

**ANALISIS KERUGIAN MATERIAL DAN INEFISIENSI ANGGARAN PADA
PERUSAHAAN PRODUSEN CONTROL BOARD MENGGUNAKAN METODE
MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) DAN SIX SIGMA**

TUGAS AKHIR

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



Nama : Muhammad Cahyo Utomo
No. Mahasiswa : 22522059

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

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan bahwa tugas akhir berjudul "*ANALISIS KERUGIAN MATERIAL DAN INEFISIENSI ANGGARAN PADA PERUSAHAAN PRODUSEN CONTROL BOARD MENGGUNAKAN METODE MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) DAN SIX SIGMA*" merupakan hasil karya saya sendiri, kecuali bagian kutipan dan ringkasan yang telah dicantumkan sumbernya secara jelas. Apabila di kemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar dan melanggar ketentuan yang berlaku, maka saya bersedia menerima konsekuensi berupa pencabutan ijazah oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 29 – 05 - 2026



(Muhammad Cahyo Utomo)

22522059

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) 896007
E. fti@uii.ac.id
W. fti.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 291/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/V/2026

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Muhammad Cahyo Utomo

Nim : 22522059

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 KERUGIAN MATERIAL DAN INEFISIENSI ANGGARAN PADA PERUSAHAAN PRODUSEN CONTROL BOARD MENGGUNAKAN METODE MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) DAN SIX SIGMA"** mulai pelaksanaan penelitian 23 November 2025 sampai 12 Februari 2026.

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

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 29 Mei 2026
Kepala Laboratorium
Sistem Manufaktur Terintegrasi

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

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS KERUGIAN MATERIAL DAN INEFISIENSI ANGGARAN PADA
PERUSAHAAN PRODUSEN CONTROL BOARD MENGGUNAKAN METODE
MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) DAN SIX SIGMA**

TUGAS AKHIR

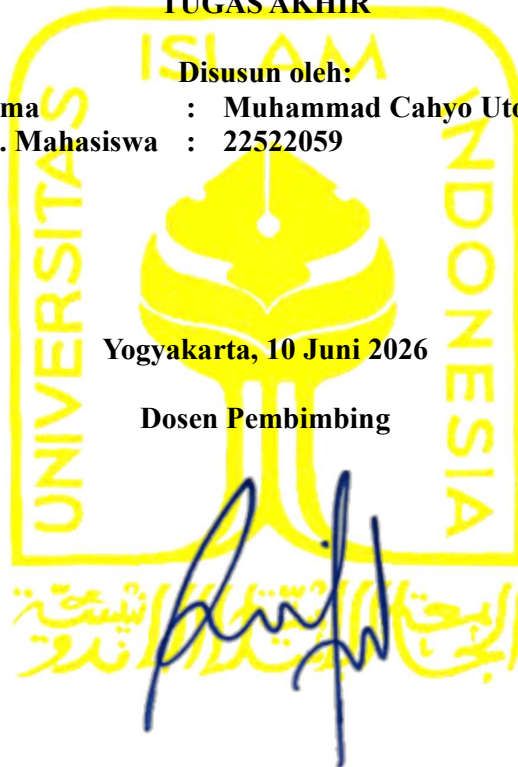
Disusun oleh:

Nama : Muhammad Cahyo Utomo

No. Mahasiswa : 22522059

Yogyakarta, 10 Juni 2026

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS KERUGIAN MATERIAL DAN INEFISIENSI ANGGARAN PADA PERUSAHAAN PRODUSEN CONTROL BOARD MENGGUNAKAN METODE MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING (MFCA) DAN SIX SIGMA

TUGAS AKHIR

Disusun oleh:

Nama : Muhammad Cahyo Utomo
No. Mahasiswa : 22522059

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

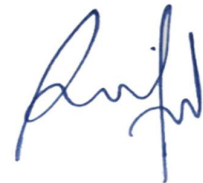
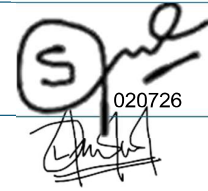
Yogyakarta, 19 – Juni – 2026

Tim Penguji

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

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T.
Anggota I

Sayyidah Maulidatul Afraah, S.T., M.T.
Anggota II

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

Dengan izin Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-nya, tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

Bapak Supriyono dan Ibu Rusmiyati, selaku kedua orang tua saya yang senantiasa menjadi sumber dukungan, serta telah membesarkan dan mendidik saya sejak kecil. Selain itu, kepada kakak laki-laki saya dan adik saya serta teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

MOTTO

“Wahai golongan jin dan manusia, Jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka tembuslah. Kamu tidak akan mampu menembusnya kecuali dengan kekuatan (dari Allah)”

(Q.S Ar-Rahman : 33)

“Dan barang siapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupkan (keperluannya)”

(Q.S At-Talaq : 3)

“Jika keajaiban tidak berpihak pada kita, kita sendiri yang membuat keajaiban itu”
(Roronoa Zoro)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'Alamin, segala puji dan Syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala Rahmat, karunia, dan hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan dan kemajuan seperti saat ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, khususnya 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 memberikan arahan, masukan, dukungan, serta bimbingan kepada penulis selama proses pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir.
5. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, selama pelaksanaan tugas akhir hingga penyusunan naskah ini selesai.
6. Teman-teman dan sahabat yang telah memberikan dukungan, semangat, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Seluruh keluarga, saudara, rekan, dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas segala dukungan moral maupun bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan serta penyempurnaan laporan ini di masa yang akan mendatang. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang membutuhkan.

ABSTRAK

Perusahaan manufaktur modul elektronik yang memproduksi *control board* atau *printed circuit board* (PCB) memiliki peran penting dalam mendukung perkembangan industri peralatan rumah tangga modern, mengingat tingginya nilai material yang digunakan seperti tembaga, komponen semikonduktor, dan bahan *solder*, sehingga setiap pemborosan yang terjadi berdampak langsung pada struktur biaya produksi. Pada perusahaan objek penelitian ini, manajemen mencatat adanya peningkatan *material loss*, tingginya frekuensi *rework*, serta kenaikan biaya limbah dan energi pada lini produksi yang terdiri dari tujuh *Workstation*. Dari total input 50 kg/hari, sebesar 16,97 kg/hari (33,94%) menjadi produk negatif dan hanya 33,03 kg/hari (66,06%) menjadi produk positif. Penelitian ini bertujuan mengukur tingkat *scrap* dan *hidden cost* pada setiap *Workstation* menggunakan metode *material flow cost accounting* (MFCA), mengidentifikasi penyebab tingginya *scrap* melalui *Six Sigma* dengan pendekatan DMAIC, *pareto chart*, dan *fishbone diagram*, serta merumuskan rekomendasi perbaikan proses produksi. Hasil perhitungan MFCA menunjukkan total *hidden cost* mencapai Rp9.375.274,23/hari. Analisis *pareto* menunjukkan bahwa *Workstation 6 (Rework)* merupakan titik paling kritis dengan tingkat *scrap* tertinggi sebesar 10% (3,74 kg/hari) dan kontribusi *hidden cost* terbesar sebesar Rp2.409.684,32/hari, sehingga ditetapkan sebagai prioritas utama perbaikan, disusul *Workstation 3 (Soldering)* sebesar 8%, *Workstation 5 (Functional Testing)* sebesar 7%, dan *Workstation 2 (Component Placement)* sebesar 6%. Analisis *fishbone* mengungkap penyebab utama berupa kurangnya pelatihan dan sertifikasi operator, peralatan tidak terkalibrasi, material tidak sesuai standar, SOP tidak terstandarisasi, serta lingkungan produksi yang tidak terkontrol. Rekomendasi perbaikan diprioritaskan pada *Workstation 6* melalui standarisasi SOP proses *rework*, pelatihan dan sertifikasi operator (IPC-7711/7721), kalibrasi alat secara berkala, penerapan kontrol *electrostatic discharge* (ESD), serta pengendalian kondisi lingkungan kerja guna mendukung efisiensi proses produksi.

