOE), dan lain-lain untuk mengetahui dan mengendalikan kondisi optimum proses.

5. *Control*

Melakukan pengendalian terhadap proses secara terus menerus untuk meningkatkan kapabilitas proses menuju target *Six Sigma*.

Dalam pelaksanaan proyek selalu adanya keberhasilan dan kegagalan termasuk juga implementasi metode *Lean Six Sigma*. Untuk mengimplementasikan metode *Lean Six Sigma* ini dengan baik, perlu memperhatikan beberapa faktor yang dapat berkontribusi keberhasilan. Berikut ini adalah beberapa faktor penentu keberhasilan untuk *Lean Six Sigma* (Alhuraish et al., 2014):

1. Keterlibatan dan komitmen manajemen puncak
2. Menghubungkan metode ke pemasok
3. Perubahan budaya
4. Infrastruktur organisasi
5. Kepemimpinan
6. Menghubungkan metode dengan strategi bisnis
7. Prioritas proyek dan pemilihan, ulasan dan pelacakan
8. Menghubungkan metode dengan pelanggan
9. Menghubungkan metode dengan sumber daya manusia
10. Memahami alat dan teknik dalam metode
11. Keterampilan manajemen proyek
12. Pendidikan dan pelatihan
13. Sistem penghargaan
14. Tim *Kaizen*
15. Komunikasi
16. Partisipasi konsultan

17. Keterampilan dan keahlian
18. Prioritas proyek dan pemilihan, ulasan dan pelacakan
19. Pemantauan dan evaluasi kinerja

2.5 Value Stream Mapping (VSM)

Value Stream Mapping (VSM) adalah pemetaan alur material dan informasi yang di dalamnya akan mencakup seluruh aktivitas selama proses manufaktur berjalan (Zahraee et al., 2020). *Value Stream Mapping* (VSM akan memuat semua aktivitas *value added* (VA) maupun aktivitas *Non-Value Added* (NVA). *Value Stream Mapping* (VSM) adalah suatu alat yang sangat *powerful* untuk *lean manufacturing* dan memungkinkan perusahaan untuk memahami serta terus meningkatkan pemahamannya terhadap *lean*. *Value Stream Mapping* (VSM dapat menghubungkan orang, alat, proses dan bahkan persyaratan pelaporan untuk mencapai tujuan *lean*. Untuk mendapatkan informasi *lean* dengan baik perlu melakukan identifikasi aliran nilai dan melakukan Tanya jawab tentang beberapa sumber yang relevan. *Value Stream Mapping* (VSM) juga dapat digunakan dalam sistem produksi masal karena dapat memprediksi volume dan jenis produk berulang (Mudgal et al., 2020). Dalam *Value Stream Mapping* (VSM) juga dapat memberikan aliran komunikasi yang jelas dan ringkas antara manajemen dan tim di lapangan tentang harapan *lean*, bersama dengan aliran material dan informasi yang sebenarnya.

2.6 5-whys

Organisasi ramping dapat belajar menggunakan analisis *5-whys* untuk mengurangi kehilangan kecepatan mereka (Benjamin et al., 2015). Penerapan analisis *5-whys* memberikan pendekatan berbasis fakta dan terstruktur untuk identifikasi dan koreksi masalah yang tidak hanya berfokus untuk mengurangi cacat tetapi juga dalam menghilangkannya (Murugaiah et al., 2010). Dalam praktiknya, sebagian besar perusahaan manufaktur berbasis ramping bertujuan untuk mengurangi berbagai *waste* dalam operasi mereka daripada menghilangkannya. Mekanisme yang diterapkan pada *tool 5-Why's* adalah

melakukan identifikasi akar penyebab permasalahan yang terbagi atas 5-*why*. Ohno (1988) dalam (Murugaiah et al., 2010) mengilustrasikan contoh analisis 5-*whys*-nya adalah sebagai berikut:

Pertanyaan 1: Mengapa robot berhenti?

Jawaban : Sirkuit kelebihan beban, menyebabkan sekering meledak.

Pertanyaan 2: Mengapa sirkuit kelebihan beban?

Jawaban : Ada pelumasan yang tidak mencukupi pada bantalan, sehingga terkunci.

Pertanyaan 3: Mengapa ada pelumasan yang tidak mencukupi pada bantalan?

Jawaban : Pompa minyak pada robot tidak mengedarkan minyak yang cukup.

Pertanyaan 4: Mengapa pompa tidak mengedarkan minyak yang cukup?

Jawaban : Asupan pompa tersumbat dengan serutan logam.

Pertanyaan 5: Mengapa asupan tersumbat dengan serutan logam?

Jawaban : Karena tidak ada filter pada pompa.

2.7 *Seri, Seiton, Seiso, Seiketsu, dan Shitsuke (5S)*

5S adalah singkatan dari lima kata Jepang termasuk *Seri, Seiton, Seiso, Seiketsu, dan Shitsuke*. Filosofi 5S ini dikembangkan sejak 1980-an di Jepang. Alat ini digunakan untuk menganalisa proses kerja dan perbaikan agar dapat menciptakan dan mempertahankan tempat kerja yang terorganisir dengan baik, bersih, efektif dan berkualitas tinggi. Hasilnya adalah organisasi tempat kerja yang efektif, pengurangan lingkungan kerja, penghapusan kerugian yang terkait dengan kegagalan dan istirahat, peningkatan kualitas dan keamanan kerja. Praktik 5S terbukti menjadi kontributor signifikan dalam memperkuat kinerja organisasi manufaktur dari tingkat kinerja mereka sebelumnya yang tidak begitu mengembirakan dan tidak mengesankan (Randhawa & Ahuja, 2017). Mereka juga menyatakan bahwa implementasi 5S telah menghasilkan dampak positif yang signifikan yaitu pencapaian organisasi secara keseluruhan, pencapaian terkait produksi, pencapaian peningkatan yang berkualitas dan berkesinambungan, optimalisasi biaya, pencapaian terkait karyawan,

pemanfaatan ruang kerja yang efektif; dan pencapaian terkait keselamatan di sebagian besar organisasi manufaktur. Juga telah terungkap bahwa organisasi manufaktur telah mampu menghilangkan masalah sistem manufaktur kritis yang serius seperti keterlambatan, kerusakan, keuntungan yang menurun, pelanggan yang tidak puas, manajemen visual yang buruk, mesin dan peralatan kotor, *waste* berbagai jenis dan kepadatan rantai kerja. Berikut ini adalah prinsip 5S menurut (Randhawa & Ahuja, 2017) sebagai berikut:

1. *Seiri (sort, clean)*

- a) Membedakan dan memilah barang, alat, dan bahan yang diperlukan dan tidak perlu serta menghapus barang-barang yang tidak perlu.
- b) Karyawan memerlukan instruksi yang didokumentasikan dan mudah dipahami untuk mengidentifikasi dan mengurutkan item yang tidak perlu.
- c) Melalui penyortiran yang sesuai, ia dapat mengidentifikasi bahan, alat, peralatan, dan informasi yang diperlukan untuk mewujudkan tugas. Penyortiran menghilangkan bahan limbah (bahan baku dan bahan), produk nonkonformasi dan alat yang rusak. Ini membantu menjaga tempat kerja yang bersih dan meningkatkan efisiensi pencarian dan penerimaan barang, mempersingkat waktu menjalankan operasi.

2. *Seiton (set in order/configure)*

- a) Tempatkan barang yang dibutuhkan (materi, informasi, alat) di lokasi yang mendukung pekerja.
- b) Meminimalkan waktu untuk mengakses ke tempat-tempat ini, mereka harus dibuat mudah dikenali menggunakan tag, warna, dan lain sebagainya.

3. *Seiso (shine/clean and check)*

- a) Membuat tempat kerja bersih, bebas dari kontaminan, kotoran dan bahan asing.
- b) Selain itu, instruksi untuk mencegah polusi harus didokumentasikan.
- c) Izin pembersihan rutin untuk mengidentifikasi dan menghilangkan sumber gangguan dan untuk mempertahankan tempat kerja yang

bersih. Selama pembersihan, ia memeriksa kebersihan mesin, tempat kerja dan lantai, sesaknya peralatan, kebersihan garis, pipa, sumber cahaya, dan komprehensi informasi yang disampaikan, dan lain-lain. Sangat diperlukan untuk mengurus dan pemeliharaan kecerdikan pribadi operator.

4. *Seiketsu (Standardize/conformity)*

- a) Ketiga prinsip dan kegiatan yang disebutkan di atas harus didokumentasikan dengan jelas dan tepat dan dievaluasi secara teratur.
- b) Standarisasi harus melibatkan atau dibagikan di antara karyawan dan setiap modifikasi dalam prosedur akan diumumkan secara resmi.
- c) Dalam tujuan untuk meyakinkan semua akses mudah, standar wajib harus ditemukan di tempat-tempat yang konstan dan terlihat.

5. *Shitsuke (sustain/ Custom and practice)*

- a) Menjadikan 5S sebagai bagian dari budaya organisasi.
- b) Tujuan utama disiplin diri adalah untuk memastikan bahwa karyawan berkomitmen untuk implementasi jangka panjang dari rencana tersebut.
- c) Ketepatan waktu, keamanan dan disiplin kerja otonom di semua tingkat organisasi adalah efek langsung dari rencana ini.

Penerapan teknik 5S dapat meningkatkan produktivitas kerja karena dalam penerapan standar kerja dapat dilakukan dengan lebih konsisten dan terintegrasi. Misalnya, perusahaan dapat merancang alat transportasi khusus untuk dapat menjamin lebih sedikit kesalahan saat mengambil barang. Mereka menstandarkan prosedur untuk perkiraan waktu yang akurat yang diperlukan untuk mengurutkan dan menemukan item, sehingga mengurangi variabilitas dalam waktu dan proses pergantian.

2.8 Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify (ECRS)

ECRS adalah pendekatan efektif yang digunakan untuk meminimasi *waste* pada lini produksi (Mogensen, 1932). ECRS adalah salah satu teknik studi gerak yang digunakan untuk menganalisis proses dalam lini produksi (Suhardi et al.,

2019). Penerapan Prinsip ECRS efektif untuk meningkatkan efisiensi tenaga kerja sehingga mengurangi biaya tenaga kerja (Fritzie, 2011). ECRS adalah salah satu alat efektif dasar yang dapat digunakan dalam peningkatan efisiensi manufaktur sehingga dapat meningkatkan lini produksi melalui eliminasi inspeksi terperinci dan menganalisis lini produksi (Kasemset et al., 2014).

ECRS dapat diadopsikan untuk meningkatkan efisiensi dengan pengurangan biaya tenaga kerja, untuk mengurangi total jarak transportasi internal dan jumlah operator lini produksi serta bisa digunakan untuk mengurangi biaya produk cacat. Metode ECRS (*eliminate, combine, rearrange, simplify*) merupakan metode yang sederhana dalam penerapan dan penggunaannya, dengan demikian metode ini baik apabila diterapkan dalam proses *improvement* perusahaan (Amran et al., 2018). Konsep ECRS dapat meningkatkan jumlah efisiensi lini dengan peningkatan target produksi karena konsep ECRS dapat menghilangkan, menggabungkan, menyusun ulang, dan menyederhanakan elemen pekerjaan yang tidak efektif dan tidak efisien (Pertiwi & Astuti, 2020). Menurutnya penerapan ECRS dapat mengurangi total waktu *content* kerja, meningkatkan efisiensi keseimbangan, mengurangi keterlambatan keseimbangan sehingga perusahaan dapat mencapai target produksi karena penurunan waktu siklus keseluruhan atau waktu stasiun maksimum dan peningkatan *output* produksi. Oleh karena itu ECRS dapat dikatakan sebagai salah satu alat efektif dasar yang dapat digunakan dalam peningkatan efisiensi manufaktur dan dapat diterapkan untuk perbaikan proses sehingga dapat meningkatkan produktivitas dalam penelitian ini.

Prinsip ECRS

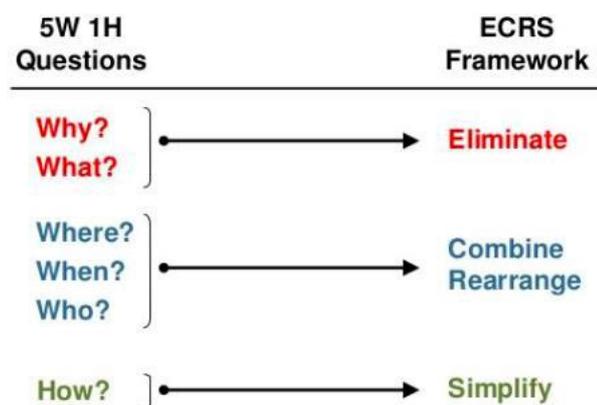
Teknik ini membantu menghasilkan pendekatan untuk meningkatkan produktivitas lini produksi setiap karakter memiliki arti sebagai berikut:

E = Hilangkan (*eliminate*): adalah penghapusan proses yang tidak perlu selama produksi. Tujuh area kerugian yang terdeteksi dalam proses saat ini, yang telah dihilangkan, termasuk kelebihan produksi, waktu tunggu, perubahan yang tidak perlu, pekerjaan yang tidak perlu, stok berlebihan, transportasi yang tidak perlu, dan kerusakan produk.

C = *Combine*: adalah kombinasi proses yang memungkinkan produsen untuk menghemat lebih banyak waktu dan energi yang digunakan dalam produksi. Beberapa proses dapat digabungkan bersama; misalnya, lini produksi yang digunakan untuk memiliki 5 langkah untuk menghasilkan, yang beberapa langkah ini dapat dilakukan bersama-sama pada saat yang sama, proses kemudian sedang digabungkan. Akibatnya, langkah keseluruhan berkurang, memungkinkan seluruh proses produksi selesai lebih cepat dan lebih efisien. Ini juga menghilangkan transit antara proses yang membutuhkan alat yang berbeda untuk menyelesaikan pekerjaan.

R = *Atur ulang (rearrange)*: adalah penataan ulang proses yang diperlukan. Proses yang disusun ulang memungkinkan produksi selesai lebih cepat dengan menghapus transit yang tidak perlu ke proses lain, atau untuk menghilangkan waktu tunggu. Misalnya, jika langkah 2 dan langkah 3 dalam produksi ditukar, itu akan mengurangi jarak antara proses produksi.

S = *Sederhanakan (simplify)*: adalah untuk meningkatkan proses atau menciptakan alat baru yang memungkinkan produksi untuk mengoperasikan secara efisien. Penyederhanaan proses kerja dapat menggunakan *Jig and Fixture* untuk membantu meningkatkan kenyamanan dan keakuratan pekerjaan, yang tidak hanya mengurangi kerusakan pada produk, tetapi juga menghilangkan jarak dan pekerjaan yang tidak perlu.



Gambar 2. 3 Hubungan antara metode 5W1H dan prinsip ECRS

Sumber: (Chiabert & Xue, 2019)

Tabel 2. 3 Formulir Analisis ECRS

ECRS Work Analysis Sheet											Eliminate	Combine	Rearrange	Simplify
#	Work Elements	Safety Distance Dimension Quality Ease	Why	What	Where	When	Who	How	Improvement Ideas	E	C	R	S	
1	Get Scanner	26 Steps Away			X				Move Scanner Cage closer to work area			X	X	
2														
3														
4														

Process steps	Initial state						Target state					Notes	
	Duration:		Contains:				Duration:		Analysis:				
	t [s]	d [m]	Added value	Transport	Search	Wait	t [s]	d [m]	E	C	R		S

Sumber: (Bârsan & Codrea, 2019)

2.9 Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (TRIZ)

TRIZ telah digunakan di berbagai bidang industri, baik itu industri manufaktur maupun jasa (layanan) sejak awal memperkenalkan TRIZ. TRIZ merupakan metode penyelesaian masalah berdasarkan kreatifitas logika dan data yang saat ini banyak digunakan dalam dunia inovasi. TRIZ adalah akronim dari bahasa Rusia, *Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch*. Diterjemahkan dalam bahasa Inggris menjadi "*Theory of Inventive Problem Solving*" atau "Teori Pemecahan Masalah Inventif". TRIZ adalah metode yang terbukti untuk meningkatkan inovasi, membantu menghadapi masalah dari perspektif yang sama sekali berbeda dan baru, membawa ide dan visi baru (Rodríguez et al., 2016). TRIZ adalah metodologi sistematis berbasis pengetahuan yang berorientasi pada manusia tentang pemecahan masalah inventif (Savransky, 2000). Saat ini penerapan TRIZ di industri dianggap sebagai pengganti metode *trial-and-error* karena TRIZ mempunyai kelebihan menganalisa masalah dengan lebih sistematis. *Ideality function* atau *final result*, *separation principle*, *40 inventive principles*, *39 engineering parameters*, dan *contradiction matrix* adalah *tools* utama yang digunakan dalam pemecahan masalah dalam TRIZ.

Setiap individu, kelompok atau organisasi pasti pernah menghadapi situasi dimana ada ide atau pendapat yang kontradiksi (bertentangan atau berlawanan). Untuk membantu dalam pengambilan keputusan terhadap setiap kontradiksi maka telah ditemukan salah satu metode yang sangat membantu yaitu metode TRIZ.

Dalam TRIZ terdapat 2 jenis kontradiksi yaitu *technical contradictions* dan *physical contradictions*. *Technical contradiction* atau dikenal *trade-offs*, adalah kondisi sulit atau bahkan tidak bisa dicapai karena terhalang oleh kondisi alami dari sistem tersebut. Dengan kata lain, ketika suatu parameter meningkat maka parameter lain akan mengalami penurunan. Sedangkan *physical contradictions* adalah situasi dimana suatu parameter meningkat akibat adanya parameter lain yang bersifat berlawanan (Kalevi & Ellen, 2008). Terdapat empat (4) tahapan dalam prosedur penggunaan TRIZ menurut (Kalevi & Ellen, 2008) yaitu:

1. Formulasikan permasalahan
2. Cari atribut *contradiction* dan buat matrix yang akan dikembangkan dengan TRIZ melalui 39 *engineering parameters*.
3. Temukan pemecahan masalah yang ada dengan melihat 40 *inventive principles*
4. Aplikasikan pemecahan masalah TRIZ yang masih bersifat umum ke dalam pemecahan yang lebih bersifat spesifik.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terhadap *Lean Six Sigma* telah banyak dilakukan, baik dari jurnal, maupun tugas akhir. Berikut merupakan beberapa penelitian yang membahas tentang *Lean Six Sigma*:

Burawat (2019a) dalam penelitian yang membahas mengenai perbaikan produktivitas pada perusahaan manufaktur karton. Pada penelitian ini ditemukan bahwa permasalahan produksi terjadi dari proses yang tertunda dalam pemotongan dan departemen *Die-cut*, area berantakan di gudang, transportasi yang tertunda dan salah. Setelah menerapkan 5S, *work study*, ECRS, *Lean Six Sigma* pola pergerakan meningkat 14,50 persen perbaikan, mengurangi kelelahan 22,10 persen perbaikan, tingkat kepuasan karyawan meningkat 43,75 persen perbaikan serta perbaikan kuantitas dan mengurangi cacat 52,94 persen perbaikan.

