

**ANALISIS BIAYA KERUGIAN MATERIAL DAN PENGURANGAN
TINGKAT SISA BAHAN BAKU PADA INDUSTRI ELEKTRONIK
DENGAN METODE *MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING*
(MFCA) DAN DMAIC
TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Arvel Ghani Abhinaya
No. Mahasiswa : 21522281

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir yang berjudul “Analisis Biaya Kerugian Material dan Pengurangan Tingkat Sisa bahan Baku Pada Industri Elektronik Dengan Metode *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) dan DMAIC” adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 30 – 01 - 2026



(Arvel Ghani Abhinaya)

21522281

SURAT BUKTI PENELITIAN



FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100
F. (0274) 895007
E. iti@uii.ac.id
W. iti.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 241/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/I/2026

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Arvel Ghani Abhinaya

Nim : 21522281

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul "**ANALISIS BIAYA KERUGIAN MATERIAL DAN PENGURANGAN TINGKAT SISA BAHAN BAKU PADA INDUSTRI ELEKTRONIK DENGAN METODE *MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING* (MFCA) DAN DMAIC**". Mulai pelaksanaan penelitian 8 Oktober 2025 sampai 27 Januari 2026

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 30 Januari 2026

Kepala Laboratorium
Sistem Manufaktur Terintegrasi


Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS BIAYA KERUGIAN MATERIAL DAN PENGURANGAN
TINGKAT SISA BAHAN BAKU PADA INDUSTRI ELEKTRONIK
DENGAN METODE *MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING*
(MFCA) DAN DMAIC**

TUGAS AKHIR

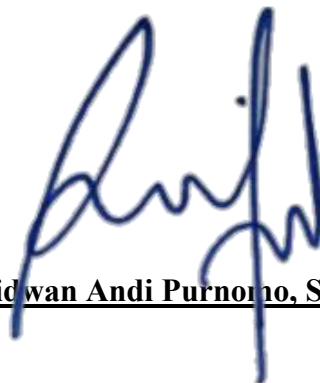
Disusun Oleh :

Nama : Arvel Ghani Abhinaya

No. Mahasiswa : 21522281

Yogyakarta, 1 Februari 2026

Dosen Pembimbing



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**ANALISIS BIAYA KERUGIAN MATERIAL DAN PENGURANGAN
TINGKAT SISA BAHAN BAKU PADA INDUSTRI ELEKTRONIK
DENGAN METODE *MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING*
(MFCA) DAN DMAIC****TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

Nama : Arvel Ghani Abhinaya

No. Mahasiswa : 21 522 281

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 2 - Februari - 2026

Tim Penguji

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo,
S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Ketua

Dian Janari, S.T., M.T.

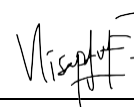
Anggota I

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

Anggota II



Dian Janari



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Atas seizin Allah SWT atas nikmat yang telah beliau berikan, tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

Bapak Edy Cahyono dan Ibu Dhona Agustin Rachmawati, kedua orang tua saya yang menjadi *support system*, mengasuh dan mendidik saya sedari kecil. Lalu kepada adik-adik penulis, dan teman-teman penulis yang menjadi pendukung atas tersusunnya laporan tugas akhir ini.

MOTTO

“Maka ingatlah kepadaku, aku pun akan ingat kepadamu. Bersyukurlah kepadaku dan janganlah kamu ingkar kepadaku.”

(Q.S Al-Baqarah : 152)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Q.S Al-Insyirah : 5)

“Meskipun kita kehilangan, meskipun menyakitkan, kita tidak punya pilihan selain terus hidup. Tak peduli seberapa hancurnya kita dipukul mundur.”

(Tanjiro kamado)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil`alamin puji dan syukur senantiasa penulis ucapkan kepada Allah S.W.T karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan tugas akhir dengan baik dan sesuai waktu yang telah ditentukan. Shalawat serta salam senantiasa penulis sampaikan kepada junjungan kita yakni Nabi Muhammad S.A.W yang telah membawa risalah kepada umat manusia dari zaman jahiliyyah menuju zaman modern seperti saat ini.

Penulis pun menyadari bahwa laporan ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dan bimbingan dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam keberlangsungan tugas akhir penulis. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN. Eng., selaku Dekan dari Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Industri FTI UII.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM, selaku Ketua Program Studi Teknik Industri program sarjana FTI UII.
4. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM, selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah mendukung dan banyak memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam melaksanakan kegiatan tugas akhir dan juga dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
5. Kedua orang tua tercinta, yang telah membantu mendoakan dan memberikan dukungan dalam pelaksanaan tugas akhir maupun penyusunan laporan tugas akhir.
6. Teman-teman dan sahabat yang penulis cintai, yang telah memberi energi semangat agar penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
7. Keluarga, saudara, teman-teman dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan dukungan moral.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan ini karena terbatasnya pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, apabila terdapat kekeliruan informasi dan penulisan pada laporan tugas akhir ini, penulis mengucapkan permohonan maaf. Kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan laporan ini penulis harapkan demi peningkatan kualitas laporan ini. Besar harapan penulis semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan beragam informasi dan manfaat dalam menambah ilmu pengetahuan mengenai implementasi Lean Manufacture, terkhusus dalam lingkup Defect Produk. Akhirul kalam, Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

ABSTRAK

Penelitian ini mengintegrasikan metode *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) dan DMAIC untuk menyingkap inefisiensi biaya akibat tingginya tingkat *scrap* (5,7%) pada lini produksi modul elektronik PT XYZ yang selama ini tidak terdeteksi oleh akuntansi konvensional. Hasil analisis MFCA berhasil mengidentifikasi kerugian finansial tersembunyi atau *Negative Product Cost* sebesar Rp 58.273.907 per *Batch* produksi yang mengoreksi perhitungan tradisional dengan kenaikan biaya pokok aktual sebesar Rp 10.791 per unit sementara pendekatan DMAIC memvalidasi bahwa 80% kerugian terpusat pada empat stasiun kerja kritis (WS 2, 3, 5, dan 6) yang disebabkan oleh kesenjangan kompetensi operator, degradasi presisi mesin, dan kesalahan penanganan *Moisture Sensitive Devices* (MSD), sehingga strategi perbaikan difokuskan pada transisi ke *predictive maintenance* dan standarisasi sertifikasi operasional berbasis IPC-A-610..
Kata Kunci: *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), DMAIC, *Negative Product Cost*, *Scrap Reduction*, Manufaktur Elektronik.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Literatur.....	5
2.2 Landasan Teori	17
2.2.1 Material Flow Cost Accounting (MFCA).....	17
2.2.2 DMAIC	18
2.2.3 Pareto Analysis.....	19
2.2.4 Fishbone Diagram (Ishikawa).....	20
2.2.5 Lean Manufacturing	22
2.2.6 Sequential Workstation	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Subjek Penelitian	23
3.2 Objek Penelitian.....	23
3.3 Jenis Data & Sumber Data.....	23
3.4 Pengumpulan Data.....	23
3.5 Rumus menghitung <i>Total Cost</i> dan <i>Unit Cost</i> perhitungan MFCA.....	24
3.6 Rumus menghitung <i>Total Cost</i> dan <i>Unit Cost</i> perhitungan Tradisional.....	24
3.7 Rumus Menghitung <i>Yield (%)</i>	24
3.8 Rumus menghitung <i>Yield</i>	24
3.9 Rumus menghitung Output Produksi negatif.....	24
3.10 Rumus Menghitung Output Produksi Positif.....	24

3.11	Rumus Menghitung <i>Rolled throughput Yield</i> (RTY)	25
3.12	Alur Penelitian	25
BAB IV	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	28
4.1	Pengumpulan Data.....	28
4.2	Pengolahan Data	28
4.2.1	Define	28
4.2.2	Measure	29
4.2.3	Analyze	35
4.2.4	Improve	37
4.2.5	Control.....	46
BAB V	PEMBAHASAN.....	49
5.1	Hasil Pengolahan Data.....	49
5.1.1	Akar Masalah	49
5.1.2	Saran Perbaikan Berdasarkan Akar Masalah	52
5.2	Faktor Lain yang Perlu Diperhatikan.....	54
BAB VI	PENUTUP	56
6.1	Kesimpulan	56
6.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Literatur.....	15
Tabel 4.1 Perhitungan Tradisional.....	30
Tabel 4.2 Positive Material Cost.....	31
Tabel 4.3 Positive Energy Cost.....	31
Tabel 4.4 <i>Negative Energy Cost</i>	32
Tabel 4.5 <i>Negative Energy Cost</i>	33
Tabel 4.6 <i>Waste handling Cost</i>	33
Tabel 4.7 Recycling Credit	34
Tabel 4.8 <i>Total Cost & Unit Cost</i>	34
Tabel 4.9 Perbandingan Production Cost	35
Tabel 4.10 Perbandingan harga jual per Unit	35
Tabel 4.11 Tabel Fishbone diagram Workstation 2.....	38
Tabel 4.12 Tabel Fishbone diagram Workstation 2.....	40
Tabel 4.13 Tabel Fishbone Diagram Workstation 5.....	42
Tabel 4.14 Tabel Fishbone Diagram Workstation 6.....	45
Tabel 4.15 Perbandingan Biaya Produksi.....	47
Tabel 4.16 Perbandingan biaya jual.....	48
Tabel 5.1 penjelasan analisis fishbone pada permasalahan utama	50
Tabel 5.2 penjelasan analisis fishbone pada permasalahan utama	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Scrap Rate	2
Gambar 2.1 <i>Material Flow Cost Accounting</i>	17
Gambar 2.2 Material balance Concept	18
Gambar 2.3 Diagram Pareto	20
Gambar 2.4 Contoh <i>Fishbone Diagram</i>	21
Gambar 3.1 Alur Penelitian	25
Gambar 4.1 <i>Scrap Rate</i>	29
Gambar 4.2 Pareto Analysis	36
Gambar 4.3 Fishbone Workstation 2	37
Gambar 4.4 Fishbone Workstation 3	40
Gambar 4.5 Fishbone Workstation 5	42
Gambar 4.6 Fishbone <i>Workstation 6</i>	44
Gambar 5.1 Fishbone Permasalahan Utama	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

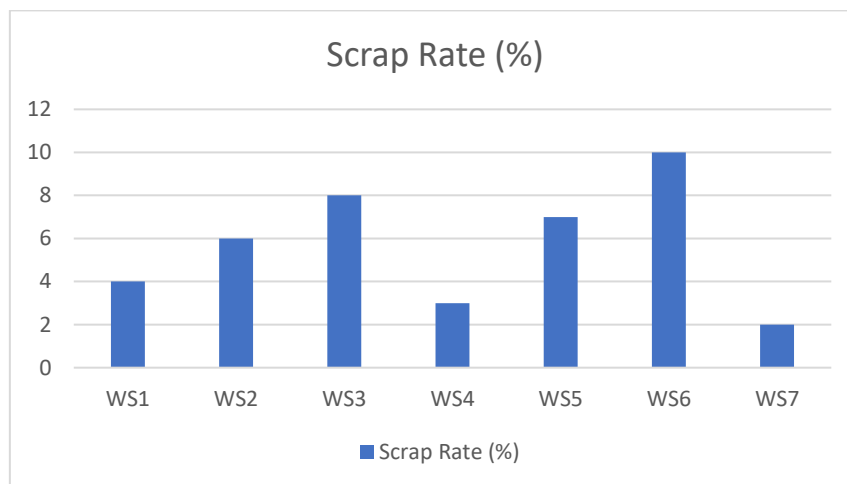
Di tengah persaingan industri manufaktur elektronik global yang semakin ketat, efisiensi operasional menjadi faktor kunci bagi keberlangsungan dan profitabilitas perusahaan. Tuntutan pasar akan produk berkualitas tinggi dengan harga kompetitif mendorong perusahaan untuk terus berinovasi dalam menekan biaya produksi dan meminimalkan pemborosan (*waste*). Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi adalah mengelola aliran material secara efektif untuk mengurangi produk cacat, material sisa (*scrap*), dan biaya-biaya non-nilai tambah lainnya yang timbul selama proses produksi.

Dalam menghadapi tantangan tersebut, upaya perampingan atau pengurangan *waste* dan *scrap* harus dilakukan, agar perusahaan dapat tetap bersaing dengan harga terjangkau tetapi keuntungan juga tidak berkurang. Contohnya pada PT. XYZ yang merupakan salah satu industri manufaktur yang berlokasi di Yogyakarta, dengan fokus operasional utama pada bidang perakitan atau pembuatan modul elektronik. Perusahaan ini memproduksi berbagai jenis modul elektronik *Printed Circuit Board Assembly* atau PCBA yang berfungsi sebagai komponen vital bagi rantai pasok industri elektronika yang lebih luas. Dalam menjalankan aktivitas produksinya, PT. XYZ menerapkan alur proses manufaktur presisi yang mengintegrasikan teknologi *Surface Mount Technology* (SMT) dan *Through-Hole Technology*, mencakup serangkaian stasiun kerja kritis mulai dari penempatan komponen (*component placement*), penyolderan (*soldering*), hingga pengujian fungsional (*functional testing*).

Dalam beberapa waktu terakhir, manajemen perusahaan mengidentifikasi adanya gejala penurunan kinerja pada lini produksinya. Fenomena ini termanifestasi dalam bentuk peningkatan kerugian material, tingginya tingkat pengerjaan ulang (*rework*) yang mengganggu kelancaran alur produksi, serta eskalasi biaya operasional. Biaya yang tidak berkelanjutan ini secara spesifik bersumber dari biaya pembuangan limbah serta inefisiensi penggunaan energi, yang menandakan adanya pemborosan sistemik dalam proses yang berjalan.

Kompleksitas masalah diperdalam oleh struktur lini produksi perusahaan yang terdiri dari tujuh stasiun kerja. Setiap stasiun kerja memiliki proses, teknologi, dan tingkat presisi yang berbeda, sehingga kontribusinya terhadap total pemborosan juga bervariasi. Tanpa analisis

yang mendalam dan terstruktur, upaya perbaikan seringkali bersifat parsial dan tidak menyentuh akar permasalahan, sehingga perusahaan seakan hanya gali lubang dan tutup lubang. Siklus ini harus segera diputus dengan menyelesaikan masalahnya dari akarnya. Karena kegagalan dalam mengendalikan pemborosan ini tidak hanya merugikan secara finansial, tetapi juga berpotensi menurunkan reputasi perusahaan di mata pelanggan. Pada Gambar 1.1 menunjukkan seberapa besar tingkat *scrap* pada Perusahaan dengan tingkat scrap tertinggi mencapai 10% dan nilai scrap terendah pada 2%.



Gambar 1.1 Scrap Rate

Dalam upaya meningkatkan akurasi pembebanan biaya, metode *Activity-Based Costing* (ABC) sering menjadi opsi utama karena kemampuannya mengalokasikan *overhead* berdasarkan aktivitas secara presisi. Namun, pendekatan ABC memiliki keterbatasan fundamental dalam mendeteksi inefisiensi material, di mana biaya kegagalan seperti *scrap* sering kali masih dianggap sebagai biaya normal yang melekat pada aktivitas produksi atau dibebankan kembali ke harga pokok produk jadi. Mengingat permasalahan utama di PT XYZ adalah tingginya volume limbah fisik (*material loss*) yang mencapai 5,7%, metode ABC dinilai kurang efektif karena tidak dapat memvisualisasikan limbah tersebut sebagai kerugian ekonomi yang berdiri sendiri. Oleh karena itu, penelitian ini mengerucut pada penggunaan *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) yang menawarkan perspektif lebih terstruktur dengan memisahkan produk negatif dari struktur biaya, sehingga nilai kerugian material yang selama ini tersembunyi dapat diisolasi dan dikuantifikasi secara transparan.

Di sisi lain, karena banyaknya faktor yang menyebabkan hasil produksi tidak stabil dibutuhkan metode perbaikan yang rapi dan terukur seperti DMAIC. Integrasi antara

transparansi biaya dari MFCA dan struktur penyelesaian masalah dari DMAIC dipandang sebagai langkah strategis yang paling relevan untuk menanggulangi tingginya masalah inefisiensi secara menyeluruh.

Berdasarkan urgensi dan data diatas, penelitian ini diusulkan untuk melakukan analisis komprehensif terhadap masalah pemborosan di lini produksi perusahaan. Penelitian ini akan mengaplikasikan pendekatan terstruktur dengan mengintegrasikan dua metodologi utama: dengan siklus DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) sebagai kerangka kerja untuk mengurangi variasi dan cacat produk, serta MFCA untuk mengukur dan memvisualisasikan biaya dari setiap aliran material, termasuk yang menjadi produk maupun limbah. Untuk mendukung analisis penyelesaian masalah, akan digunakan alat bantu seperti analisis pareto untuk memprioritaskan sumber pemborosan yang paling signifikan dan diagram fishbone untuk menelusuri akar penyebab masalah secara mendalam. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan identifikasi parameter produksi yang kritis dan memberikan rekomendasi optimasi yang terukur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari penelitian, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini:

- a. Seberapa besar total biaya kerugian yang ditimbulkan oleh material sisa (*scrap*) pada PT. XYZ ?
- b. Dimana penyebab pemborosan (*waste*) yang paling signifikan pada PT. XYZ?
- c. Apa akar masalah yang menyebabkan banyaknya *scrap* atau material sisa?
- d. Langkah apa saja yang dapat dilakukan untuk mengurangi *scrap* atau bahan sisa pada PT. XYZ berdasarkan akar masalah yang ada?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, berikut ini merupakan tujuan dari penelitian ini:

- a. Mengetahui seberapa besar total biaya kerugian yang ditimbulkan oleh material sisa (*Scrap*) pada PT. XYZ.
- b. Mengetahui dimana penyebab pemborosan (*Waste*) yang paling signifikan pada PT. XYZ.
- c. Mengetahui akar masalah yang menyebabkan banyak *scrap* atau material sisa.