Kata Kunci: *material flow cost accounting, Six Sigma, DMAIC, hidden cost, scrap, pareto chart, fishbone diagram, rework*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
SURAT BUKTI PENELITIAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iv
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
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.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Literatur.....	6
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Industri Elektronik	10
2.2.2 Material Flow Cost Accounting	11
2.2.3 <i>Six Sigma</i> (DMAIC).....	12
2.2.4 Alat Bantu Analisis Kualitas	14
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Objek Penelitian	17
3.2 Jenis dan Sumber Data	17
3.3 Metode Pengumpulan Data	17
3.4 Menghitung Jumlah <i>Material Input</i>	18
3.5 Menghitung Jumlah produk negatif.....	18
3.6 Menghitung Jumlah produk positif.....	18
3.7 Menghitung Biaya Produk negatif.....	18
3.8 Menghitung Biaya Produk positif.....	18
3.9 Menghitung <i>Material Unit Cost</i>	19
3.10 Menghitung Biaya Energi.....	19
3.11 Menghitung <i>Handling Costs</i>	19
3.12 Menghitung <i>Recycling Credit</i>	19
3.13 Total MFCA <i>Costs</i>	19
3.14 Tahapan Penelitian.....	20
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	22
4.1 Pengumpulan Data.....	22
4.1.1 Profil Perusahaan	22
4.1.2 Alur Proses Produksi Control Board.....	22
4.1.3 Identifikasi <i>Workstation</i>	24
4.1.4 <i>Input Material</i>	28
4.1.5 Data Produksi Perusahaan.....	28
4.2 Pengolahan Data	32

4.2.1 Tahap <i>Define</i>	32
4.2.2 Tahap <i>Measure</i>	33
4.2.3 Tahap <i>Analyze</i>	41
4.2.4 Tahap <i>Improve</i>	47
4.2.5 Tahap <i>Control</i>	52
BAB V PEMBAHASAN	53
5.1 Analisis Tingkat Scrap dan Hidden Costs pada Proses Produksi	53
5.2 Evaluasi dan Usulan Perbaikan	55
5.3 Rekomendasi Penelitian	57
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	59
6.1 Kesimpulan.....	59
6.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Scrap Rate Produksi PCB.....	2
Gambar 2.1 Printed Circuit Board.....	11
Gambar 2.2 Proses Implementasi MFCA	12
Gambar 2.3 Relationship Between Six Sigma Models and Lean Principles	13
Gambar 2.4 Pareto Chart.....	15
Gambar 2.5 Fishbone Diagram	16
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian.....	20
Gambar 4.1 Alur Proses produksi	22
Gambar 4.2 Total Produksi.....	32
Gambar 4.3 Scrap Rate.....	33
Gambar 4.4 Pareto Chart.....	41
Gambar 4.5 Fishbone Diagram Workstation 2	42
Gambar 4.6 Fishbone Diagram Workstation 3	43
Gambar 4.7 Fishbone Diagram Workstation 5	44
Gambar 4.8 Fishbone Diagram Workstation 6	46
Gambar 5. 1 Fishbone workstation 6 Sebagai Prioritas Perbaikan	56

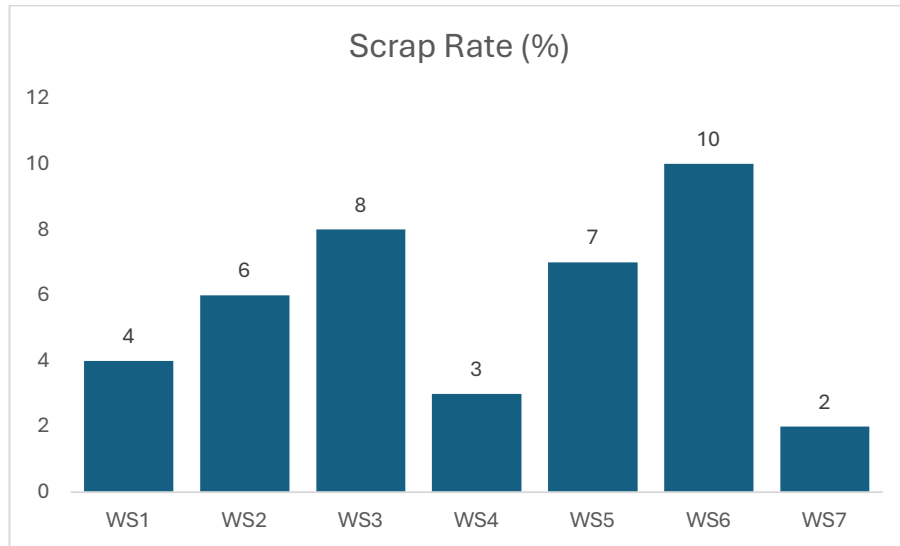
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Research Gap.....	9
Tabel 4. 1 Identifikasi Workstation 1	24
Tabel 4. 2 Identifikasi Workstation 2	25
Tabel 4. 3 Identifikasi Workstation 3	25
Tabel 4. 4 Identifikasi Workstation 4	26
Tabel 4. 5 Identifikasi Workstation 5	26
Tabel 4. 6 Identifikasi Workstation 6	27
Tabel 4. 7 Identifikasi Workstation 7	27
Tabel 4. 8 Material Input	28
Tabel 4. 9 Tingkat Scrap.....	28
Tabel 4. 10 Jumlah Scrap	29
Tabel 4. 11 Base material cost/kg.....	34
Tabel 4. 12 Consumable cost/kg	34
Tabel 4. 13 Energy Costs.....	35
Tabel 4. 14 Waste Handling Costs.....	35
Tabel 4. 15 Recycling Credit Per Kg.....	36
Tabel 4. 16 Biaya Produk positif.....	38
Tabel 4. 17 Biaya Produk negatif.....	39
Tabel 4. 18 Perbandingan Perhitungan Costs.....	40
Tabel 4.19 Fishbone Diagram Workstation 2	42
Tabel 4.20 Fishbone Diagram Workstation 3	43
Tabel 4. 21 Fishbone Diagram Workstation 5	45
Tabel 4. 22 Fishbone Diagram Workstation 6	46
Tabel 4. 23 Improve Workstation 2	47
Tabel 4. 24 Improve Workstation 3	48
Tabel 4. 25 Improve Workstation 5	49
Tabel 4. 26 Improve Workstation 6	51
Tabel 5.1 Usulan Perbaikan.....	56

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan manufaktur modul elektronik yang memproduksi *control board* atau *printed circuit board* (PCB) memiliki peran penting dalam mendukung perkembangan industri peralatan rumah tangga modern. PCB berfungsi sebagai media penghubung antar komponen elektronik tanpa menggunakan kabel, sehingga menjadi elemen utama yang menentukan kinerja perangkat elektronik secara keseluruhan (Supriyati, 2023). Industri manufaktur elektronik, khususnya produsen *control board* atau *printed circuit board* (PCB), merupakan sektor dengan kompleksitas proses produksi yang tinggi. PCB berfungsi sebagai media penghubung antar komponen elektronik dan menjadi elemen utama penentu kinerja perangkat elektronik secara keseluruhan. Tingginya nilai material yang digunakan dalam produksi PCB, seperti tembaga, komponen semikonduktor, dan bahan solder, menjadikan setiap pemborosan yang terjadi berdampak langsung pada struktur biaya produksi. Oleh karena itu, efisiensi proses produksi menjadi faktor kritis yang menentukan keberlangsungan dan daya saing perusahaan dalam industri ini. Sebuah pabrik modul elektronik yang memproduksi *control board* untuk perangkat rumah tangga sedang menghadapi berbagai permasalahan yang memengaruhi efisiensi dan kualitas proses produksinya. Manajemen mencatat adanya peningkatan *material loss*, frekuensi *rework* yang tinggi, serta biaya pembungan *scrap* dan energi yang besar. Setiap *Workstation* (*Workstation1-Workstation7*). Pada Gambar 1.1 ditunjukkan data produksi dari total input 50 kg/hari hingga tingkat *scrap* pada perusahaan dengan tingkat *scrap* yang bervariasi pada proses produksi.



Gambar 1.1 *Scrap Rate* Produksi PCB.

pada lini produksi menunjukkan kontribusi *scrap* yang berbeda-beda, berdasarkan data yang diperoleh diketahui Perusahaan manufaktur ini memiliki tujuh stasiun kerja dengan kapasitas material sebesar 50 Kg per hari. Namun *scrap* yang dihasilkan 16,97 kg/hari atau setara dengan 33,94%. Berdasarkan data yang ditunjukkan pada grafik *scrap rate*, terlihat bahwa tingkat cacat pada setiap *Workstation* tidak merata dan cenderung fluktuatif. *Workstation 6 (rework station)* memiliki tingkat *scrap* tertinggi sebesar 10%, diikuti oleh *Workstation 3 (soldering)* sebesar 8%, *Workstation 5* sebesar 7%, dan *Workstation 2* sebesar 6%. Sementara itu *Workstation* lainnya menunjukkan tingkat *scrap* yang relative rendah, yaitu *Workstation 1* sebesar 4%, *Workstation 4* sebesar 3%, dan *Workstation 7* sebesar 2%. Ketidak seimbangan ini menjadi indikasi ketidakkonsistenan kualitas produksi dan dapat menimbulkan *hidden cost* dari waste atau *scrap* yang terbentuk pada lini produksi.