Indrawati & Ridwansyah, (2015) dalam penelitian yang membahas mengenai peningkatan manufaktur berkelanjutan di industri biji besi.

Permasalahan yang diteliti yaitu ketidakmampuan memenuhi target kuantitas manufaktur di industri biji besi. Pada tahap *Define* akan melakukan identifikasi terhadap aktivitas VA, NVA, NNVA dengan Limbah yang paling umum dan berpengaruh adalah pengolahan dan cacat yang tidak pantas. Pada tahap *Measurement* akan melakukan pengukuran proses kapabilitas dan DPMO kemudian dianalisa dengan FMEA setelah itu melakukan *Improvement* dan rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil analisis. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan proses berada di level 2.96 *sigma* sehingga perlu melakukan desain ulang pengumpul debu parasut, prosedur operasi standar penimbangan, ereksi BC 05, pemasangan vibrometer dan pemasangan pabrik nitrogen.

Singgih & Renanda (2008) dalam penelitian yang membahas mengenai penerapan tahap DMAIC untuk meningkatkan kualitas produk kertas. Pada tahap *define*, dilakukan penentuan obyek penelitian beserta tujuannya. Pada tahap *measure*, dilakukan pemilihan CTQ dan menghitung nilai *Sigma* beserta nilai DPMOnya. Pada tahap *analyze*, dilakukan analisa terhadap kapabilitas proses dan identifikasi penyebab *defect*. Pada tahap *improve*, dilakukan pemilihan perbaikan. Sedangkan pada tahap *control*, dilakukan analisa terhadap perubahan yang terjadi pada nilai *Sigma* dan DPMO.

Sherva & Singgih (2018) dalam penelitiannya menggunakan *Six Sigma* sebagai acuan proses perbaikan dengan menggunakan tahapan alur *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (DMAIC). Tahap *define* meliputi pendefinisian objek, pembuatan *operation process chart* (OPC), *critical proses, critical to quality* (CTQ) serta menentukan prioritas defect menggunakan *pareto chart*. Tahap *measure* menggunakan Kapabilitas Proses dan DPMO untuk mengetahui kinerja proses. Tahap *Analyze* digunakan FMEA untuk mendapatkan prioritas penyebab kegagalan produk dalam *critical process*, kemudian dilakukan integrasi menggunakan TRIZ dalam tahap *improve* untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan yang cocok dalam pengembangan *critical process*.

Burawat (2019b) dalam penelitian yang membahas mengenai meningkatkan produktivitas. Dari penelitian tersebut, ditemukan bahwa rencana operasi tidak sesuai dengan rencana karena perubahan cuaca dan hujan yang menyebabkan

batuan basah dan batu menempel pada sabuk konveyor. Ini adalah hambatan dalam produksi yang tertunda dan kualitas buruk. Selain itu, batu yang menempel pada sabuk *konveyor* menyebabkan mesin bekerja lebih keras. Dengan demikian, penelitian ini menyumbangkan studi terbaru dengan meningkatkan efektivitas peralatan secara keseluruhan dengan penerapan *Lean Six Sigma*, TPM, ECRS, dan 5S. Menyiapkan area konstruksi baru sesuai prinsip 5S memungkinkan karyawan untuk bekerja lebih mudah.

Hasrulnizam & Mahmood (2008) dalam penelitian yang bertujuan untuk membahas alat dan teknik yang digunakan oleh industri dalam implementasi dua jenis pendekatan perusahaan yang berbeda: *Lean Manufacturing* (LM) dan *Total Quality Management* (TQM). Hasil dari penelitian ini yaitu bahwa ada banyak alat dan teknik yang digunakan oleh industri dalam mengimplementasikan *lean manufacturing* dan TQM. Meskipun, ada beberapa alat dan teknik yang disarankan dari studi kasus sebelumnya tidak berlaku untuk organisasi lain. SPC adalah yang paling banyak digunakan dalam TQM sementara *Kaizen* untuk *Lean Manufacturing*. TPM alat ketiga yang sering digunakan oleh industri dalam kedua pendekatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPC, TPM dan FMEA signifikan dengan jenis industri. Pemilihan alat dan teknik dalam *Lean Manufacturing* atau TQM harus sesuai dengan latar belakang operasi organisasi. Setiap organisasi harus memiliki pemahaman dan pengetahuan yang tepat sebelum menerapkannya. Selain itu, komitmen dan keterlibatan karyawan dalam rencana pengembangan strategis sangat penting untuk memastikan implementasi *Lean Manufacturing* atau TQM secara keseluruhan berhasil.

Priya et al., (2020) dalam penelitian yang menyajikan studi kasus tentang implementasi *lean six sigma* di pabrik perakitan otomotif untuk mengurangi/menghilangkan proses NVA di jalur perakitan. Analisis cacat menyeluruh dilakukan di pabrik perakitan otomotif untuk memeriksa, mengukur, dan mengurangi sumber kekurangan dalam proses operasional yang bersangkutan, untuk mengoptimalkan terjadinya cacat, meningkatkan dan mempertahankan kinerja selama proses perakitan otomotif. Dalam studi kasus ini, metode *lean six sigma* berhasil dieksekusi di divisi perakitan otomotif di mana tiga NVA dan 12

cacat penting diidentifikasi dan solusi potensial disediakan. Implementasi solusi yang diusulkan telah mengakibatkan pengurangan drastis kegiatan yang tidak produktif menghabiskan waktu kerja 19 menit dan rasio cacat 37,2% masing-masing dengan menggunakan strategi seperti teknik six sigma DMAIC dan RCA & alat-alat seperti analisis tulang ikan, analisis pohon masalah, mengapa analisis & studi proses. Oleh karena itu, dari penelitian kasus ini sangat jelas bahwa eksekusi alat & teknik ramping mengurangi limbah dan menyelesaikan cacat secara sistematis yang meningkatkan kualitas produk, proses dan mencegah terulangnya cacat di sektor manufaktur.

Kasemset et al., (2014) dalam bertujuan untuk menerapkan konsep ECRS dan teknik simulasi dalam peningkatan efisiensi satu pabrik paket kertas di Thailand. Model simulasi dibuat untuk produk target dan proses untuk mengidentifikasi dan meningkatkan hambatan. Satu jenis paket kertas tertentu dipilih sebagai produk target karena permintaannya yang tinggi dan berkelanjutan. Langkah pertama adalah mengumpulkan data umum produk target dan prosesnya. Kemudian, data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan *Input Analyzer* sebelum digunakan dalam pengembangan model simulasi. Hasil dari simulasi dan data aktual yang dianalisis menggunakan konsep ECRS digunakan untuk mengusulkan solusi perbaikan untuk mengurangi total waktu proses target. Tiga prosedur dievaluasi melalui tes simulasi. Terakhir, hasil dari model simulasi menunjukkan pengurangan total waktu proses dari 4,99 jam menjadi 3,49 jam yaitu pengurangan 28,06%.

Suhardi et al., (2019) dalam penelitian yang bertujuan untuk mengimplementasikan *lean manufacturing* di salah satu perusahaan furnitur di Indonesia untuk meminimalisir *waste* di rantai produksi. Pemetaan *Value Stream Mapping* (VSM) akan digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi limbah dengan memisahkan aktivitas bernilai tambah dan aktivitas tidak bernilai tambah dalam proses produksi. *Future state map* menggambarkan proses yang ditingkatkan lebih efektif dan lebih efisien. Limbah kritis yang ditemukan di rantai produksi bergerak. Perbaikan dilakukan dengan menggunakan teknik 5W1H dan prinsip ECRS, dua alat sederhana kaizen. Beban kerja pertimbangan operator juga

dilakukan untuk menghindari kemacetan dan mengurangi waktu memimpin. Hasilnya diam-diam luar biasa karena lead time menurun sekitar 4,79% dan mampu menyeimbangkan beban kerja yang diterima operator.

Yadav (2014) dalam penelitiannya yang meninjau proyek peningkatan produktivitas menggunakan alat *Lean Six Sigma* yang berfokus untuk meningkatkan aktivitas *bottleneck* di departemen proyek industri. *Bill of material generation* merupakan salah satu kegiatan kritis di awal proyek yang memberikan persyaratan berbagai bagian kepada departemen perencanaan. Tetapi *bill of material generation activity* ini membutuhkan waktu yang sangat banyak yang mempengaruhi produktivitas departemen. Tergantung pada tujuan setiap organisasi harus menemukan cara yang tepat dan kombinasi metodologi dalam proses implementasinya. Siklus PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) adalah konsep dasar yang terkenal dari proses perbaikan berkelanjutan, DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) adalah pendekatan sistematis, dan berbasis fakta yang menyediakan kerangka kerja manajemen proyek berorientasi hasil, DFSS (*Design for Six Sigma*) adalah pendekatan sistematis untuk produk baru atau desain proses yang berfokus pada kegiatan pengembangan.

Indrawati & Ridwansyah, (2015b) dalam penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan proses manufaktur. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Lean Six Sigma*. Bagian pertama difokuskan pada analisis *waste* menggunakan pemetaan aktivitas proses. Kemudian kemampuan proses manufaktur dievaluasi. Selanjutnya, analisis mode kegagalan dan efek digunakan sebagai pertimbangan dasar dalam mengembangkan program perbaikan berkelanjutan. Penelitian menunjukkan bahwa kinerja kualitas berada di level 2.97 sigma. Ada 33,67 % aktivitas *non-value added* dan 14,2% aktivitas *non-value-added* yang diperlukan yang terjadi selama proses manufaktur. Berdasarkan analisis, cacat produk, pengolahan dan menunggu yang tidak tepat adalah jenis limbah manufaktur yang sering terjadi. Program perbaikan berkelanjutan dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut. Program ini terdiri dari mendesain ulang kolektor debu parasut, weighing standard operation procedures, ereksi BC 05, instalasi vibro meter dan instalasi pabrik nitrogen.

Gleeson et al., (2019) melakukan penelitian dengan membuat pekerjaan kognitif terlihat sehingga pola aktivitas dapat dianalisis dan ditingkatkan. Mengintegrasikan metode baru ke dalam struktur LSS yang mapan menghindari kebutuhan organisasi untuk mengadopsi kerangka kerja baru. Publikasi ini menjelaskan bagaimana faktor manusia dan metode rekayasa kognitif dapat dikombinasikan dengan *Lean Six Sigma* untuk menciptakan kerangka produktivitas yang ditingkatkan untuk manufaktur yang kompleks. Penelitian aksi selama periode tiga bulan digunakan untuk memvalidasi efektivitasnya merekam kerja kognitif insinyur yang terlibat dalam tugas kontrol kualitas. Metode yang digunakan dalam kasus ini juga terbukti efektif dalam proyek penelitian lainnya. Penelitian kami dalam manufaktur lanjutan terus berlanjut, terutama pada a) penggunaan tangga keputusan untuk menganalisis pekerjaan kognitif dan b) memahami model mental menggunakan teknik pemanfaatan pengetahuan.

Ghaleb et al., (2017) melakukan penelitian dengan tujuan untuk menerapkan metodologi *lean six sigma* (LSS) pada UKM. LSS yang diusulkan dalam penelitian ini tidak hanya mempelajari kerangka LSS tetapi juga fokus implementasi LSS pada UKM. Kontribusi penelitian ini menggunakan metodologi LSS untuk mengurangi waktu yang dibuang-buang, mengurangi cacat, dan meningkatkan tingkat sigma. Hasil yang diperoleh setelah implementasi metodologi LSS dalam penerapan industri kantong semen menunjukkan bahwa tingkat produksi dapat ditingkatkan sekitar 4,25 % dan juga dapat menghemat sekitar \$ 8.952 dari pengurangan waktu limbah dan \$ 12.730,61 dari pengurangan cacat; totalnya adalah \$ 21.682,61 per tahun. Selain itu, waktu persiapan dapat dikurangi sekitar 4,57 %, meningkatkan OEE sebesar 20%, dan meningkatkan level sigma dari 3,91 menjadi 4,00.

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis disajikan dalam Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2. 4 Perbandingan Penelitian Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Tahun	Objek	Fokus Penelitian	Metode/tools
Sri Indrawati & Muhammad Ridwansyah	<i>Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application</i>	2015	Industri Biji Besi	Peningkatan manufaktur berkelanjutan di industri biji besi untuk mengatasi masalah ketidakmampuan memenuhi target	<i>Lean Six Sigma, DMAIC, FMEA, PAM, DPMO</i>
Sherva, R., & Moses, L., Singgih	Pengendalian Dan Perbaikan Kualitas Proses Printing Kemasan Produk Menggunakan Integrasi FMEA-TRIZ	2018	Proses <i>Printing</i>	Pengendalian Dan Perbaikan Kualitas Proses <i>Printing</i> Kemasan Produk	DMAIC, OPC, <i>Pareto Chart, Six Sigma, DPMO, FMEA, TRIZ.</i>
S. Krishna Priya, V. Jayakumar dan S. Suresh Kumar a 2019	<i>Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line</i>	2019	Pabrik perakitan otomotif	Untuk mengurangi/menghilangkan proses NVA di jalur perakitan.	<i>Lean Six Sigma, DMAIC, RCA, fishbone analysis, problem tree analysis, why-why analysis & process study.</i>
Wan Hasrulnizam and Wan Mahmood	<i>Industrial Application Tools and Techniques in Lean Manufacturing and Total Quality Management</i>	2008	Industri yang menggunakan <i>Lean Manufacturing and Total Quality Management (TQM).</i>	Aplikasi alat dan Teknik yang digunakan oleh Industri	SPSS, <i>Lean Manufacturing, TQM, SPC</i>

Penulis	Judul	Tahun	Objek	Fokus Penelitian	Metode/tools
Moses L. Singgih & Renanda	Peningkatan Kualitas Produk Kertas Dengan Menggunakan Pendekatan <i>Six Sigma</i> di Pabrik Kertas	2008	Kertas Hvo	Peningkatan Kualitas Produk	<i>Lean Six Sigma, Matriks Penilaian Risiko, Waste, dan 5 Whys.</i>
Piyachat Burawat	<i>Productivity Improvement of Carton Manufacturing Industry by Implementation of Lean Six Sigma, ECRS, Work Study, and 5S: A Case Study of ABC Co., Ltd.</i>	2019	Industri Manufaktur Karton	Memperbaiki Produktivitas	<i>Brainstorming; Cause and Effect Analysis; ECRS; Lean Six Sigma; Productivity; Work Study; 5S; Continuous Improvement.</i>
Chompoonoot Kasemset, Prin Pinmanee and Primapun Umarin	<i>Application of ECRS and Simulation Techniques in Bottleneck Identification and Improvement: A Paper Package Factory</i>	2014	Pabrik paket kertas di Thailand	Menerapkan konsep ECRS dan teknik simulasi	ECRS dan ARENA

Penulis	Judul	Tahun	Objek	Fokus Penelitian	Metode/tools
Bambang Suhardi, Nur Anisa & Pringgo Widyo Laksono	<i>Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry</i>	2019	Perusahaan furnitur Indonesia di	Untuk meminimalisir waste di lantai produksi	ECTS, 5W1H, VSM dan <i>Lean Manufacturing</i>
Dayanand Yadav	<i>Study of Productivity Improvement Using Lean Six Sigma Methodology</i>	2014	<i>Project department of industry</i>	Meningkatkan aktivitas <i>bottleneck</i> di departemen proyek industri.	Lean Six Sigma, DMAIC, PDCA, DFSS
Frank Gleesona, Paul Coughlanb, Lizbeth Goodmana, Anthony Newella Vincent Hargadena	<i>Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean six sigma methods</i>	2019	<i>Cognitive work</i>	Mengintegrasikan metode baru ke dalam struktur LSS yang mapan menghindari kebutuhan organisasi untuk mengadopsi kerangka kerja baru	Lean six sigma dan SIPOC
Sri Indrawati, Muhammad Ridwansyah	<i>Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application</i>	2015	Industri biji besi	Meningkatkan kemampuan proses manufaktur	<i>Lean six sigma</i> , DMAIC, FMEA, DPMO, CTQ

Penulis	Judul	Tahun	Objek	Fokus Penelitian	Metode/tools
Abdulrakeeb A. Ghaleb, Mahmoud A. El-Sharief DAN Mohamed. G. El-Sebaie	<i>Implementation of Lean Six Sigma (LSS) Techniques in Small and Medium Enterprises (SMEs) to Enhance Productivity</i>	2017	UKM	Mengurangi waktu yang dibuang-buang, mengurangi cacat, dan meningkatkan tingkat sigma	<i>Lean six sigma (LSS), DMAIC, OEE, SIPOC, VSM, DPMO, Cp</i>
Piyachat Burawat	Peningkatan Produktivitas Industri Rekayasa Jalan Raya Dengan Implementasi <i>Lean Six Sigma</i> , TPM, ECRS, Dan 5S: Studi Kasus AAA CO., LTD.	2019	Jalan Raya	Peningkatan Produktivitas Industri Rekayasa Jalan Raya	<i>Lean Six Sigma, TPM, ECRS, and 5S</i>
PENELITIAN INI	Minimasi <i>waste</i> Pada Perusahaan Dengan Pendekatan <i>Lean Six Sigma</i> , ECRS Dan TRIZ	2021	Industri batako	Minimasi <i>Waste</i> Pada Proses Produksi batako	<i>Lean Six Sigma, ECRS, TRIZ, 5S, VSM, Root Cause, Pareto, DPMO</i>

Tabel 2. 5 Perbandingan Posisi Penelitian

Penulis	Metode/tools																				
	OPC	Pareto Chart	Six Sigma (DMAIC)	DMO	FMEA	TRIZ	ECRS	5whys	Lean	TPM	SPC	RCA	TQM	SIPPOC	PDCA	DFSS	Simulasi (Arena)	OEE	5S	Matrix Penilaian Risiko	BRINSTORMING
Sri Indrawati & Muhammad Ridwansyah			√	√	√				√												
Sherva, R., & Moses, L., Singgih	√	√	√	√	√	√															
S. Krishna Priya, V. Jayakumar dan S. Suresh Kumara 2019			√					√	√			√									√
Wan Hasrulnizzam and Wan Mahmood			√						√		√		√								
Moses L. Singgih & Renanda			√				√		√	√									√	√	√
Piyachat Burawat			√				√		√	√									√		√
Chompoonoot Kasemset, Prin Pinmanee and Primapun Umarin							√										√				