- d. Mengetahui langkah untuk mengurangi *scrap* atau bahan sisa pada PT. XYZ berdasarkan akar masalah yang ada.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan berbagai pihak yang bersangkutan dari terlaksananya penelitian ini:

- a. Bagi Perusahaan:
 1. Hasil analisis DMAIC dan MFCA dapat dijadikan bahan perbaikan lini produksi pada perusahaan.
 2. Mengetahui penyebab masalah terbesar dan akar masalah dari permasalahan.
- b. Bagi Penulis:

Penulis dapat mengembangkan pemahaman dan menerapkan ilmu teknik industri yang diperoleh selama perkuliahan, terutama dalam disiplin ilmu *Lean Manufacturing*, dan khususnya terkait dengan analisis DMAIC, MFCA, *Pareto Analysis*, dan *Fishbone Diagram*.
- c. Bagi pembaca:

Penelitian ini dapat memberikan referensi terkait penggunaan analisis DMAIC dengan pendekatan MFCA, sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi pembanding untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dari penelitian yang akan dilakukan:

- a. Analisis hanya berfokus pada 7 *workstation* internal yang teridentifikasi (WS1 hingga WS7).
- b. Analisis biaya dalam kerangka *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) terbatas pada biaya-biaya yang tercantum dalam data.
- c. penelitian ini hanya memberikan usulan perbaikan tidak memberikan data hasil perbaikan
- d. Selama masa penelitian, data sekunder yang digunakan tidak dapat berubah atau dirubah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Penelitian yang dilakukan oleh Alfian, Ritchi, dan Hasyir (2019), bertujuan untuk menganalisis dan mengetahui sejauh mana penerapan material flow cost accounting (MFCA) pada industri manufaktur, dengan studi kasus di PT. Unipres Indonesia. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Sumber data yang digunakan berupa data primer dari wawancara dan observasi, serta data sekunder dari dokumentasi seperti laporan produksi dan keuangan. Selanjutnya, data diolah menggunakan metode analisis data menurut Miles dan Huberman, dan implementasi MFCA ditinjau berdasarkan empat aspek kerangka kerja ISO 14051:2011, yaitu *quantity center* (pusat kuantitas), *material balance* (keseimbangan material), *cost allocation* (alokasi biaya), dan *material flow model* (model aliran material). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan MFCA di PT. Unipres Indonesia sudah dilakukan secara optimal berdasarkan keempat aspek yang diukur tersebut. Hasil penerapan MFCA menunjukkan bahwa perusahaan memiliki biaya kerugian material, yang terdiri dari biaya energi, biaya sistem, dan biaya material, sebesar Rp 650.325 untuk setiap produk suku cadang yang diproduksi.

Analisis pengukuran biaya *food loss and waste* atau FLW pada industri keripik kentang Italia dilakukan oleh Amicarelli, Roe, and Bux (2022). Pertama, data dikumpulkan dari berbagai laporan nasional, internasional, dan artikel ilmiah untuk memperkirakan dampak ekonomi dan ekologi FLW. Penelitian ini mencakup seluruh rantai pasok, mulai dari tahap pertanian, pemrosesan, hingga konsumsi rumah tangga. Data dianalisis menggunakan metode *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) dan

pendekatan *mass balance* untuk membandingkan dua skenario yaitu harga sebelum dan selama lockdown COVID-19, dengan perhitungan menggunakan perangkat lunak STAN 2.6. Hasil analisis menunjukkan bahwa "sistem keripik" menghasilkan produksi senilai EUR 461 juta (78%), namun biaya yang terkait dengan FLW melebihi EUR 131 juta (22%). Hasil uji skenario menunjukkan adanya peningkatan total biaya FLW dari EUR 104,80 juta pada Skenario 1 yaitu sebelum lockdown menjadi EUR 128 juta. Pada skenario 2 yaitu selama lockdown terdapat kenaikan sebesar 22%. Penerapan MFCA ini menunjukkan bahwa metode tersebut cocok untuk mendukung manajemen limbah makanan dan dapat mengidentifikasi potensi penghematan yang signifikan melalui pengurangan atau valorisasi aliran material yang sebelumnya tersembunyi.

Selanjutnya terdapat penelitian yang dilakukan oleh Daniyan et al. (2022) yang bertujuan untuk menerapkan metodologi *Lean* menggunakan pendekatan DMAIC untuk perbaikan proses perakitan *bogie* di industri kereta api, dengan fokus mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus di sebuah industri manufaktur kereta api di Afrika Selatan. Data primer seperti alur kerja, material, waktu operasional, dan waktu henti dikumpulkan dari setiap tahap perakitan, serta melalui wawancara dan observasi selama tiga bulan. Analisis dilakukan menggunakan kerangka kerja DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dan alat-alat *Lean* spesifik, termasuk *Kaizen*, *Value Stream Mapping* (VSM), *Pareto chart*, SMED, dan 5S. Metrik evaluasi utama yang digunakan adalah *Process Cycle Efficiency* (PCE), *lead-time*, *value-added time* (VDT), dan *non-value-added time* (NVDT). Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi awal proses memiliki PCE yang sangat rendah yaitu 19,9%. Setelah implementasi LSS, terjadi peningkatan PCE sebesar 46,8% (mencapai 66,7%), pengurangan *lead-time* sebesar 27,9%, peningkatan *value-added time* sebesar 59,3% , dan pengurangan *non-value-added time* sebesar 71,9%. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa penerapan LSS terbukti berhasil dan layak untuk minimasi limbah dan peningkatan kinerja proses, guna mencapai keunggulan operasional di organisasi manufaktur.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Erdil (2020), dilakukan evaluasi pengembangan dan desain produk pada industri furnitur-kayu. Dalam penelitian ini

digunakan dua metode, yaitu *Quality Function Deployment (QFD)* dan *Pareto Analysis*. Setelah data *customer requirements (WHATs)* dan *technical characteristics (HOWs)* dikumpulkan melalui kuesioner dari 55 perusahaan, selanjutnya dilakukan perhitungan bobot menggunakan matriks QFD untuk menentukan *Absolute Weight (AW)* dan *Customer Requirement Net Weight (CNW)*. Hasil QFD mengidentifikasi 12 kelompok prioritas *technical requirements (TRs)*, dengan prioritas tertinggi yaitu CNW 8,57% adalah pada kriteria s5, s12, dan s13. Selanjutnya, hasil *Pareto Analysis* berdasarkan nilai AW menunjukkan bahwa 80% masalah dapat diminimalkan dengan mengoptimalkan 11 dari 18 kategori *technical requirements*. Dengan demikian, kombinasi QFD dan PA terbukti efektif dalam mengidentifikasi dan merekomendasikan prioritas perbaikan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan (*Voice of Customer*) dalam pengembangan produk furniture.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fadjaranie, Rachmadani, and Tarmidi (2024), diterapkan pendekatan *Environmental Management Accounting (EMA)* untuk menganalisis strategi pengurangan biaya pada 230 perusahaan manufaktur di Indonesia. Data dikumpulkan dari laporan keuangan tahunan dan laporan keberlanjutan periode 2016-2020. Penelitian ini menguji pengaruh *Material Flow Cost Accounting (MFCA)*, yang diukur dengan rasio RtCR (Bahan Baku/HPP), dan *Non-Product Output (NPO)*, yang diukur dengan rasio WRMat (Limbah/Bahan Baku), terhadap *Cost Reduction (Pengurangan Biaya)* yang diukur menggunakan ROA. Analisis data kuantitatif ini menggunakan dua metode skala: rasio normal dan rasio *dummy* (membandingkan tahun t dengan $t-1$). Hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa metode rasio normal tidak signifikan (Prob. F-statistik 0,187). Sebaliknya, metode rasio *dummy* menunjukkan hasil signifikan (Prob. F-statistik 0,000), dengan MFCA (prob. 0,046) dan NPO (prob. 0,004) keduanya berpengaruh signifikan terhadap pengurangan biaya. Evaluasi ini menunjukkan bahwa pendekatan rasio *dummy* lebih tepat dan membuktikan bahwa pengelolaan bahan baku (MFCA) serta biaya limbah (NPO) secara efisien berkontribusi signifikan terhadap strategi pengurangan biaya perusahaan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ghaleb and Ahmed (2025), bertujuan untuk menganalisis akar penyebab (*root cause*) dari masalah klaim dan sengketa yang paling

sering terjadi dalam industri bangunan Irak. Studi ini menggunakan pendekatan *Root Cause Analysis* (RCA) pada sampel 70 proyek bangunan pemerintah Irak yang dilaksanakan antara 2008-2023, dengan fokus pada kontrak tradisional (*design-bid-build*). Sebanyak 70 akar masalah diidentifikasi dari sampel proyek dan dikelompokkan ke dalam 9 kategori penyebab utama yang diadopsi dari penelitian sebelumnya. Diagram Fishbone (Ishikawa) digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara penyebab utama dan akar masalah, serta mengurutkannya berdasarkan frekuensi kemunculan. Hasil analisis menunjukkan bahwa lima penyebab utama yang paling dominan (mencakup ~80% dari total akar masalah) adalah Pengalaman Kontraktor (21%), Perubahan Pekerjaan (16%), Keterlambatan Proyek (15%), Persetujuan & Responsivitas Pemilik (14%), dan Kompleksitas Pekerjaan (13%). Akar masalah individual yang paling sering muncul adalah keterlambatan pembayaran kontraktor. Penerapan diagram Fishbone dalam RCA ini efektif mengidentifikasi dan memprioritaskan sumber utama klaim dan sengketa, sehingga memungkinkan para profesional untuk mengembangkan strategi manajemen klaim yang proaktif dan mengurangi dampak negatif masalah pada proyek.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Idris et al. (2021), dilakukan analisis defek produksi *sachet* kopi pada sebuah perusahaan makanan dan minuman di Malaysia. Penelitian ini bertujuan menganalisis jenis defek menggunakan alat *Statistical Process Control* (SPC) serta mengidentifikasi akar penyebabnya. Metodologi yang digunakan meliputi observasi fisik lini produksi otomatis, pengumpulan data defek selama empat bulan (Mei-Agustus 2019), wawancara dengan staf terkait, dan analisis menggunakan *Pareto Analysis*, P-Control Chart, serta Diagram Ishikawa. Data menunjukkan total 1743 defek dari 3919 sampel yang diperiksa. Hasil Analisis Pareto mengidentifikasi '*Underweight*' (22.55%) dan '*Leaking*' (20.83%) sebagai dua jenis defek paling dominan. P-Control Chart menunjukkan bahwa proses produksi cenderung keluar dari batas kontrol statistik. Selanjutnya, Diagram Ishikawa digunakan untuk menganalisis akar penyebab dari defek '*Underweight*' dan '*Leaking*', yang mengidentifikasi faktor utama berasal dari Manusia yaitu kurang terampil, kurang fokus; Mesin yaitu penyesuaian tidak tepat, perawatan tidak terjadwal; Metode yaitu penyesuaian salah, tekanan *sealing* salah, dan Material yaitu perubahan jenis plastik pembungkus. Secara spesifik, akar penyebab utama

untuk kedua defek tersebut adalah pekerja yang kurang terampil dan penyesuaian mesin yang tidak tepat. Dengan demikian, kombinasi alat SPC ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi masalah kualitas utama dan akar penyebabnya, sebagai dasar rekomendasi perbaikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Jamil et al. (2020) mengkaji *Sustainable Value Stream Mapping* (Sus-VSM) dan mengusulkan pendekatan berbasis DMAIC untuk implementasi yang sistematis guna mendukung sistem manufaktur berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan literatur terkait kurangnya proses perbaikan berkelanjutan pada aplikasi Sus-VSM. Metodologi yang diusulkan mengintegrasikan kerangka kerja DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dari dengan alat *Lean Manufacturing*, khususnya Sus-VSM. Pendekatan ini divalidasi melalui studi kasus industri (riset aksi) pada proses *nickel plating* (EN-Plating) di sebuah perusahaan manufaktur substrat *hard disc drive* di Malaysia. Tahapan DMAIC diaplikasikan secara sistematis: *Define* (menetapkan lingkup, tujuan, metrik keberlanjutan, dan metode pengumpulan data), *Measure* (menetapkan metrik dan membuat peta *current-state* Sus-VSM dengan data ekonomi, lingkungan, dan sosial), *Analyze* (menganalisis limbah yang teridentifikasi dan peluang perbaikan menggunakan alat seperti diagram Pareto untuk *cycle time* dan konsumsi energi), *Improve* (membuat peta *future-state* Sus-VSM berdasarkan solusi yang dirumuskan), dan *Control* (menetapkan mekanisme pemantauan berkelanjutan, misalnya menggunakan *control charts*, dan melembagakan tindakan perbaikan). Hasil dari studi kasus menunjukkan bahwa pendekatan berbasis DMAIC secara efektif mengimplementasi Sus-VSM. Studi kasus mengidentifikasi area perbaikan signifikan pada metrik ekonomi (*cycle time* proses PPW/PPO, biaya material filter), lingkungan (konsumsi kimia nikel, konsumsi energi PPW/PPO), dan sosial (skor REBA 9 untuk aktivitas *racking/un-racking* yang berisiko tinggi). Penelitian ini berkontribusi dengan menyediakan kerangka kerja perbaikan berkelanjutan untuk Sus-VSM, menawarkan panduan praktis bagi manajer operasional, dan mendukung pengembangan pengetahuan *Lean* dalam konteks keberlanjutan.

Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Ananda et al. (2023) yang menganalisis kegagalan pada meter tipe penunjuk elektromekanis di sebuah industri,

digunakan metodologi pemecahan masalah yang mengintegrasikan model Fishbone (Ishikawa) dan *Pareto Analysis*, serta *root cause analysis* (RCA). Data kegagalan meter khususnya masalah jarum macet dikumpulkan selama tiga bulan. Sebuah tim ahli dibentuk untuk melakukan sesi *brainstorming* guna mengidentifikasi potensi penyebab kegagalan. Diagram Fishbone kemudian dibuat untuk memvisualisasikan hubungan sebab-akibat, mengkategorikan potensi penyebab ke dalam *Manpower*, *Method*, *Material*, dan *Environment*. Analisis Pareto selanjutnya diterapkan pada data parameter penyebab kegagalan yang diakui oleh tim ahli untuk mengidentifikasi penyebab paling signifikan. Hasil analisis Fishbone menunjukkan potensi penyebab seperti kurangnya kesadaran penanganan, peniupan udara bertekanan, partikel debu/besi, dan komponen sensitif. *Pareto Analysis* mengkonfirmasi bahwa kesadaran penanganan meter oleh perakitan panel adalah penyebab utama (*vital few*), yang mengakibatkan deposisi serpihan besi dan partikel debu, sehingga menyebabkan jarum meter macet. Penerapan kombinasi kedua model ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi akar penyebab utama kegagalan meter, sehingga memungkinkan upaya perbaikan kualitas yang terfokus.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mufti (2021) dilakukan analisis efisiensi produksi pada industri Batik Sekarniti menggunakan kerangka kerja *Material Flow Cost Accounting* (MFCA). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses produksi dan mengidentifikasi strategi efisiensi yang bisa diterapkan. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus kualitatif, dengan pengumpulan data primer (wawancara, observasi) dan sekunder (catatan produksi, biaya) pada periode Desember 2019. Analisis data mengikuti langkah-langkah MFCA sesuai ISO 14051, termasuk penentuan ruang lingkup, alokasi biaya (material, energi, sistem, pembuangan limbah), dan interpretasi hasil melalui matriks aliran biaya. Hasil analisis MFCA menunjukkan bahwa total kerugian material (*Non-Product Output* - NPO) selama proses produksi adalah sebesar 12,07% dari total biaya, atau setara dengan Rp 3.230.945 per bulan. Sebagian besar NPO (sekitar 91,7%) berasal dari inefisiensi penggunaan material (kain sisa, lilin terbang, *canting* rusak, dll.) yang bernilai Rp 2.963.450 per bulan. Selain itu, diidentifikasi pula inefisiensi energi (listrik) dan biaya pengelolaan limbah. Berdasarkan temuan ini, beberapa strategi efisiensi diusulkan, seperti pengelolaan sisa kain, daur ulang lilin,

penggunaan *canting* elektrik, modifikasi alat pewarnaan, efisiensi penggunaan air dan energi, serta pembagian tugas kerja yang lebih jelas.