Permasalahan serupa juga ditemukan pada penelitian sebelumnya seperti penelitian yang dilakukan oleh Kitada pada tahun 2022 menemukan bahwa banyak perusahaan manufaktur yang tidak menyadari adanya biaya tersembunyi yang signifikan akibat tidak adanya sistem pelacakan material yang transparan. Fajri dan Shauki melalui penelitiannya yang dilakukan pada tahun 2023 menunjukkan juga hasil serupa pada industri *food and beverage*, dimana pemborosan material yang tidak terdeteksi dalam laporan keuangan konvensional. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Byrne pada tahun 2021 juga menemukan bahwa pada industri farmasi, tingkat cacat dan pemborosan yang tinggi kerap berakar dari variasi proses yang tidak terkendali dan sulit diidentifikasi tanpa pendekatan analisis yang terstruktur. Menghadapi permasalahan tersebut, perusahaan membutuhkan pendekatan yang mampu menjawab dua

tantangan besar diatas yaitu besaran kerugian yang sebenarnya terjadi akibat pemborosan dan dimana letak pemborosan itu terjadi. Tanpa pemahaman yang menyeluruh terhadap kedua aspek tersebut, upaya perbaikan yang dilakukan cenderung tidak tepat sasaran dan hanya bersifat sementara. Oleh karena itu, diperlukan suatu kerangka analisis yang mampu mengukur aliran biaya secara rinci sekaligus mengidentifikasi akar penyebab masalah secara sistematis.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) yang dikombinasikan dengan *Six Sigma* melalui tahapan DMAIC, didukung *pareto chart* dan *fishbone diagram*. MFCA dipilih karena kemampuannya dalam menelusuri aliran material dan menghitung biaya yang hilang akibat *scrap* pada setiap tahap produksi (Walls et al., 2023). Sedangkan *Six Sigma* dengan DMAIC memberikan kerangka terstruktur untuk mengukur, menganalisis, dan memperbaiki variasi proses yang menjadi sumber pemborosan (Rifaldi & Sudarwati, 2024). *Pareto chart* dan *fishbone diagram* digunakan sebagai alat bantu untuk memprioritaskan masalah dan memetakan akar penyebabnya secara visual dan sistematis (Kayu et al., 2025; Holifahtus Sakdiyah et al., 2022). Kombinasi pendekatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi inefisiensi pada proses produksi *control board* serta menghasilkan rekomendasi perbaikan yang tepat sasaran dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana tingkat *scrap* dan *hidden cost* yang terbentuk pada setiap *workstation* dianalisis dan diukur dengan menggunakan metode *material flow cost accounting*?
2. Bagaimana identifikasi faktor-faktor penyebab tingginya *scrap* menggunakan *Six Sigma* (DMAIC), *pareto chart*, dan *fishbone diagram*?
3. Bagaimana rekomendasi perbaikan proses produksi untuk meminimalkan *scrap* dan *hidden cost* berdasarkan hasil analisis integrasi MFCA dan *Six Sigma*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian permasalahan di atas. Berikut merupakan tujuan penelitian pada penelitian ini:

1. Menganalisis dan mengukur tingkat *scrap* dan *hidden cost* yang terbentuk pada setiap *workstation* menggunakan metode *material flow cost accounting* (MFCA).
2. Mengidentifikasi faktor-faktor penyebab tingginya *scrap* pada proses produksi menggunakan *Six Sigma* (DMAIC), *pareto chart*, dan *fishbone diagram*.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan proses produksi untuk meminimalkan *scrap* dan *hidden cost* berdasarkan hasil analisis integrasi MFCA dan *Six Sigma*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi peneliti, pembaca, maupun perusahaan, dengan rincian sebagai berikut:

1. Membantu perusahaan dalam membuat rekomendasi perbaikan berbasis metode *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), *Six Sigma* (DMAIC), *Pareto Analysis*, dan *Fishbone Diagram* yang dapat langsung ditetapkan untuk meningkatkan efisiensi produksi.
2. Menambah wawasan dalam menerapkan integrasi MFCA dengan alat peningkatan kualitas seperti *Six Sigma*, *Pareto*, dan *Fishbone* dalam perusahaan manufaktur elektronik sehingga dapat menerapkan metode tersebut pada masalah industri secara nyata.
3. Mendukung upaya pengurangan *Scrap* dan konsumsi energi, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan dan ketentuan dari perusahaan tempat data ini diambil.

Berikut merupakan batasan dari penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada perusahaan manufaktur yang memproduksi *control board* dengan fokus kepada 7 stasiun kerja yang ada dalam proses produksinya.
2. Analisis yang dilakukan hanya mencakup jumlah *scrap* atau *waste* yang dihasilkan pada setiap *Workstation*, dan jumlah biaya produksi yang digunakan pada proses produksi, Aspek lain diluar ruang lingkup tersebut tidak dibahas dalam penelitian ini.
3. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada *material flow cost accounting* untuk menganalisis aliran material dan biaya, serta *six sigma* dengan pendekatan DMAIC yang didukung oleh analisis *defect per million opportunities*, *pareto chart*, dan *fishbone diagram* guna mengidentifikasi dan mengurangi tingkat scrap pada setiap *Workstation*
4. Data yang digunakan merupakan data historis produksi dari perusahaan yang terbatas pada jumlah *input* material, *scrap rate*, serta biaya-biaya yang terdapat pada data yang diberikan perusahaan.
5. Hasil dari penelitian ini hanya berupa rekomendasi perbaikan proses produksi. berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Dalam memahami karakteristik penelitian ini lebih detail perlu dilakukannya identifikasi celah penelitian untuk mengetahui sejauh mana penelitian yang telah dilakukan terdahulu membahas topik yang serupa dengan hal yang sedang diteliti. Berbagai penelitian terdahulu penelitian yang dilakukan oleh Kitada et al. (2022) berfokus pada peningkatan efisiensi di sektor manufaktur melalui penerapan *material flow cost accounting* (MFCA). Studi ini fokus pada pentingnya transparansi nilai material untuk mengurangi pemborosan dan biaya tersembunyi pada proses produksi, Metode MFCA digunakan untuk mengidentifikasi area inefisiensi dan menunjukkan kontribusinya terhadap biaya total produksi. meskipun penelitian ini berhasil memetakan aliran material secara rinci, namun belum menggabungkan dengan pendekatan *six sigma* untuk mengukur dan menurunkan tingkat cacat secara statistik sehingga belum mampu menjelaskan variasi proses yang memengaruhi pemborosan material.

Penelitian selanjutnya, Achibat et al. (2023) meneliti implementasi *six sigma* di industri manufaktur dengan fokus pada pengurangan limbah dan peningkatan efisiensi biaya energi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *six sigma* mampu memberikan Gambaran menyeluruh terkait efisiensi material dan energi di tiap tahapan produksi. Namun, penelitian ini belum mengombinasikan MFCA dengan alat analisis kualitas seperti *pareto* atau *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi akar penyebab utama terjadi waste. Hal ini menyebabkan hasil penelitian bersifat deskriptif daripada diagnostic.

Studi yang dilakukan oleh Fajri dan Shauki (2023) dilakukan pada industri *food and beverage* (FnB) dan menitikberatkan pada penerapan MFCA untuk menekan biaya produksi serta mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya. Metode MFCA digunakan untuk menghitung efisiensi material positif dan negatif dalam proses produksi. walaupun hasilnya menunjukkan peningkatan efisiensi signifikan, penelitian ini belum menerapkan pendekatan kualitas seperti *six sigma* untuk mengendalikan variasi proses yang menyebabkan pemborosan, sehingga masih terdapat peluang untuk memperkuat pendekatan dengan metode pengendalian berbasis statistik.

Penelitian yang dilakukan oleh Arieftiara et al. (2021) mengkaji sektor Kesehatan, dengan fokus pada efisiensi operasional rumah sakit melalui penerapan *six sigma* dan *pareto analysis*. Hasilnya menunjukkan bahwa metode tersebut efektif dalam menurunkan kesalahan layanan dan meningkatkan kepuasan pasien. Namun, penelitian ini tidak menggunakan pendekatan biaya berbasis aliran material seperti MFCA, sehingga aspek pengukuran efisiensi sumber daya dan biaya tersembunyi tidak teridentifikasi secara mendalam.

Penelitian yang dilakukan oleh Byrne et al. (2021) meneliti penerapan *six sigma* di sektor manufaktur sebagai alat untuk mendukung keberlanjutan produksi. *sixsigma* digunakan untuk menilai efisiensi penggunaan bahan baku dan energi. Studi ini memperlihatkan dampak positif terhadap penghematan biaya dan pengurangan limbah industri. Meskipun demikian, penelitian ini tidak menggunakan metode *six sigma* atau *pareto analysis*, sehingga belum dapat menghubungkan hasil analisis biaya dengan akar penyebab variasi proses.

Penelitian oleh Walls et al. (2023) juga dilakukan pada sektor manufaktur dengan menerapkan MFCA guna mengevaluasi efisiensi material dalam konteks keberlanjutan lingkungan. Studi ini mengungkapkan potensi penghematan biaya dari optimalisasi aliran material, tetapi belum menyentuh aspek pengendalian kualitas yang dapat memperkuat hasil efisiensi melalui pendekatan DMAIC atau analisis statistik lainnya.

Dalam penelitian Qu et. Al. (2022), MFCA diterapkan pada sektor FnB untuk menganalisis pemborosan material dan biaya energi pada rantai pasok produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MFCA mampu meningkatkan transparansi biaya proses produksi. Namun, penelitian ini tidak menggabungkan dengan metode *six sigma* untuk mengukur kinerja proses secara kuantitatif, sehingga belum dapat menjelaskan hubungan antara variabilitas proses dan tingkat pemborosan.

Walz dan Guenther (2021) mengimplementasikan MFCA pada industri manufaktur untuk menilai efisiensi dan material dalam konteks ekonomi sirkular. Penelitian ini berkontribusi pada pemahaman mengenai pengelolaan sumber daya secara keberlanjutan, tetapi belum mengombinasikan MFCA dengan alat analisis akar penyebab seperti *fishbone diagram*, yang dapat membantu mengidentifikasi penyebab mendasar inefisiensi proses.

Penelitian Abdullah dan Amiruddin (2020) menggunakan MFCA dalam konteks industri manufaktur dengan fokus pengurangan biaya produksi dan limbah. Studi ini

menegaskan manfaat MFCA dalam mendeteksi area pemborosan dan meningkatkan profitabilitas. Namun, penelitian ini bersifat dan belum melakukan analisis statistik menggunakan *six sigma* atau *pareto*, sehingga masih terdapat peluang untuk penelitian lanjutan yang bersifat analitis dan kuantitatif.