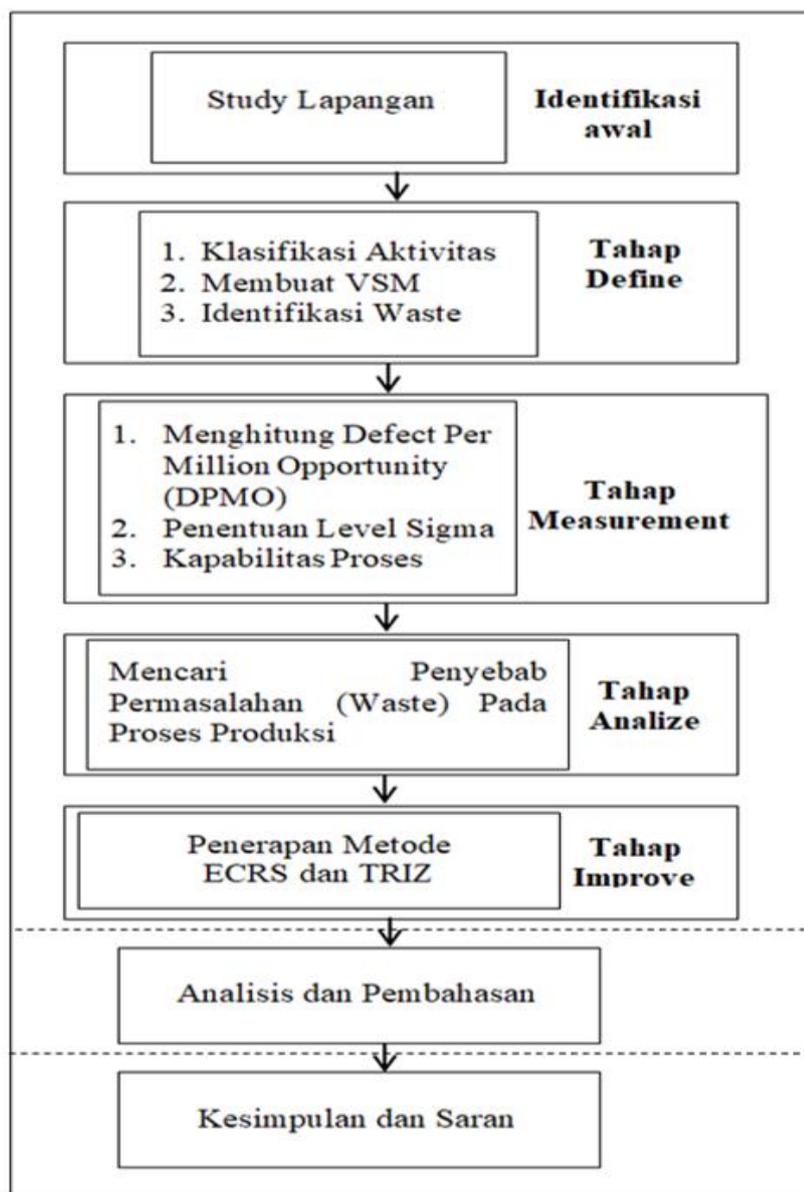
Penulis	Metode/tools																				
	OPC	Pareto Chart	Six Sigma (DMAIC)	DPMO	FMEA	TRIZ	ECRS	5whys	Lean	TPM	SPC	RCA	TQM	SIPOC	PDCA	DFSS	Simulasi (Arena)	OE	5S	Matrix Penilaian Risiko	BRINSTORMING
Bambang Suhardi, Nur Anisa & Pringgo Widyo Laksono			√				√		√												
Dayanand Yadav			√						√						√	√					
Frank Gleesona, Paul Coughlanb, Lizbeth Goodmana, Anthony Newella Vincent Hargadena			√						√					√							
Sri Indrawati, Muhammad Ridwansyah			√						√												
Abdulraakeeb A. Ghaleb, Mahmoud A. El-Sharief DAN Mohamed. G. El-Sebaie			√	√					√					√				√			

Penulis	Metode/tools																				
	O P C	Pareto Chart	Six Sigma (DMAIC)	D P M O	F M E A	TRIZ	ECRS	5whys	Lean	T P M	S P C	R C A	TQM	S I P O C	P D C A	D F S S	Simulasi (Arena)	O E E	5S	Matrix Penilaian Risiko	BRINSTO RMING
Piyachat Burawat			√				√		√	√									√		√
PENELITIAN SAAT INI			√	√		√	√	√	√										√		√

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab 3 ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang merupakan tahapan-tahapan yang akan dilakukan dari penelitian. Tahapan ini disusun secara sistematis dan terarah sesuai dengan tujuan dari penelitian. Bab 3 ini akan berisi tentang alur penelitian, penjelasan dari masing-masing tahapan alur penelitian.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

3.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi awal merupakan tahap yang dilakukan oleh peneliti pada awal pelaksanaan penelitian. Tahap ini akan melakukan pengamatan terhadap proses produksi di perusahaan CBBI untuk mempermudah proses penelitian pada tahap selanjutnya. Selain itu pada tahap ini peneliti juga melakukan studi pustaka. Studi literatur bertujuan untuk mempelajari teori-teori yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian. Pada studi literatur ini akan mempelajari dan *mereview* teori-teori dan mensinkronisasikan dengan permasalahan penelitian terutama untuk mendapatkan *tools* dan metode yang sesuai untuk membantu mendapatkan solusi penelitian. Dari hasil studi lapangan dan studi literatur peneliti dapat mengetahui keadaan *riil* perusahaan dan metode atau *tools* yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan penelitian ini.

3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahap pengumpulan dan pengolahan data ini akan melakukan beberapa aktivitas yaitu sebagai berikut:

3.1.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data akan mengambil data perusahaan dengan tujuan untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian ini. Data yang dibutuhkan akan berupa data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data yang akan diperoleh langsung dari sumber teridentifikasi (tidak melalui media perantara). Data primer dapat berupa opini *subject* (orang), dari hasil observasi maupun dari hasil pengujian tertentu. Dalam penelitian ini data primer akan didapatkan dengan melakukan pengamatan secara langsung dan wawancara kepada pihak terkait (manajer produksi, manajer *Quality Control* dan seorang operator) untuk mendapatkan informasi yang relevan dengan permasalahan yang terjadi selama proses produksi. Selain itu data sekunder akan diperoleh dari data historis perusahaan dan jurnal terkait atau jurnal relevan. Data sekunder yaitu data penelitian yang akan diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara (dikumpulkan dan dicatat oleh pihak lain). Data sekunder pada umumnya berupa bukti, catatan maupun laporan historis yang

telah tersusun dalam bentuk arsip yang sudah dipublikasikan maupun yang tidak di publikasikan. Data atau informasi yang diperoleh dari data sekunder dalam penelitian ini antara lain: hasil produk dan spesifikasinya, bahan baku, material atau peralatan dan *layout* rantai produksi. Data yang telah dikumpulkan tersebut kemudian diolah dengan menggunakan metode yang telah ditentukan oleh peneliti.

3.1.2 Define

Pada tahap *define* akan melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Melakukan *breakdown* terhadap proses produksi dengan menggunakan *flowchart* serta mengklasifikasikannya. Untuk melakukan *breakdown* data hasil pengamatan terhadap kondisi sebenarnya di lapangan dan akan menggambarkan *flowchart* daripada tahapan proses produksi. Data yang akan diperlukan yaitu data tahapan proses operasi, material, bahan, termasuk mesin dan layout perusahaan.
2. Mengambarkan aliran fisik dan informasi perusahaan dengan menggunakan *Value Stream Mapping*. Data yang akan dibutuhkan dalam pembuatan VSM yaitu data aktivitas produksi termasuk waktu yang dibutuhkan dalam siklus produksi dan aliran informasi dari *customer* memesan produk ke perusahaan, pengadaan bahan baku, produksi batako hingga produk diterima oleh *customer*.
3. Melakukan wawancara dengan pihak manajer produksi, manajer *Quality Control* dan seorang Operator untuk mengidentifikasi *waste* kritis yang ada pada proses produksi.

3.1.3 Measure

Pada tahap ini dilakukan perhitungan untuk melihat kondisi *existing* proses produksi di perusahaan Cidade Block Building Industry (CBBI). Tahap pengukuran ini akan menghitung nilai DPO, DPMO, *Level Sigma* dan Kapabilitas Proses sehingga dibandingkan dengan target yang telah ditentukan oleh perusahaan. Dengan pengukuran ini akan menghasilkan informasi level

sigma dan kapabilitas proses perusahaan sehingga akan membantu pengambilan keputusan perbaikan produktivitas perusahaan. Data yang dibutuhkan dalam tahap pengukuran yaitu data target produksi, produk yang dihasilkan, data produk cacat yang ada dalam periode tertentu, target level sigma dan kapabilitas proses perusahaan. Rumus penentuan nilai *Defect per million opportunity* (DPMO) sebagai berikut (Pande et al., 2000):

$$Defect\ per\ opportunity\ (DPO) = \frac{Number\ of\ Defects}{Number\ of\ Units\ \times\ of\ Opportunities}$$

$$Defects\ per\ million\ opportunities\ (DPMO) = DPO \times 1000000 \dots\dots\dots(3.1)$$

Berdasarkan DPMO diatas selanjutnya menentukan level *sigma*, dengan cara perhitungan seperti berikut ini berdasarkan rumus berikut (Pyzdek, 2003):

$$Level\ Sigma = Normasinv\left(\frac{1000000 - DPMO}{1000000}\right) + 1,5 \dots\dots\dots(3.2)$$

Nilai *capability process* (Cp) digunakan untuk mengetahui kemampuan dari proses saat ini dalam menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan nilai kapabilitas proses produksi (Rafsanjani & Singgih, 2018):

$$Capability\ Process\ (Cp) = \frac{Level\ Sigma}{3} \dots\dots\dots(3.3)$$

3.2 Tahap Analisis dan Perbaikan

Setelah pengumpulan dan pengolahan data, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan memberikan rekomendasi perbaikan untuk perusahaan. Pada tahap ini akan menggunakan ECRS untuk menentukan aktivitas-aktivitas mana akan dieliminasi, dikombinasi, dikerjakan ulang serta disimplifikasi dan TRIZ untuk melakukan perbaikan sesuai tujuan daripada penelitian. Penambahan metode TRIZ karena pada keputusan ECRS belum maksimal (masih perlu rekomendasi yang dilakukan dengan logika atau data) dengan demikian

memanfaatkan kemampuan metode *problem solving* yang sistematis berdasarkan pada logika atau data dari TRIZ. Proses penerapan TRIZ yaitu akan dimulai dengan pemilihan *technical problem* yang ada dan mendefinisikan permasalahan yang terjadi, Menentukan formulasi solusi alternatif yang ideal dan membuat kontradiksi permasalahan pada masing-masing *waste* kritis. Selain itu akan menemukan *contradiction matrix* pada *waste* dan mengintegrasikan dengan 40 *principles* inovasi dan menetapkan solusi terbaik berdasarkan dengan *contradiction matrix* yang memiliki *trade off* terbaik berdasarkan hubungan parameter kontradiksi. Setelah dua metode tersebut di atas metode 5S akan diintegrasikan juga untuk mengatur dan mengatasi kesalahan manusia di tempat kerja. Data yang digunakan dalam tahap ini adalah data hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya.

3.3 Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian ini yang mampu menjawab tujuan yang telah ditentukan. Penarikan kesimpulan ini didapatkan melalui hasil akhir dari serangkaian tahapan penelitian. Sedangkan saran dilakukan untuk memperbaiki penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

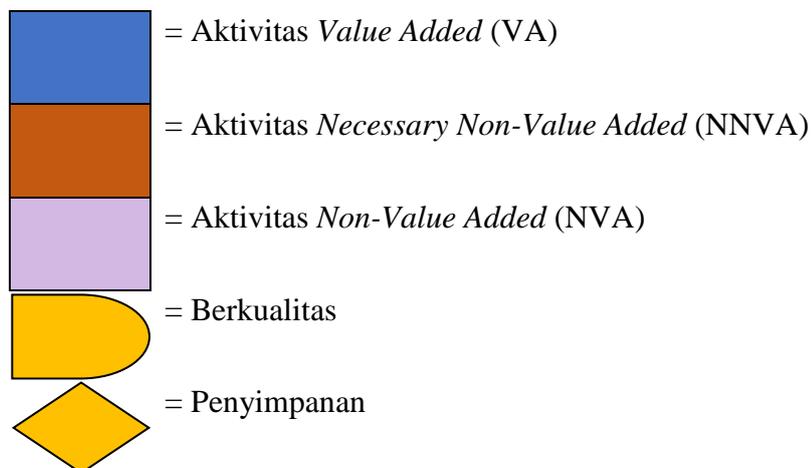
Tahap ini akan menerapkan metode *Lean Six Sigma* melalui tahapan DMAIC untuk mengidentifikasi dan mengukur permasalahan produktivitas di perusahaan.

4.1 *Define*

Pada tahap *Define* ini akan melakukan pengamatan serta melakukan pendefinisian keadaan proses produksi di perusahaan. Tahap *define* terdiri dari *breakdown* proses produksi, klasifikasi aktivitas, dan *Value Stream Mapping*.

4.1.1 *Breakdown* Proses Produksi dan Kalsifikasi aktivitas

Proses produksi di perusahaan CBBI terdapat tiga bagian, yaitu bagian pencampuran material prima (adonan mortar), pencetakan batako serta perawatan batako dan penyimpanan. Simbol yang digunakan dalam *Breakdown* Proses Produksi dan Kalsifikasi aktivitas sebagai berikut:

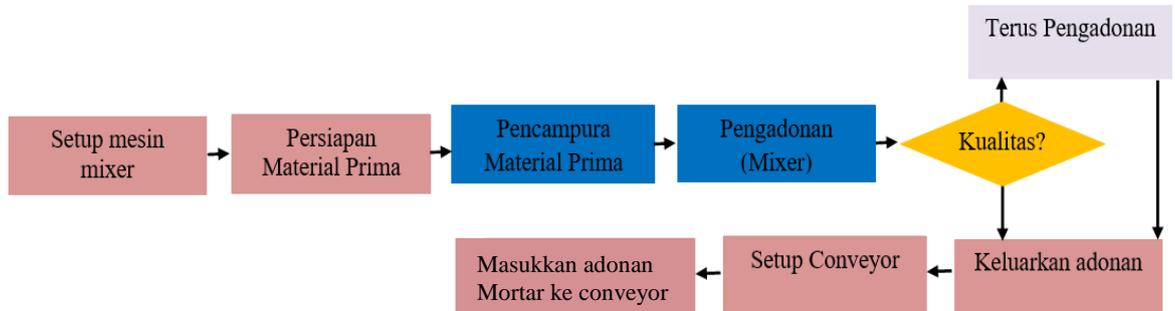


Gambar 4. 1 Simbol Untuk Klasifikasi Aktivitas

1. Breakdown Proses Produksi

Breakdown proses produksi pada beberapa tahapan sebagai berikut:

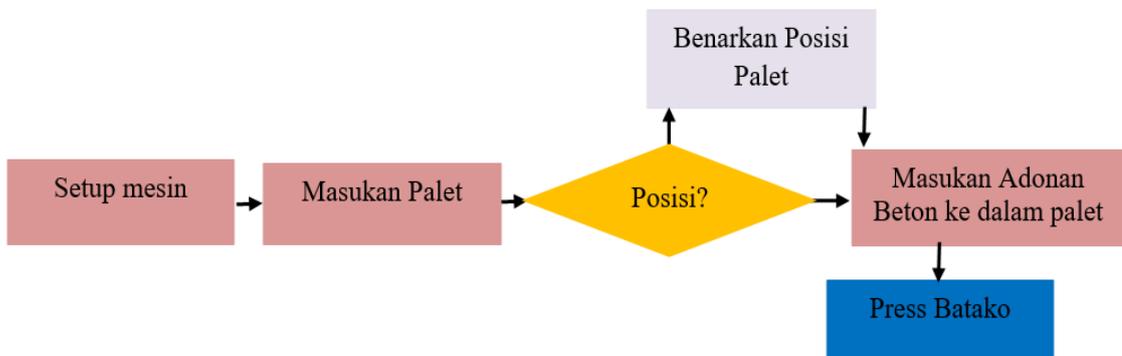
a. Tahap Pencampuran Bahan Baku



Gambar 4. 2 Tahap Pencampuran Material Prima

Berdasarkan pada Gambar 4.2 di atas pada tahap pencampuran material prima terdapat sembilan aktivitas, dimana hanya terdapat dua aktivitas yang memberikan nilai tambah (VA) yaitu aktivitas pencampuran material prima (pasir, semen dan air) serta pengadonan dengan mesin mixer. Dimana kedua aktivitas ini dapat merubah material prima menjadi mortar yang siap untuk cetak batako. Pada aktivitas *setup* mesin, persiapan material prima, cek kualitas adonan, mengeluarkan mortar, *setup coveyor* dan memasukkan mortar ke *coveyor* memang tidak memberi nilai tambah (NNVA) tetapi aktivitas ini tidak dapat di abaikan pada proses produksi. Satu aktivitas lain yang merupakan NVA yaitu aktivitas pengadonan tambahan karena aktivitas tambahan hanya menambah beban kerja yang *extra* sehingga dianggap pemborosan.

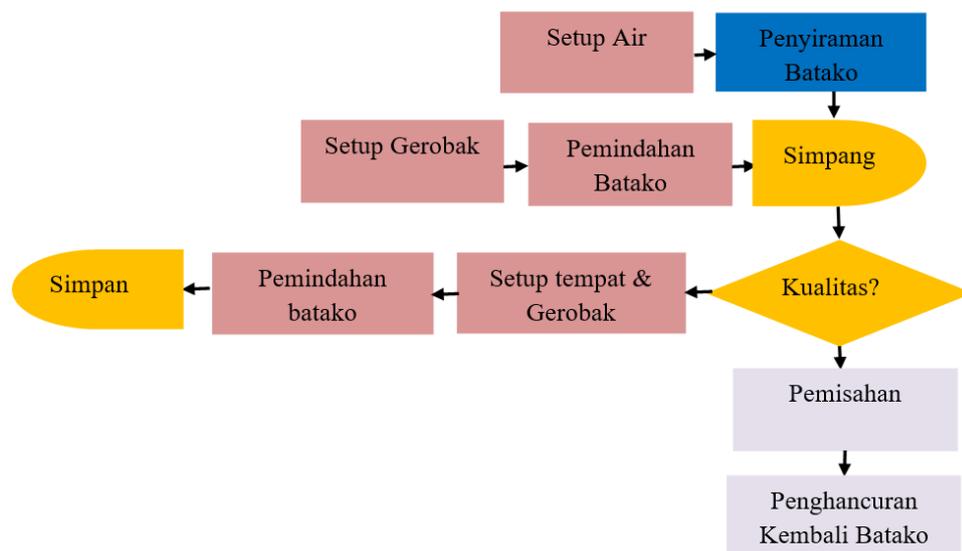
b. Tahap Pencetakan batako



Gambar 4. 3 Tahap Pencetakan Batako

Berdasarkan pada Gambar 4.3 terdapat enam aktivitas, dimana pada tahap ini hanya terdapat satu aktivitas yang bernilai tambah (VA) yaitu press batako, karena pada tahap ini akan merubah material prima menjadi batako jadi. Sedangkan aktivitas setup mesin, memasukkan palet ke mesin cetak, cek posisi palet dan memasukkan adonan mortar ke mesin cetak walaupun tidak menambahkan nilai tambah tetapi harus tetap ada, jika dihapus maka proses tidak bisa berjalan. Pada proses memposisikan ulang palet yang salah dianggap sebagai aktivitas NVA karena aktivitas ini seharusnya tidak ada jika pada aktivitas memasukkan palet sudah benar.

c. Tahap Perawatan



Gambar 4. 4 Tahap Perawatan

Dilihat dari Gambar 4.4 di atas terlihat ada sebelas aktivitas. Dimana aktivitas penyiraman batako adalah aktivitas VA karena dengan penyiraman maka batako yang baru diproduksi akan menjadi lebih kokoh dan tahan terhadap faktor lingkungan. Selain itu, aktivitas pemisahan produk cacat dan penghancuran kembali batako yang rusak dianggap NVA karena sebenarnya aktivitas ini tidak bisa terjadi jika tidak terjadi produk yang cacat. Namun delapan aktivitas lainnya dianggap sebagai NNVA karena tanpa aktivitas tersebut akan berakibat pada kualitas akhir produk.