Analisis pengendalian kualitas produksi pada perusahaan mebel PK. SKM Jati dilakukan oleh Oktaviana and Auliandri (2023). Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan pengendalian kualitas guna meningkatkan efisiensi produksi meja dan kursi menggunakan Diagram Pareto dan Diagram Fishbone. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pengumpulan data primer melalui wawancara dengan pemilik dan manajer keuangan, observasi langsung, serta data sekunder melalui dokumentasi perusahaan. Data kegagalan produksi dari Desember 2022 hingga Agustus 2023 dianalisis. Hasil *Pareto Analysis* menunjukkan tiga jenis *defect* utama yang menghambat efisiensi produksi, yaitu kegagalan plitur (Z) sebesar 44,74%, lubang pada kayu (X) sebesar 39,47%, dan kayu lembab (Y) sebesar 15,79%. Kegagalan plitur menjadi prioritas utama untuk ditangani, diikuti oleh lubang pada kayu. Selanjutnya, Diagram Fishbone digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab dari ketiga *defect* tersebut, yang dikategorikan ke dalam empat faktor utama: Orang, Material, Mesin, dan Metode. Untuk *defect* lubang pada kayu, penyebab utama berasal dari faktor Material (hama kayu, kayu lapuk, pemotongan tidak rapi dari pemasok, kayu terlalu lembab) dan Orang (pekerja baru, kurang *training*, salah potong). Untuk *defect* kayu lembab, penyebab dominan adalah Metode (teknik pengeringan tradisional, penyimpanan terlalu lama) dan Orang (pekerja baru, kurang *training*, tidak bisa memperkirakan kekeringan), serta didukung faktor Material (kayu kurang kokoh/terlalu tebal) dan Mesin (tidak ada mesin pengering). Penyebab utama kegagalan plitur adalah faktor Orang (pekerja baru, kurang *training*, tidak bisa mencampur plitur) dan Metode (teknik tradisional, tidak ada *quality control*, teknik pemlituran kurang tepat). Penggunaan kedua diagram ini berhasil mengidentifikasi prioritas masalah dan akar penyebabnya, sebagai dasar perumusan usulan perbaikan kualitas di PK. SKM Jati.

Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Durroh, Daud, and Purba (2023), dilakukan analisis pengendalian kualitas produk teh di PT Candi Loka, Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui masalah kualitas, mengidentifikasi faktor penyebab, dan merumuskan solusi perbaikan. Metode penelitian yang digunakan adalah

deskriptif kualitatif, dengan alat analisis berupa *check sheet*, stratifikasi, diagram Pareto, dan diagram Fishbone. Data kualitas produk teh dari Juli hingga Desember 2021 serta data produksi bulan Maret 2022 digunakan sebagai dasar analisis. Hasil analisis diagram Pareto menunjukkan adanya deviasi kualitas pada produk *pekoe* yang dihasilkan pada bulan Maret 2022, di mana kualitasnya berada di bawah standar perusahaan. Diagram Fishbone kemudian digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab penurunan kualitas tersebut. Analisis Fishbone mengkategorikan berbagai penyebab ke dalam lima faktor utama: *Man*, *Material*, *Method*, *Machine*, dan *Environment*. Dari analisis mendalam menggunakan Fishbone dan diskusi, ditemukan bahwa faktor penyebab paling dominan terhadap kualitas *pekoe* yang di bawah standar Adalah faktor Material yaitu pucuk teh yang rusak dan kasar, serta faktor Metode dan Mesin yaitu suhu yang tidak stabil selama proses pelayuan dan pengeringan. Berdasarkan temuan ini, rekomendasi perbaikan difokuskan pada perbaikan sistem pemetikan untuk meningkatkan kualitas bahan baku dan penerapan suhu yang tepat pada tahap pengolahan.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahardjo et al. (2023) mengusulkan kerangka kerja *Smart and Sustainable Manufacturing System* (SSMS) yang mengintegrasikan teknologi Industri 4.0 dan alat *Lean Manufacturing*, serta memperkenalkan *Dynamic Lean 4.0 tools* seperti *Sustainable Value Stream Mapping*, *Extended SMED*, dan *Digital Poka-Yoke*. Untuk memvalidasi kerangka kerja ini, dilakukan studi kasus pada pabrikasi peralatan *vacuum degassing* di Taiwan menggunakan metodologi DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) yang diintegrasikan dengan *Digital Poka-Yoke*. Tahap Define menggunakan diagram SIPOC, tahap Measure menemukan kapabilitas proses awal (Cpk) sebesar 1,278 yang belum memadai, dan tahap Analyze menggunakan *Five Whys* serta *Quality Function Deployment* (QFD) untuk identifikasi akar masalah dan prioritas desain. Tahap Improve menerapkan *Digital Poka-Yoke* dengan mengintegrasikan teknologi Industri 4.0 seperti robot otonom, *digital twin*, IoT, dan *additive manufacturing*. Hasil pada tahap Control menunjukkan peningkatan Cpk menjadi 2 dan *yield* produksi menjadi 100%, disertai manfaat sosial (lingkungan kerja lebih aman, peluang kerja bagi tunanetra), ekonomi (penghematan NT\$68.000), dan

lingkungan (pengurangan limbah material), menegaskan efektivitas pendekatan DMAIC dengan *Dynamic Lean 4.0 tools* untuk manufaktur cerdas dan berkelanjutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhani and Winardini (2024) ini melakukan analisis terhadap kebijakan pengelolaan sampah di Kota Surabaya, khususnya di TPS Bukit Barisan, Petemon, menggunakan diagram Fishbone. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan pengelolaan sampah yang belum efektif di lokasi tersebut. Metode yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan analisis Fishbone berdasarkan kategori 4M (*Man, Machine, Method, Material*), didukung data sekunder dari SIPSN dan BPS Surabaya serta studi literatur. Diagram Fishbone disusun dengan masalah utama "Pengelolaan Sampah Yang Belum Efektif Di Surabaya". Analisis pada masing-masing kategori 4M mengidentifikasi penyebab spesifik: *Man*, yaitu rendahnya pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah efektif; *Machine* yaitu teknologi/fasilitas pengelolaan sampah belum modern akibat keterbatasan anggaran dan biaya tinggi; *Material*, yaitu kurangnya media informasi spesifik tentang pengelolaan sampah dan kurangnya mobil pengangkut yang memadai); *Method* yaitu kurangnya pemilahan dan daur ulang, infrastruktur kurang mendukung, keterbatasan lahan, pemukiman padat, kurangnya keterlibatan masyarakat. Berdasarkan analisis Fishbone, disimpulkan empat akar permasalahan utama yaitu fasilitas belum modern, media informasi belum optimal, SDM (masyarakat) kurang berwawasan dan sadar, serta kurangnya koordinasi antara pengelola dan pemerintah. Rekomendasi yang diberikan mencakup penyediaan fasilitas modern, optimalisasi media informasi, program edukasi masyarakat, dan peningkatan koordinasi antar pihak terkait

Russamurti, (2020) dalam penelitiannya, menerapkan metode untuk mengurangi persentase cacat produk air mineral cup 240ml di CV Yestoya Makmur Jaya. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan metodologi DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Tahap *Define* mengidentifikasi 5 jenis *defect* utama (*Critical To Quality/CTQ*) yaitu cacat *lid*, gelas penyok, cacat volume, cup bocor, dan pemotongan *lid* tidak rapi, serta membuat *process mapping* dan diagram SIPOC. Tahap *Measure* menghitung kapabilitas proses awal menggunakan *p-chart* untuk setiap jenis *defect*, menghasilkan rata-rata nilai DPMO sebesar 2483 dan level Sigma sebesar 4,31 pada

November 2019, serta *Process Capability* (C_p) 0,677 yang menunjukkan proses belum kapabel. Tahap *Analyze* menggunakan histogram untuk menentukan prioritas *defect*, menemukan "Cacat Lid Cup" sebagai *defect* paling dominan, diikuti cacat volume dan gelas penyok. Selanjutnya, diagram Fishbone digunakan untuk menganalisis akar penyebab cacat *lid cup*, mengidentifikasi faktor dari Manusia (konsentrasi/motivasi rendah, kelelahan), Metode (kurang pengawasan, prosedur salah/tidak update), Mesin (mesin tua, suhu *heater* tidak pas), dan Material (*lid* mudah bocor, bahan tipis, bibir cup tidak rata, kualitas cup rendah). Tahap *Improve* mengusulkan perbaikan berdasarkan analisis Fishbone menggunakan metode 5W+1H, termasuk penertiban jam kerja, pemberian insentif, pembuatan SOP, rekrutmen pengawas, perawatan mesin, dan penetapan standar kualitas material. Tahap *Control* melakukan simulasi implementasi SOP untuk proses *pressing lid*, yang menunjukkan peningkatan level Sigma dari 4,15 menjadi 4,29 untuk *defect* tersebut, mengindikasikan efektivitas penerapan SOP.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Trivedi, Bimal, & Mawandiya B B, 2024), mereka menerapkan pendekatan pemecahan masalah untuk meningkatkan kualitas dan keandalan *Moulded Case Circuit Breakers* (MCCBs) yang mengalami masalah inkonsistensi termal dan inefisiensi operasional dengan *Under Voltage Release* (UVR). Proses dimulai dengan analisis penyebab-akibat menggunakan diagram Fishbone atau Ishikawa untuk mengidentifikasi berbagai kemungkinan penyebab masalah keandalan MCCB, seperti faktor Material, Manusia, Metode, dan Mekanisme. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data defek dari pengujian 25-unit MCCB dan analisis frekuensi defek menggunakan *Pareto Analysis*. Hasil *Pareto Analysis* mengkonfirmasi bahwa inkonsistensi termal dan inefisiensi UVR adalah dua defek paling dominan. Berdasarkan temuan gabungan dari kedua alat analisis, penyebab utama diidentifikasi terkait dengan *trip plate* pada mekanisme, khususnya *trip travel* yang tidak konsisten. Solusi yang diimplementasikan adalah modifikasi pada *latch bracket* mekanisme MCCB dengan menghilangkan sebuah slot. Pengujian pada 30-unit MCCB yang dimodifikasi menunjukkan bahwa *trip travel* menjadi lebih konsisten (rata-rata 1.3 mm dibandingkan sebelumnya ~1.5 mm dengan variasi), dan MCCB berhasil lolos pengujian regulasi serta menunjukkan peningkatan efisiensi operasional dengan UVR dan karakteristik termal

yang lebih baik . Studi ini menunjukkan bahwa kombinasi diagram Fishbone dan *Pareto Analysis* efektif dalam mengidentifikasi akar penyebab dan memandu perbaikan untuk meningkatkan keandalan produk MCCB .

Tabel 2.1 Kajian Literatur

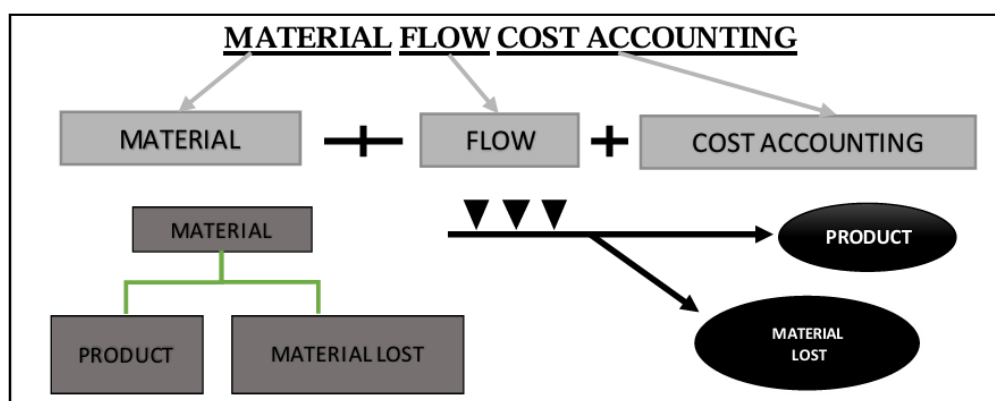
Penulis	Objek (Industri)		MFCA	DMAIC	Pareto Analysis	Fishbone Diagram	Lean manufacture
	Modul Elektronik	Umum					
(Alfian, Ritchi, & Hasyir, 2020)		√	√				√
(Amicarelli, Roe, & Bux, 2022)		√	√				
(Daniyana, Adeodub, Mpofua, Maladzhib, & Katumba, 2022)		√		√			√
(ERDİL, 2020)		√			√		√
(Fadjarenie, Rachmadani, & Tarmidi, 2024)		√	√				√
(Ghaleb & Ahmed, 2024)		√				√	

Penulis	Objek (Industri)		MFCAs	DMAIC	Pareto Analysis	Fishbone Diagram	Lean manufacture
	Modul Elektronik	Umum					
(Idris, Sin, Ibrahim, Ramli, & Ahmad, 2021)		√			√	√	√
(Jamil, et al., 2020)		√		√			√
(MH, Ankaiah, Oommen, & Nallangi, 2023)	√				√	√	
(Mufti, 2021)		√	√				√
(Oktaviana & Auliandri, 2023)		√			√	√	
(Purba, 2023)		√				√	
(Rahardjo, Wang, Yeh, & Chen, 2022)		√		√			√
(Ramadhani & Winardini, 2024)		√				√	
(Russamurti, 2020)		√		√		√	√
(Trivedi & Mawandiya, 2024)	√				√	√	
Usulan	√	√	√	√	√	√	√

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Material Flow Cost Accounting (MFCA)*

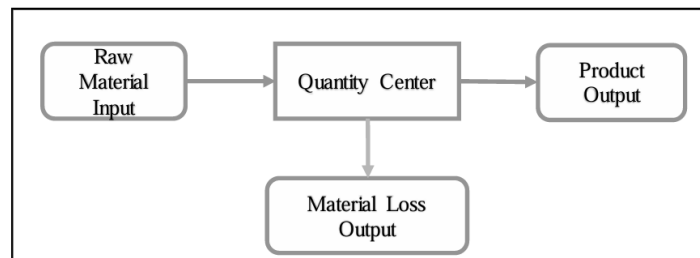
MFCA merupakan salah satu alat utama akuntansi manajemen lingkungan yang meningkatkan transparansi penggunaan material praktik dengan mengembangkan model aliran material sekaligus dapat mengurangi dampak lingkungan dan efisiensi bisnis yang lebih baik Mufti (2021). MFCA dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi aliran material (*material flow*) dan penggunaan energi, serta biaya yang terkait dan dampak lingkungan, dan untuk mendukung keputusan perusahaan melalui informasi yang diperoleh melalui MFCA Alfian et al. (2019). Gambar 2.1 dibawah menjelaskan terkait variable yang ada di metode MFCA



Gambar 2.1 *Material Flow Cost Accounting*

Source: Fadjarenie et al. (2024)

Secara fundamental, MFCA menerapkan prinsip keseimbangan massa (*Mass Balance Principle*), di mana semua material fisik yang masuk ke dalam proses (*input*) harus dapat dipertanggungjawabkan sebagai keluaran (*output*). Berbeda dengan akuntansi biaya konvensional yang sering menyembunyikan biaya material yang terbuang dalam akun *overhead* umum, MFCA secara sistematis memisahkan aliran keluaran tersebut menjadi dua kategori: 'produk positif' (produk jadi yang memiliki nilai jual) dan 'produk negatif' (limbah material, emisi, atau sisa). Gambar 2.2 dibawah merupakan Gambaran dari Material balance Concept.



Gambar 2.2 Material balance Concept

Source: (Fadjarenie, Rachmadani, & Tarmidi, 2024)

2.2.2 DMAIC

merupakan quality improvment tools yang berbasis pada penggunaan data dan statistik. Istilah “sigma” merupakan huruf Yunani σ yang digunakan untuk besaran Deviasi Standar (*Standard Deviation*) atau simpangan baku pada ilmu statistik. Prinsip dasar adalah perbaikan produk dengan melakukan perbaikan pada proses sehingga proses tersebut menghasilkan produk yang sempurna. berorientasi pada kinerja jangka panjang melalui peningkatan mutu untuk mengurangi jumlah kesalahan, dengan sasaran target kegagalan nol (*zero defect*) pada kapabilitas proses sama dengan atau lebih dari dalam pengukuran standar deviasi Russamurti (2020).

bertumpu pada penggunaan pendekatan *data-driven* yang disiplin dan sistematis untuk memecahkan masalah, yang terstruktur dalam lima fase siklus DMAIC:

- a. *Define* (Mendefinisikan): Fase awal untuk mendefinisikan masalah secara jelas, mengidentifikasi masalah (internal/eksternal), dan menetapkan tujuan yang spesifik dan terukur.
- b. *Measure* (Mengukur): Fase pengumpulan data untuk mengukur kinerja proses saat ini (*baseline*), memvalidasi sistem pengukuran, dan mengidentifikasi metrik kunci yang terkait dengan masalah.

- c. *Analyze* (Menganalisis): Fase analisis data yang telah dikumpulkan untuk mengidentifikasi, memverifikasi, dan memprioritaskan akar penyebab (*root cause*) dari masalah atau cacat.
- d. *Improve* (Meningkatkan): Fase pengembangan, pengujian, dan implementasi solusi yang kreatif dan berbasis data untuk menghilangkan atau mengurangi akar penyebab masalah.
- e. *Control* (Mengendalikan): Fase terakhir untuk menetapkan standar baru, memantau proses yang telah diperbaiki, dan memastikan bahwa perbaikan tersebut berkelanjutan (tidak kembali ke kondisi lama).