Yang et al. (2021) meneliti *six sigma* dalam konteks peningkatan kualitas produk pada industri pertanian melalui metode DMAIC, yang dikombinasikan dengan *fishbone diagram* untuk menemukan akar penyebab cacat. Penelitian ini berhasil menurunkan tingkat *defect* secara signifikan di sektor manufaktur. Meskipun efektif dalam pengendalian kualitas, penelitian ini tidak menggunakan MFCA untuk menilai efisiensi biaya material dan energi, sehingga manfaat ekonominya belum sepenuhnya terukur.

Studi oleh Kokubo et al. (2023) berfokus pada industri FnB dengan menggunakan MFCA untuk mengevaluasi efisiensi aliran material dan identifikasi pemborosan. Penelitian ini menunjukkan peningkatan efisiensi sumber daya, namun tidak mengkaitkannya dengan pendekatan *six sigma* untuk mengendalikan variasi proses yang menyebabkan pemborosan, sehingga hasil perbaikan masih terbatas pada aspek biaya.

Penelitian Brochard et al. (2024) meneliti penerapan MFCA pada industri manufaktur dengan tujuan memperkuat keberlanjutan melalui pengurangan limbah dan peningkatan efisiensi sumber daya. Walaupun memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi biaya, studi ini tidak mengombinasikan MFCA dengan alat analisis kualitas seperti *fishbone diagram*, sehingga akar penyebab masalah utama pemborosan tidak teridentifikasi.

Penelitian oleh Holifahtus Sakdiyah et al. (2022) melakukan penelitian pada industri manufaktur yang memanfaatkan *fishbone diagram* untuk mengevaluasi biaya material dan energi. hasilnya menunjukkan bahwa penerapan *fishbone diagram* dapat meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi biaya tersembunyi. Namun, penelitian ini belum menerapkan pendekatan *six sigma* atau *pareto analysis* untuk memprioritaskan faktor penyebab utama pemborosan.

Studi yang dilakukan oleh Jum'a dan Basheer (2023) menerapkan *pareto analysis* pada industri manufaktur untuk mengidentifikasi inefisiensi biaya produksi. metode ini membantu perusahaan memahami kontribusi material negatif terhadap total biaya produksi. akan tetapi, penelitian ini tidak menggunakan alat statistik seperti *six sigma* atau DPMO untuk mengukur kinerja proses secara kuantitatif, sehingga analisisnya masih terbatas pada pengukuran biaya.

Penelitian Irfanto (2022) juga dilakukan pada industri manufaktur dengan penerapan *paresto analysis* untuk meningkatkan efisiensi biaya dan mengurangi pemborosan material. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi signifikan pada proses produksi, namun belum menggunakan pendekatan *six sigma* atau *fishbone diagram* untuk menemukan akar penyebab variasi proses.

Sementara itu, penelitian ini dilakukan pada sektor manufaktur, khususnya pada perusahaan manufaktur modul elektronik produsen *control board* untuk peralatan rumah tangga. Penelitian ini menggabungkan metode *material flow cost accounting*, *six sigma (DMAIC)*, *pareto analysis*, dan *fishbone diagram* secara bersamaan dalam satu penelitian. Tujuan utama penelitian ini adalah mengukur efisiensi material, dan biaya produksi sekaligus mengidentifikasi faktor-faktor penyebab utama pemborosan serta variasi proses produksi yang berdampak pada penurunan kualitas produk dan peningkatan biaya operasional

Kajian literatur menjadi dasar dan pedoman bagi penelitian yang dilakukan. Tabel 2.1 merupakan kajian literatur yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 2. 1 *Research Gap*

Penulis	Obyek (Industri)		Metode			
	FnB	Manufaktur	MFCA	Six Sigma	Pareto	Fishbone
Kitada, Tennojiya, Kim & Higashida (2022)		✓	✓			
Achibat, Lebkiri, Aouane, Lougraimzi, Berrid & Maqboul (2023)		✓		✓		
Fajri & Shauki (2023)	✓		✓			
Ariefiara, Theresa & Sari (2021)		✓	✓			
Byrne, McDermott & Noonan (2021)		✓		✓		
Walls, Putri & Beck (2023)		✓	✓			
Qu, Wang, Sun & Yin (2022)	✓		✓			
Walz & Guenther (2021)		✓	✓			

Penulis	Obyek (Industri)		Metode			
	FnB	Manufaktur	MFCA	Six Sigma	Pareto	Fishbone
Abdullah & Amiruddin (2020)		✓	✓			
Yang, Xiao & Gu (2021)		✓	✓			
Kokubu, Kitada, Nishitani & Shinohara (2023)	✓		✓			
Brochard, Liu, Wei, Heidbrink, Lin & Gorelenkov (2024)		✓				✓
Holifahtus Sakdiyah, Eltivia & Afandi (2022)		✓				✓
Jum'a & Basheer (2023)		✓			✓	
Irfanto (2022)		✓			✓	
Penelitian ini		✓	✓	✓	✓	✓

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Industri Elektronik

Industri elektronika memiliki peran strategis dalam perekonomian karena mampu menghasilkan pendapatan negara sekaligus menyerap tenaga kerja pada berbagai tingkatan, mulai dari operator hingga manajerial. Saat ini, produk elektronik telah menjadi kebutuhan primer, seperti telepon seluler, perangkat penerangan, hingga computer dan laptop yang semakin penitn seiring tren kerja dari rumah (Hayati et al., 2022).

Namun, Industri ini juga menggunakan bahan baku yang tergolong bahan berbahaya dan beracun (B3) serta menghasilkan *Scrap* B3 yang memerlukan penanganan khusus. Walaupun memberikan banyak manfaat, pengelolaan produk dan *Scrap* elektronik yang kurang tepat dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai metode manajemen pengelolaan *Scrap* yang tepat agar industry elektronik ini dapat terus melakukan perbaikan berkelanjutan.

Salah satu industri elektronik yang ada di Indonesia ini adalah industri elektronik yang memproduksi *control board* atau PCB. PCB (*Printed Circuit Board*) adalah komponen penting perangkat elektronik yang menghubungkan berbagai komponen melalui jalur

konduktif. PCB mengandung logam bernilai tinggi seperti tembaga, nikel, emas, dan perak, sehingga memiliki nilai ekonomi yang besar dan berpotensi didaur ulang (Sa, 2025). Namun banyak *Scrap* PCB dari perangkat rusak atau kesalahan pada saat produksi yang tak terpakai dan tidak dikelola secara baik yang hal tersebut menyebabkan kerusakan pada lingkungan. Gambar 2.1 adalah contoh Gambar dari PCB yang merupakan produk yang dihasilkan oleh perusahaan manufaktur yang diteliti.



Gambar 2.1 Printed Circuit Board

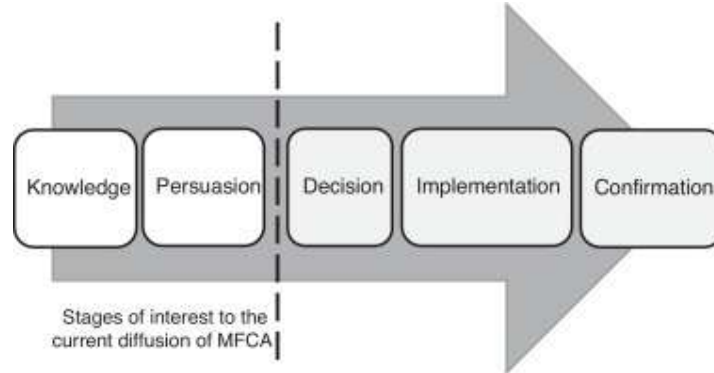
Source: <https://universaleco.id/en/pcb-pengertian-jenis-dan-pengelolaan-limbah-b3/>

2.2.2 Material Flow Cost Accounting

MFCA (*Material Flow Cost Accounting*) dianggap sebagai alat efektif untuk mencapai kinerja lingkungan dan ekonomi secara bersamaan dengan menganalisis aliran fisik maupun satuan moneter. Metode ini muncul pada awal 1990-an melalui proyek manajemen lingkungan di perusahaan Kunert di Jerman Selatan. Secara keseluruhan, MFCA telah menjadi salah satu alat paling menjanjikan dalam akutansi dan pertanggungjawaban lingkungan. MFCA merupakan komponen penting dalam kerrang *Environmental Management Accounting* (EMA) yang dipublikasikan oleh burrit dan rekan (Tran & Herzig, 2020). Proses Implementasi MFCA terdiri dari lima tahap yaitu:

1. Melibatkan manajemen serta menentukan peran dan tanggung jawab.
2. Menetapkan ruang lingkup dan batas proses serta membuat model aliran material.
3. Mengalokasikan biaya seperti biaya material, energi, sistem, dan pengelolaan *Scrap*.
4. Menafsirkan dan mengkomunikasikan hasil MFCA.
5. Meningkatkan praktik produksi serta mengurangi kehilangan material berdasarkan temuan MFCA.

Berikut ini merupakan Gambar 2.2 yang berisi tahapan dari MFCA.