2. Klasifikasi aktivitas

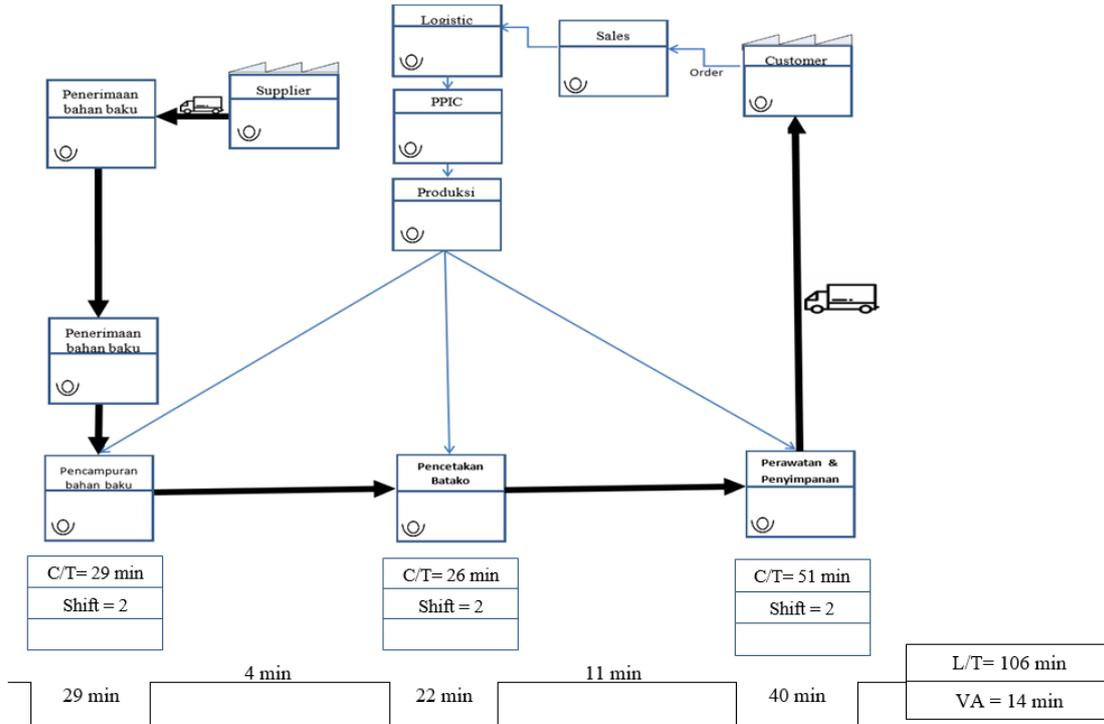
Berikut ini merupakan klasifikasi aktivitas pada proses produksi batako serta *breakdown* dari proses produksi batako:

Tabel 4. 1 Klasifikasi Aktivitas

Bagian	Aktivitas	Kalsifikasi aktivitas			Waktu (menit)
		VA	NNVA	NVA	
Pencampuran material prima (adonan mortar),	Setup mesin Mixer		✓		2
	Persiapan material prima		✓		5
	Pencampuran material prima	✓			3
	Pengadonan (Mixer)	✓			10
	Cek Campuran (kualitas?)		✓		1
	Terus pengadonan			✓	3
	Keluarkan adonan		✓		3
	Setup conveyor		✓		1
	Masukan adonan mortar ke <i>Conveyor</i> untuk transfer ke mesin cetak		✓		1
Pencetakan batako	Setup mesin cetak batako		✓		2
	Masukan Palet		✓		1
	Cek Posisi Palet		✓		1
	Benarkan posisi palet			✓	1
	Masukan Adonan mortar ke kokak Pencetakan		✓		1
	Press batako (cetak)	✓			20
Perawatan dan penyimpanan	Persiapan Gerobak		✓		1
	Pemindahan batako		✓		5
	Simpan		✓		5
	Setup air		✓		2
	Penyiaman batako	✓			5
	Kualitas		✓		1
	Pemisahan batako cacat			✓	5
	Penghancuran kembali batako rusak			✓	5
	Setup tempat penyimpanan dan setup gerobak		✓		2
	Pemindahan batako		✓		10
Simpan		✓		10	
TOTAL		4	18	4	106

4.1.2 Value Stream Mapping (VSM)

Berikut ini merupakan *Value Stream Mapping* dari produksi batako.



Gambar 4.5 Value Stream Mapping

Data *cycle time* yang digunakan disini adalah data *cycle time* yang telah diolah dari perusahaan dan data tersebut adalah data rata-rata dari *cycle time* yang digunakan oleh perusahaan selama ini untuk satu siklus produksi.

4.1.3 Identifikasi Waste Kritis

1. Inventory

Pemborosan jenis *inventory*, yaitu tentang adanya *inventory* yang berlebih, baik itu *inventory raw material*, WIP, maupun *finished good*. Permasalahan *inventory* kadang terjadi pada saat pemindahan batako jadi dan perawatan tetapi itu tidak berpengaruh signifikan. Selain itu pemesanan bahan baku pasir dan semen serta proses produksi juga dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah dibuat oleh bagian *Production Planning and Inventory Control* (PPIC), sehingga tidak ada *inventory* yang berlebih dalam bentuk *raw material* dan *finished good*.

Oleh karena jarang terjadi penumpukan pada proses produksi batako sehingga tidak terdapat *waste* pada bagian *inventory*.

2. *Waiting*

Pemborosan jenis *waiting* pada proses produksi batako di perusahaan CBBI disebabkan oleh adanya *breakdown* pada mesin. Berikut ini merupakan data mesin yang mengalami *breakdown*.

Tabel 4. 2 Data *Breakdown* Mesin Bulan Februari 2021

Mesin	Jumlah mesin	Frekuensi <i>breakdown</i>	Waktu yang hilang (menit)
Mesin <i>multi Block</i>	1	1	1440

Tabel 4.2 menunjukkan data *breakdown* mesin pada bulan Februari 2021. Mesin mesin produksi batako mengalami *breakdown* dalam 24 (dua puluh empat) jam. Sebelumnya mesin *multi block* jarang mengalami *breakdown* karena mesin ini umumnya masih baru. Pada saat mesin berhenti bekerja akibat rusak ini menyebabkan adanya *opportunity losses* yaitu biaya pekerja yang menganggur dan adanya kesempatan produk yang hilang. Pada saat mesin ini mengalami kerusakan, proses produksi batako pun berhenti yang mengakibatkan semua operator tidak bekerja. Namun demikian setelah memperbaiki mesin perusahaan memutuskan untuk menambah waktu lembur di hari minggu sehingga target ketertinggalan produk dapat terpenuhi kembali.

3. *Motion*

Dalam proses produksi batako di perusahaan CBBI, terdapat beberapa pergerakan pekerja yang berlebihan atau dapat dikatakan sebagai *waste* (pemborosan). Pergerakan pekerja yang berlebihan antara lain bercanda & mengobrol, merokok serta mencari peralatan kerja. Pekerja yang bercanda & mengobrol masih tetap melakukan pekerjaannya, namun terkadang berhenti sejenak karena terbawa suasana saat bercanda & mengobrol. Pekerja merokok di tempat kerja sering sekali terjadi, sehingga mengakibatkan kesibukan dan konsentrasi tidak terfokus serta memperlambat pekerjaan produksi. Pergerakan mencari peralatan (sekop, palet, kunci *socket* dan lain-lain) tidak sering terjadi karena peralatan yang diperlukan oleh pekerja tersedia di dekat mereka, namun

terkadang terjadi pencarian alat ketika alat tersebut setelah digunakan dan tidak diletakkan kembali ke tempat yang sudah ditentukan sebelumnya.

4. Defect

Proses *rework* terjadi akibat batako yang *defect* itu tidak layak untuk dijual, dimana batako yang *defect* akan menimbulkan kerugian. Terdapat tiga jenis *defect* yang sering terjadi pada produk batako ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Jenis Defect pada Produk Batako

No	Jenis defect	Keterangan
1	Pecah/patah	
2	Retak	
3	Porosity (berlubang, pori-pori/permukaan tidak merata)	

Berikut ini merupakan data jumlah produksi dan produk yang *defect* pada bulan Februari 2021.

Tabel 4. 4 Data Produksi dan Produk Defect

Bulan Februari	Jumlah Produk	Produk Cacat	Persen cacat (%)
Minggu 1	20293	253	25
Minggu 2	20335	269	27
Minggu 3	16212	231	23
Minggu 4	19481	249	25
TOTAL	76321	1002	100

Tabel 4.4 terlihat data produksi dan jumlah produk yang cacat (*defect*), serta kerugian yang ditimbulkan pada bulan Februari 2021. Jumlah produk *defect* adalah sebesar 1002 unit batako atau setara dengan USD501.00 kerugian dari jumlah keseluruhan produksi.

5. *Transportation*

Pada proses produksi batako, terjadi pemindahan baik itu pemindahan *raw material*, *work in process* (WIP) maupun pemindahan *finished good* (batako jadi). Berikut ini merupakan data keseluruhan pemindahan pada proses produksi batako.

Tabel 4. 5 Data Pemindahan Barang pada Proses Produksi

No	Awal	Tujuan	Jenis barang	Alat angkut
1	Lantai	Bagian pencampuran	Material prima	Manual
2	Pencampuran material prima	Tempat Pencetakan	Adonan mortar	Conveyor
3	Pencetakan batako	Tempat perawatan	batako cetakan	Gerobak tangan
4	Tempat perawatan	Tempat penyimpanan	batako jadi	Manual (Tangan)

6. *Excess Processing* (Pemrosesan Berlebih)

Proses yang tidak diinginkan oleh perusahaan disebut sebagai aktivitas *non-value added*. Berdasarkan klasifikasi aktivitas yang telah dilakukan, berikut ini merupakan aktivitas *non-value added*.

Tabel 4. 6 *Excess Processing*

No	Kegiatan
1	Melakukan adonan ulang
2	Mengatur ulang posisi palet
3	Memisahkan batako cacat
4	Menghancurkan kembali batako cacat

Berdasarkan Tabel 4.6 pada proses produksi batako terdapat empat aktivitas yang termasuk dalam aktivitas NVA. Kedua aktivitas tersebut terjadi karena adanya produk yang tidak sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

7. *Overproduction*

Proses produksi batako di perusahaan CBBI (Cidade Block Building Industry) selalu dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah dibuat oleh bagian *Production Planning and Inventory Control* (PPIC). Pihak PPIC sudah menentukan waktu dan jumlah produksi yang dibutuhkan sehingga batako yang dihasilkan juga selalu sesuai dengan kebutuhan. Dalam penentuan jumlah produksi, pihak PPIC hanya menambahkan sedikit *safety stock* untuk mengantisipasi adanya *stockout* karena selain batako yang diproduksi untuk dijual perusahaan juga sering membutuhkan batako untuk kebutuhan konstruksi yang dikerjakan oleh CBBI. Jadwal yang dibuat oleh PPIC disesuaikan dengan kebutuhan yang diperoleh dari bagian logistik. Oleh karena produksi dilakukan selalu tepat waktu dan dengan jumlah produksi yang sesuai, sehingga tidak mengidentifikasi ada *waste* di perusahaan CBBI terkait *overproduction*.

Waste kritis merupakan *waste* yang menjadi prioritas untuk segera ditangani karena *waste* tersebut sering menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan. *Waste* kritis ini menjadi prioritas perbaikan maka perlu melakukan penentuan dengan lebih luas dan dengan teknik tertentu yang melibatkan pihak yang dianggap mengenal area produksi batako. Dalam penentuan bobot (Bi%) untuk memilih *waste* prioritas dalam penelitian ini peneliti membagi kuesioner kepada tiga orang responden yang dianggap memahami dan mengetahui proses produksi beserta pemborosan yang terjadi di dalam proses produksi batako. Ketiga responden tersebut adalah:

1. Manajer Produksi batako
2. Kepala Bagian *Quality Control & Operator*
3. Manajer Pemasaran

Waste yang diidentifikasi adalah sebagai berikut:

- 1) *Waste of Inventory*
- 2) *Waste of Waiting*
- 3) *Waste of Motion*
- 4) *Waste of Defects*
- 5) *Waste of Transportation*
- 6) *Waste of Over processing*

7) *Waste of Overproduction*

Berikut ini merupakan *input* nilai pengaruh *waste* menurut responden dan hasil perhitungan bobot *ranking*.

Tabel 4. 7 Waste Kritis

Responden	Waste							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
1	9	15	15	20	25	6	10	100
2	8	15	20	30	12	10	5	100
3	5	15	20	25	15	12	8	100
Jumlah	22	45	55	75	52	28	23	300
Bi%	0,07	0,15	0,18	0,25	0,17	0,09	0,08	
Ranking	7	4	2	1	3	5	6	

Berdasarkan Tabel 4.7 didapatkan rata-rata bobot tertinggi adalah *waste defect*, dengan bobot rata-rata sebesar 25%. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbaikan harus dilakukan untuk mengatasi *waste defect*.

4.2 *Measure*

Fase *measure* merupakan tahap pengukuran terhadap objek penelitian pada *critical* proses yaitu proses produksi. Proses produksi merupakan salah satu proses dalam pembuatan batako. Observasi dilakukan dengan memperoleh data sekunder perusahaan terhadap jumlah *good product* dan jumlah *defect* pada proses produksi batako. Pada tahap ini dilakukan pengukuran kinerja tingkat proses dengan melakukan perhitungan nilai DPMO, level *sigma* proses dan kapabilitas proses. Berikut ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan pada tahap *measure*.

4.2.1 Pengukuran Tingkat Kinerja Proses

Untuk melihat tingkat kinerja proses saat ini dilakukan perhitungan nilai DPMO (*Defect per Million Opportunities*) dan level *sigma* yang nantinya akan digunakan untuk menghitung kapabilitas proses yang berlangsung pada proses Produksi. Berdasarkan data yang telah tercatat pada bulan Februari 2021, pada proses Produksi batako terjadi cacat dengan jenis cacat yaitu pecah, retak dan

porosity. Berdasarkan data total produk cacat dan total produksi pada Tabel 4.4 didapatkan perhitungan DPMO sebagai berikut: Pande et al., (2000).

$$\text{Defect per opportunity (DPO)} = \frac{\text{Number of Defects}}{\text{of Units} \times \text{of Opportunities}}$$

$$\text{Defect per opportunity (DPO)} = \frac{1002}{76321 \times 1} = 0,013128759$$

$$\text{Defects per million opportunities (DPMO)} = \text{DPO} \times 1000000$$

$$\text{Defects per million opportunities} = 0,013128759 \times 1000000 = 13128,75$$

Berdasarkan DPMO di atas selanjutnya menentukan level *sigma*, dengan cara perhitungan seperti berikut ini berdasarkan rumus berikut (Pyzdek, 2003):

$$\text{Level Sigma} = \text{Normsinv} \left(\frac{1000000 - \text{DPMO}}{1000000} \right) + 1,5$$

$$\text{Level sigma} = \text{normsinv} \left(\frac{1000000 - 13128,75}{1000000} \right) + 1,5$$

$$\text{Level sigma} = 3,7$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa proses Produksi pada produksi pembuatan batako saat ini masih rendah karena nilai DPMO masih tinggi, yaitu sebesar 13128,75 yang dapat diinterpretasikan bahwa dari satu juta kesempatan yang ada akan terdapat 13128,75 kemungkinan bahwa proses produksi akan menghasilkan cacat. Nilai DPMO itu jika dikonversikan ke dalam *level sigma* maka diperoleh nilai 3,7 *sigma*. Walaupun demikian dalam proyek *six sigma* nilai tersebut masih dikategorikan rendah karena tujuan dari proyek *six sigma* adalah untuk mencapai kapabilitas proses pada tingkat pengendalian 6 *sigma* sehingga menghasilkan kemungkinan kegagalan 3,4 per satu juta kesempatan.

4.2.2 Penentuan Kapabilitas Proses

Nilai *capability process* (Cp) digunakan untuk mengetahui kemampuan dari proses saat ini dalam menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut ini adalah perhitungan untuk menentukan nilai kapabilitas proses produksi dengan Menggunakan persamaan 3.3:

$$Capability Process (Cp) = \frac{Level\ Sigma}{3}$$

Dimana nilai Level Sigma sudah diketahui 3,7.

$$Capability Process (Cp) = \frac{3,7}{3} = 1,23$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa kapabilitas Produksi pada mesin Produksi batako secara keseluruhan saat ini masih terbilang rendah atau belum memenuhi target perusahaan, Karena nilai $1,00 \leq Cp \leq 1,23$, yaitu $Cp = 1,23$ maka kapabilitas proses berada pada posisi belum mampu untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen perusahaan karena target perusahaan adalah 99 % *output* produk yang melalui proses produksi harus sesuai spesifikasi atau persentase maksimal *defect* tidak lebih dari 1 % dan jika dikonversikan ke target nilai Cp berdasarkan pada lampiran di bawah, nilai $Cp \geq 1,5$. Sehingga nilai Cp sebesar 1,23 dan nilai Cp tersebut kurang dari 1,5 (target perusahaan) maka kapabilitas proses diidentifikasi tidak mencapai target spesifikasi dan masih perlu dilakukan peningkatan proses guna mencapai kegagalan nol.

BAB 5

ANALISIS DAN PERBAIKAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahap *analyze* dan *improve*. Analisis dilakukan terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Selain itu dijelaskan juga mengenai perbaikan dimana terdapat rekomendasi perbaikan dan melakukan pembahasan hasil penelitian.

5.1 Analyze

Tahap ini merupakan analisis dari hasil pengolahan data pada bab sebelumnya. Analisis yang dilakukan yaitu analisis hasil *value stream mapping*, analisis nilai sigma dan kapabilitas proses, analisis penyebab adanya *waste*, analisis dengan ECRS dan TRIZ.

5.1.1 Analisis VSM

Value stream mapping (VSM) merupakan salah satu *tool* dalam *lean manufacturing* yang dapat digunakan untuk melihat aliran material dan informasi dari produk ketika melewati keseluruhan proses. Pada tahap *define* telah dibuat *value stream mapping* untuk produk batako. Dalam VSM tersebut dapat dilihat aliran material dan informasi mulai dari masuknya *order* dari konsumen, pengadaan bahan baku, proses produksi, dan proses pengiriman ke konsumen. Dalam VSM yang telah dibuat dapat dilihat lama *cycle time* sebesar 106 menit. Dari total *cycle time* tersebut waktu untuk aktivitas *value added* hanya 38 menit, atau setara dengan 36% dari total *cycle time*. Sedangkan untuk aktivitas *necessary non-value added* dan *non-value added* secara berturut-turut adalah 51% dan 13% dari total *cycle time*. Adanya aktivitas *necessary non-value added* dan aktivitas *non-value added* mengindikasikan adanya *waste* dalam proses produksi batako.