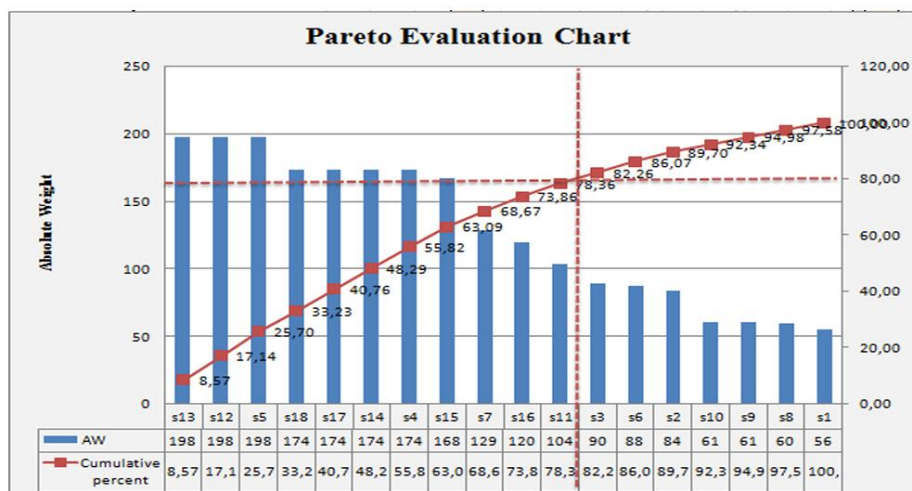
Inti dari adalah keyakinan bahwa setiap proses dapat diukur, dianalisis, dan dioptimalkan, di mana pengurangan variasi secara statistik akan secara langsung menghasilkan kualitas yang lebih dapat diprediksi, biaya yang lebih rendah, dan kepuasan pelanggan yang lebih tinggi.

2.2.3 *Pareto Analysis*

Analisis Pareto (PA) adalah salah satu alat *Statistical Process Control* (SPC) dan metodologi pemecahan masalah yang berfungsi sebagai prosedur pengambilan keputusan pragmatis. Tujuannya adalah untuk secara mahir mengenali dan memprioritaskan komponen-komponen paling penting yang berkontribusi terhadap suatu masalah Ananda et al. (2023), dengan menyoroti cacat yang paling sering terjadi (most frequently occurring defects), jumlah total defectives tertinggi, atau alasan penyebab masalah maksimum.

Secara fundamental, Analisis Pareto didasarkan pada Prinsip Pareto, yang juga dikenal sebagai aturan 80/20. Metodologi ini dinamai sesuai ekonom Italia Vilfredo Pareto, yang mencatat bahwa umumnya, 80% dari efek disebabkan oleh 20% dari penyebab (Erdil, 2020). Dalam praktiknya, Analisis Pareto adalah sejenis histogram di mana data diatur dalam urutan menurun berdasarkan frekuensi kejadian. Pendekatan ini memungkinkan pengambil keputusan untuk memfokuskan upaya pada "sedikit yang

vital" (vitaly few) —atau 20% penyebab teratas yang bertanggung jawab atas 80% masalah —sehingga aktivitas perbaikan dapat diprioritaskan untuk efisiensi maksimum.



Gambar 2.3 Diagram Pareto

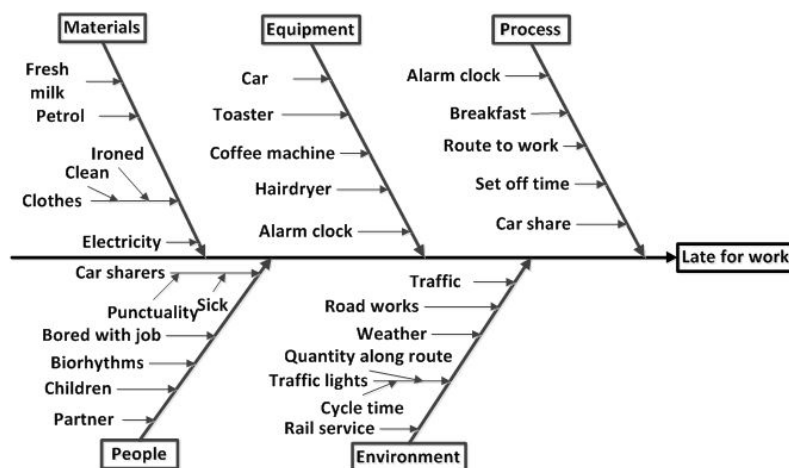
Pada diagram Pareto ini, bar biru mewakili 'Bobot Absolut' (AW), atau besaran dampak dari setiap kategori masalah individual, yang telah diurutkan dari tertinggi di kiri ke terendah di kanan. Sementara itu, garis oranye menunjukkan persentase kumulatif dari total bobot tersebut, yang terus mengakumulasi nilai hingga mencapai 100% di bar terakhir. Diagram ini digunakan untuk menerapkan Prinsip Pareto (aturan 80/20), di mana kita bisa melihat bahwa 12 kategori masalah pertama mulai dari s13 hingga s3 secara gabungan menyumbang 82,26% dari total masalah, menjadikannya sebagai prioritas utama yang harus difokuskan untuk perbaikan.

2.2.4 Fishbone Diagram (Ishikawa)

Diagram Fishbone, yang juga dikenal sebagai diagram Ishikawa atau diagram sebab-akibat, adalah sebuah teknik analisis dan alat grafis yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengeksplorasi, dan mengurutkan berbagai akar penyebab (*root causes*) dari suatu masalah atau efek spesifik Oktaviana and Auliandri (2023). Penggunaan diagram ini bertujuan untuk memaparkan penyebab-penyebab terjadinya permasalahan secara visual, sehingga memungkinkan tim atau individu untuk melakukan evaluasi sistematis terhadap faktor-faktor mendasar yang memerlukan perhatian demi

mencapai resolusi yang efektif. Sebagai salah satu instrumen pemecahan masalah, diagram ini sangat berguna untuk menganalisis dan menemukan faktor-faktor yang memiliki pengaruh paling signifikan dalam menentukan karakteristik kualitas dari suatu hasil kerja atau output sebuah proses.

Secara garis besar, diagram Fishbone bekerja dengan memvisualisasikan hubungan sebab-akibat dalam sebuah struktur yang menyerupai kerangka ikan. 'Kepala' ikan merepresentasikan masalah utama atau 'akibat' (*effect*) yang sedang dianalisis, sementara 'tulang' utama yang menyebar dari 'tulang punggung' mewakili kategori-kategori utama dari penyebab potensial. Kategori-kategori ini umumnya diklasifikasikan sebagai Manusia (*Man*), Mesin (*Machine*), Metode (*Method*), dan Material (*Material*), yang terkadang dapat diperluas dengan kategori lain seperti Lingkungan (*Environment*). Dengan memetakan 'penyebab-penyebab minor' yang lebih spesifik pada setiap 'tulang' kategori utama, diagram ini memungkinkan tim untuk secara sistematis melakukan brainstorming dan mengidentifikasi faktor-faktor mendasar yang seringkali tidak terlihat jelas, sehingga menjadi dasar untuk merumuskan rencana perbaikan yang tepat sasaran Ananda et al. (2023).



Gambar 2.4 Contoh *Fishbone Diagram*

Source: <https://qilothian.scot.nhs.uk/pc-resource-fishbone-diagram>

2.2.5 *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing merupakan filosofi manajemen yang berfokus pada eliminasi pemborosan (*waste*) dan peningkatan nilai tambah di seluruh sistem produksi untuk mencapai operasional yang cerdas dan berkelanjutan Rahardjo et al., (2023). Dalam implementasinya, metodologi DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) sering digunakan sebagai kerangka kerja sistematis untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah kualitas dan inefisiensi. Integrasi antara prinsip *Lean* dengan teknologi Industri 4.0 juga ditekankan untuk menciptakan pemantauan produksi yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan pasar Rahardjo et al., (2023).

Untuk mendukung perbaikan proses tersebut, alat analisis kualitas seperti Diagram Pareto digunakan untuk memprioritaskan 20% penyebab utama yang menghasilkan 80% masalah, sementara Diagram Fishbone (Ishikawa) digunakan untuk memetakan akar masalah dari kategori manusia, mesin, material, hingga metode Penerapan alat-alat ini secara konsisten, baik dalam industri komponen elektronik seperti kabel dan *circuit breaker* maupun industri manufaktur lainnya, terbukti efektif dalam mengurangi produk cacat, meminimalkan biaya *Non-Product Output*, serta meningkatkan efisiensi aliran material Fadjarenie et al., (2024).

2.2.6 *Sequential Workstation*

Sequential Workstation atau stasiun kerja berurutan merupakan sistem di mana proses produksi disusun dalam rangkaian tahapan yang saling bergantung, di mana keluaran (*output*) dari satu stasiun kerja (misalnya WS1) menjadi masukan (*input*) langsung bagi stasiun berikutnya (WS2) hingga mencapai produk jadi Daniyan et al., (2022). Dalam industri perakitan seperti *bogie* kereta api atau motor listrik, aliran material dan informasi antar stasiun ini harus disinkronkan untuk menghindari penumpukan barang dalam proses (*work-in-process*) dan waktu tunggu yang tidak produktif (*waiting time*), yang merupakan salah satu bentuk pemborosan utama dalam prinsip manufaktur.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Subjek Penelitian

Subjek pada penelitian yang penulis lakukan pada laporan ini adalah salah satu Perusahaan yang bergerak pada sektor produksi barang elektronik.

3.2 Objek Penelitian

Pada penelitian ini, objek yang diteliti merupakan analisis aliran biaya material *Material Flow Cost Accounting* atau MFCA 7 workstation pada lini produksi modul elektronik, sebagai upaya untuk mengidentifikasi pemborosan material dan energi serta meningkatkan efisiensi biaya produksi.

3.3 Jenis Data & Sumber Data

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder, dimana data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dari data yang telah ada sebelumnya. Untuk sumber data yang digunakan sendiri berasal dari data *Material Input* per hari, *Scrap Rate*, Biaya Material, Biaya Energi yang digunakan, Biaya *Waste Handling*, dan biaya untuk *recycling* per Kilogramnya.

3.4 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dalam bentuk studi kasus. Studi kasus ini menyajikan data operasional dari sebuah Perusahaan yang bergerak pada sektor produksi barang elektronik yang mengalami kerugian material, rework yang tinggi, dan inefisiensi biaya. Dalam penelitian ini, data yang dianalisis mencakup rincian aliran proses dan tingkat skrap atau *scrap rate* dari 7 workstation, serta struktur terperinci yang meliputi biaya *Material Input* per hari, *Scrap Rate*, Biaya Material per *Workstation*, Biaya Energi yang digunakan, Biaya *Waste Handling*, dan biaya untuk *recycling* per Kilogramnya.

3.5 Rumus menghitung *Total Cost* dan *Unit Cost* perhitungan MFCA

Rumus ini digunakan untuk mencari total cost yang digunakan untuk memproduksi barang dan harga barang per unit dengan metode MFCA. Rumus 3.1 dan Rumus 3.2 berikut merupakan rumus untuk menghitung total cost dan unit cost :

$$Total\ Cost = Positive\ Output + Negative\ Output \quad (3.1)$$

$$Unit\ Cost = \frac{Total\ Cost}{Output\ Positive} \quad (3.2)$$

3.6 Rumus menghitung *Total Cost* dan *Unit Cost* perhitungan Tradisional

Rumus ini digunakan untuk mencari total cost yang digunakan untuk memproduksi barang dan harga barang per unit dengan metode *Traditional Cost Accounting*. Rumus 3.3 dan Rumus 3.4 berikut merupakan rumus untuk menghitung total cost dan unit cost :

$$Total\ Cost = (Input \times (Biaya\ x + Biaya\ y + \dots + Biaya\ z)) \quad (3.3)$$

$$Unit\ Cost = \frac{Total\ Cost}{Output} \quad (3.4)$$

3.7 Rumus Menghitung *Yield* (%)

Persen *Yield* nantinya akan digunakan untuk menghitung jumlah *Yield* yang akan digunakan untuk menghitung Output positif dan negative. Rumus 3.5 berikut merupakan rumus untuk menghitung persen *Yield* :

$$Yield\ (\%) = 100\% - \% \text{ Scrap Rate} \quad (3.5)$$

3.8 Rumus menghitung *Yield*

Yield nantinya akan digunakan untuk menghitung RTY yang akan digunakan untuk mencari output produksi positif dan negatif. Rumus 3.6 berikut merupakan rumus menghitung *Yield* :

$$Yield = \frac{Yield\ (\%)}{100} \quad (3.6)$$

3.9 Rumus menghitung Output Produksi negatif

Rumus ini digunakan untuk menghitung output positif dari input yang ada. Rumus 3.7 berikut merupakan rumus untuk menghitung Output Produksi Positif :

$$Output\ Negatif = Input - Output \quad (3.7)$$

3.10 Rumus Menghitung Output Produksi Positif

Rumus ini digunakan untuk menghitung output positif dari input yang ada. Rumus 3.8 berikut merupakan rumus untuk menghitung Output Produksi Positif :

$$\text{Output Positif} = \text{Material input} \times \text{RTY} \quad (3.8)$$

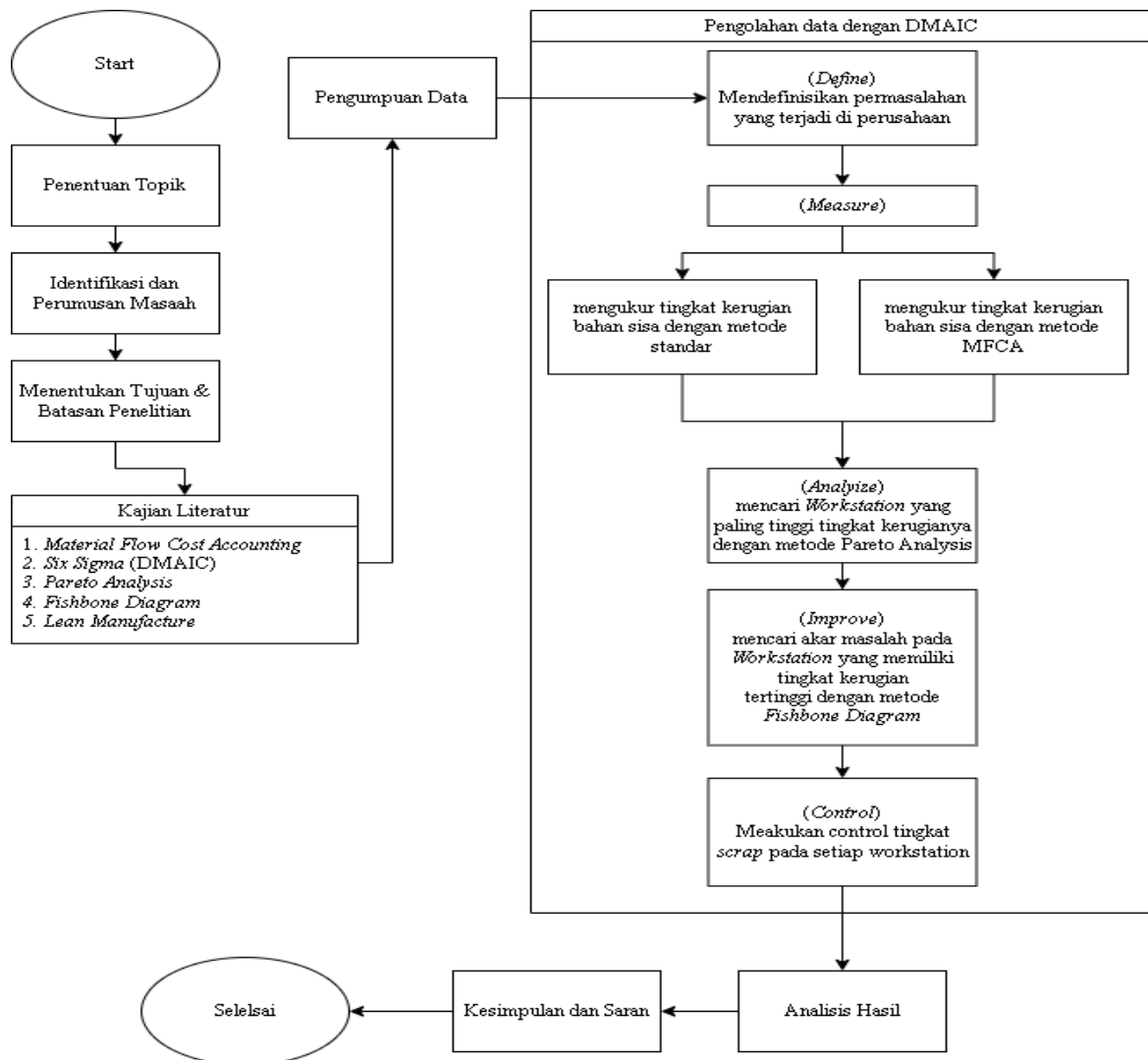
3.11 Rumus Menghitung Rolled throughput Yield (RTY)

RTY digunakan untuk mengukur probabilitas bahwa produk akan melewati seluruh proses produksi (dari awal hingga akhir) tanpa cacat tunggal atau tanpa memerlukan pengerjaan ulang (rework). Rumus 3.9 berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung RTY :

$$\text{RTY} = Y_{ws1} \times Y_{ws2} \times \dots \times Y_{ws7} \quad (3.9)$$

3.12 Alur Penelitian

Gambar 3.1 berikut merupakan alur dari penelitian yang penulis lakukan. Alur penelitian ini dapat digambarkan dengan diagram alir dibawah ini:



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari diagram alir dari penelitian yang penulis lakukan:

a. Identifikasi & perumusan masalah

Identifikasi permasalahan disini merupakan tahap awal, dimana penulis mengidentifikasi terkait permasalahan yang terjadi pada subjek penelitian yaitu pada Perusahaan manufaktur modul elektronik. Setelah permasalahan sudah teridentifikasi, selanjutnya dirumuskan kedalam pertanyaan-pertanyaan sehingga nantinya dapat ditentukan tujuan dari penelitian yang penulis lakukan.