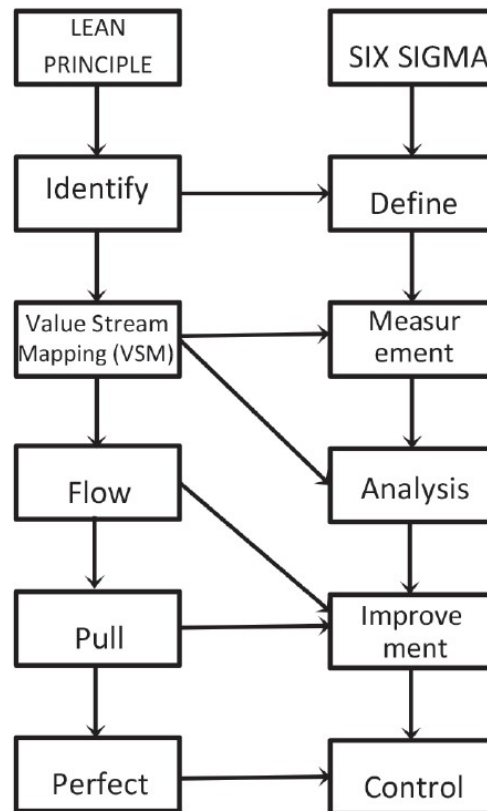
Gambar 2.2 Proses Implementasi MFCA

Source: (Tran & Herzig, 2020)

Tahapan ini telah dirumuskan menjadi kerangka umum oleh *International Organization for Standardization* melalui ISO 14051, dilanjutkan dengan ISO 14052 yang menekankan penerapan MFCA di rantai pasok, serta ISO 14053 yang focus pada implementasi MFCA. MFCA digunakan secara langsung untuk menghitung biaya *scrap* pada setiap *Workstation*. Dengan demikian, hasil perhitungan tidak hanya menunjukkan jumlah *scrap* dalam kilogram, tetapi juga nilai ekonomis yang hilang.

2.2.3 Six Sigma (DMAIC)

Six Sigma merupakan gabungan antara *Lean* dan *Six Sigma* yang diterapkan sebagai pendekatan sistematis dan sistematis untuk mengidentifikasi serta menghilangkan pemborosan atau aktivitas yang tidak menambah nilai melalui peningkatan berkelanjutan secara radikal dengan tujuan mencapai tingkat kinerja enam sigma (H, 2021). Gambar 2.3 merupakan penjelasan dari hubungan antara *Six Sigma* dengan *lean manufacturing*.



Gambar 2.3 *Relationship Between Six Sigma Models and Lean Principles*

Source: (H, 2021)

Six Sigma juga digunakan sebagai alat untuk meningkatkan kualitas produk dengan menurunkan tingkat cacat melalui lima tahap utama, yaitu *define* (identifikasi masalah), *measure* (pengukuran kinerja kualitas), *analyze* (analisis penyebab cacat), *improvement* (upaya perbaikan kualitas), dan *control* (pengendalian) (Soediantono, 2022). Prinsip lean six sigma menekankan bahwa setiap aktivitas yang berdampak pada kualitas kritis bagi konsumen atau menyebabkan penundaan yang signifikan merupakan peluang untuk melakukan perbaikan dan peningkatan dalam hal biaya, kualitas, modal, dan *lead time*. Six Sigma dianggap sebagai tahap lanjutan dari pengendalian kualitas yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk sehingga perusahaan dapat memberikan keuntungan yang lebih besar dan mempertahankan kepuasan pelanggan. Salah satu metode mengukur *scrap* pada *Workstation* pada studi kasus adalah menggunakan metode DPMO. *Defect per million opportunities* merupakan metode yang digunakan untuk menggambarkan jumlah cacat yang terjadi dalam satu juta peluang terjadinya cacat (Al-faritsy et al., 2022).

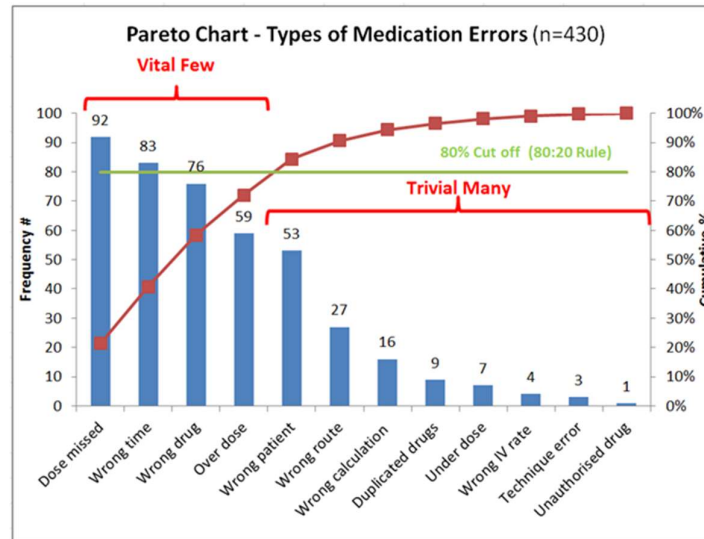
2.2.4 Alat Bantu Analisis Kualitas

Seven tools adalah instrument yang digunakan untuk menganalisis serta menangani permasalahan kualitas pada produk di perusahaan atau sektor industry (Nursyamsi & Momon, 2022). Metode ini termaksud ke dalam metode grafis sederhana untuk menyelesaikan masalah. Berikut merupakan *seven tools* diantaranya :

1. *Check Sheet*.
2. *Run Chart*
3. *Fishbone Diagram*
4. *Histogram*
5. *Scatter Diagram*
6. *Pareto Diagram*
7. *Control Chart*

A. *Pareto Analysis*

Diagram *pareto* merupakan alat yang berguna untuk mengenali dan memprioritaskan masalah dengan mengurutkannya berdasarkan tingkat kepentingannya (Nurjanah et al., 2024). Melalui diagram ini, masalah yang paling penting dan perlu segera ditangani (peringkat tertinggi) dapat diidentifikasi, begitu pula masalah yang tidak memerlukan penyelesaian segera (peringkat terendah). Selain itu, diagram *pareto* juga membantu menentukan masalah yang memberikan dampak paling signifikan terhadap upaya peningkatan kualitas. Diagram *pareto* digunakan untuk mengidentifikasi jenis cacat paling dominan dengan prinsip 80:20 yang memiliki arti 80% masalah kualitas didasarkan pada 20% masalah utama (Kayu et al., 2025). Pada Gambar 2.4 merupakan contoh dari penggunaan *pareto chart* dalam mengidentifikasi faktor masalah yang sedang dihadapi.



Gambar 2.4 Pareto Chart

Source: <https://www.cec.health.nsw.gov.au/CEC-Academy/quality-improvement-tools/pareto-charts>

B. Fishbone Diagram

Diagram *Fishbone*, atau dikenal juga dengan diagram Ishikawa digunakan untuk menunjukkan sebab-akibat. Diagram ini relevan dalam produktivitas dan manajemen karena dapat membantu mengidentifikasi faktor-faktor penyebab suatu masalah (Holifahtus Sakdiyah et al., 2022). Diagram *fishbone* membantu menampilkan faktor utama yang memengaruhi kualitas serta masalah yang muncul, serta memperlihatkan aspek lebih rinci yang berkairan dengan faktor utama tersebut. Faktor utama dalam diagram ini meliputi material (bahan baku), mesin (peralatan), manusia (tenaga kerja), metode (prosedur), dan lingkungan. Dari faktor-faktor ini kemudian dapat dirinci untuk menemukan akar masalah. Tahapan pembuatan diagram *fishbone* meliputi :

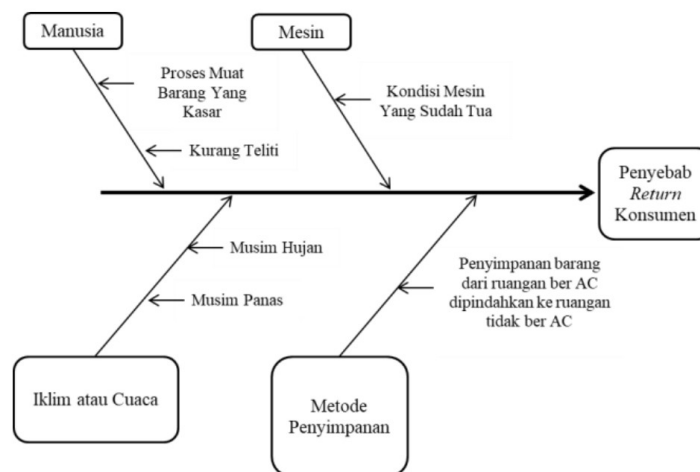
1. Menentukan masalah.
2. Menetapkan kategori atau faktor utama penyebab masalah.
3. Mengidentifikasi penyebab spesifik.
4. Menganalisis masalah melalui diagram.

Manfaat diagram ini antara lain:

1. Memperbaiki kualitas produk atau layanan berdasarkan kondisi nyata.
2. Efisiensi penggunaan sumber daya.
3. Pengurangan biaya.

4. Meminimalkan ketidaksesuaian produk dan keluhan pelanggan.
5. Standarisasi operasional.
6. Serta mendukung pelatihan dan pengambilan Keputusan bagi karyawan.