Berdasarkan klasifikasi aktivitas yang telah dilakukan terdapat 26 aktivitas yang dilakukan selama proses produksi batako. Dari total keseluruhan aktivitas tersebut yang termasuk dalam aktivitas *value added* sebanyak 4 aktivitas. Terdapat 18 aktivitas yang termasuk dalam aktivitas *necessary non-value added* dan 4 aktivitas lainnya termasuk dalam aktivitas *non-value added*. Aktivitas

necessary non-value added didominasi oleh aktivitas *set up* mesin dan pemindahan produk batako dari satu bagian menuju bagian selanjutnya. Sedangkan untuk aktivitas *non-value added* terjadi karena adanya pengontrolan proses campuran bahan baku yang tidak baik, pemasangan palet tidak benar dan produk yang cacat sehingga dilakukan pekerjaan mengulang.

5.1.2 Analisis Waste Kritis

Identifikasi *waste* kritis dilakukan dengan penyebaran kuisisioner kepada tiga responden. Kuisisioner tersebut bertujuan untuk menentukan *waste* kritis yang memiliki prioritas tinggi untuk segera diperbaiki di perusahaan. Penentuan prioritas dilakukan berdasarkan seberapa pengaruh *waste* tersebut terhadap pemborosan yang terjadi dalam proses produksi batako di perusahaan CBB2. Berdasarkan hasil identifikasi, terlihat bahwa *waste defect* mendapatkan bobot paling tinggi dari ketiga responden dengan rata-rata bobot (BI%) sebesar 25%. Hal tersebut menunjukkan bahwa *waste defect* merupakan *waste* yang kritis dan harus segera diperbaiki.

5.1.3 Analisis Kapabilitas Proses

Pada tahap sebelumnya telah dilakukan perhitungan nilai DPMO dan level *sigma* dari proses produksi batako. Nilai DPMO masih tinggi yaitu sebesar 13128,75 yang dapat diartikan bahwa dari satu juta kesempatan yang ada akan terdapat 13128,75 kemungkinan bahwa proses pencetakan batako akan menghasilkan produk cacat. Level *sigma* juga masih rendah yaitu sebesar 3,7.

Dari perhitungan kapabilitas proses (C_p) pada proses produksi batako saat ini dikatakan masih rendah yaitu 1,23 karena nilai C_p berada pada range dibawah target perusahaan yang menetapkan $C_p \geq 1,5$. Berdasarkan nilai C_p tersebut, kapabilitas proses diidentifikasi tidak mencapai target spesifikasi perusahaan dan masih perlu dilakukan perbaikan sehingga diperlukan adanya tahap *improve* atau peningkatan perbaikan yang diharapkan dapat menurunkan nilai DPMO sehingga dapat meningkatkan level *sigma* dan kapabilitas proses produksi batako.

5.1.4 Root Cause Analysis

Berdasarkan hasil identifikasi *waste*, yang termasuk dalam *waste* kritis adalah *waste defect*. Berikut ini analisa penyebab adanya *waste* dengan menggunakan 5 *whys*.

Tabel 5. 1 Akar Penyebab Waste Defect dengan 5 Whys

<i>Waste</i>	<i>Waste yang ditemukan</i>	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
<i>Defect</i>	Patah	batako jatuh	Karyawan yang mengangkat batako kurang hati-hati	Karyawan kelelahan	Karyawan mengangkat banyak batako dalam satu hari	Tidak ada alat angkut untuk menggantikan tenaga karyawan
		Struktur batako kurang kuat	takaran (ukuran bahan campuran) hanya berdasarkan pengalaman	Melakukan gerakan lain yang tidak bernilai tambah (asyik berbicara, merokok, dan lain-lain)	Kurangnya kesadaran atas <i>Health & Safety</i>	
			Adonan batako belum matang	Belum ada standar kualitas secara formal		

<i>Waste</i>	<i>Waste yang ditemukan</i>	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
<i>Defect</i>	Retak	batako jatuh	Karyawan yang mengangkat batako kurang hati-hati	Karyawan kelelahan	Karyawan mengangkat banyak batako dalam satu hari	Tidak ada alat angkat untuk menggantikan tenaga karyawan
				Melakukan gerakan lain yang tidak bernilai tambah (asyik berbicara, merokok, dan lain-lain)	Kurangnya kesadaran atas <i>Health & Safety</i>	
		Struktur batako kurang kuat	Takaran (ukuran bahan dasar) hanya berdasarkan pengalaman	Belum ada standar kualitas secara formal		
			Adonan batako belum matang			
Getaran berlebihan dari gerobak terhadap batako	Areal <i>Transportation</i> produk masih ada beberapa batu kecil (partikel) dan lantai yang tidak rata	Areal <i>Transportation</i> produk tidak bersih	Kesalahan manusia untuk mengatur dan mengontrol areal <i>transportation</i>			

<i>Waste</i>	<i>Waste yang ditemukan</i>	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
<i>Defect</i>	<i>Porosity</i>	Getaran berlebihan dari gerobak terhadap batako	Areal <i>transportation</i> produk masih ada beberapa batu kecil (partikel) dan lantai yang tidak rata	Areal <i>transportation</i> produk tidak bersih	Kesalahan manusia untuk mengatur dan mengontrol areal <i>transportation</i>	
		Struktur batako kurang kuat	Takaran (ukuran bahan dasar) hanya berdasarkan pengalaman	Belum ada standar kualitas secara formal		
			Adonan batako belum matang			

Berdasarkan Tabel 5.1 akar penyebab adanya *defect* dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- 1) Tidak ada alat angkut untuk mengantikan tenaga karyawan
- 2) Belum ada standar kualitas secara formal
- 3) Kurangnya kesadaran atas *health & safety*
- 4) Adonan mortar belum matang

Dalam menentukan perbaikan, dilakukan pemilihan akar penyebab *defect* yang kritis. Pemilihan akar penyebab *defect* yang kritis dilakukan dengan menggunakan matriks penilaian risiko. Dalam matriks penilaian risiko, masing-masing akar penyebab *defect* tersebut dikelompokkan berdasarkan tingkat keserangan terjadi dan tingkat keparahan yang ditimbulkan. Penentuan nilai *likelihood* dan nilai *consequence* untuk akar penyebab *defect* ditampilkan dalam Tabel 5.2 dan 5.3.

Tabel 5. 2 Penentuan Nilai *Likelihood*

Kemungkinan Terjadi	Nilai <i>Likelihood</i>
Terjadi kurang dari 1 hari dalam sebulan	1
Terjadi 1 – 5 hari dalam sebulan	2
Terjadi 6 – 11 hari dalam sebulan	3
Terjadi 12 – 18 hari dalam sebulan	4
Terjadi lebih dari 18 hari dalam sebulan	5

Tabel 5. 3 Penentuan Nilai *Consequence*

Dampak Akar Penyebab <i>Defect</i>	Nilai
< 10% produk membutuhkan proses <i>rework</i> dalam waktu kurun satu bulan	1
10% - 20% produk membutuhkan proses <i>rework</i> dalam waktu kurun satu bulan	2
20% - 35% produk membutuhkan proses <i>rework</i> dalam waktu kurun satu bulan	3
35% - 50% produk membutuhkan proses <i>rework</i> dalam waktu kurun satu bulan	4
> 50% produk membutuhkan proses <i>rework</i> dalam waktu kurun satu bulan	5

Penentuan kedua nilai tersebut dilakukan oleh Manajer Produksi batako. Berikut ini merupakan hasil penilaian terhadap masing-masing akar penyebab *defect* dari matriks penilaian risiko.

Tabel 5. 4 Penilaian Dampak Akar Penyebab *Defect*

No	Akar Penyebab	Nilai <i>linkelihooh</i>	Nilai <i>consequence</i>	Nilai risiko	<i>Risk Rating</i>
1	Tidak ada alat angkut untuk mengantikan tenaga karyawan	5	4	20	<i>High</i>
2	Belum ada standar kualitas secara formal	4	3	12	<i>Moderate</i>
3	Kurangnya kesadaran atas <i>health & safety</i>	4	3	12	<i>Moderate</i>
4	Adonan mortar belum matang	3	3	9	<i>Moderate</i>

Dari hasil penilaian tersebut, dapat dibuat matriks penilaian risiko seperti pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Matriks Penilaian Risiko

Nilai <i>Likelihood</i>	5	<i>Very Likelihood</i>				1	
	4	<i>Likelihood</i>			2&3		
	3	<i>Possible</i>			4		
	2	<i>Unlikelihood</i>					
	1	<i>Verry Unlikelihood</i>					
			1	2	3	4	5
<i>Impact</i>							

Berdasarkan Tabel 5.5 didapatkan bahwa semua empat akar penyebab *defect* masuk kategori akar penyebab yang *high and moderate*. Hal tersebut menunjukkan bahwa semua akar penyebab tersebut sering terjadi dan menimbulkan dampak yang cukup besar terhadap terjadinya *waste defect*. Oleh karena itu, harus dilakukan perbaikan untuk mengatasi akar penyebab permasalahan *waste defect* tersebut. Dari akar permasalahan yang telah diidentifikasi tersebut akan menggunakan metode ECRS dan TRIZ untuk mengambil keputusan perbaikan sesuai dengan prinsip masing-masing metode. Akar penyebab nomor 2, 3 dan 4 akan mencari solusi dengan metode ECRS dan akar penyebab nomor 1 (satu) akan menerapkan metode TRIZ.

5.2 Improve

5.2.1 Metode *Eliminate, Cominate, Rearrange and Simplify* (ECRS)

Pada tahap ini, akan menggunakan metode ECRS untuk mencari solusi alternatif yang baik untuk direkomendasikan dalam perbaikan terhadap permasalahan yang menyebabkan *defect* (batako cacat) di perusahaan CBBI berdasarkan pada hasil permasalahan *waste* kritis yang telah didefinisikan dan hasil analisis (*5 whays*).

Tabel 5. 6 Usulan Perbaikan Dengan Metode ECRS

Department	Work element	Why	What	Where	Who	How	Ide Perbaikan	E	C	R	S
Pencampuran material prima (adonan mortar),	Campuran mortar kurang kuat akibat belum adanya standar kualitas secara formal		✓				Perlu adaptasi standar kualitas sehingga kualitas produk dapat membaik			X	
	Pengadonan lagi akibat adonan tidak matang		✓				Perbaiki standar kerja perusahaan	X			
Pencetakan batako	Benarkan lagi posisi palet yang belum sesuai		✓				Pemasangan palet perlu diperhatikan sehingga mengurangi pekerjaan ulang	X			
Perawatan dan penyimpanan	Pemisahan batako cacat dan Penghancuran kembali		✓				Penerapan SOP, prinsip 5S dan <i>knowledge sharing</i>	X			
	Kurangnya kesadaran atas <i>health and safety</i> (budaya kerja)					✓	Membudayakan pekerja dengan prinsip 5S			X	X

Permasalahan yang diperbaiki dengan metode ECRS adalah akar permasalahan yang didapatkan dari hasil analisis (*5-whys* tentang tidak ada alat angkut untuk menggantikan tenaga karyawan). Dari 4 (empat) akar penyebab di atas dimasukkan ke dalam tabel ECRS untuk menganalisa dan memberi alternatif solusi. Berdasarkan pada Tabel 5.6 usulan perbaikan dengan metode ECRS diatas terlihat bahwa permasalahan campuran mortar kurang kuat akibat belum adanya standar kualitas secara formal keputusannya yaitu perlu di *rearrange* dengan ide perbaikannya dengan adaptasi standar kualitas sehingga kualitas produk dapat membaik. Permasalahan pengadonan lagi akibat adonan tidak matang direkomendasikan untuk menghilangkan permasalahan tersebut dengan cara memperbaiki standar kerja perusahaan. Aktivitas membenarkan lagi posisi palet yang belum sesuai perlu dihapus dengan cara pemasangan palet perlu dengan hati-hati sehingga mengurangi pekerjaan ulang. Aktivitas pemisahan batako cacat dan penghancuran kembali juga perlu dieliminasi dengan penerapan prinsip 5S dan *knowledge sharing*. Selain itu permasalahan kurangnya kesadaran atas *health and safety* (budaya kerja) perlu diperbaiki dan disederhanakan lagi dengan idenya, yaitu membudayakan pekerja dengan prinsip 5S.

5.3 Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch (TRIZ)

Pada tahap ini, akan Menggunakan metode TRIZ untuk mencari solusi alternatif yang baik untuk direkomendasikan dalam perbaikan terhadap permasalahan yang menyebabkan *defect* (batako cacat) di perusahaan CBBI berdasarkan pada hasil analisis (*5-whays*) dan rekomendasi dari metode ECRS. Pada proses ini dilakukan identifikasi kontradiksi matriks yang ada terkait parameter-parameter yang terlibat dalam masing-masing penyebab *defect* serta penentuan prinsip inovasi TRIZ terhadap masing-masing *technical response*.

5.3.1 Kontradiksi

Dalam proses produksi batako terdapat kontradiksi permasalahan yang menyebabkan sulitnya untuk minimasi *waste*. Hasil *5-whays* dan ECRS yang masih ada kontradiksi akan diselesaikan dengan metode TRIZ. Kontradiksi tersebut terlihat pada *5-whays* nomor 1 (satu), yaitu tentang tidak ada alat angkut untuk menggantikan tenaga karyawan serta rekomendasi ECRS untuk *rearrange* dan *simplify*. Kontradiksi tersebut diselesaikan dengan *brainstorming* hasilnya kurang efektif sehingga memerlukan metode TRIZ untuk mengambil keputusan berdasarkan data. Cara menerapkan TRIZ yaitu parameter kontradiksi yang ada definisikan ke dalam 3 kategori permasalahan umum, yaitu standar kerja, adonan mortar dan alat angkut (*Material Handling*) untuk mencari solusi. Setelah permasalahan tersebut definisikan ke dalam 3 kategori umum maka selanjutnya dielaborasi dan mencari faktor *contributor* (parameter lain yang dianggap berpengaruh terhadap tiap solusi masalah) agar pengambilan keputusannya dapat mencakup semua parameter yang ikut berpengaruh.

Tabel 5. 7 Kontradiksi Untuk Standar Kerja dan *Material Handling*

Parameter Konflik	
No.	Standar Kerja
1	Minimasi kesalahan <i>vs Knowledge sharing/sosialisasi SOP</i> <i>Loss of time (25) vs Loss of energy (22)</i>
2	Kerentanan menghasilkan produk cacat <i>vs</i> Pendeteksian terhadap penyebab <i>waste</i> <i>External harm effects the objects (30) vs Difficult of detecting and measuring (37)</i>
3	Tidak menyebabkan batako cacat <i>vs</i> Minimasi Benturan atau gesekan <i>Object Generated harmful factor (31) vs Stress or pressure object (11)</i>
Adonan Mortar	
1	Takaran bahan baku sesuai <i>vs</i> Minimasi pengerjaan ulang <i>Measurement accuracy (28) vs Loss of time (25)</i>
2	Takaran bahan baku sesuai <i>vs</i> Minimasi pengerjaan ulang (<i>durability</i>) <i>Measurement accuracy (28) vs durability of non-moving object (16)</i>
Alat Angkut (<i>Material Handling</i>)	
1	Alat angkut manual <i>vs</i> Kecepatan pemindahan batako <i>Level of otomation (38) vs Speed (9)</i>
2	Kapasitas angkut optimal <i>vs</i> Alat yang ringan <i>Volume stationary (8) vs Weight of non-moving object (2)</i>
3	Alat angkut kuat <i>vs</i> Alat angkut yang ringan <i>Strength (14) vs Weight of non-moving object (2)</i>
4	Sederhana <i>vs</i> Mudah digunakan <i>Shape (12) vs Convenience of use (33)</i>

Keterangan:

a. Standar kerja

1. Minimasi kesalahan *vs Knowledge sharing/sosialisasi SOP*

Loss of time (25) vs Loss of energy (22)

Banyak kesalahan terjadi di tempat kerja merupakan sesuatu hal yang tidak diinginkan oleh semua manajer atau pemilik perusahaan. permasalahan ini akan membuat kehilangan banyak waktu dan membutuhkan banyak energi. Perlu mencari solusi untuk mengatasi permasalahan ini untuk menghindari kerugian tersebut.

2. Kerentanan menghasilkan produk cacat *vs* Pendeteksian terhadap penyebab *waste*

External harm effects the objects (30) vs Difficult of detecting and measuring (37)

Produk cacat adalah masalah yang kritis dan permasalahan ini menjadi pekerjaan yang berat untuk dihilangkan. Mencari penyebab permasalahan dan solusinya sangat diperlukan namun sangat sulit untuk mendapatkan dengan mudah. Akibat dari permasalahan ini memberi dampak negative dalam pencapaian tujuan perusahaan.

3. Tidak menyebabkan batako cacat vs Minimasi Benturan atau gesekan

Object Generated harmful factor (31) vs Stress or pressure object (11)

Areal produksi merupakan daerah yang digunakan untuk melakukan kegiatan produksi. Tempat kerja yang tidak rata dan banyak sampah termasuk sedimen dan debu menyebabkan getaran pada gerobak sehingga batako yang masih basah bisa rusak. Walaupun masalah ini tidak menyebabkan secara langsung namun sering terjadi dan kadang-kadang kita tidak menyadari.

b. Adonan Mortar

1. Takaran bahan baku sesuai vs Minimasi pengerjaan ulang

Measurement accuracy (28) vs Loss of time (25)

Bahan baku dan mesin yang berkualitas saja belum tentu menjamin kualitas produk. Permasalahan lain seperti campuran atau takaran yang tidak berdasarkan pada standar akan membuat produk menjadi tidak berkualitas. Pengukuran ketepatan campuran bahan baku sesuai standar dan pengontrolan terhadap hasil kerja adalah sangat diberi perhatian agar meminimalkan kerugian akibat cacat dan pengerjaan ulang.

2. Takaran bahan baku sesuai vs Minimasi pengerjaan ulang

Measurement accuracy (28) vs durability of non-moving object (16)

Kesesuaian takaran bahan baku menjadi salah satu kunci penentuan kualitas batako. Untuk menjamin takaran bahan baku sudah sesuai atau tidak, pekerja membutuhkan pengamatan dan penyesuaian terlebih dahulu dengan standar yang telah ditentukan oleh perusahaan. Dengan demikian sebelum melakukan proses adonan atau pencampuran para pekerja perlu

mengetahui apa yang harus mereka lakukan untuk mencapai tujuan (kualitas yang diharapkan dan mempercepat proses).

c. *Material Handling*

1. Alat angkut manual vs Kecepatan pemindahan batako

Level of otomation (38) vs Speed (9)

Dalam pemindahan batako yang telah dicetak memerlukan kecepatan dan keamanan pemindahan sehingga produk yang dihasilkan terhindar dari kerusakan dan kemacetan. Produk yang diproduksi tiap hari hampir mencapai 3500 buah dan dipindahkan secara manual tiap hari kerja dengan jarak yang sedikit jauh menguras tenaga karyawan. Dengan banyak menguras tenaga membuat pekerja merasa kelelahan dan akibatnya terjadi kecelakaan serta kerusakan batako tiap hari. *Material handling* yang diharapkan adalah *material handling* yang dapat mengurangi atau menggantikan tenaga manusia untuk angkat batako dan meningkatkan kecepatan pemindahan batako.