b. Penentuan tujuan & Batasan penelitian

Pada tahapan ini ditentukan tujuan penelitian yang akan menjawab rumusan masalah yang telah dibuat. Diharapkan dengan tujuan penelitian yang telah ditentukan dapat menjawab permasalahan yang ada. Selanjutnya adalah penentuan batasan penelitian, dimana batasan penelitian akan menentukan lingkup subjek, objek, serta proses dari penelitian yang penulis lakukan.

c. Kajian literatur

Peneliti melakukan kajian terhadap literatur-literatur terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan penulis lakukan. Kajian literatur yang penulis lakukan berguna untuk membandingkan berbagai metode penelitian terkait, keunggulan serta kelemahan dari sebuah metode, serta hasil dari penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian penulis.

d. Pengumpulan data

Pada tahap pengumpulan data penulis menggunakan data historis Perusahaan yang meliputi data *Scrap Rate* dari 7 *Workstation*, biaya *Material Input* per hari, Biaya Material per *Workstation*, Biaya Energi yang digunakan, Biaya *Waste Handling*, dan biaya untuk *recycling* per Kilogramnya.

e. Pengolahan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengolahan data, dimana penulis menggunakan metode (DMAIC). Tahapan pertama Adalah *Define*, dimana tahapan ini dilakukan untuk mendefinisikan permasalahan yang terjadi di Perusahaan berdasarkan data historis perusahaan. Selanjutnya adalah tahapan *Measure* dimana tahapan ini dilakukan untuk mengukur Tingkat kerugian pada *scrap* atau bahan sisa dengan metode standar dan metode MFCA untuk melihat seberapa besar kerugian yang tidak terlihat pada metode

standar. Selanjutnya Adalah tahapan *Analyze*, dimana tahapan ini dilakukan untuk mencari *workstation* yang memiliki tingkat kerugian yang tinggi pada Perusahaan dengan menggunakan metode *Pareto Analysis*. Selanjutnya adaah tahapan *Improve* yang dimana tujuan dari tahapan ini adalah mencari akar masalah pada *workstation* yang memiliki Tingkat kerugian tinggi dari hasil analisis pareto dengan menggunakan metode *Fishbone Diagram*. Yang terakhir adalah tahapan control yang dilakukan untuk memberikan batas aman baru untuk Tingkat *scrap* pada Perusahaan agar kedepanya Perusahaan bisa lebih *aware* saat Tingkat *scrap* melambung tinggi.

f. Analisis dan pembahasan

Setelah dilakukan pengolahan data dengan metode DMAIC, pada tahapan ini dilakukan analis terhadap akar permasalahan utama yang menyebabkan tingginya biaya kerugian pada perusahaan. Serta diikuti pula dengan pembahasan terkait apa solusi yang dapat ditawarkan dalam upaya penyelesaian permasalahan yang terjadi pada perusahaan.

g. Kesimpulan dan saran

Pada kesimpulan, penulis akan menjelaskan Kesimpulan dari penelitian yang penulis lakukan, dan tentunya dapat menjawab tujuan dari penelitian yang sudah ditentukan diawal. Lalu pada tahap terakhir penulis memberikan saran-saran bagi peneliti selanjutnya untuk dapat mengembangkan penelitian ini lebih lanjut, serta pemberian saran perbaikan bagi Perusahaan sebagai subjek dari penelitian ini.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini penulis menggunakan data sekunder yang meliputi biaya *Material Input* per hari, *Scrap Rate*, Biaya Material per *Workstation*, Biaya Energi yang digunakan, Biaya *Waste Handling*, dan biaya untuk *recycling* per Kilogramnya.

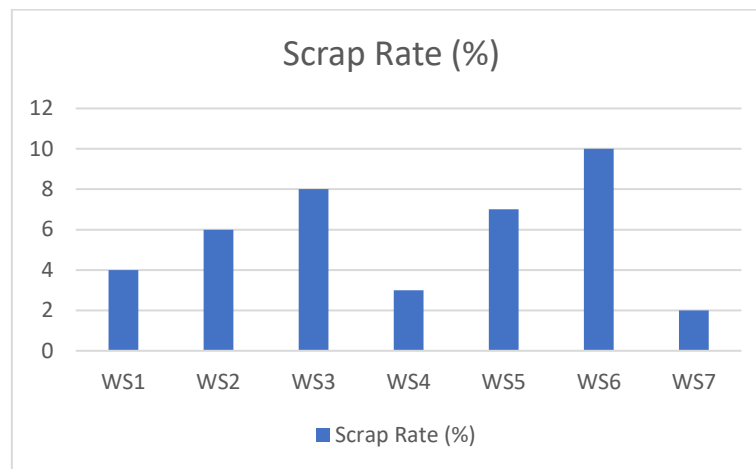
4.2 Pengolahan Data

Pada pengolahan data penulis menggunakan metode DMAIC yang terdiri dari *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control*. Berikut merupakan pengolahan data dengan menggunakan DMAIC :

4.2.1 *Define*

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian masalah yang terjadi di Perusahaan.

Pada Perusahaan manufaktur modul elektronik ini terdapat masalah yaitu Tingkat scrap yang tinggi, gambar 4.1 berikut menampilkan Tingkat scrap per *Workstation* :



Gambar 4.1 *Scrap Rate*

Berdasarkan data diatas *scrap rate* pada Perusahaan ini cukup tinggi, pada *workstation 5* nilai *scrap rate* mencapai 10% dari produksinya, dan dengan rata-rata *scrap rate* 5,7% ini sudah cukup tinggi untuk menjadi perhatian lebih untuk Perusahaan. Pada jurnal Rangel-Sánchez et al. (2024) dijelaskan bahwa *scrap rate* sebesar 2,92% masih dianggap sebagai area yang perlu perbaikan dan perhatian, sedangkan menurut website KPIDepot *scrap rate* dibawah 2% tergolong sangat baik, untuk *scrap rate* 2-5% masih tergolong dapat diterima, untuk *scrap rate* diatas 5% tergolong mengkhawatirkan dan memerlukan investigasi segera serta tindakan untuk menurunkan angka *scrap rate*. Berdasarkan 2 sumber data diatas dapat diambil Kesimpulan bahwa pada perusahaan ini dengan *scrap rate* rata-rata nya ada di angka 5,7% dan dengan *scrap rate* tertinggi pada 10% hal tersebut sudah harus membutuhkan perhatian lebih untuk mengurangi angka *scrap rate* menjadi sekitar 2,9% atau dibawahnya berdasarkan jurnal (sances).

4.2.2 *Measure*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dengan metode *Traditional Cost Accounting* dan MFCA untuk mengetahui seberapa besar biaya kerugian yang diakibatkan oleh scrap dari masing masing workstation.

a. Perhitungan dengan metode *Traditional Cost Accounting*

Tabel 4.1 berikut merupakan perhitungan dengan metode *Traditional Cost Account* :

Tabel 4.1 Perhitungan Tradisional

Workstation	Material Unit Cost (Rp)	Electric (Rp)	Compressed Air (Rp)	Nitrogen (Rp)
1	112,500.00	225,000.00	60,000.00	15,000.00
2	150,000.00	300,000.00	75,000.00	37,500.00
3	187,500.00	315,000.00	67,500.00	67,500.00
4	112,500.00	135,000.00	52,500.00	37,500.00
5	225,000.00	210,000.00	75,000.00	52,500.00
6	262,500.00	232,500.00	90,000.00	52,500.00
7	75,000.00	112,500.00	52,500.00	22,500.00
Total Cost	1,125,000.00	1,530,000.00	472,500.00	285,000.00
Total Production Cost (Rp)				170,625,000.00
Unit Cost (Rp)				5,166,096.07

Pada perhitungan *Traditional Cost Accounting* didapatkan biaya produksinya yaitu Rp.170,625,000 dan biaya per unitnya sekitar Rp.5,166,096 per unit. Tetapi pada perhitungan tradisional tidak diketahui biaya yang dikeluarkan untuk *waste* dan untuk *Decision Support* nya juga buruk karena pada *Traditional Costing* biaya kerugian dan pemborosan material yang sebenarnya tidak terlihat.

b. Perhitungan dengan metode MFCA

Berikut merupakan perhitungan dengan metode MFCA :

- a) Pada Tabel 4.2 dilakukan pengukuran *positive material cost* dengan *output* produksi yaitu 33.03. berikut merupakan perhitungan *positive material cost* :

Tabel 4.2 Positive Material Cost

Workstation	Base Material Cost (Rp)	Consumable Cost (Rp)
1	90,000.00	22,500.00
2	112,500.00	37,500.00
3	135,000.00	52,500.00
4	75,000.00	37,500.00
5	165,000.00	60,000.00
6	180,000.00	82,500.00
7	60,000.00	15,000.00
Total	817,500.00	307,500.00
Material Cost (Rp)		37,156,321.22

- b) Pada tahap kedua dilakukan perhitungan *positive energy cost* dengan *output* produksi yaitu 33.03. Tabel 4.3 berikut merupakan perhitungan *positive energy cost* :

Tabel 4.3 Positive Energy Cost

Workstation	Electricity (Rp)	Comprassed Air (Rp)	Nitrogen (Rp)
1	225,000.00	60,000.00	15,000.00
2	300,000.00	75,000.00	37,500.00
3	315,000.00	67,500.00	67,500.00
4	135,000.00	52,500.00	37,500.00
5	210,000.00	75,000.00	52,500.00
6	232,500.00	90,000.00	52,500.00
7	112,500.00	52,500.00	22,500.00
Total	1,530,000.00	472,500.00	285,000.00
Energy Cost			75,551,186.48

- c) Pada tahap ketiga dilakukan pengukuran *negative material cost* dengan *output negative* yaitu 16,37. Tabel 4.4 berikut merupakan perhitungan *negative material cost* :

Tabel 4.4 *Negative Material Cost*

Workstation	Base Material Cost (Rp)	Consumable Cost (Rp)
1	90,000.00	22,500.00
2	112,500.00	37,500.00
3	135,000.00	52,500.00
4	75,000.00	37,500.00
5	165,000.00	60,000.00
6	180,000.00	82,500.00
7	60,000.00	15,000.00
Total	817,500.00	307,500.00
Negative Material Cost (Rp)		19,093,678.78

- d) Pada tahap selanjutnya dilakukan pengukuran *negative energy cost* dengan *output negative* yaitu 16,37. Tabel 4.5 berikut merupakan perhitungan *negative material cost* :

Tabel 4.5 *Negative Energy Cost*

Workstation	Electricity (Rp)	Compressed Air (Rp)	Nitrogen (Rp)
1	225,000.00	60,000.00	15,000.00
2	300,000.00	75,000.00	37,500.00
3	315,000.00	67,500.00	67,500.00
4	135,000.00	52,500.00	37,500.00
5	210,000.00	75,000.00	52,500.00
6	232,500.00	90,000.00	52,500.00
7	112,500.00	52,500.00	22,500.00
Total Cost	1,530,000.00	472,500.00	285,000.00
Negative Energi Cost (Rp)			38,823,813.52

e) selanjutnya dilakukan pengukuran *waste handling cost* dengan *output negative* yaitu 16,37. Tabel 4.6 berikut merupakan perhitungan *waste handling cost*:

Tabel 4.6 *Waste handling Cost*

Workstation	Waste handling Cost (Rp)
1	3,750.00
2	4,500.00
3	5,250.00
4	3,000.00
5	6,000.00
6	9,000.00
7	2,250.00
Total	33,750.00
Waste Handling Cost (Rp)	572,810.36

- f) Yang terakhir adalah perhitungan *Recycling Credit* dengan *output* 16,37. Pada perhitungan *Recycling Credit* ini nilai negative menandakan profit bukan pengeluaran. Tabel 4.7 berikut merupakan perhitungan *Recycling Credit*:

Tabel 4.7 Recycling Credit

Workstation	Recycling Credit (Rp)
1	- 1,500.00
2	- 1,875.00
3	- 2,250.00
4	- 1,125.00
5	- 2,250.00
6	- 3,000.00
7	- 750.00
Total	- 12,750.00
Recycling Credit (Rp)	- 216,395.03

- g) Setelah mengitung biaya kita dapat menghitung *Total Cost* dan *Unit Cost* yang telah dihitung menggunakan metode MFCA. Tabel 4.8 berikut merupakan *Total Cost* dan *Unit Cost* yang dihitung dengan metode MFCA:

Tabel 4.8 Total Cost & Unit Cost

Total Positive Output Cost (Rp)	Total Negative Output Cost (Rp)	Total Cost (Rp)	Unit Cost (Rp)
112,707,507.70	58,273,907.64	170,981,415.34	5,176,887.43

C. Perbandingan perhitungan tradisional dengan metode MFCA

Setelah melakukan perhitungan dengan metode tradisional dan metode MFCA kita dapat melihat bahwa terdapat perbedaan biaya produksi dan biaya per unit. seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 bahwa terdapat perbedaan harga produksi antara perhitungan tradisional yang biaya produksinya sebesar Rp. 170.625.000, sedangkan pada perhitungan MFCA untuk biaya produksinya sebesar Rp. 170.981.415, yang mana terdapat perbedaan sebesar Rp. 356.419

Tabel 4.9 Perbandingan Production Cost

Traditional Cost Accounting (Rp)	MFCA (Rp)
170,625,000.00	170,981,415.34

Sedangkan untuk biaya per unit juga terdapat perbedaan antara perhitungan tradisional dengan perhitungan MFCA yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Perbandingan harga jual per Unit

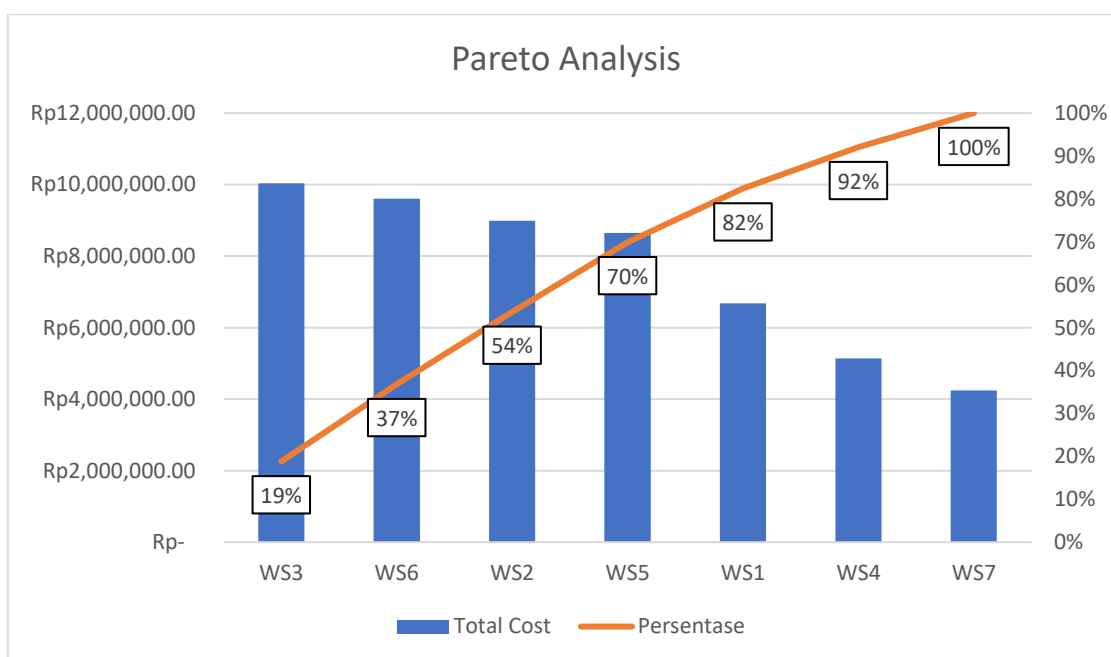
Traditional Cost Accounting (Rp)	MFCA (Rp)
5,166,096.07	5,176,887.43

Berdasarkan Tabel 4.10 terdapat perbedaan biaya sebesar Rp. 10.791 yang mana hal itu disebabkan oleh adanya bahan sisa atau *Scrap Rate* yang tinggi. Sehingga seharusnya Perusahaan menjual produknya per unit dengan harga Rp. 5.176.887 agar dapat menutup biaya kerugian yang disebabkan oleh Tingkat *scrap* yang tinggi

4.2.3 Analyze

Setelah melakukan perhitungan biaya dengan metode Traditional Cost Accounting dan MFCA didapatkan hasil yaitu jumlah scrap yang tinggi dapat menyebabkan biaya jual yang tinggi karena untuk menutup kerugian yang diakibatkan oleh Tingkat *scrap* yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan adanya Tindakan untuk menurunkan Tingkat *scrap* yang tinggi pada Perusahaan.

Agar dapat memberikan saran perbaikan terhadap tingkat *scrap* yang tinggi maka digunakan metode analisis pareto dan fishbone diagram, sehingga nantinya dapat memberikan saran perbaikan kepada Perusahaan berdasarkan *Workstation* yang paling berpengaruh dan berdasarkan akar masalah, sehingga diharapkan saran perbaikajn dapat mengurangi permasalahan dari akar permasalahannya. Gambar 4.2 berikut merupakan tahapan *Analyze* dengan metode *Pareto Analysis* :



Gambar 4.2 Pareto Analysis

Pada analisis pareto pada Gambar 4.2 data yang digunakan yaitu data *Total Cost* output negatif pada masing-masing *Workstation*. Dapat terlihat bahwa pada *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5* yang menjadi penyebab atas 80% dari total dampak.