Keunggulan metode *fishbone* mencakup kemampuan menganalisis akar masalah secara mendalam, mudah diterapkan dengan representasi visual yang jelas, membantu focus pada identifikasi risiko yang menyeluruh, serta mempermudah penentuan Solusi berdasarkan penyebab masalah utama masalah. Diagram ini juga bermanfaat dalam manajemen pengetahuan karena kemungkinan pengumpulan ide kelompok secara sistematis untuk memahami masalah organisasi. Gambar 2.5 merupakan contoh penggunaan *fishbone diagram* dalam mengidentifikasi *root cause* dari sebuah permasalahan yang dilihat dari faktor manusia, mesin, metode, lingkungan.



Gambar 2.5 *Fishbone Diagram*

Source: (Holifahtus Sakdiyah et al., 2022)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah proses produksi pada perusahaan manufaktur modul elektronik yang menghasilkan *control board* untuk peralatan rumah tangga. Fokus penelitian ini diarahkan pada tujuh stasiun kerja yang dimiliki oleh perusahaan tersebut yang dimana menjadi rangkaian utama produksi, di mana setiap stasiun kerja menghasilkan tingkat *Scrap* dan *waste* yang berbeda-beda. Fokus kajiannya terletak pada pengukuran *waste* dengan MFCA, mereduksi *Scrap Six Sigma* (DMAIC), mengidentifikasi masalah utama dengan analisis *pareto*, dan menggunakan *fishbone diagram* untuk menemukan akar masalah utama.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan jenis data sekunder karena berasal dari data historis sebuah perusahaan manufaktur modul elektronik yang sudah dikumpulkan sebelumnya, data ini mencakup jumlah *scrap* dan *waste*, data biaya produksi dan biaya energi yang digunakan dalam memproduksi *control board* serta biaya penanganan dari *scrap* maupun *waste* ditambah juga biaya pendapatan dari penjualan sisa hasil produksi.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data historis yang diperoleh dari perusahaan manufaktur modul elektronik yang memproduksi *control board* untuk berbagai jenis peralatan rumah tangga. Data tersebut mencakup informasi mengenai jumlah *scrap* dan *waste* yang dihasilkan selama proses produksi *control board*. Selain itu, data juga memuat biaya produksi dan biaya energi yang digunakan dalam proses pembuatan *control board*, serta biaya penanganan *scrap* dan *waste* yang meliputi proses pengumpulan, pemindahan, dan pembuangan, dan biaya pendapatan *recycling* sisa hasil produksi. Data historis ini juga dilengkapi dengan rincian kegiatan produksi pada setiap *Workstation*, yang memberikan Gambaran menyeluruh mengenai alur proses produksi di perusahaan.

3.4 Menghitung Jumlah *Material Input*

Menghitung jumlah material yang digunakan, produk yang dihasilkan, dan scrap yang hilang dalam satuan fisik (kg/day) dengan menggunakan Rumus 3.1 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM berikut merupakan cara menghitung *input*:

$$\text{Material Input} = \text{Product Output} + \text{Material Loss Output} \quad (3.1)$$

3.5 Menghitung Jumlah produk negatif

Jumlah banyaknya *material loss output* per stasiun kerja dapat dihitung dengan Rumus 3.2 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM berikut merupakan cara menghitung jumlah produk negatif:

$$\text{Material loss Output} = \text{Material Input} \times \text{Scrap Rate} \quad (3.2)$$

3.6 Menghitung Jumlah produk positif

Jumlah banyaknya produk *output* per stasiun kerja dapat dihitung dengan Rumus 3.3 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM berikut merupakan cara menghitung jumlah produk positif:

$$\text{Product Output} = \text{Material Input} - \text{Material loss output} \quad (3.3)$$

3.7 Menghitung Biaya Produk negatif

Untuk mengetahui nilai biaya yang dikeluarkan untuk *cost of material loss* dapat dihitung dengan Rumus 3.4 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM berikut merupakan cara menghitung *costs* dari produk negatif:

$$\text{Cost of Material Loss} = \text{Quantity of Loss} \times \text{Unit Cost of Material} \quad (3.4)$$

3.8 Menghitung Biaya Produk positif

Nilai dari *output produk* dapat dihitung dengan Rumus 3.5 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM berikut merupakan cara menghitung *costs* dari produk positif:

$$\text{Cost of Output} = \text{Quantity of Output} \times \text{Unit cost of material} \quad (3.5)$$

3.9 Menghitung *Material Unit Cost*

Untuk mengetahui berapa *Material Unit Cost* yang dibutuhkan untuk memproduksi sebuah unit dapat menggunakan Rumus 3.6 dan Rumus 3.7 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM sebagai berikut:

$$\text{Material Unit Cost} = \text{Base material cost} + \text{Consumable cost} \quad (3.6)$$

$$\text{Cost per Kg} = \text{Material Unit Cost} / \text{Input(Kg)} \quad (3.7)$$

3.10 Menghitung Biaya Energi

Untuk mengetahui berapa biaya energi yang dibutuhkan untuk memproduksi sebuah unit dapat menggunakan Rumus 3.8 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM sebagai berikut:

$$\text{Biaya Energi} = \frac{\text{Total Biaya Energi}}{\text{Banyak Unit yang Diinput}} \quad (3.8)$$

3.11 Menghitung *Handling Costs*

Dalam mengetahui berapa banyak biaya yang dibutuhkan untuk mengelola *waste* pada setiap *Workstation* digunakan Rumus 3.9 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM sebagai berikut:

$$\text{Waste handling cost} = \text{handling cost} / \text{waste} \quad (3.9)$$

3.12 Menghitung *Recycling Credit*

Untuk mengetahui *revenue* dari penjualan sisa limbah produksi dapat menggunakan rumus 3.10 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM sebagai berikut:

$$\text{Recycling credit} = \text{Revenue recycling} / \text{Scrap} \quad (3.10)$$

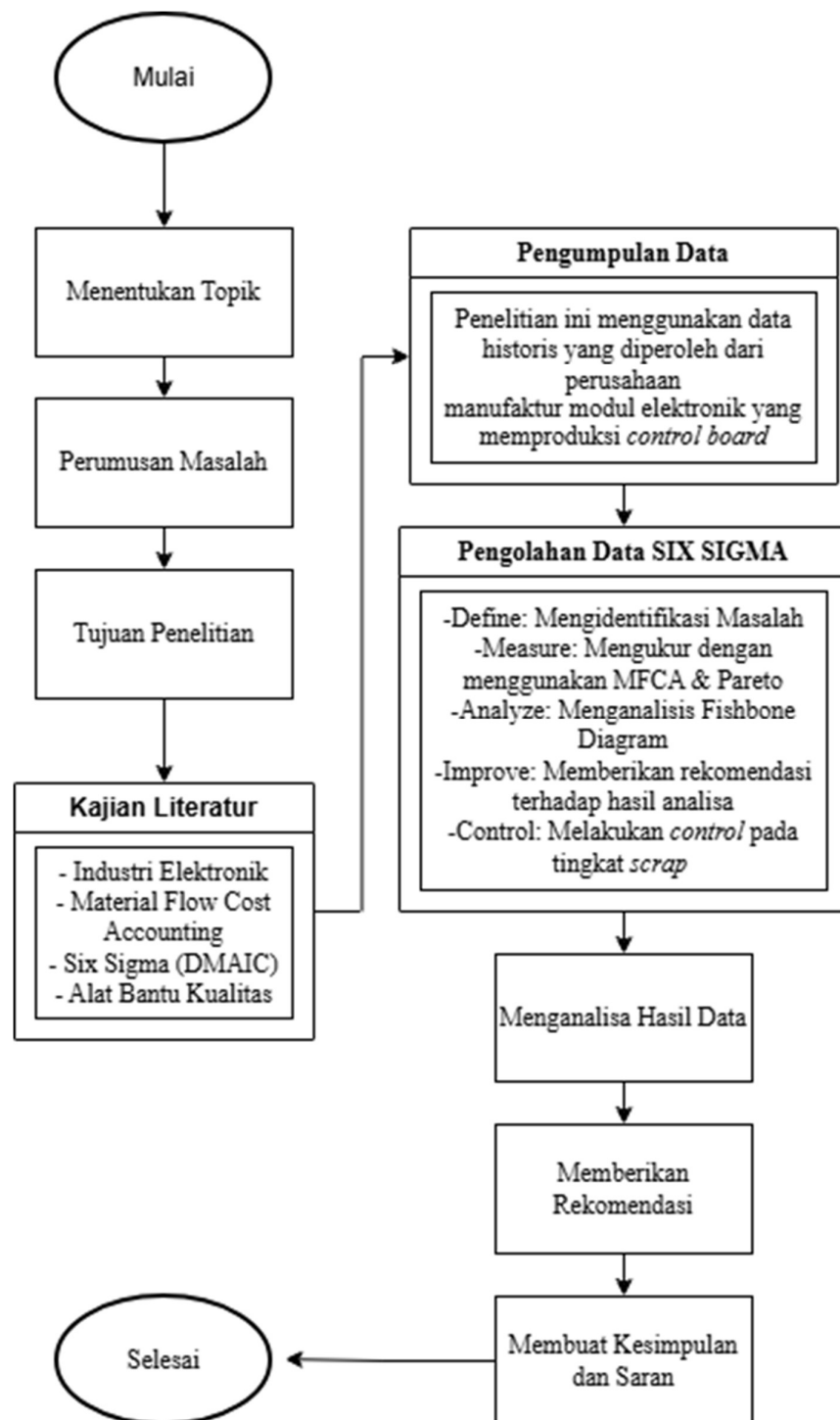
3.13 Total MFCA Costs

Total MFCA dapat diketahui dengan menjumlahkan produk positif dengan produk negatif dengan Rumus 3.11 dari PPT yang diberikan oleh bapak Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM sebagai berikut:

$$\text{MFCA} = \text{Material Costs} + \text{Energy Costs} + \text{Handling Cost} - \text{Recycling Costs} \quad (3.11)$$