2. Kapasitas angkut optimal vs Alat yang ringan

Volume stationary (8) vs Weight of non-moving object (2)

Produksi batako tiap hari menghasilkan volume yang banyak sehingga pemindahannya dilakukan tanpa henti sampai akhir produksi. Pemindahan produk seperti ini membuat karyawan bagian pemindahan produk harus memindah sebanyak mungkin agar tidak terjadi penumpukan atau keterlambatan di lini produksi. Alat angkut yang manual dengan kapasitas angkut yang terbatas mengakibatkan keterlambatan dalam proses operasi. *Material handling* yang dibutuhkan adalah *material handling* yang dapat memindahkan sejumlah produk sesuai hasil sekali cetakan dan *material handling* tersebut juga harus ringan agar dapat dioperasikan oleh satu orang tanpa perlu banyak tenaga manusia.

3. Alat angkut kuat vs Alat angkut yang ringan

Strength (14) vs Weight of non-moving object (2)

Pemindahan batako akan dilakukan secara terus-menerus dalam periode waktu kerja. Dengan produksi yang banyak dan berat akan memberi beban kerja pada *material handling* yang digunakan. *Material handling* yang tidak kuat/kokoh dan berat akan mudah terjadi kerusakan dan biaya yang banyak. *Material handling* yang diharapkan yaitu *material handling* yang tidak mudah rusak dan ringan untuk digunakan.

4. Sederhana vs Mudah digunakan

Shape (12) vs *Convenience of use* (33)

Material handling yang tidak sederhana dan membutuhkan tenaga sepanjang proses produksi berjalan akan membuat tenaga kerja cepat lelah dan sulit melakukan tugasnya sesuai dengan harapan. *Material handling* yang dibutuhkan adalah *material handling* yang sederhana dan mudah digunakan agar tidak memperselit proses pembelajaran atau proses pengoperasian.

5.3.2 *Matrix Contradiction*

Setelah diketahui kontradiksi-kontradiksi apa saja yang terjadi, maka langkah selanjutnya adalah mendapatkan solusi atas kontradiksi yang ada sesuai dengan prinsip TRIZ. Yang dimaksud prinsip TRIZ disini, yaitu menghasilkan ide-ide baru yang kreatif dari alternatif-alternatif solusi yang ada, kemudian dipilih satu solusi yang paling *feasible*, untuk dijadikan solusi permasalahan.

Dalam rangka mendapatkan alternatif-alternatif di atas, digunakan alat bantu berupa situs TRIZ (<http://www.triz40.com/>), yang di dalamnya terdapat bagian penginputan data dan hasil, yang dinamakan *interactive matrix*. Inputan yang digunakan yaitu permasalahan kontradiksi (Tabel 5.7) yang telah ditentukan berdasarkan dari akar penyebab *waste defect* yang ada. Yang digunakan sebagai *input* adalah generalisasi atas respon teknis pada bagian sebelumnya.

Tabel 5. 8 Contradiction Matrix dari Standar Kerja

<i>Worsening Parameter</i>	Loss of energy (22)	<i>Difficult of detecting and measuring</i> (37)	<i>Stress or pressure object</i> (11)
Loss of time (25)	10, 5, 18, 32	18, 28, 32, 10	37, 36, 4
<i>External harm effects the objects</i> (30)	21, 22, 35, 2	22, 19, 29, 40	22, 2, 37
<i>Object Generated harmful factor</i> (31)	21, 35, 2, 22	2, 22, 27, 1	2, 33, 27, 18

Dari Tabel *Matrix Contradiction* di atas terlihat bahwa ada bagian yang berwarna kuning dan ada yang tidak memiliki angka (-). Menjelaskan bahwa bagian yang bertanda *strip* (-) artinya tidak memiliki hubungan kontradiksi, dan pada bagian yang berwarna kuning merupakan prinsip yang akan disarankan. Dari Tabel 5.8 diatas kita telah memetakan kontradiksi maka pada tahap berikutnya kita akan memberikan usulan ide yang cocok (dari parameter yang berwarna kuning) untuk diimplementasikan di perusahaan.

Prinsip 10 (*Preliminary Action*), Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pelatihan tentang SOP dan 5S pada karyawan sebelum memberikan tugas di lapangan. Perusahaan sebelumnya belum menerapkan metode 5S dan tidak melakukan pelatihan tentang 5S dan pelatihan tentang SOP tidak menerapkan dengan baik. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya banyak kesalahan yang disebabkan oleh karyawan (*human error*). Keuntungan dari dilakukan kegiatan *Preliminary Action* yaitu dapat menjamin kualitas kerja dan produktivitas kerja perusahaan.

Prinsip 19 (*Periodic Action*), tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan yang periodik yaitu memperhatikan pembersihan lantai produksi sesuai kebutuhan agar menjaga lantai produksi tetap bersih dan nyaman. Perusahaan sebelumnya melakukan pembersihan lantai produksi pada pagi hari sebelum pekerjaan dimulai. Hal ini dapat mengakibatkan *waste defect*. Keuntungan dari dilakukan kegiatan pembersihan areal produksi yaitu memastikan semua aktivitas sudah sesuai standar 5S sehingga dapat meminimasi permasalahan (*waste*) yang disebabkan oleh kesalahan manusia.

Prinsip 2 (*separation*) memisahkan satu-satunya bagian yang diperlukan (atau properti) atau menghilangkan bagian yang mengganggu atau properti dari suatu objek atau sistem. Semua kesalahan manusia dan tempat kerja yang tidak tertata dengan baik harus dihilangkan dan segera dirancang *system* kerja baru yang lebih efektif dan efisien.

Tabel 5. 9 Contradiction Matrix dari Adonan Mortar

<i>Worsening Parameter</i>	<i>Loss of time (25)</i>	<i>Durability of non-moving object (16)</i>
<i>Measurement accuracy (28)</i>	24, 34, 28 , 32	10 , 26, 24

Dari Tabel 5.9, diatas kita telah memetakan kontradiksi maka pada tahap berikutnya kita akan memberikan usulan ide yang cocok untuk diimplementasikan di perusahaan: Prinsip 24 (*Intermediary*) menggunakan sebuah benda perantara atau proses perantara. Dalam hal ini, pengamatan terhadap hasil campuran bahan baku dan adonan mortar dilakukan secara manual yaitu dengan cara operator mendeteksi menggunakan indera penglihatan untuk memastikan hasil campuran dan hasil adonan sudah sesuai standar atau tidak. Hal ini tidak menjamin kualitas campuran dan hasil adonan beton. Pihak perusahaan menambah alat bantu berupa pemasangan CCTV di mesin pengaduk (*mixer*) untuk memonitor hasil adukan atau adonan mortar. Posisi CCTV diletakkan mengarah pada hasil adukan/adonan mortar untuk apakah adukannya sudah matang atau belum sebelum memindahkan mortar ke mesin pencetakan batako dan CCTV juga dapat membantu aktivitas dan keadaan mesin dan sekitarnya.

Prinsip 10 (*Preliminary Action*), lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan penyesuaian tentang standar takaran mortar yang benar sebelum adonan mortar dipindahkan ke tahap pencetakan batako. Perusahaan sebelumnya hanya berdasarkan pada pengalaman karyawan untuk mengukur takaran mortar (campuran bahan baku). Hal ini kurang efektif dan dapat mengakibatkan terjadinya *defect* pada produk akhir dan menyebabkan pengerjaan ulang (*rework*). Keuntungan dari dilakukan kegiatan *Preliminary Action* yaitu dapat meningkatkan produktivitas produksi karena dapat meminimasi *waste defect*.

Tabel 5. 10 Kontradiksi Untuk Alat Angkut (*Material Handling*)

<i>Worsening Parameter</i>	<i>Speed</i> (9)	<i>Weight of non-moving object</i> (2)	<i>Convenience of use</i> (33)
<i>Level of otomation</i> (38)	28, 10	28, 26, 35, 10	1, 12, 34, 3
<i>Volume stationary</i> (8)	-	35, 10, 19, 14	-
<i>Strength</i> (14)	8, 13, 26, 14	40, 26, 20, 1	32, 40, 25, 2
<i>Shape</i> (12)			32, 15, 26

Dari Tabel 5.10 diatas kita telah memetakan kontradiksi maka pada tahap berikutnya kita akan memberikan usulan ide yang cocok untuk diimplementasikan di perusahaan: Prinsip 10 (*Preliminary Action*), Lakukan, sebelum diperlukan, perubahan objek yang diperlukan (baik sepenuhnya atau sebagian), yaitu melakukan perubahan pada alat angkut (*material handling*) yang digunakan. Mengantikan gerobak dengan *material handling* lain yang mempunyai kemampuan untuk meminimasi pengangkatan batako oleh karyawan. Perusahaan sebelumnya Menggunakan gerobak untuk memindahkan produk batako. Gerobak yang digunakan membutuhkan dua orang untuk memuat batako dan menurunkan batako dari gerobak. Hal ini kurang efektif karena akan menyebabkan kelelahan bagi karyawan sehingga batako yang diangkat kadang-kadang terjatuh sehingga dapat mengakibatkan terjadinya *Defect* pada produk akhir dan menyebabkan pengerjaan ulang (*Rework*). Keuntungan dari dilakukan kegiatan *Preliminary Action* yaitu dapat meningkatkan produktivitas produksi karena dapat meminimasi *waste defect*. Prinsip 35, *parameter changes*, berbunyi “*Change the degree of flexibility*”. Prinsip ini memberikan ide untuk membutuhkan alat angkut batako yang fleksibel, mudah digunakan dan mudah diperbaiki. Prinsip 26 yaitu menggunakan material handling lain atau *copy an* yang murah dan mudah didapatkan.



Gambar 5. 1 *Material Handling* (Gerobak) Sebelumnya



Gambar 5. 2 Contoh *Material Handling* Yang Direkomendasikan

5.4 Metode 5S

Metode 5S akan diterapkan untuk membantu menyempurnakan solusi perbaikan sebelumnya terhadap permasalahan *waste* di CBBI. Pertama, *Seri (sort)* dilakukan dengan menyortir diantara jenis peralatan (sekop, palet, selang air, kunci *socket* dan lain-lain) yang perlu, tidak perlu dan kosong. Kemudian, peralatan yang tidak perlu dan kosong dipindahkan atau dihilangkan dari tempat kerja. Kedua, *Seiton (set in order)* diimplementasikan dengan menjaga palet

sesuai dengan penggunaan yang sering dan penting. Poster atau label tertulis dan digantung disediakan untuk mengurangi kesalahan dan mudah digunakan untuk mengingatkan. Ketiga, *Seiso (shine)* dilakukan dengan menjaga kebersihan secara rutin, sehingga tidak ada sisa-sisa yang menimbulkan masalah pada kecepatan dan keamanan di jalur pemindahan batako serta pemandangan di tempat kerja. Selanjutnya dilakukan *Seiketsu (standarisasi)* dengan mengatur waktu standar dan jumlah penyimpanan, penjadwalan dan perencanaan penyimpanan berdasarkan standar kuantitas dan waktu. Akhirnya, *Shitsuke (sustain)* diimplementasikan dengan mempertahankan sistem yang ditingkatkan di atas, mengkomunikasikan dan mengumumkan kepada semua karyawan bahwa 5S itu penting dan membutuhkan kolaborasi dari pekerja dan disiplin diri yang kompak terkait dengan penerapan dan kepatuhan pada aturan keteraturan dalam implementasi SOP, pembersihan dan penyortiran.

5.5 Pembahasan

Setelah melakukan tahapan *define*, pengukuran, analisis dan perbaikan berikut ini akan membahas hasil dariada penelitian ini.

5.5.1 Pembahasan Tahap *Define*

Penelitian ini membahas mengenai permasalahan cacat pada proses produksi batako di perusahaan CBBI bulan Februari 2021. Dapat diketahui bahwa pada proses bahwa *waste defect* adalah *waste* yang paling kritis dengan persentase sebesar 25%. Berikut ini merupakan *input* nilai pengaruh *waste* menurut responden dan hasil perhitungan bobot *ranking*.

Tabel 5. 11 Waste Kritis

Responden	Waste							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
1	9	15	15	20	25	6	10	100
2	8	15	20	30	12	10	5	100
3	5	15	20	25	15	12	8	100
Jumlah	22	45	55	75	52	28	23	300
Bi%	0,07	0,15	0,18	0,25	0,17	0,09	0,08	
Ranking	7	4	2	1	3	5	6	

5.5.2 Pembahasan Tahap *Measure*

Pengukuran proses kapabilitas bualan Februari 2021 dan nilai DPMO (*Defect per Million Opportunities*) dapat dilakukan untuk mengetahui tingkat kemungkinan produk cacat. Tabel 5.12 berikut merupakan rekapan kapabilitas sigma dan DPMO pada proses produksi batako.

Tabel 5. 12 Kapabilitas Sigma Dan DPMO Pada Proses Saat Ini

Karakteristik proses	Proyek	% cacat	DPMO	Level sigma
Kapabilitas sigma dan DPMO	Perbaikan proses produksi batako	1,31 %	13128,75	3,7

Nilai DPMO kemudian dikonversikan ke dalam level *sigma* dan diperoleh nilai 3,7 *sigma*. Dalam proyek *six sigma* nilai tersebut masih dikategorikan rendah karena tujuan dari proyek *six sigma* adalah untuk mencapai kapabilitas proses pada tingkat pengendalian 6 *sigma* sehingga menghasilkan kemungkinan kegagalan 3,4 per satu juta kesempatan.

Dari perhitungan kapabilitas proses (*Cp*) pada proses produksi batako saat ini dikatakan masih belum mencapai target perusahaan yaitu saat ini memiliki nilai indeks potensial proses 1,23 dan nilai target perusahaan yaitu 1,5. Berdasarkan nilai *Cp* tersebut, kapabilitas proses dari produksi produk batako sudah baik namun nilai *Cp* tersebut diidentifikasi tidak mencapai target spesifikasi yang telah ditetapkan perusahaan ($Cp \geq 1,5$) dan masih perlu dilakukan perbaikan karena nilai *Cp* berada pada range dibawah 1,5 sehingga diperlukan adanya tahap *improve* atau peningkatan perbaikan yang diharapkan dapat menurunkan nilai DPMO sehingga dapat meningkatkan level *sigma* dan kapabilitas proses produksi

batako. Berikut pada Tabel 5.13 merupakan perbandingan *existing* dan target yang ingin dicapai perusahaan.

Tabel 5. 13 Perbandingan Eksisting dan Target Cp dan Level Sigma

Karakteristik proses	% cacat	Cp	Level sigma
Kondisi saat ini	1,31 %	1,23	3,7
Kondisi yang diharapkan	<1%	1,5	4,5

5.5.3 Pembahasan Tahap *Analyze*

Penentuan kedua nilai tersebut dilakukan oleh Manajer Produksi batako. Berikut ini merupakan hasil penilaian terhadap masing-masing akar penyebab *defect* dari matriks penilaian risiko.

Tabel 5. 14 Penilaian Dampak Akar Penyebab *Defect*

No	Akar Penyebab	Nilai <i>linkelihooh</i>	Nilai <i>consequence</i>	Nilai risiko	<i>Risk Rating</i>
1	Tidak ada alat angkut untuk mengantikan tenaga karyawan	5	4	20	<i>High</i>
2	Belum ada standar kualitas secara formal	4	3	12	<i>Moderate</i>
3	Kurangnya kesadaran atas <i>health & safety</i>	4	3	12	<i>Moderate</i>
4	Adonan batako belum matang	3	3	9	<i>Moderate</i>

Berdasarkan Tabel 5.14 didapatkan bahwa semua empat akar penyebab *defect* masuk kategori akar penyebab yang *higt and moderate*. Hal tersebut menunjukkan bahwa semua empat akar penyebab tersebut sering terjadi dan menimbulkan dampak yang cukup besar terhadap terjadinya *waste defect*. Oleh karena itu, harus dilakukan perbaikan untuk mengatasi akar penyebab tersebut.

5.5.4 Pembahasan Tahap *Improvement*

a. Metode *Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify* (ECSR)

Pada tahap ini, akan Menggunakan metode ECSR untuk mencari solusi alternatif yang baik untuk direkomendasikan dalam perbaikan terhadap permasalahan yang menyebabkan *defect* (batako cacat) di perusahaan CBBI berdasarkan pada hasil permasalahan *waste* kritis yang telah didefinisikan dan hasil analisis (*Root Cause Analysis*).

Berdasarkan usulan perbaikan dengan metode ECSR diatas terlihat bahwa permasalahan campuran mortar kurang bagus akibat belum adanya standar kualitas secara formal sehingga perlu ditentukan dengan standar kualitas yang baku sehingga kualitas produk dapat membaik. Permasalahan pengadonan lagi akibat adonan tidak matang direkomendasikan untuk menghilangkan (*eliminate*) permasalahan tersebut dengan memperbaiki lagi standar kerja perusahaan. Aktivitas membenarkan lagi posisi palet yang belum sesuai perlu menghilangkan dengan cara pemasangan palet perlu dengan hati-hati sehingga mengurangi pekerjaan ulang. Aktivitas pemisahan batako cacat dan penghancuran kembali juga perlu menghilangkan dengan penerapan 5S dan *knowledge sharing*. Selain itu permasalahan Kurangnya kesadaran atas *health and safety* (budaya kerja) perlu diperbaiki dan disederhanakan lagi dengan idenya, yaitu Membudayakan pekerja dengan 5S.

b. Teoriya *Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch* (TRIZ)

Pada tahap ini, akan Menggunakan metode TRIZ untuk mencari solusi alternatif yang baik untuk direkomendasikan dalam perbaikan terhadap permasalahan yang menyebabkan *defect* (batako cacat) di perusahaan CBBI berdasarkan pada hasil analisis (*Root Cause Analysis*) dan rekomendasi dari metode ECSR. Pada proses ini dilakukan identifikasi kontradiksi matriks yang ada terkait parameter-parameter yang terlibat dalam masing-masing penyebab *defect* serta penentuan prinsip inovasi TRIZ terhadap masing-masing *technical response*.

Standar kerja

1. Minimasi kesalahan vs Knowledge sharing/sosialisasi SOP

Loss of time (25) vs Loss of energy (22)

2. Kerentanan menghasilkan produk cacat vs Pendeteksian terhadap penyebab waste

External harm effects the objects (30) vs Difficult of detecting and measuring (37)

3. Tidak menyebab batako cacat vs Minimasi Benturan atau gesekan

Object Generated harmful factor (31) vs Stress or pressure object (11)

Rekomendasi perbaikan yang diberikan, yaitu prinsip 10 (*Preliminary Action*), Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pelatihan tentang SOP dan 5S pada karyawan sebelum memberikan tugas di lapangan. Jadi direkomendasikan ke perusahaan untuk menerapkan metode 5S di tempat kerja dan melakukan pelatihan serta evaluasi terhadap pelaksanaan SOP di lapangan secara berkala.