Dengan hasil *Pareto Analysis* diatas didapatkan bahwa saran perbaikan berfokus pada *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5* karena Diagram pareto bertujuan untuk mengidentifikasi ketidaksesuaian yang paling sering terjadi, sehingga dengan menerapkan prinsip pareto yaitu theory of vital fewatau dikenal juga sebagai prinsip 20/80 yaitu prinsip yang menyatakan bahwa 80% permasalahan yang

terjadi disebabkan oleh 20% penyebab utamanya Rahadian Fachrur, Umami, and Ikrima (2025). Sehingga saran perbaikan yang dilakukan yaitu pada *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5* karena pada *Workstation* itulah yang menjadi 20% penyebab utamanya.

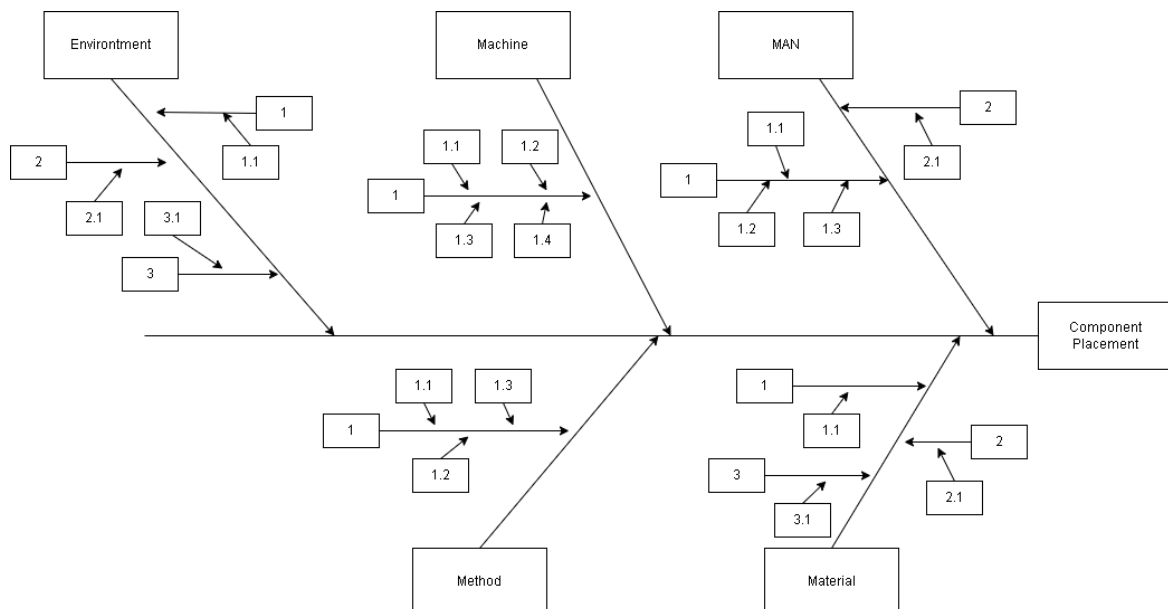
4.2.4 Improve

Setelah mendapatkan hasil analisis dengan metode *Pareto Analysis* penulis mendapati bahwa tahap improve akan dilakukan pada *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5*. Tahap *Improve* akan dilakukan dengan metode Fishbone diagram, sehingga nantinya saran perbaikan yang diberikan dapat berdasarkan akar masalah dari *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5* yang akan dijadikan menjadi 1 diagram *Fishbone* yang akan menjadi akar masalah dari 4 *Workstation* diatas.

Berikut merupakan fishbone diagram dari *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5* :

1. Fishbone Diagram *Workstation 2*

Gambar 4.3 berikut merupakan Fishbone dari *Workstation 2* :



Gambar 4.3 Fishbone Workstation 2

Tabel 4.11 berikut merupakan penjelasan dari *Fishbone diagram Workstation 2* :

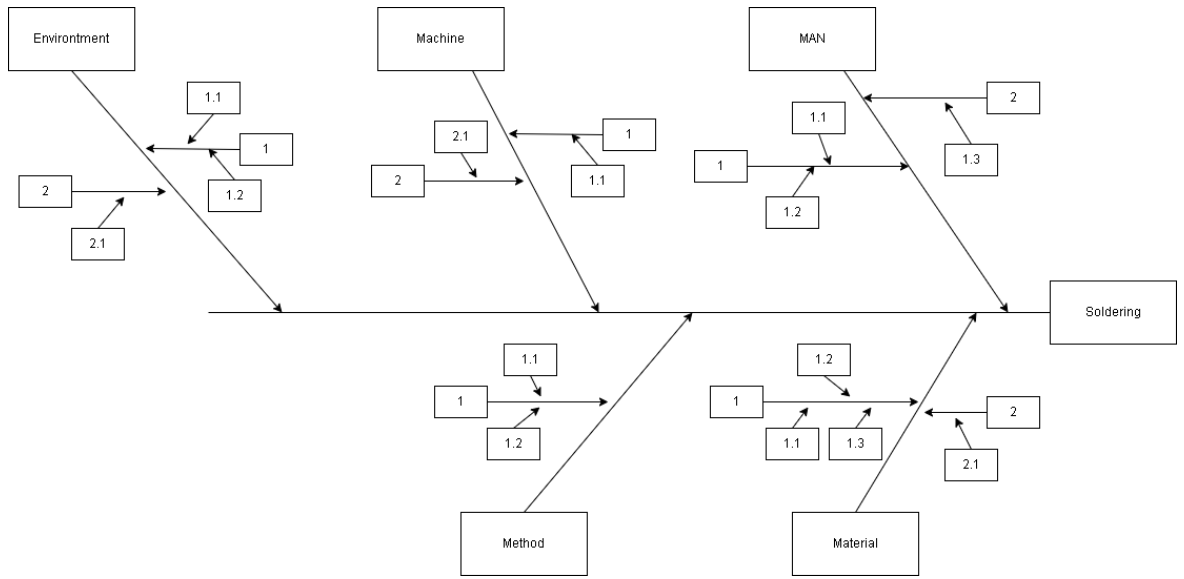
Tabel 4.11 Tabel Fishbone diagram Workstation 2

Workstation Component Placement		
Variable	Nomor	Akar Masalah
MAN	1	Human Error
	1.1	Jam Kerja Terlalu Tinggi
	1.2	Kelelahan Fisik
	1.3	Beban Kerja Berlebih
	2	Tenaga kerja kurang kompeten
	2.1	Kurangnya pelatihan dan pengalaman pekerja
Machine	1	Performa mesin yang kurang baik
	1.1	Kalibrasi mesin SMT tidak tepat yang menyebabkan misalignment atau penempatan tidak sejajar sehingga PCB tidak terpakai dan menjadi scrap
	1.2	Feeder tidak menyalurkan komponen dengan benar, sehingga menyebabkan mispick atau damage pada komponen, yang berakhir rusak atau tidak bisa digunakan dan menjadi scrap
	1.3	Nozzle Aus atau Kotor yang mengakibatkan Daya hisap vacuum berkurang sehingga komponen terjatuh dan atau hilang yang mengakibatkan komponen tidak bisa dipakai dan menjadi scrap
	1.4	Vision System Tidak Akurat yang mengakibatkan Sistem penglihatan gagal memeriksa komponen dengan benar sehingga menyebabkan mesin salah meletakkan komponen
Material	1	Penyimpanan komponen buruk
	1.1	Komponen sensitif terhadap tetapi tidak disimpan dengan benar sehingga menjadi <i>scrap</i>
	2	Kualitas Solder Paste Buruk
	2.1	Pasta solder teroksidasi atau kedaluwarsa sehingga menyebabkan kecacatan sambungan yang tinggi, yang kemudian memerlukan pembuangan PCB sehingga menjadi scrap
	3	Reel/Tape Rusak

Workstation Component Placement		
Variable	Nomor	Akar Masalah
	3.1	Komponen sulit diambil dan terlempar, yang meningkatkan <i>scrap</i> komponen dan <i>tape</i> .
Method	1	Setup program kurang tepat
	1.1	koordinat X-Y atau sudut Rotasi yang tidak presisi
	1.2	Pickup height atau Placement Height terlalu dalam atau terlalu tinggi
	1.3	kecepatan mounting atau pergerakan <i>Gantry</i> terlalu tinggi untuk komponen yang berat atau berukuran besar.
Environment	1	Suhu dan Kelembapan Tidak Terkontrol
	1.1	suhu dan kelembapan yang buruk dapat mempengaruhi kualitas pasta solder atau MSD sehingga dapat menyebabkan defect yang tinggi
	2	Getaran Berlebihan
	2.1	Getaran di lantai produksi menyebabkan misalignment saat penempatan
	3	Kontaminasi Udara
	3.1	Debu atau partikel di udara yang mencemari permukaan PCB atau pasta solder

2. Fishbone Diagram *Workstation 3*

Gambar 4.4 berikut merupakan Fishbone dari *Workstation 2* :



Gambar 4.4 Fishbone Workstation 3

Tabel 4.12 berikut merupakan penjelasan dari *Fishbone diagram Workstation 3* :

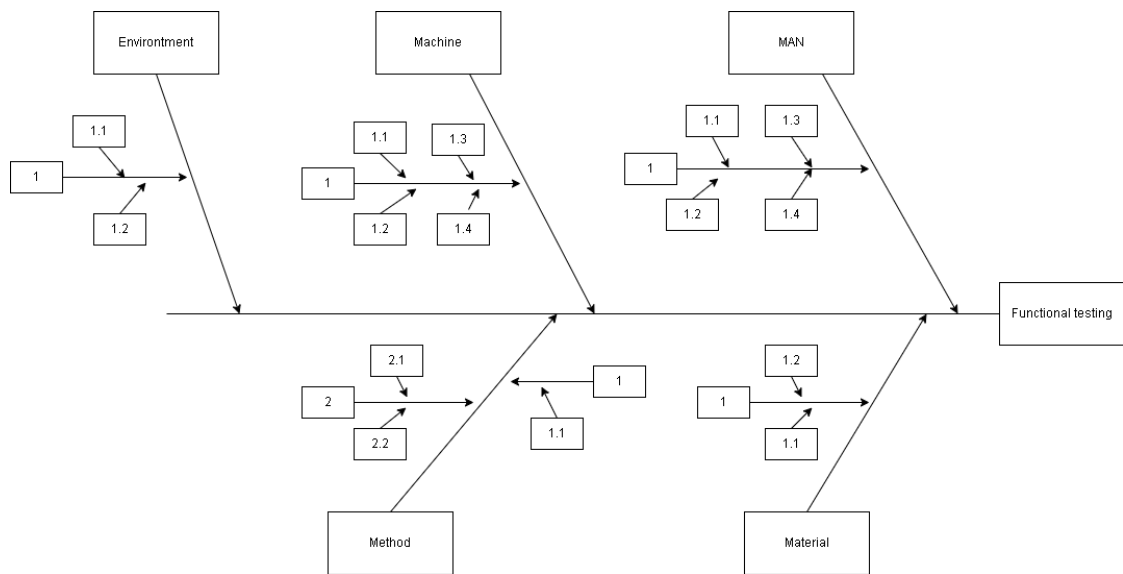
Tabel 4.12 Tabel Fishbone diagram Workstation 2

Workstation Soldering		
Variable	Nomor	Akar Masalah
MAN	1	Human Error
	1.1	Operator memilih program profil suhu yang salah untuk jenis produk yang diproses
	2	Quality Control yang Buruk
	2.1	Inspeksi visual yang tidak teliti lalu gagal mendeteksi cacat solder awal
	2.2	Penyimpanan material yang buruk (Komponen atau PCB disimpan di area yang tidak terkontrol kelembaban oleh operator.
Machine	1	Mesin yang Tidak Akurat
	1.1	Adanya perbedaan suhu aktual dengan pengaturan, menyebabkan cacat seperti <i>cold joint</i> atau <i>tombstoning</i>
	2.1	Nozzle bak solder kotor atau pompa tidak berfungsi optimal sehingga menghasilkan gelombang solder yang tidak merata sehingga menyebabkan <i>bridging</i> atau <i>void</i> , Aliran Udara

Workstation Soldering		
Variable	Nomor	Akar Masalah
		atau Nitrogen Tidak Stabil sehingga menyebabkan Fluktuasi laju aliran gas di oven <i>reflow</i> yang memengaruhi pembasahan timah.
Material	1	Material yang Digunakan kurang Baik
	1.1	Permukaan <i>pad</i> atau tembaga sudah teroksidasi sebelum penyolderan sehingga menghambat pembasahan atau <i>wetting</i>
	1.2	Komponen yang sensitif terhadap kelembaban mengalami kerusakan internal saat dipanaskan di oven <i>reflow</i>
	1.3	Viskositas, ukuran partikel, atau umur simpan pasta solder tidak memenuhi standar
	2	Terdapat kontaminasi pada Solder Pot
	2.1	Tingginya kotoran dalam bak solder yang menyebabkan sambungan kasar atau <i>gritty joint</i>
Method	1	Pengaturan Profil Suhu yang Salah
	1.1	ramp up terlalu cepat sehingga menyebabkan thermal shock pada komponen
	1.2	peak temperature terlalu tinggi atau rendah sehingga dapat mengakibatkan cold joint atau merusak komponen sensitif
Environment	1	Suhu dan Kelembapan Ruangan yang Buruk
	1.1	Kelembaban Tinggi di Ruang SMT sehingga Memengaruhi kualitas pasta solder dan memperburuk sensitivitas komponen MSD
	1.2	Perubahan suhu yang ekstrem di area penyimpanan bahan
	2	Ventilasi Ruangan yang Buruk
	2.1	Asap fluks tidak dibuang dengan efektif sehingga residu dapat mengendap kembali di permukaan PCB.

3. Fishbone Diagram *Workstation 5*

Gambar 4.5 berikut merupakan Fishbone dari *Workstation 5* :



Gambar 4.5 Fishbone Workstation 5

Tabel 4.13 berikut merupakan penjelasan dari *Fishbone diagram Workstation 5* :

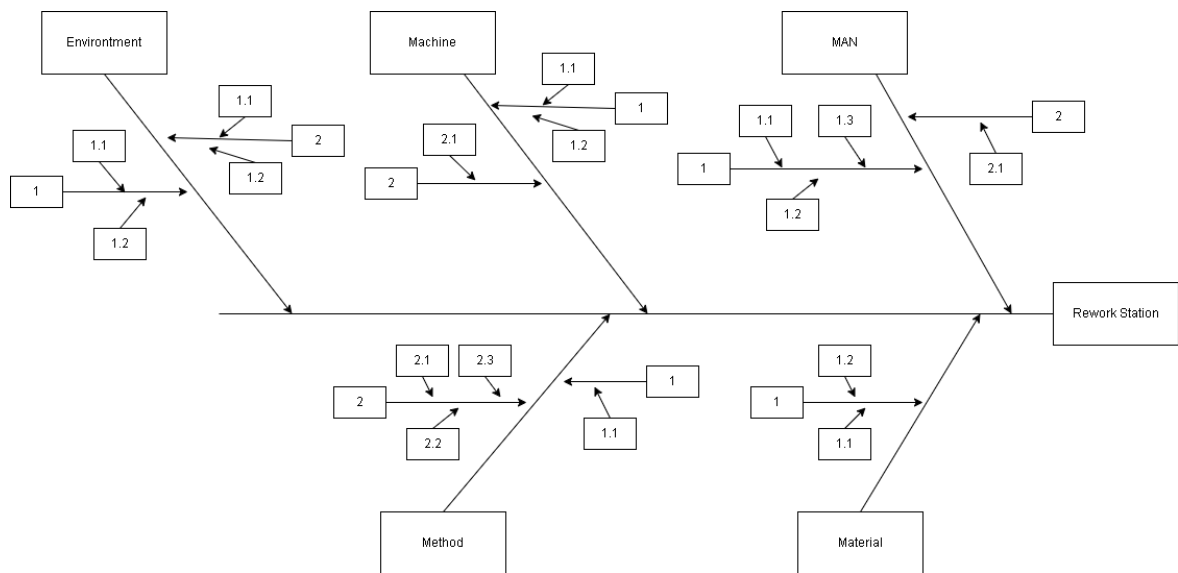
Tabel 4.13 Tabel Fishbone Diagram Workstation 5

Workstation Functional Testing		
Variable	Nomor	Akar Masalah
MAN	1	Kurangnya Pelatihan pada Pekerja
	1.1	Operator tidak mengerti cara mengoperasikan alat uji dengan benar atau menginterpretasikan hasil yang kompleks
	1.2	Operator salah mencatat hasil uji atau salah memasang atau melepas produk dari <i>jig</i> sehingga menyebabkan kerusakan fisik pada komponen
	1.3	Operator <i>rework</i> menyebabkan kerusakan pada <i>trace</i> atau komponen sekitar saat mencoba memperbaiki cacat
	1.4	Operator salah memuat <i>firmware</i> atau <i>program</i> uji
Machine	1	Akurasi Mesin yang Buruk
	1.1	Alat uji tidak terkalibrasi dengan benar atau tidak memiliki resolusi yang cukup sehingga menyebabkan <i>false reject</i> yaitu produk bagus dianggap sebagai <i>scrap</i>