3.14 Tahapan Penelitian

Pada Gambar 3.1 merupakan tahapan dari penelitian ini :



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Proses yang dilakukan pada penelitian ini meliputi Penelitian ini diawali dengan menentukan topik mengenai perusahaan manufaktur *control board* yang mengalami inefisiensi material dan pemborosan biaya produksi, kemudian dirumuskan menjadi permasalahan terkait besarnya *scrap*, faktor penyebabnya, serta strategi perbaikannya, yang selanjutnya diturunkan menjadi tujuan penelitian untuk mengukur, menganalisis, dan merumuskan rekomendasi; tahapan ini diperkuat dengan kajian literatur yang mencakup industri elektronik, *material flow cost accounting*, *Six Sigma* (DMAIC), dan alat bantu kualitas, sebelum alur berlanjut ke tahap pengumpulan data historis (data sekunder) dari perusahaan yang memproduksi *control board*, lalu diolah menggunakan pendekatan *Six Sigma* DMAIC secara berurutan mulai dari *define* (identifikasi masalah), *measure* (pengukuran *scrap* dengan MFCA dan *pareto chart*), *analyze* (penelusuran akar penyebab dengan *fishbone diagram*), *improve* (perumusan rekomendasi), hingga *control* (pengendalian tingkat *scrap*), yang kemudian hasilnya dianalisis lebih lanjut untuk dipastikan menjawab rumusan masalah, dituangkan menjadi rekomendasi perbaikan konkret, dan diakhiri dengan penyusunan kesimpulan serta saran sebagai penutup penelitian.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

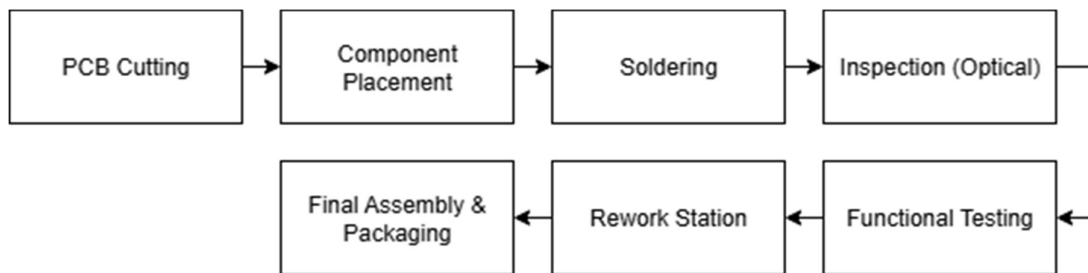
4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Profil Perusahaan

Sebuah perusahaan manufaktur modul elektronik yang memproduksi *control board* untuk peralatan rumah tangga memiliki lini produksi yang terdiri dari tujuh stasiun kerja (*Workstation 1-Workstation 7*), di mana masing-masing stasiun memberikan kontribusi berbeda terhadap jumlah *scrap* dan limbah. Baru-baru ini, manajemen mencatat adanya peningkatan kehilangan material, tingginya frekuensi *rework*, serta kenaikan biaya yang tidak berkelanjutan akibat pembuangan limbah dan inefisiensi energi.

4.1.2 Alur Proses Produksi Control Board

Proses produksi *control board* pada perusahaan manufaktur modul elektronik dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berurutan. Pada Gambar 4.1 merupakan urutan proses produksi pada perusahaan manufaktur modul elektronik dalam memproduksi control board.



Gambar 4.1 Alur Proses produksi

Setiap tahapan memiliki fungsi spesifik dalam membentuk kualitas akhir produk serta memengaruhi tingkat efisiensi material dan energi. Secara umum, alur produksi dimulai dari pemotongan bahan dasar (*PCB Cutting*) hingga tahap akhir berupa perakitan dan pengemasan produk (*final assembly and packaging*). Berikut merupakan urutan proses produksi yang berlangsung pada lini perakitan *control board*:

1. PCB Cutting

Tahap pertama adalah pemotongan *printed circuit board* (PCB) sesuai ukuran dan spesifikasi produk. Lembaran PCB dipotong menggunakan mesin pemotong presisi untuk

memastikan dimensi sesuai standar desain. Tahapan ini sangat penting karena ketidaktepatan ukuran dan memengaruhi kesesuaian komponen pada proses berikutnya.

2. *Component Placement*

Setelah pemotongan selesai, proses dilanjutkan dengan *component placement*, yaitu penempatan komponen elektronik seperti resistor, kapasitor, IC dan konektor pada permukaan PCB. Proses ini dilakukan menggunakan mesin secara otomatis untuk menjamin keakuratan posisi dan kecepatan produksi.

3. *Soldering*

Pada tahap *soldering*, komponen yang telah ditempatkan disambungkan ke jalur konduktor PCB melalui proses penyolderan. Umumnya digunakan metode *wave soldering* atau *reflow soldering*, tergantung jenis papan dan komponen yang digunakan. Tahapan ini memastikan koneksi listrik antar komponen berjalan optimal.

4. *Inspection (Optical)*

Setelah penyolderan, dilakukan pemeriksaan visual atau *optical inspection* untuk mendeteksi adanya cacat, misalnya sambungan solder yang tidak sempurna, kesalahan posisi komponen, atau jalur yang rusak.

5. *Functional Testing*

Pada tahap ini, *control board* diuji secara fungsional untuk memastikan seluruh rangkaian bekerja sesuai dengan spesifikasi. Pengujian meliputi pemeriksaan tegangan, arus, sinyal output, dan fungsi control. Produk yang tidak memenuhi standar akan ditandai untuk diperbaiki di stasiun *rework*.

6. *Rework Station*

Unit yang terdeteksi cacat selama pengujian akan dikirim ke *rework station*. Pada tahap ini, dilakukan perbaikan seperti penggantian komponen rusak, penyolderan ulang atau penyesuaian sirkuit. Meskipun bertujuan untuk memperbaiki cacat. Proses *rework* juga menjadi sumber potensi pemborosan material dan energi jika terjadi secara berlebihan.

7. *Final Assembly and Packaging*

Setelah seluruh unit dinyatakan lolos uji fungsi, produk dilanjutkan ke tahap *final assembly* di mana papan control dirakit bersama komponen pendukung lainnya sesuai kebutuhan pelanggan. Tahap akhir adalah *packaging*, yaitu pengemasan produk jadi untuk melindungi dari kerusakan fisik selama penyimpanan dan distribusi.

4.1.3 Identifikasi *Workstation*

Proses produksi *control board* pada perusahaan manufaktur modul elektronik dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari pemotongan papan sirkuit hingga tahap akhir pengemasan produk. Setiap *Workstation* (*Workstation 1-Workstation 7*) memiliki fungsi dan karakteristik berbeda, baik dari segi jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan. Berikut merupakan uraian tahapan proses produksi pada setiap *Workstation*.

1. *Workstation 1 – PCB Cutting*

pada Tabel 4.1 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 1* dapat dilihat.

Tabel 4. 1 Identifikasi *Workstation 1*

<i>Workstation 1</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>FR-4 copper-clad laminates (panelized).</i>
<i>Consumable</i>	<i>Router bits, fixture tapes, coolant/mist, panel labels, cleaning wipes.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Offcut collection, bin transport, baling, external hauling fee</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Copper slivers & trimmed traces (sold as scrap); small FR-4 recovery.</i>

Pada stasiun kerja pertama, bahan dasar berupa laminat FR-4 berlapis tembaga dipotong sesuai ukuran panel yang dibutuhkan. Proses ini menggunakan alat seperti *router bits* dan *fixtures tapes* serta memerlukan pendinginan dan cairan pembersih. Limbah utama yang dihasilkan berupa potongan sisa yang dikumpulkan dan dibawa ke tempat pembuangan atau didaur ulang. Sebagian sisa tembaga dan potongan FT-4 masih dapat dijual sebagai *scrap* dan menjadi sumber *recycling credit*.

2. Workstation 2 – Component Placement

Pada Tabel 4.2 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 2* dapat dilihat.

Tabel 4. 2 Identifikasi *Workstation 2*

<i>Workstation 2</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>“In-process board” value entering SMT: bare PCB + pre-added value.</i>
<i>Consumable</i>	<i>Solder paste, flux, feeder tapes & reels, stencil wipes, nozzle wear.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Reel/tape waste, mispicks, paste scrap collection & disposal.</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Copper/metal leads, minimal IC salvage, cardboard cores.</i>

Tahapan ini melibatkan penempatan komponen elektronik pada PCB menggunakan mesin *surface mount technology* (SMT). Bahan utama berupa papan PCB yang telah melalui tahap pemotongan, sedangkan bahan habis pakai mencakup *solder paste, flux, feeder tapes*, dan *stencil wipes*. Limbah yang dihasilkan berasal dari *reel* atau *tape* sisa, kesalahan penempatan komponen, dan sisa pasta solder. Beberapa material seperti logam tembaga atau kaki komponen dapat dijual Kembali dengan didaur ulang.