Prinsip 19 (*Periodic Action*), tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan yang periodik yaitu melakukan pembersihan lantai produksi sesuai kebutuhan agar lantai produksi tetap bersih dan nyaman. Dalam hal ini direkomendasikan untuk menerapkan prinsip 5S di perusahaan. Keuntungan dari dilakukan kegiatan pengecekan dan pembersihan areal produksi yaitu memastikan semua aktivitas sudah sesuai standar 5S sehingga dapat meminimasi permasalahan (*waste*) yang disebabkan oleh kesalahan manusia.

Prinsip 2 (*separation*) Memisahkan satu-satunya bagian yang diperlukan (atau properti) atau menghilangkan bagian yang mengganggu atau properti dari suatu objek atau sistem. Semua kesalahan manusia dan tempat kerja yang tidak tertata dengan baik harus dihilangkan dan segera dirancang sistem kerja baru yang lebih efektif dan efisien. Kesalahan seperti karyawan bekerja tidak hati-hati, tidak ada evaluasi terhadap produktivitas dan banyak terjadinya *waste* perlu diganti dengan implementasi 5S dan melakukan *knowledge sharing* secara terus menerus.

Adonan Mortar

1. Takaran bahan baku sesuai vs Minimasi pengerjaan ulang
Measurement accuracy (28) vs Loss of time (25)
2. Takaran bahan baku sesuai vs Minimasi pengerjaan ulang
Measurement accuracy (28) vs durability of non-moving object (16)

Rekomendasi perbaikan yang diberikan adalah prinsip 24 (*Intermediary*) Menggunakan sebuah benda perantara atau proses perantara. Direkomendasikan kepada pihak perusahaan untuk menambah alat bantu berupa pemasangan CCTV di mesin pengaduk (*mixer*) untuk memonitor hasil adukan atau adonan mortar sehingga tidak terjadi lagi pengadukan ulang setelah produk terlihat cacat. Posisi CCTV diletakkan mengarah pada hasil adukan/adonan mortar untuk apakah adukannya sudah matang atau belum sebelum memindahkan mortar ke mesin pencetakan batako dan CCTV juga dapat membantu aktivitas dan keadaan mesin dan sekitarnya. Hal ini dapat melakukan deteksi dini terhadap kesalahan dalam proses pengadukan mortar.

Prinsip 10 (*Preliminary Action*), lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan penyesuaian tentang standar takaran mortar yang benar sebelum adonan mortar dipindahkan ke tahap pencetakan batako. Direkomendasikan kepada manajer produksi untuk mengadaptasikan dengan standar kualitas batako yang baku. Untuk menghasilkan batako yang berkualitas maka setidaknya bahan baku yang terdiri dari pasir, semen dan air harus memiliki perbandingan diantara 75% pasir, 20% semen dan 5% air. Atau bisa mengikuti standar *Concrete Mix Design Calculation (Method ACI 211.1-91)* yang sudah pernah diterapkan dan diakui oleh pemerintah pada proyek *Road Network Upgrading Project Sector (Upgrading and Maintenance of Manatuto-Laclubar Junction Road)*. Metode ini dengan kalkulasi campuran untuk batako dengan kualitas atau class A, B dan C. Pada Batako *Class A* (cement: 400, sand: 937, water: 205), *Class B* (cement: 360, sand: 972, water: 205) dan *Class C* (cement: 280, sand: 1001; water: 166 liter) dalam satu meter kubik (m³). Selain itu keuntungan dari dilakukan kegiatan *Preliminary Action* yaitu dapat meningkatkan produktivitas produksi karena dapat meminimasi *waste defect*.

Material Handling

1. Alat angkut terlalu manual **vs** Kecepatan pemindahan batako
Level of otomation (38) vs Speed (9)
2. Kapasitas angkut optimal **vs** Alat yang ringan
Volume stationary (8) vs Weight of non-moving object (2)
3. Alat angkut kuat **vs** Alat angkut yang ringan
Strength (14) vs Weight of non-moving object (2)
4. Sederhana **vs** Mudah digunakan
Shape (12) vs Convenience of use (33)

Rekomendasi perbaikan yang diberikan adalah Prinsip 10 (*Preliminary Action*), lakukan, sebelum diperlukan, perubahan objek yang diperlukan (baik sepenuhnya atau sebagian), yaitu melakukan perubahan pada alat angkut (*material handling*) yang digunakan. Menggantikan gerobak dengan *material handling* lain yang mempunyai kemampuan untuk meminimasi pengangkatan batako oleh karyawan. Prinsip 35, *parameter changes*, berbunyi “*Change the degree of flexibility*”. Prinsip ini memberikan ide untuk membutuhkan alat angkut batako yang fleksibel, mudah digunakan dan mudah diperbaiki. Prinsip 26 yaitu menggunakan *material handling* lain atau *copy an* yang murah dan mudah didapatkan.

c. Metode 5S

Berdasarkan pada tahap analisis, pengukuran serta hasil-hasil yang direkomendasikan oleh metode ECRS dan TRIZ maka metode 5S akan diterapkan untuk membantu menyempurnakan solusi perbaikan sebelumnya terhadap permasalahan *waste* di CBBI. Pertama, *Seri (sort)* dilakukan dengan menyortir diantara jenis peralatan (Sekop, Palet, Selang Air, Kunci *Socket* dan lain-lain) yang perlu, tidak perlu dan kosong. Kemudian, peralatan yang tidak perlu dan kosong dipindahkan atau dihilangkan dari tempat kerja. Kedua, *Seiton (set in order)* diimplementasikan dengan menjaga palet sesuai dengan penggunaan yang sering dan penting. Poster atau label tertulis dan digantung disediakan untuk mengurangi kesalahan dan mudah digunakan untuk mengingatkan. Ketiga, *Seiso*

(*Shine*) dilakukan dengan menjaga kebersihan secara rutin, sehingga tidak ada sisa-sisa yang menimbulkan masalah pada kecepatan dan keamanan di jalur pemindahan batako serta pemandangan di tempat kerja. Selanjutnya dilakukan *Seiketsu* (standarisasi) dengan mengatur waktu standar dan jumlah penyimpanan, penjadwalan dan perencanaan penyimpanan berdasarkan standar kuantitas dan waktu. Akhirnya, *Shitsuke* (*Sustain*) diimplementasikan dengan mempertahankan sistem yang ditingkatkan di atas, mengkomunikasikan dan mengumumkan kepada semua karyawan bahwa 5S itu penting dan membutuhkan kolaborasi dari pekerja dan disiplin diri yang kompak terkait dengan penerapan dan kepatuhan pada aturan keteraturan dalam implementasi SOP, pembersihan dan penyortiran.

BAB VI

PENUTUP

Pada bab ini akan dibahas mengenai kesimpulan yang ditarik dari hasil analisis data pada bagian sebelumnya serta saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam VSM yang telah dibuat dapat dilihat *cycle time* sebesar 106 menit. Dari total *cycle time* tersebut waktu untuk aktivitas *value added* hanya 38 menit, atau setara dengan 36% dari total *cycle time*. Sedangkan untuk aktivitas *necessary non-value added* dan *non-value added* secara berturut-turut adalah 51% dan 13% dari total *cycle time*.
2. Perankingan *waste* berdasarkan bobot terbesar sampai dengan yang terkecil, yaitu: *Waste of Defects* dengan nilai bobot sebesar 25%, *Waste of Motion* dengan nilai bobot sebesar 18% *Waste of Transportation* dengan nilai bobot sebesar 17%, *Waste of Waiting* dengan nilai bobot sebesar 15%, *Waste of Over processing* dengan nilai bobot sebesar 9%, *Waste of Overproduction* dengan nilai bobot sebesar 8% dan *Waste of Inventory* 7%
3. Dalam perhitungan nilai DPMO sebesar 13128,75 dengan level *sigma* sebesar 3,7 serta kapabilitas prosesnya 1,23, nilai ini masih perlu ditingkatkan untuk mencapai target perusahaan.
4. Dari hasil *Root Cause Analysis* menunjukkan *waste defect* disebabkan oleh beberapa hal, yaitu tidak ada alat angkut untuk menggantikan tenaga karyawan, belum ada standar kualitas secara formal, kurangnya kesadaran atas *health & safety* dan adonan mortar belum matang.
5. Dengan ditemukannya akar permasalahan tersebut maka ECRS, TRIZ dan 5S diterapkan dalam proses perbaikan sehingga hasilnya disimpulkan bahwa:
 - a. Melakukan pembersihan lantai produksi sesuai kebutuhan agar lantai produksi tetap bersih dan nyaman dan memasang CCTV di mesin pengaduk (mixer) untuk memonitor hasil adukan sehingga tidak terjadi lagi pengadukan ulang setelah produk terlihat cacat. Selain itu melakukan

penyesuaian tentang standar kualitas batako yang baku agar produk dapat memenuhi kualitas dan harapan pengguna.

- b. Membutuhkan alat angkut (*material handling*) yang mudah didapatkan, fleksibel, mudah digunakan, mudah diperbaiki dan murah untuk membantu meringankan pekerjaan karyawan sehingga dapat meminimasi waste.
- c. Perlu menerapkan metode 5S di tempat kerja dan melakukan pelatihan serta evaluasi terhadap pelaksanaan SOP di lapangan agar dapat meminimasi kesalahan manusia dan meningkatkan motivasi kerja para pekerja.

6.2 Saran

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Rekomendasi perbaikan yang telah diberikan diharapkan dapat diterapkan di perusahaan CBBI agar dapat meminimasi *waste*, terutama *waste defect* pada proses produksi batako.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan kembali pada penelitian berikutnya dengan dengan tahap *control* sebelum dan sesudah melakukan *improvement* agar didapatkan hasil yang lebih *komprehensif* dengan pertimbangan keuntungan finansial perusahaan terhadap perbaikan yang telah diimplementasikan.
3. Sangat penting untuk memperhatikan kelanjutan pengukuran kinerja proses, untuk itu disarankan agar departemen produksi dan *Quality Control* saling bekerja sama untuk mengoptimalkan kinerja melalui monitoring kinerja antar operator yang terkait satu sama lain maupun fokus pada mekanisme sistem yang sesuai SOP.
4. Pengembangan SDM dengan *knowledge sharing* dan penerapan prinsip 5S sangat diperlukan, karena masalah yang terjadi kebanyakan disebabkan oleh ketidakpahaman operator yang bertanggung jawab dalam mengatasi masalah yang ada dan tempat kerja yang tidak bersih dan nyaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2014). Key Success Factors of Implementing Lean Manufacturing and Six Sigma. *7th Toulon-Verona International Conference Excellence in Services*, 1–16.
- Amran, T. G., Wibowo, N. C., Teknik, J., Fakultas, I., Industri, T., Trisakti, U., & Stram, V. (2018). *Perbaikan Proses Produksi Sistem Pengereman Kendaraan*. 193–204.
- Andersson, R., Eriksson, H., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. *TQM Magazine*, 18(3), 282–296. <https://doi.org/10.1108/09544780610660004>
- Aparicio, J., Lovell, C. A. K., & Pastor, J. T. (2016a). *Advances in Efficiency and Productivity* (Vol. 249).
- Aparicio, J., Lovell, C. A. K., & Pastor, J. T. (2016b). *Advances in Efficiency and Productivity* (A. Juan, P. Jesus, T., & L. C., A., Knox (eds.); Vol. 249). Springer.
- Bârsan, R. M., & Codrea, F.-M. (2019). Lean university: applying the ECRS method to improve an administrative process. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929007003>
- Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., & Murugaiah, U. (2015). The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(3), 344–362.
- Brue, G. (2002). *Six Sigma for managers*. McGraw Hill Professional.
- Burawat, P. (2019a). Productivity improvement of carton manufacturing industry by implementation of lean six sigma, ECRS, work study, and 5S: A case study of ABC co., ltd. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(4), 785–793.
- Burawat, P. (2019b). Productivity improvement of highway engineering industry by implementation of lean six sigma, TPM, ECRS, and 5S: A case study of AAA Co., Ltd. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 7(5), 83–92. <https://doi.org/10.18510/hssr.2019.7511>
- Chiabert, P., & Xue, Q. (2019). *Research on Single Minute Exchange of Die*.
- Ellis, Francina, S. (2016). The Application Of Lean Six Sigma To Improve A Business Process: A Study Of The Order Processing Process At An Automobile Manufacturing Facility. In *University of South Carolina Scholar Commons*.
- Fritzie, M. (2011). APPLICATION of WORK SAMPLING and ECRS (Eliminate, Combine, Re-lay out and Simplify) PRINCIPLES of IMPROVEMENT at TO1 ASSEMBLY. *ASEMEP National Technical Symposium*, 1–7.
- Gaspersz, V. (2007). *Lean Six Sigma*. Gramedia Pustaka Utama.
- George, M. (2002). The Six Sigma Process and Improvement Tools. *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed*, 27–29.
- Ghaleb, A. A. (2017). Implementation of Lean Six Sigma (LSS) Techniques in

- Small and Medium Enterprises (SMEs) to Enhance Productivity. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. <https://doi.org/10.9790/1684-1402021422>
- Ghaleb, A. A., El-Sharief, M. A., & El-Sebaie, M. G. (2017). Implementation of Lean Six Sigma (LSS) Techniques in Small and Medium Enterprises (SMEs) to Enhance Productivity. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, *14*(2), 14–22. <https://doi.org/10.9790/1684-1402021422>
- Gleeson, F., Coughlan, P., Goodman, L., Newell, A., & Hargaden, V. (2019). Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean-six sigma methods. *Procedia CIRP*, *81*, 641–646. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.169>
- Hakim, M. H., & Singgih, M. L. (2019). Reduction Defect in Sewing Work Stations by Integrating OTSM-TRIZ and FMEA. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, *0*(5), 495. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2019i5.6411>
- Hasrulnizam, W., & Mahmood, W. (2008). Industrial Application Tools and Techniques in Lean Manufacturing and Total Quality Management. *Kmice 2008 - Knowledge Management International Conference, 2008 - Transferring, Managing and Maintaining Knowledge for Nation Capacity Development*, 38–42.
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). Going lean. In *Lean Enterprise Research Centre. Cardiff Business School*.
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015a). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing*, *4*(Iess), 528–534. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.072>
- Indrawati, S., & Ridwansyah, M. (2015b). Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Procedia Manufacturing*, *4*, 528–534.
- Kalevi, R., & Ellen, D. (2008). *Simplified TRIZ: new problem solving applications for engineers and manufacturing professionals*.
- Kasemset, C., Pinmanee, P., & Umarin, P. (2014). Application of ECRS and Simulation Techniques in Bottleneck Identification and Improvement: A Paper Package Factory Application of ECRS and Simulation Techniques in Bottleneck Identification and Improvement: A Paper Package Factory. *Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2014 Application, October 2014*, 0–8.
- Laureani, A., & Antony, J. (2011). Standards for Lean Six Sigma certification. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *61*(1), 110–120. <https://doi.org/10.1108/17410401211188560>
- Mousa, A. (2013). Lean, six sigma and lean six sigma Overview. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, *4*(5), 1137–1153.
- Mudgal, D., Pagone, E., & Salonitis, K. (2020). Approach to value stream mapping for make-to-order manufacturing. *Procedia CIRP*, *93*, 826–831. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.084>
- Murugaiah, U., Benjamin, S. J., Marathamuthu, M. S., & Muthaiyah, S. (2010).

- Scrap loss reduction using the 5-whys analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 27(5), 527–540. <https://doi.org/10.1108/02656711011043517>
- Nurkertamanda, D., & Ahman, A. (2010). *Pengembangan Desain Starting Block Kolam Renang Dengan Menggunakan Theory Of Inventive Problem Solving (TRIZ)*. 31(1), 44–49.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *THE SIX SIGMA WAY How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1036/0071376674>
- Pavlović, K., & Božanić, V. (2012). Lean and Six Sigma Concepts Application in Pharmaceutical Industry. *International Journal for Quality Research*.
- Pertiwi, A. F. O., & Astuti, R. D. (2020). Increased line efficiency by improved work methods with the ECRS concept in a washing machine production: a case study. *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 4(1), 13–29. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v4i1.2184>
- Priya, S. K., Jayakumar, V., & Kumar, S. S. (2020). Defect analysis and lean six sigma implementation experience in an automotive assembly line. *Materials Today: Proceedings*, 22(xxxx), 948–958. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.139>
- Pyzdek, T. (2003). The Six Sigma Handbook. In *Acta endocrinologica* (Vol. 31). <https://doi.org/10.1530/acta.0.xxxi0542>
- Rafsanjani, S., & Singgih, M. L. (2018). Quality control and improvement for process printing of the product package using integration of FMEA-TRIZ. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). EVALUATING IMPACT OF 5S IMPLEMENTATION ON BUSINESS PERFORMANCE. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66(7), 948–978.
- Rodríguez, M. B. R. R., Rodríguez, J. L. M. R., Leite, J. C., & Rodríguez, Á. S. M. (2016). Theory of Inventive Problem Solving (Triz): Case Study. *ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)*, 2(8). <https://doi.org/10.5935/2447-0228.20160037>
- Savransky, S. D. (2000). *ENGINEERING OF CREATIVITY (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving) Library of Congress Cataloging-in-Publication Data Boca Raton New York*. CRC press.
- Singgih, M. L., & Renanda. (2008). *Pengendalian Kualitas Produk Kertas dengan Menggunakan Pendekatan Six Sigma di Pabrik Kertas Y*.
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9–29. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Sriutami, I., & Singgih, M. L. (2017). Reduksi Waste pada Proses Produksi Kacang Garing Medium Grade dengan Pendekatan Lean Six Sigma. *Jurnal Teknik ITS*. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.26882>
- Suhardi, B., Anisa, N., & Laksono, P. W. (2019). Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry. *Cogent*

- Engineering*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1567019>
- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, 11(Iceei), 1292–1298. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>
- Yadav, D. (2014). Study of Productivity Improvement Using Lean Six Sigma Methodology. *International Review of Applied Engineering Research*, 4(1), 33–38.
- Zahraee, S. M., Toloioe, A., Abrishami, S. J., Shiwakoti, N., & Stasinopoulos, P. (2020). Lean manufacturing analysis of a Heater industry based on value stream mapping and computer simulation. *Procedia Manufacturing*, 51(2019), 1379–1386. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.192>

LAMPIRAN

Lampiran 1: 40 Inventive Principles (Inovatif)

No	Prinsip	Penjelasan
1	<i>Segmentation (fragmentatio)</i>	Membagi sebuah objek atau sistem menjadi bagian-bagian yang independen. Membuat obyek mudah untuk dibongkar. Meningkatkan derajat fragmentasi atau segmentasi.
2	<i>Separation</i>	Memisahkan satu-satunya bagian yang diperlukan (atau properti) atau menghilangkan bagian yang mengganggu atau properti dari suatu objek atau sistem.
3	<i>Local quality</i>	Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna
4	<i>Symmetry change</i>	Mengubah bentuk suatu objek atau sistem dari simetris ke asimetris. Jika suatu obyek asimetris, tingkatkan derajat asimetrinya.
5	<i>Merging</i>	Menggabungkan benda yang identik atau mirip; merakit bagian yang sama atau mirip untuk melakukan operasi paralel. Membuat operasi berdekatan atau paralel, membawa mereka bersama-sama dalam satu waktu.
6	<i>Multifunctionality or universality</i>	Membuat bagian dari suatu objek atau sistem melakukan beberapa fungsi. Untuk menghilangkan kebutuhan untuk bagian lain.
7	<i>Nested doll</i>	Tempatkan satu objek di dalam yang lain; menempatkan setiap objek, pada gilirannya, di dalam yang lain. Membuat satu bagian melewati rongga di bagian lain.
8	<i>Weight compensation.</i>	Untuk mengimbangi berat suatu benda atau sistem, bergabung dengan benda-benda lain yang memberikan daya angkat. Untuk mengimbangi berat suatu obyek, membuatnya berinteraksi dengan lingkungan (misalnya, penggunaan aerodinamis, hidrodinamik, daya apung, dan kekuatan lain).
9	<i>Preliminary counteraction</i>	Jika akan diperlukan untuk melakukan tindakan dengan efek baik itu yang berbahaya dan berguna, tindakan ini harus diganti dengan anti-tindakan (counteractions) untuk mengontrol efek berbahaya.
10	<i>Preliminary action</i>	Lakukan, sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian). Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.