Workstation Functional Testing		
Variable	Nomor	Akar Masalah
	1.2	Kontak antara jig dan PCB tidak sempurna sehingga menyebabkan <i>intermittent failure</i> saat pengujian
	2	Kualitas Mesin Buruk
	2.1	umur perangkat keras atau <i>probe</i> uji yang digunakan untuk menguji sudah tua atau alat rusak sehingga menyebabkan hasil yang kurang bisa dipercaya
Material	1	PCB Rusak atau Memiliki Cacat pada Komponen Tersembunyi
	1.1	Komponen semikonduktor atau <i>IC</i> memiliki cacat laten yang hanya muncul saat beroperasi pada kondisi uji <i>burn-in</i> atau beban tertentu
	1.2	Kerusakan lapisan tembaga atau <i>trace</i> yang menyebabkan kegagalan koneksi
	2	Terdapat Benda yang Menghalangi Material
	2.1	Sisa fluks menghalangi kontak listrik, menyebabkan kegagalan uji
Method	1	SOP dalam handling produk buruk
	1.1	Operator tidak mengitui metode sesuai SOP untuk handling PCB sehingga merusak PCB secara fisik seperti tergores atau tertekuk saat memasang atau melepas dari <i>jig</i> uji
	2	Prosedur dan Spesifikasi Uji Tidak Jelas
	2.1	Batas toleransi seperti <i>pass</i> atau <i>fail criteria</i> tidak didefinisikan secara ketat sehingga menyebabkan operator salah ambil Keputusan
	2.2	Perbaikan atau <i>rework</i> dilakukan tanpa prosedur yang ketat sehingga menyebabkan kerusakan sekunder dan <i>scrap</i>
Environment	1	Lingkungan Kerja yang Buruk
	1.1	Suhu dan Kelembaban Tidak Stabil sehingga Memengaruhi kinerja komponen elektronik terutama sensor atau sirkuit analog selama pengujian
	1.2	Pencahayaan Buruk sehingga Mempersulit operator untuk melakukan inspeksi visual atau troubleshooting pada <i>jig</i> uji

4. Fishbone Diagram *Workstation 6*

Gambar 4.6 berikut merupakan Fishbone dari *Workstation 6* :



Gambar 4.6 Fishbone *Workstation 6*

Tabel 4.14 berikut merupakan penjelasan dari *Fishbone diagram Workstation 6* :

Tabel 4.14 Tabel Fishbone Diagram Workstation 6

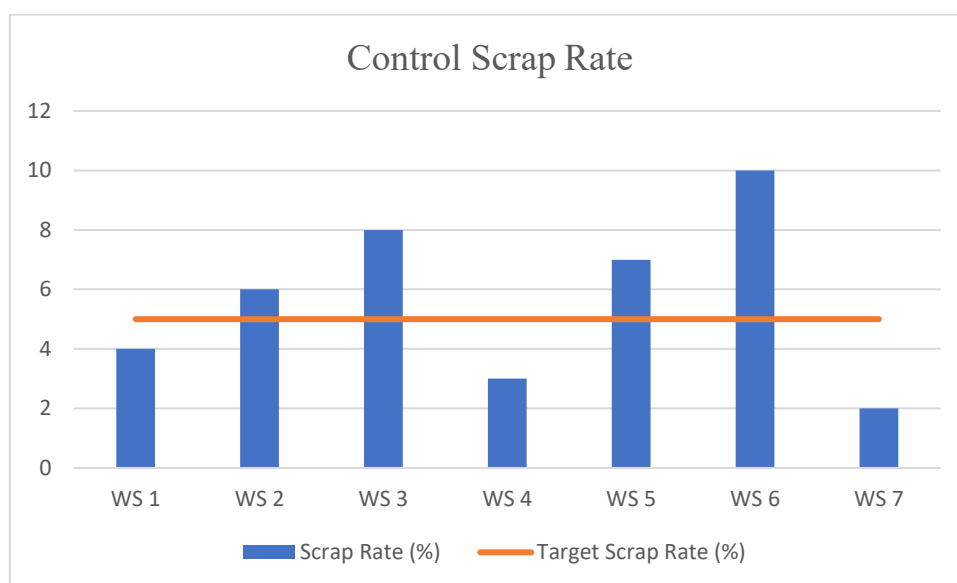
Workstation Rework Station		
Variable	Nomor	Akar Masalah
MAN	1	Kurangnya Pelatihan pada Operator
	1.1	Operator tidak memiliki sertifikasi standar seperti IPC-7711/7721 sehingga teknik penyolderan manual menyebabkan kerusakan <i>pada jalur PCB</i>
	1.2	Operator salah mengidentifikasi komponen yang rusak dan mengganti komponen yang bagus sementara komponen yang rusak tetap ada sehingga menyebabkan adanya <i>scrap</i>
	1.3	Operator mencoba memanaskan ulang sambungan berulang kali hingga PCB rusak dan menyebabkan <i>burned board</i>
	2	Kelelahan Visual atau Fisik pada Operator
	2.1	Kelelahan menyebabkan tangan gemetar atau salah menyentuh komponen terdekat atau komponen kecil
Machine	1	Mesin yang Digunakan Kurang baik
	1.1	Alat hisap timah atau <i>desoldering pump</i> tidak bekerja maksimal sehingga meninggalkan residu yang menyebabkan hubungan pendek atau <i>short</i>
	1.2	Mikroskop Buram sehingga membuat operator tidak melihat <i>bridging</i> mikroskopis yang terbentuk saat <i>rework</i>
	2	Mesin atau Alat yang Digunakan Tidak Sesuai Spesifikasi
	2.1	Menggunakan <i>tip</i> yang terlalu besar sehingga dapat merusak komponen di sekitarnya atau jika <i>tip</i> terlalu kecil tidak akan bisa mentransfer panas cukup cepat sehingga menyebabkan <i>cold joint</i>
Material	1	Menggunakan Bahan yang Buruk
	1.1	Material seperti PCB FR4 yang memiliki kualitas rendah dapat mudah melepuh atau <i>blistering</i> saat terkena panas kedua kalinya
	1.2	komponen pengganti buruk sehingga menimbulkan popcorn effect atau meledak saat disolder ulang

Workstation Rework Station		
Variable	Nomor	Akar Masalah
Method	1	SOP pada Proses Rework Kurang baik
	1.1	Cara mengangkat sisa timah lama tidak bersih sehingga menyebabkan permukaan tidak rata saat komponen baru dipasang
	1.2	Mengambil komponen dari papan <i>scrap</i> lain atau biasa disebut <i>cannibalization</i> tanpa pengujian yang juga rusak
	1.3	Melakukan <i>rework</i> pada PCB tebal tanpa pemanasan awal sehingga menyebabkan <i>thermal shock</i> yang meretakkan komponen keramik atau MLCC
	2	Profil Suhu Tidak tepat
	2.1	Penggunaan hot air gun atau solder iron dengan suhu terlalu tinggi atau waktu terlalu lama sehingga menyebabkan Delaminasi PCB atau lapisan PCB yang terkelupas atau Pad Lifting yaitu pad tembaga terangkat
Environment	1	ESD atau <i>Electrostatic Discharge</i> tidak terkontrol
	1.1	<i>Workstation rework</i> sering kali memiliki <i>grounding</i> yang lebih buruk daripada mesin otomatis karena Sentuhan tangan operator tanpa gelang statis dapat merusak IC sensitif secara permanen
	2	Lingkungan Ruang Rework Station yang Kurang Baik
	2.1	Pencahayaannya yang Tidak Memadai sehingga Menyebabkan ketegangan mata dan kesalahan visual
	2.2	Sirkulasi Asap yang Buruk sehingga Asap fluks mengganggu kesehatan dan fokus operator

4.2.5 Control

Berdasarkan data *scrap rate* pada Perusahaan ini cukup tinggi, pada *workstation* 5 nilai *scrap rate* mencapai 10% dari produksinya, dan dengan rata-rata *scrap rate* 5,7% ini sudah cukup tinggi untuk menjadi perhatian lebih untuk Perusahaan. Pada jurnal Rangel-Sánchez et al. (2024) dijelaskan bahwa *scrap rate* sebesar 2,92% masih dianggap sebagai area yang perlu perbaikan dan perhatian, sedangkan menurut website KPIDepot *scrap*

rate dibawah 2% tergolong sangat baik, untuk *scrap rate* 2-5% masih tergolong dapat diterima, untuk *scrap rate* diatas 5% tergolong mengkhawatirkan dan memerlukan investigasi segera serta tindakan untuk menurunkan angka *scrap rate*. Berdasarkan 2 sumber data diatas dapat diambil Kesimpulan bahwa pada perusahaan ini dengan *scrap rate* rata-rata nya ada di angka 5,7% dan dengan *scrap rate* tertinggi pada 10% hal tersebut sudah harus membutuhkan perhatian lebih untuk mengurangi angka *scrap rate* menjadi sekitar 2,9% atau dibawahnya berdasarkan dari jurnal Rangel-Sánchez et al., (2024). Gambar 4.7 berikut menunjukkan betapa tingginya *scrap rate* pada perusahaan khususnya pada *Workstation* 6.



Gambar 4. 1 Control Scrap rate

Setelah dilakukan analisis dengan MFCA penulis menemukan bahwa sisa *scrap* yang ada berpengaruh terhadap biaya produksi serta biaya penjualan, pada Tabel 4.15 berikut penulis lampirkan hasil MFCA yang telah dilakukan :

Tabel 4.15 Perbandingan Biaya Produksi

Traditional Cost Accounting (Rp)	MFCA (Rp)
170,625,000.00	170,981,415.34

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan perbedaan harga produksi sekitar Rp. 356.415 Serta pada biaya jual per unitnya akan terdapat perbedaan juga seperti pada Tabel 4.16 berikut

Tabel 4.16 Perbandingan biaya jual

Traditional Cost Accounting (Rp)	MFCA (Rp)
5,166,096.07	5,176,887.43

Didapatkan bahwa biaya jual yang seharusnya dikeluarkan oleh perusahaan agar bisa menutup kerugian yang disebabkan oleh *Scrap* sebesar Rp 5.176.887

Dari hasil analisis yang telah dilakukan ditemukan bahwa terdapat perbedaan harga produksi apabila dilakukan dengan metode tradisional dan dengan metode MFCA sebesar Rp 356.415 serta terdapat perbedaan harga jual apabila dilakukan dengan metode tradisional dan dengan metode MFCA sebesar Rp 5.176.887

Hasil analisis diatas sudah cukup memberikan *awareness* kepada perusahaan untuk lebih memperhatikan harga jual maupun produksi berdasarkan *scrap* yang dikeluarkan di setiap *Workstation*. Apabila tidak ada Tindakan yang dilakukan oleh perusahaan seiring berjalanya waktu perusahaan akan terus merugi. Biaya selisih yang didapatkan mungkin tidak terlalu besar tetapi sebagai contoh apabila perusahaan dapat menjual sebanyak 1000 unit per bulan perusahaan akan merugi sekitar Rp 10.791.000 dari sisa *scrap* yang ada angka tersebut bisa lebih tinggi lagi seiring dengan bertambahnya produksi dan penjualan pada perusahaan.

BAB V

PEMBAHASAN

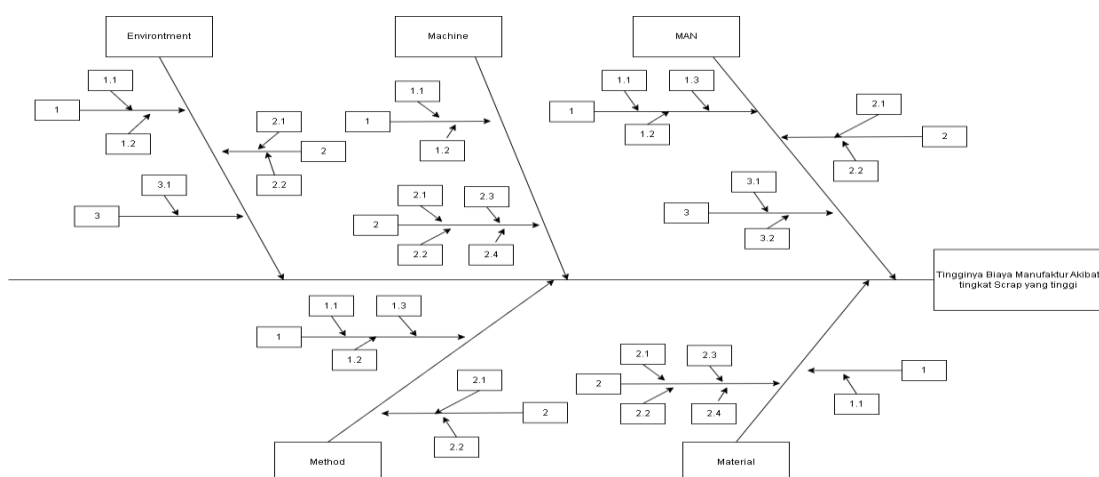
5.1 Hasil Pengolahan Data

Berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data peneliti mendapatkan beberapa hasil
Berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data peneliti mendapatkan beberapa hasil pengolahan data yaitu :

5.1.1 Akar Masalah

Setelah melakukan analisis dengan DMAIC pada tahap improve dengan metode *Pareto Analysis*, penulis mendapati bahwa akar masalah utama akan berfokus pada *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5*. Tahap ini akan dilakukan dengan menggabungkan 4 *Fishbone* dari *Workstation* yang sudah dihitung dengan metode *Pareto Analysis*, sehingga nantinya akar masalah utama dan saran poerbaikannya dapat berdasarkan akar masalah dari *Workstation 3*, *Workstation 6*, *Workstation 2* dan *Workstation 5* yang akan dijadikan menjadi 1 diagram *Fishbone* yang akan menjadi akar masalah dari 4 *Workstation* diatas.

Gambar 5.1 berikut merupakan akar masalah utama dari 4 *Workstation* yang sudah dianalisis dengan *Fishbone diagram* dari 4 *Workstation* :



Gambar 5.1 Fishbone Permasalahan Utama

Tabel 5.1 berikut merupakan penjelasan dari fishbone diagram dari 4 Workstation :

Tabel 5.1 penjelasan analisis fishbone pada permasalahan utama

Tingginya Biaya Manufaktur Akibat tingkat Scrap yang tinggi		
Variable	Nomor	Akar Masalah
MAN	1	Kesenjangan Kompetensi atau Skill Gap
	1.1	Operator tidak bersertifikat IPC-7711/7721 sehingga menyebabkan kerusakan jalur PCB saat perbaikan manual
	1.2	Operator gagal interpretasi data uji & salah memuat <i>firmware</i>
	1.3	Kurang pelatihan menyebabkan kesalahan loading komponen atau salah part
	2	Kondisi fisik dan mental pekerja rendah
	2.1	Kelelahan fisik dan beban kerja berlebih (<i>overload</i>) memicu hilangnya focus
	2.2	Tremor atau tangan gemetar saat menangani komponen mikro atau <i>rework</i> yang presisi
	3	Tidak mengikuti SOP yang ada
	3.1	Salah <i>handling</i> saat memasang atau melepas produk dari <i>jig</i> fisik sehingga menyebabkan PCB rusak atau bengkok
	3.2	Pemilihan profil suhu yang salah oleh operator
Machine	1	akurasi dan kalibrasi mesin yang buruk
	1.1	Kalibrasi SMT meleset atau terjadi misalignment dan Vision System gagal mengenali komponen
	1.2	Alat uji tidak terkalibrasi atau memiliki resolusi rendah sehingga menyebabkan <i>False Reject</i> atau membuang produk yang masih bagus
	2	Kurangnya maintenance pada mesin
	2.1	<i>Feeder</i> macet atau pegas aus sehingga terjadi <i>component loss</i>
	2.2	<i>Nozzle</i> aus atau kotor menyebabkan daya hisap vakum lemah dan membuat komponen jatuh atau hilang
	2.3	Pompa <i>wave solder</i> tidak stabil dan aliran nitrogen oven reflow fluktuatif
	2.4	Alat hisap timah atau <i>desoldering pump</i> tidak optimal sehingga meninggalkan

Tingginya Biaya Manufaktur Akibat tingkat Scrap yang tinggi		
Variable	Nomor	Akar Masalah
		residu yang dapat menyebabkan korsleting atau <i>short</i>
Material	1	terdapat masalah pada <i>Moisture Sensitive Devices (MSD)</i>
	1.1	terjadi <i>Popcorn Effect</i> atau Komponen meledak di oven reflow karena penyimpanan terbuka dan menyerap uap air
	2	Kualitas material yang buruk
	2.1	<i>Solder paste</i> teroksidasi atau kedaluwarsa dan <i>Tape atau Reel</i> rusak sehingga menyebabkan komponen terlempar
	2.2	<i>Pad PCB</i> atau kaki komponen teroksidasi sehingga menghambat pembasahan atau <i>wetting</i>
	2.3	Kualitas PCB FR4 rendah sehingga mudah melepuh saat terkena panas
	2.4	Komponen semikonduktor memiliki cacat laten yang baru terlihat saat <i>Burn-In</i>
Method	1	Parameter proses tidak tepat
	1.1	Profil suhu salah sehingga <i>Ramp-up</i> terlalu cepat yang mengakibatkan <i>thermal shock</i> atau <i>Peak</i> terlalu ekstrem yang mengakibatkan <i>cold joint</i>
	1.2	Kecepatan gantry terlalu tinggi untuk massa komponen tertentu sehingga menyebabkan inersia melempar komponen
	1.3	Tidak ada <i>pre-heating</i> pada PCB tebal sebelum disolder ulang sehingga menyebabkan komponen keramik retak
	2	Lemahnya SOP
	2.1	melakukan praktik Kanibalisasi komponen tanpa uji validasi
	2.2	Kriteria <i>Pass/Fail</i> tidak didefinisikan ketat atau masih bersifat subjektif
Environment	1	Suhu dan kelembapan Ruangan yang tidak terkontrol
	1.1	Kelembapan tidak terkontrol sehingga merusak kualitas pasta solder dan memperparah risiko MSD
	1.2	Terjadi fluktuasi suhu yang mempengaruhi pembacaan sensor sirkuit analog

Tingginya Biaya Manufaktur Akibat tingkat Scrap yang tinggi		
Variable	Nomor	Akar Masalah
	2	Terdapat Kontaminasi pada PCB
	2.1	terdapat Debu partikel yang mencemari pasta solder atau PCB
	2.2	Ventilasi yang buruk sehingga asap fluks mengendap kembali di PCB
	3	Adanya Listrik Statis saat produksi
	3.1	<i>Grounding</i> stasiun rework buruk dan adanya operator yang tidak menggunakan gelang statis sehingga dapat merusak IC yang sensitive

5.1.2 Saran Perbaikan Berdasarkan Akar Masalah

Setelah dilakukan analisis akar masalah utama yang ada pada 4 *Workstation* dengan *Fishbone Diagram* sebelumnya, maka Langkah berikutnya adalah memberikan saran Solusi perbaikan bagi Perusahaan berdasarkan hasil analisis pareto dan *Fishbone Diagram* berdasarkan 4 *Workstation* didapatkan saran Solusi perbaikan sebagai Tabel 5.2 berikut :

Tabel 5.2 penjelasan analisis fishbone pada permasalahan utama

Variable	Permasalahan	Solusi
Man	Adanya Skill Gap pada pekerja	Implementasi program sertifikasi terstandarisasi yang mengacu pada standar industri global seperti IPC-A-610 atau J-STD-001
	Kondisi fisik dan mental pekerja rendah	Penerapan intervensi ergonomi dan strategi <i>scheduled job rotation</i> untuk mereduksi kelelahan fisiologis atau <i>physiological fatigue</i> dan ketegangan visual pekerja
	Tidak mengikuti SOP yang ada	Peningkatan kepatuhan SOP melalui mekanisme <i>Layered Process Audit</i> atau LPA dan transformasi instruksi kerja menjadi format manajemen visual atau <i>visual management</i>
Machine	akurasi dan kalibrasi mesin yang buruk	Merubah strategi perawatan dari <i>corrective</i> menjadi <i>Predictive Maintenance</i> serta penerapan <i>Statistical Process Control</i>
	Kurangnya maintenance pada mesin	Pelaksanaan audit dan kalibrasi berkala terhadap <i>auxiliary tools</i> atau peralatan penunjang Hal ini dilakukan untuk memastikan integritas geometris dan fungsional alat sehingga mencegah terjadinya penyimpangan kualitas yang disebabkan oleh faktor peralatan non-mesin.
Material	terdapat masalah pada <i>Moisture Sensitive Devices</i> (MSD)	Penegakan protokol pengendalian MSD secara ketat sesuai standar J-STD-033 meliputi penggunaan penyimpanan kering dan prosedur pemanggangan ulang atau <i>rebaking</i>
	Kualitas material yang buruk	Pengendalian material melalui penerapan sistem inventaris <i>First-In-First-Out</i> dan validasi material berbasis <i>traceability system</i>
		Peningkatan prosedur <i>Incoming Quality Control</i> dan penerapan kebijakan <i>Supplier Corrective Action Request</i> atau SCAR yang lebih ketat

Variable	Permasalahan	Solusi
Method	Parameter proses tidak tepat	Standarisasi dan penguncian parameter proses untuk mencegah intervensi operator
	Lemahnya SOP	Optimasi SOP melalui evaluasi lapangan untuk mengeliminasi aktivitas yang tidak penting
Environment	Suhu dan kelembapan Ruang yang tidak terkontrol	Implementasi sistem kontrol lingkungan <i>HVAC</i> yang terintegrasi untuk menjaga stabilitas suhu dan kelembapan relatif sesuai standar manufaktur elektronik
	Terdapat Kontaminasi pada PCB	Penerapan sistem filtrasi udara atau <i>fume extraction</i> yang efektif untuk mengendalikan tingkat kontaminasi partikel yang dapat mengkontaminasi PCB
	Adanya Listrik Statis saat produksi	Pembentukan area kerja <i>ESD Protected Area</i> yang komprehensif sesuai standar ANSI/ESD S20.20, meliputi kewajiban penggunaan peralatan <i>grounding</i> personel dan lantai produksi harus bersifat penyalur muatan statis untuk mencegah akumulasi listrik pada tubuh operator

5.2 Faktor Lain yang Perlu Diperhatikan

Selain fokus pada efisiensi alur material, temuan akar masalah mengindikasikan bahwa keberhasilan reduksi biaya *scrap* sangat bergantung pada stabilitas aset fisik dan integritas rantai pasok. Dalam konteks permasalahan pada mesin, perhatian utama perlu diarahkan pada pergeseran fokus perawatan menuju pendekatan yang lebih proaktif guna menjamin presisi dalam jangka panjang, mengingat deviasi minor pada peralatan terbukti berkontribusi signifikan terhadap *reject* yang tidak perlu. Bersamaan dengan itu, mekanisme pengendalian kualitas dari sisi pemasok menjadi faktor eksternal yang krusial. Pengecekan ketat terhadap kesesuaian spesifikasi material input diperlukan untuk mencegah masuknya variabilitas bahan baku yang berpotensi menjadi limbah atau *waste* di tahap akhir produksi.

Di sisi lain, ekosistem rantai produksi dan kapabilitas sumber daya manusia memegang peranan vital sebagai fondasi operasional yang berkelanjutan. Kesiapan infrastruktur dalam menjaga stabilitas lingkungan kerja mulai dari pengendalian suhu hingga proteksi terhadap risiko elektrostatis harus dipandang sebagai prasyarat utama untuk melindungi komponen sensitif dari kerusakan laten. Hal ini perlu didukung oleh standarisasi kompetensi personel yang merata, mengingat variabilitas kualitas produk sering kali bersumber dari inkonsistensi penanganan oleh operator. Tanpa adanya sinkronisasi antara permasalahan teknis, lingkungan yang terkendali, dan sumber daya manusia yang terstandar, upaya penekanan biaya produksi berisiko tidak mencapai hasil yang optimal.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengungkap transparansi biaya kerugian yang selama ini tersembunyi dalam metode akuntansi tradisional. Melalui pendekatan MFCA, ditemukan bahwa total biaya kerugian material dalam setiap produksi mencapai Rp 58.273.907,64. Perhitungan ini menunjukkan adanya selisih biaya pokok produksi yang signifikan, di mana harga jual per unit seharusnya ditetapkan sebesar Rp 5.176.887 untuk menutup kerugian material yang tidak terdeteksi, berbeda dengan perhitungan tradisional yang hanya terlihat Rp 5.166.096. Data ini mengonfirmasi bahwa perusahaan selama ini menanggung beban biaya tak terlihat akibat inefisiensi material yang tidak terhitung dalam laporan biaya standar.

Berdasarkan identifikasi sumber pemborosan menggunakan analisis Pareto, ditemukan bahwa inefisiensi produksi terpusat pada area-area kritis tertentu yang memberikan dampak paling signifikan. Empat stasiun kerja utama, yaitu Workstation 2, Workstation 3, Workstation 5, dan Workstation 6, teridentifikasi sebagai kontributor terbesar yang menyebabkan tingginya angka *scrap rate*. Sesuai prinsip Pareto, upaya perbaikan yang difokuskan pada keempat workstation ini diproyeksikan mampu mereduksi mayoritas total kerugian material yang terjadi di lini produksi modul elektronik.

Analisis akar masalah menggunakan *Fishbone Diagram* pada keempat workstation kritis tersebut memetakan penyebab tingginya *scrap* ke dalam lima faktor fundamental. Dari sisi Manusia, ditemukan adanya kesenjangan akibat operator tidak bersertifikat standar seperti IPC serta faktor kelelahan fisik. Faktor Mesin didominasi oleh akurasi kalibrasi yang buruk dan kurangnya perawatan preventif. Pada faktor Material,

masalah utama terletak pada penanganan MSD yang memicu kerusakan komponen saat pemanasan. Selain itu, faktor Metode disebabkan oleh parameter proses yang tidak dikunci dan SOP yang lemah, yang diperparah oleh faktor Lingkungan berupa suhu, kelembapan, dan listrik statis yang tidak terkontrol di area produksi.

Sebagai langkah perbaikan untuk menurunkan tingkat *scrap* secara berkelanjutan, penelitian ini merekomendasikan serangkaian solusi teknis dan manajerial. Langkah prioritas meliputi implementasi sertifikasi operator berbasis standar global seperti IPC-A-610, peralihan strategi perawatan mesin ke *Predictive Maintenance*, serta penegakan protokol ketat seperti J-STD-033 untuk penyimpanan material sensitif. Selain itu, diperlukan standarisasi parameter proses untuk mencegah intervensi manual yang berisiko, serta investasi pada kontrol lingkungan melalui sistem HVAC terintegrasi dan pembentukan area *ESD Protected Area* (EPA) guna menjamin stabilitas proses produksi.

6.2 Saran

Berdasarkan temuan pada akar masalah yang signifikan mempengaruhi tingginya *scrap rate* dan kerugian biaya material, penulis merekomendasikan langkah-langkah perbaikan teknis yang lebih spesifik sebagai berikut:

Pertama, terkait Presisi dan Keandalan Mesin, perusahaan disarankan untuk mengubah paradigma perawatan dari *corrective* menjadi *preventive* dan *predictive maintenance*. Fokus utama harus diberikan pada kalibrasi berkala sistem visi (*vision system*) dan *nozzle* pada mesin SMT untuk mencegah *misalignment*. Perusahaan perlu menetapkan jadwal validasi akurasi mesin uji secara ketat guna meminimalkan *false reject* (produk baik yang dianggap cacat) yang terbukti menyumbang angka *scrap* yang tidak perlu.

Kedua, dalam hal Manajemen Kualitas Pemasok (*Supplier*), perusahaan perlu memperketat prosedur *Incoming Quality Control* (IQC), khususnya untuk material kritis seperti PCB dan komponen sensitif (MSD). Disarankan untuk menerapkan sistem evaluasi vendor yang lebih ketat serta mekanisme *Supplier Corrective Action Request* (SCAR) apabila ditemukan material yang tidak memenuhi spesifikasi teknis, seperti *solder paste* yang teroksidasi atau komponen dengan *lead* yang korosif, sebelum masuk

ke lini produksi. Hal ini krusial untuk mencegah masuknya material cacat yang akan menjadi *waste* di akhir proses.

Ketiga, terkait Lingkungan Produksi dan Infrastruktur, investasi pada sistem kontrol lingkungan yang terintegrasi sangat direkomendasikan. Perusahaan perlu memastikan stabilitas suhu dan kelembapan di area penyimpanan dan produksi untuk mencegah kerusakan pada komponen *Moisture Sensitive Devices* (MSD). Selain itu, penerapan area kerja yang terlindungi dari *Electrostatic Discharge* (ESD) secara menyeluruh—mulai dari lantai, meja kerja, hingga perlengkapan operator—wajib dilakukan untuk melindungi komponen semikonduktor dari kerusakan laten yang tidak kasat mata namun fatal.

Terakhir, dari sisi Sumber Daya Manusia, disarankan adanya standarisasi kompetensi melalui sertifikasi formal (seperti standar IPC) bagi operator, khususnya di stasiun *rework* dan inspeksi manual. Hal ini bertujuan untuk mengurangi variabilitas kualitas yang disebabkan oleh faktor manusia (*human error*) dan memastikan penanganan material dilakukan sesuai standar industri global.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, R., Ritchi, H., & Hasyir, D. A. (2020). ANALISA IMPLEMENTASI MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) PADA PERUSAHAAN INDUSTRI (Studi Kasus pada PT. Unipres Indonesia) THE ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OF MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) IN MANUFACTURING INDUSTRY (Case Study in PT. Unipres Indones. *Jurnal Apresiasi Ekonomi*, 8(1), 86–98.
- Amicarelli, V., Roe, B. E., & Bux, C. (2022). Measuring Food Loss and Waste Costs in the Italian Potato Chip Industry Using Material Flow Cost Accounting. *Agriculture (Switzerland)*, 12(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040523>
- Ananda, M. H., Ankaiah, B., Oommen, S., Doddabasappa, N., Anil Kumar, D. B., & Mali, A. S. (2023). Failure Analysis of Electromechanical Indicating Type Meters in an Industry by Using Fishbone and Pareto Models. *RASSE 2023 - IEEE International Conference on Recent Advances in Systems Science and Engineering, Proceedings*, (November), 1–4. <https://doi.org/10.1109/RASSE60029.2023.10363516>
- Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofu, K., Maladzhi, R., & Kana-Kana Katumba, M. G. (2022). Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry. *Heliyon*, 8(3), e09043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09043>
- Durroh, B., Daud, Moch. Y., & Purba, J. H. (2023). Analysis of Quality Control of Tea Products Using the Fishbone Diagram Approach at Pt Candi Loka, Indonesia. *Asian Journal of Research in Crop Science*, (May), 16–24. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2023/v8i1154>
- Erdil, A. (2020). EVALUATION PRODUCT DEVELOPMENT, PRODUCT DESIGN FOR THE FURNITURE-WOOD INDUSTRY VIA QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT AND PARETO ANALYSIS. In *Nat Sci* (Vol. 11).
- Erdil, A. (2020). Evaluation Product Development, Product Design for the Furniture-Wood Industry Via Quality Function Deployment and Pareto Analysis. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 11(2), 203–217.
- Fadjarenie, R. A., Rachmadani, C., & Tarmidi, D. (2024). Cost Reduction Strategy In Manufacturing Industries Empirical Evidence From Indonesia. *Jurnal Akuntansi*, 28(1), 61–79. <https://doi.org/10.24912/ja.v28i1.1747>

- Ghaleb, A. A., & Ahmed, M. N. (2025). Root Cause Analysis of the Most Frequently Occurring Problems in the Iraqi Building Industry Through Fishbone Diagram. *Kufa Journal of Engineering*, 16(2), 314–327. <https://doi.org/10.30572/2018/KJE/160219>
- Idris, N. I., Sin, T. C., Ibrahim, S., FadzliRamli, M., & Ahmad, R. (2021). A Case Study of Coffee Sachets Production Defect Analysis Using Pareto Analysis, P-Control Chart and Ishikawa Diagram. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, (October 2022), 1295–1305. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0866-7_115
- Jamil, N., Gholami, H., Saman, M. Z. M., Streimikiene, D., Sharif, S., & Zakuan, N. (2020). DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping: towards a sustainable manufacturing system. *Economic Research-Ekonomiska Istrazivanja*, 33(1), 331–360. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2020.1715236>
- Mufti, H. R. (2021). *ANALISIS EFISIENSI PRODUKSI MENGGUNAKAN FRAMEWORK MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) PADA INDUSTRI BATIK (Studi Kasus di Batik Sekarniti)*.
- Oktaviana, A. C., & Auliandri, T. A. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Meja Dan Kursi Menggunakan Diagram Pareto Dan Fishbone Pada PK. SKM JATI. *INOBI: Jurnal Inovasi Bisnis Dan Manajemen Indonesia*, 6(4), 559–572. <https://doi.org/10.31842/jurnalinobis.v6i4.310>
- Rahadian Fachrur, A., Ummi, N., & Ikrima, Q. (2025). ANALISIS SIX SIGMA UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PRODUK INDUSTRI KABEL. *Journal of Industrial & Quality Engineerin*. <https://doi.org/10.34010/iqe.v11i1.xxxx>
- Rahardjo, B., Wang, F. K., Yeh, R. H., & Chen, Y. P. (2023). Lean Manufacturing in Industry 4.0: A Smart and Sustainable Manufacturing System. *Machines*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/machines11010072>
- Ramadhani, I. P., & Winardini, W. (2024). Analisis Diagram Fishbone Dalam Kebijakan Pengelolaan Sampah di Kota Surabaya. *Jurnal Media Akademik (JMA)*, 2(5), 1–21.
- Rangel-Sánchez, M. Á., Urbina-González, J. D. J., Carrera-Escobedo, J. L., Guirette-Barbosa, O. A., Murillo-Rodríguez, V. A., Celaya-Padilla, J. M., ... Cruz-Domínguez, O. (2024). Enhancing Scrap Reduction in Electric Motor Manufacturing for the Automotive Industry: A Case Study Using the PDCA (Plan–Do–Check–Act) Approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/app14072999>
- Russamurti, I. (2020). Penerapan Metode Six Sigma untuk Mengurangi Persentase Cacat Produk Air Mineral Cup 240ml (Studi Kasus: CV Yestoya Makmur Jaya). *Teknik Industri*, 1. Retrieved from [https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/24457%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/24457/13522012 Indriana Russamurti.pdf?sequence=1](https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/24457%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/24457/13522012%0AIndriana%20Russamurti.pdf?sequence=1)
- Trivedi, N. K., Bimal, A., & Mawandiya B B, K. (2024). *Application of Fishbone Diagram & Pareto Analysis for Improving Quality and Reliability of MCCB – A Case Study*.