No	Prinsip	Penjelasan
11	<i>Beforehand compensation</i>	Mempersiapkan sarana darurat sebelum mengenai manusia untuk mengimbangi keandalan yang relatif rendah dari suatu obyek atau sistem dari waktu ke waktu.
12	<i>Equipotentially</i>	Mengubah kondisi operasi untuk mengurangi kebutuhan untuk bekerja melawan medan yang potensial.
13	<i>The other way around</i>	Membalikkan tindakan yang digunakan untuk memecahkan masalah (misalnya, dari pada mendinginkan sebuah objek, panaskan itu). Membuat bagian yang tetap dapat bergerak (atau lingkungan eksternal), dan bagian yang tetap bergerak. Putar objek (atau proses) kebalikannya.
14	<i>Curvature increase</i>	Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk, Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah. Berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.
15	<i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.
16	<i>Partial or excessive action</i>	Jika 100% dari tujuan sulit untuk dicapai menggunakan metode solusi yang diberikan, masalahnya mungkin jauh lebih mudah untuk dimecahkan dengan menggunakan sedikit kurang atau sedikit lebih dari metode yang sama.
17	<i>Dimensionality change</i>	Memindahkan objek atau sistem dalam ruang dua atau tiga dimensi. Memiringkan atau reorientasi objek, meletakkannya pada sisinya, menggunakan sisi lainnya
18	<i>Mechanical vibration</i>	Menyebabkan suatu benda atau sistem untuk beresonansi atau bergetar. Meningkatkan frekuensi getaran. Gunakan frekuensi resonansi obyek. Gunakan piezoelektrik bukan vibrator mekanik. Gunakan gabungan osilasi medan ultrasonik dan elektromagnetik.

No	Prinsip	Penjelasan
19	<i>Periodic action</i>	Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut. Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi. Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.
20	<i>Continuity of useful action</i>	Melaksanakan pekerjaan secara kontinyu; membuat semua bagian dari suatu obyek atau sistem kerja pada beban penuh sepanjang waktu. Menghilangkan semua tindakan yang menganggur atau intermiten.
21	<i>Hurrying or skipping</i>	Melakukan proses, atau tahapan tertentu (misalnya, merusak, berbahaya, atau operasi berbahaya), dengan kecepatan tinggi.
22	<i>Blessing in disguise or "turn lemons into lemonade"</i>	Menggunakan faktor berbahaya (terutama, efek berbahaya dari lingkungan atau sekitarnya) untuk mencapai efek positif. Menghilangkan tindakan utama yang berbahaya dengan menambahkannya ke tindakan berbahaya lain untuk menyelesaikan masalah. Memperkuat faktor berbahaya bagi sedemikian rupa sehingga tidak lagi berbahaya.
23	<i>Feedback</i>	Memperkenalkan umpan balik untuk meningkatkan proses atau tindakan. Jika umpan balik sudah digunakan, mengubah besarnya atau pengaruhnya.
24	<i>Intermediary</i>	Menggunakan sebuah benda perantara atau proses perantara. Menggabungkan satu objek sementara dengan yang lain yang dapat dengan mudah dipindah kembali.
25	<i>Self-service</i>	Membuat obyek atau sistem melayani sendiri dengan melakukan fungsi bantu tambahan. Menggunakan sumber daya, termasuk energi dan material, terutama yang awalnya terbuang, untuk meningkatkan sistem.
26	<i>Copying</i>	Tidak menggunakan sebuah objek tidak tersedia, mahal atau rapuh, tetapi gunakan yang sederhana, salinan murah. Ganti obyek atau sistem atau proses dengan salinan optik. Jika salinan optik yang terlihat sudah digunakan, mengubah panjang gelombang ke inframerah atau ultraviolet.
27	<i>Cheap disposables</i>	Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).
28	<i>Mechanical interaction substitution</i>	Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau). Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.

No	Prinsip	Penjelasan
		Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).
29	<i>Pneumatics and hydraulics</i>	Menggunakan gas atau cair sebagai bagian dari suatu obyek atau sistem bukan bagian padat. (misalnya, tiup, diisi dengan cairan, bantalan udara, hidrostatik, bagian hydroreactive)
30	<i>Flexible shells and thin films</i>	Gunakan kerangka yang fleksibel dan lapisan yang tipis bukannya struktur tiga dimensi. Mengisolasi objek dari lingkungan eksternal menggunakan kerangka yang fleksibel dan lapisan yang tipis.
31	<i>Porous materials</i>	Membuat objek berpori atau menambahkan elemen berpori (sisipan, pelapis, dll). Jika objek sudah berpori, gunakan pori-pori untuk memperkenalkan bahan atau fungsi yang bermanfaat.
32	<i>Optical property changes</i>	Mengubah warna atau transparansi dari suatu obyek atau lingkungan eksternalnya.
33	<i>Homogeneity</i>	Membuat objek yang berinteraksi dari bahan yang sama (atau bahan dengan sifat identik).
34	<i>Discarding and recovering</i>	Membuat bagian-bagian dari sebuah benda yang telah memenuhi fungsi mereka pergi (membuang dengan melarutkan, penguapan, dll) atau memodifikasi mereka secara langsung selama operasi. Sebaliknya, mengembalikan bagian yang bersifat konsumsi dari sebuah objek langsung dalam operasi.
35	<i>Parameter changes</i>	Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). Mengubah konsentrasi atau konsistensi. Mengubah tingkat fleksibilitas. Mengubah suhu
36	<i>Phase transitions</i>	Menggunakan fenomena yang terjadi selama fase transisi (contohnya perubahan volume, kehilangan atau penyerapan panas, dll).
37	<i>Thermal expansion</i>	Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.
38	<i>Strong oxidants</i>	Menggantikan udara yang umum dengan udara yang kaya oksigen. Ganti dengan udara yang diperkaya dengan oksigen murni membuka udara atau oksigen ke radiasi pengion. Menggunakan oksigen yang terozonisasi. Ganti yang terozonisasi (oksigen terionisasi) dengan ozon.
39	<i>Inert atmosphere</i>	Ganti lingkungan yang normal dengan satu yang inert. Tambahkan bagian netral atau aditif inert ke suatu objek atau sistem.
40	<i>Composite materials</i>	Ubah dari seragam ke komposit (beberapa) material dan sistem.

Lampiran 2: 39 Engineering Parameters

No	Parameter	Penjelasan
1	<i>Weight of moving object</i>	Massa dari objek dalam medan gravitasi. Gaya yang tubuh berikan untuk menunjang dan menyangga.
2	<i>Weight of stationary object</i>	Massa dari objek dalam medan gravitasi. Gaya yang tubuh berikan untuk menunjang dan menyangga atau pada permukaan yang sebagai tumpuan.
3	<i>Length of moving object</i>	Setiap dimensi linear, belum tentu terpanjang, dianggap panjang.
4	<i>Length of stationary object</i>	Sama.
5	<i>Area moving object</i>	Karakteristik geometris dijelaskan oleh bagian dari sebuah bidang yang ditempati oleh garis. Bagian dari permukaan terisi oleh objek atau ukuran persegi dari permukaan, baik internal maupun eksternal dari suatu objek.
6	<i>Area stationary</i>	Sama. Panjang x lebar x tinggi untuk objek yang persegi panjang, tinggi x wilayah untuk silinder, dll.
7	<i>Volume moving object</i>	Ukuran cubic dari ruang yang ditempati oleh objek.
8	<i>Volume stationary</i>	Sama.
9	<i>Speed</i>	Kecepatan dari sebuah objek. Tingkat proses atau tindakan dalam waktu.
10	<i>Force</i>	Gaya mengukur interaksi antara sistem. Dalam fisika Newton, gaya = massa x percepatan. Dalam TRIZ, gaya adalah interaksi yang dimaksudkan untuk mengubah kondisi obyek.
11	<i>Stress or pressure</i>	Gaya per satuan luas. Tekanan.
12	<i>Shape</i>	Kontur eksternal, penampilan sistem.
13	<i>Stability of the object's composition</i>	Keutuhan atau integritas sistem. Hubungan elemen dari sistem. Pakai, dekomposisi kimia, dan pembongkaran semua penurunan stabilitas. Meningkatkan entropi adalah penurunan stabilitas.
14	<i>Strength</i>	Sejauh mana objek mampu menahan perubahan dalam menanggapi tekanan. Daya tahan terhadap kerusakan.
15	<i>Duration of action by a moving object</i>	Waktu yang objek dapat melakukan tindakan. Lama pelayanan. Rata-rata waktu antar kegagalan adalah perhitungan durasi tindakan. Juga, daya tahan.
16	<i>Duration of action by a stationary object</i>	Sama.

No	Parameter	Penjelasan
17	<i>Temperature</i>	Kondisi Termal objek atau sistem. Dengan bebas termasuk parameter termal lainnya, seperti kapasitas panas, yang mempengaruhi laju perubahan suhu.
18	<i>Illumination intensity</i>	fluks cahaya per satuan luas, juga setiap karakteristik pencahayaan lain dari sistem seperti kecerahan, kualitas cahaya, dll.
19	<i>Use of energy by moving object</i>	ukuran kapasitas objek untuk melakukan pekerjaan. Dalam mekanika klasik, energi adalah produk dari jarak gaya X. Ini termasuk penggunaan energi yang disediakan oleh sistem super (seperti energi listrik atau panas.) Energi yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan tertentu.
20	<i>Use of energy by stationary object</i>	Sama.
21	<i>Power</i>	Tingkat waktu di mana pekerjaan dilakukan. Tingkat penggunaan energi.
22	<i>Loss of energy</i>	Gunakan energi yang tidak berkontribusi pada pekerjaan yang sedang dilakukan. Mengurangi kehilangan energi yang kadang-kadang membutuhkan teknik yang berbeda dari peningkatan penggunaan energi, yang mengapa ini adalah kategori yang terpisah.
23	<i>Loss of substance</i>	Sebagian atau lengkap, permanen atau sementara, kehilangan beberapa dari sistem bahan, zat, bagian, atau subsistem.
24	<i>Loss of information</i>	Partial atau lengkap, permanen atau sementara, kehilangan data atau akses ke data di atau oleh suatu sistem. Sering mencakup data sensorik seperti aroma, tekstur, dan lain-lain.
25	<i>Loss of time</i>	Waktu adalah durasi aktivitas. Meningkatkan hilangnya waktu berarti mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk aktivitas tersebut. "Siklus penurunan waktu" adalah istilah umum.
26	<i>Quantity of substance/the matter</i>	Jumlah dari bahan, zat, bagian atau subsistem dari suatu sistem yang mungkin dapat berubah sepenuhnya atau sebagian, permanen atau sementara.
27	<i>Reliability</i>	Kemampuan sistem untuk menjalankan fungsi yang diinginkan dalam cara dan kondisi terprediksi.
28	<i>Measurement accuracy</i>	Kedekatan nilai diukur dengan nilai sebenarnya dari sebuah properti dari sistem. Mengurangi kesalahan dalam peningkatan pengukuran akurasi pengukuran.
29	<i>Manufacturing precision</i>	sejauh mana karakteristik sebenarnya dari sistem atau objek sesuai dengan karakteristik tertentu atau yang diperlukan.

No	Parameter	Penjelasan
30	<i>External harm affects the object</i>	Kerentanan sistem untuk keluaran yang menghasilkan efek (berbahaya)
31	<i>Object-generated harmful factors</i>	Efek berbahaya adalah salah satu yang mengurangi efisiensi atau kualitas fungsi objek atau sistem, yang dihasilkan oleh objek atau sistem sebagai bagian dari operasinya.
32	<i>Ease of manufacture</i>	Tingkat fasilitas, kenyamanan atau kemudahan di objek atau sistem manufaktur atau fabrikasi.
33	<i>Ease of operation</i>	Kesederhanaan: Proses ini tidak mudah jika membutuhkan banyak orang, banyak langkah dalam operasi, perlu alat khusus, dll. Proses (sulit) memiliki hasil yang rendah dan proses (muda) memiliki hasil yang tinggi; mereka mudah untuk melakukan yang benar.
34	<i>Ease of repair</i>	Karakteristik kualitas seperti kemudahan, kenyamanan, kesederhanaan, dan waktu untuk memperbaiki kesalahan, kegagalan, atau cacat dalam suatu sistem.
35	<i>Adaptability or versatility</i>	sejauh mana sistem atau objek merespon positif terhadap perubahan eksternal. Sebuah sistem yang dapat digunakan dalam berbagai cara dalam berbagai situasi.
36	<i>Device complexity</i>	Jumlah dan keragaman elemen dan hubungan elemen dalam sebuah sistem. Pengguna dapat menjadi elemen dari sistem yang meningkatkan kompleksitas. Kesulitan menguasai sistem adalah ukuran dari kompleksitas.
37	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	Mengukur atau pemantauan sistem yang kompleks dan mahal, memerlukan banyak waktu dan tenaga untuk membuat dan menggunakan, atau yang memiliki hubungan kompleks antara komponen atau komponen yang saling mengganggu menunjukkan "kesulitan mendeteksi dan mengukur. " Peningkatan biaya pengukuran untuk kesalahan yang memuaskan juga merupakan tanda peningkatan kesulitan pengukuran.
38	<i>Extent of automation</i>	Sejauh mana sistem atau objek melakukan fungsinya tanpa antarmuka manusia. Tingkat terendah dari otomatisasi adalah penggunaan alat yang dioperasikan secara manual. Untuk tingkat menengah, manusia memprogram alat, mengamati operasi, dan memprogram ulang sesuai kebutuhan. Untuk tingkat tertinggi, sensor mesin operasi diperlukan, program itu sendiri, dan memonitor operasi sendiri.
39	<i>Productivity</i>	Jumlah fungsi atau operasi yang dilakukan oleh sistem per satuan waktu. Waktu untuk fungsi satuan atau operasi. <i>Output</i> per satuan waktu atau biaya per unit <i>output</i>

Lampiran 3: Tabel Konversi DPMO, Yield Conversion ke Cp

DPMO	Sigma Short Term (Z_{ST})	Sigma Long Term (Z_{LT})	Yield	Cpk
2	6.00	4.50	99.999660	2.00
5	5.90	4.40	99.999540	1.97
9	5.80	4.30	99.999150	1.93
13	5.70	4.20	99.998700	1.90
21	5.60	4.10	99.997900	1.87
32	5.50	4.00	99.996800	1.83
48	5.40	3.90	99.995000	1.80
72	5.40	3.90	99.993000	1.77
108	5.20	3.70	99.989000	1.73
159	5.10	3.60	99.984000	1.70
233	5.00	3.50	99.980000	1.67
337	4.90	3.40	99.970000	1.63
483	4.80	3.30	99.950000	1.60
687	4.70	3.20	99.930000	1.57
968	4.60	3.10	99.900000	1.53
1,350	4.50	3.00	99.870000	1.50
1,866	4.40	2.90	99.810000	1.47
2,555	4.30	2.80	99.740000	1.43
3,467	4.20	2.70	99.650000	1.40
4,661	4.10	2.60	99.500000	1.37
6,210	4.00	2.50	99.400000	1.33
8,198	3.90	2.40	99.200000	1.30
10,724	3.80	2.30	98.900000	1.27
13,903	3.70	2.20	98.600000	1.23
17,864	3.60	2.10	98.200000	1.20
22,750	3.50	2.00	97.700000	1.17
28,716	3.40	1.90	97.100000	1.13
35,930	3.30	1.80	96.400000	1.10
44,565	3.20	1.70	95.500000	1.07
54,799	3.10	1.60	94.500000	1.03
66,807	3.00	1.50	93.300000	1.00
80,757	2.90	1.40	91.900000	0.97
96,801	2.80	1.30	90.300000	0.93
115,070	2.70	1.20	88.500000	0.90
135,666	2.60	1.10	86.400000	0.87
158,655	2.50	1.00	84.100000	0.83
184,060	2.40	0.90	81.600000	0.80
211,855	2.30	0.80	78.800000	0.77
241,964	2.20	0.70	75.800000	0.73
274,253	2.10	0.60	72.600000	0.70
308,538	2.00	0.50	69.100000	0.67
344,578	1.90	0.40	65.500000	0.63
382,089	1.80	0.30	61.800000	0.60
420,740	1.70	0.20	57.900000	0.57
460,172	1.60	0.10	54.000000	0.53
500,000	1.50	0.00	50.000000	0.50
539,828	1.40	-0.10	46.000000	0.47
579,260	1.30	-0.20	42.100000	0.43
617,911	1.20	-0.30	38.200000	0.40
655,422	1.10	-0.40	34.500000	0.37
691,462	1.00	-0.50	30.900000	0.33
725,747	0.90	-0.60	27.400000	0.30
758,036	0.80	-0.70	24.200000	0.27
788,145	0.70	-0.80	21.200000	0.23
815,940	0.60	-0.90	18.400000	0.20
841,345	0.50	-1.00	15.900000	0.17
864,334	0.40	-1.10	13.600000	0.13
884,930	0.30	-1.20	11.500000	0.10
903,199	0.20	-1.30	9.700000	0.07
919,243	0.10	-1.40	8.100000	0.03
933,193	0.00	-1.50	6.700000	0.00

BIOGRAFI PENULIS

Penulis bernama Paulino Gamboa lahir pada tanggal 27 Agustus 1989 di Atauro, Timor Leste. Penulis adalah anak ketiga dari Bapak Augusto da Silva dan ibu Joana Fernandes. Penulis memulai Pendidikan Dasar di Sekolah Dasar Nunumalau. Kemudian penulis melanjutkan pendidikannya ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) I Uato-Carbau dan melanjutkan pendidikannya di Sekolah Menengah Atas di SMAN 5 de Maio Becora, Dili. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Program Sarjana di Departemen Teknik Industri di Universidade Dili (UNDIL) Timor Leste (2009/2010). Selain itu, penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen di UNDIL. Selama menjadi mahasiswa Strata-1 di UNDIL, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan dan pernah menjabat sebagai ketua Himpunan Mahasiswa Fakultas Teknik UNDIL. Penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang Program Strata-2 di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS di Bidang Konsentrasi *Manufacturing Systems Engineering and Management* (MSEM) dan resmi menjadi mahasiswa ITS pada September 2019 melalui program beasiswa KNB. Untuk informasi lebih lanjut, silahkan hubungi penulis melalui email paulinogamboa27@gmail.com.