3. Workstation 3 – Soldering

Pada Tabel 4.3 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 3* dapat dilihat.

Tabel 4. 3 Identifikasi *Workstation 3*

<i>Workstation 3</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>In-process assemblies before soldering (board + components).</i>
<i>Consumable</i>	<i>Solder alloy top-up/wave bar, flux, thermocouples, pallets.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Solder dross collection, flux residue treatment, filters.</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Solder dross recovery</i> (tin/lead/SAC reclaimed), scrap trays.

Pada tahap ini penyolderan, dilakukan penyambungan komponen ke jalur konduktor PCB menggunakan metode *wave soldering* atau *reflow soldering*. Bahan habis pakai mencakup panduan solder (timah, timbal, SAC), flux, dan pallet. Limbah yang muncul berupa residu solder dan flux, sedangkan Sebagian besar timah atau Paduan solder yang mengendap dapat diproses Kembali sebagai hasil daur ulang (*solder dross recovery*)

4. Workstation 4 – Optical Inspection

Pada Tabel 4.4 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 4* dapat dilihat.

Tabel 4. 4 Identifikasi *Workstation 4*

<i>Workstation 4</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>In-process assembly value entering AOI.</i>
<i>Consumable</i>	<i>Cleaning swabs, ESD materials, AOI wipes, labels/markers.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Defect binning/segregation, labeling, internal transfer.</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Minor packaging/cardboard, limited metal recovery.</i>

Setelah proses penyolderan selesai, papan control diperiksa secara optic untuk mendeteksi cacat seperti solder tidak sempurna, salah posisi, atau komponen hilang. Proses ini menggunakan bahan seperti swab pembersih, bahan ESD, dan label penanda. Limbah berasal dari penyortiran produk cacat dan pelabelan internal, sementara bahan kemasan dan logan dalam jumlah kecil dapat dimanfaatkan kembali.

5. *Workstation 5 – Functional Testing*

Pada Tabel 4.5 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 5* dapat dilihat.

Tabel 4. 5 Identifikasi *Workstation 5*

<i>Workstation 5</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>Fully soldered assemblies before test (highest WIP value).</i>
<i>Consumable</i>	<i>Test probes wear, fixtures inserts, isopropyl/cleaners, labels.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Failure isolation flow, E-scrap segregation, paperwork handling.</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Metals in failed units; pallet/packaging salvage.</i>

Pada tahap ini, *control board* yang telah disolder diuji fungsi kelistrikan dan performanya. Bahan habis pakai antara lain probe uji, isopropyl/*cleaner*, serta label identifikasi. Limbah yang dihasilkan berupa produk gagal dan dokumen administrasi yang harus dipisahkan. Namun, logam dari unit gagal serta kemasan kayu/pallet masih bisa digunakan Kembali sebagai hasil *recycling credit*.

6. *Workstation 6 – Rework Station*

Pada Tabel 4.6 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 6* dapat dilihat.

Tabel 4. 6 Identifikasi *Workstation 6*

<i>Workstation 6</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>High value WIP (boards + components entering rework).</i>
<i>Consumable</i>	<i>Flux pens, solder wire/paste, braid, hot-air nozzles, adhesives.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Solder/flux residue, E-waste, component cannibalization logistics.</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Dross & metal recovery, limited component salvage.</i>

Unit yang tidak lolos uji fungsi akan dikirim ke stasiun *rework* untuk diperbaiki, tahapan ini menggunakan bahan seperti *flux pen*, *solder paste*, *braid*, dan perekat. Limbah yang dihasilkan berupa residu solder, limbah elektronik, serta sisa komponen yang tidak dapat digunakan. Beberapa logam dan solder bekas masih bisa didaur ulang, namun kegiatan *rework* yang berlebihan dapat meningkatkan biaya dan pemborosan material.

7. *Workstation 7 – Final Assembly and Packaging*

Pada Tabel 4.7 jenis material yang digunakan, bahan penunjang proses, hingga jenis limbah dan potensi daur ulang yang dihasilkan pada *Workstation 7* dapat dilihat.

Tabel 4. 7 Identifikasi *Workstation 7*

<i>Workstation 7</i>	<i>Note</i>
<i>Base material</i>	<i>Enclosures, fasteners, labels, packing materials by weight.</i>
<i>Consumable</i>	<i>Adhesives, tape, desiccant, ESD bags, carton inserts.</i>
<i>Waste Handling</i>	<i>Carton & film scrap, pallet strapping disposal.</i>
<i>Recycling Credit</i>	<i>Cardboard/pallet recycling, small metal trimmings.</i>

Tahapan terakhir adalah perakitan akhir dan pengemasan produk. Pada tahap ini digunakan bahan seperti *enclosure*, sekrup, label, pita perekat, dan bahan kemasan seperti karton atau ESD *bag*. Limbah yang dihasilkan berupa potongan karton, plastik pembungkus, dan sisa tali pengikat pallet. Sebagian besar bahan kemasan seperti karton dan pallet masih dapat didaur ulang, sedangkan sisa logam kecil dapat dijual sebagai *scrap*.

4.1.4 Input Material

Pada Tabel 4.8 merupakan data material input yang dibutuhkan perusahaan dalam memproduksi control board perhari.

Tabel 4. 8 Material *Input*

Material input	
50	kg/day

Perusahaan manufaktur modul elektronik dalam memproduksi *control board* setidaknya memasukkan *material input* 50 kg perhari sebagai bahan baku dalam pembuatan *control board*. Data ini menjadi merepresntasikan kapasitas produksi harian dan juga sebagai estimasi dasar kebutuhan material perhari yang harus dipenuhi perusahaan dalam memproduksi sebuah *control board*.

4.1.5 Data Produksi Perusahaan

Workstation atau stasiun kerja merupakan area, tempat atau lokasi dimana proses aktivitas produksi dilakukan, proses produksi ini meliputi pengolahan bahan baku menjadi produk yang menambah nilai (Handayani & Hayati, 2022). Pada stasiun kerja menjadi dasar untuk mengolah kebutuhan suplai, merencanakan persediaan dan menghasilkan *Scrap*. Dengan mengetahui banyaknya *Scrap* yang dihasilkan perusahaan mampu mengestimasi atau memantau efisiensi penggunaan bahan, mengendalikan biaya produksi, serta sejauh mana tingkat *Scrap* di setiap work station memengaruhi pemakaian bahan baku keseluruhan Tabel 4.9 merupakan data banyaknya *Scrap* yang dihasilkan oleh perusahaan manufaktur modul elektronik dalam memproduksi *control board* setiap harinya.

Tabel 4. 9 Tingkat *Scrap*

<i>Workstation</i>	Function	<i>Scrap</i> Rate (%)
<i>Workstation 1</i>	PCB Cutting	4
<i>Workstation 2</i>	Component Placement	6
<i>Workstation 3</i>	Soldering	8
<i>Workstation 4</i>	Inspection (Optical)	3
<i>Workstation 5</i>	Functional Testing	7
<i>Workstation 6</i>	Rework Station	10

<i>Workstation</i>	<i>Function</i>	<i>Scrap Rate (%)</i>
<i>Workstation 7</i>	Final Assembly & Packaging	2

Pada Tabel tersebut menampilkan rangkaian stasiun kerja yang terlibat dalam proses produksi modul elektronik berserta fungsi masing-masing dan tingkat *Scrap rate* atau persentase material yang hilang/rusak pada setiap tahapannya. Berikut merupakan rincian dari *Scrap rate* masing-masing *work station*

- *Workstation 1 – PCB cutting* sebesar 4 % pada *Workstation* ini memiliki potensi kehilangan material terjadi saat proses pemotongan papan sirkuit, misalnya akibat tidaktepatan pemotongan atau kerusakan tepi PCB.
- *Workstation 2 – Component placement* sebesar 6 % hal yang menyebabkan timbulnya *Scrap* pada proses ini adalah kesalahan penempatan komponen atau kerusakan kecil saat pemasangan komponen elektronik ke PCB.
- *Workstation 3 – Soldering* sebesar 8 % tahap ini merupakan tahapan yang paling rawan menyumbang cacat pada saat menyambung bagian-bagian *control board*. Seperti solder retak atau hubungan tidak sempurna yang mengakibatkan komponen harus diganti.
- *Workstation 4 – Inspection (Optical)* sebesar 3 % tingkat *Scrap* pada *Workstation* ini relatif rendah karena pada proses ini hanya berfokus pada pemeriksaan visual saja.
- *Workstation 5 – Functional testing* sebesar 7 % presentase *Scrap* disebabkan oleh unit yang gagal dalam pengujian yang gagal dalam pengujian fungsi dan memerlukan pembuangan atau penggantian komponen.
- *Workstation 6 – Rework station* memiliki tingkat *scrap* dengan presentase tertinggi yaitu 10 %, karena proses perbaikan dan pengerjaan ulang sering menimbulkan *Scrap* tambahan dan memerlukan evaluasi prosedur.
- *Workstation 7 – Final assembly & packaging* yang menyumbangkan *Scrap* terendah yaitu 2 % saja. Pada proses terakhir ini menunjukkan bahwa proses perakitan akhir dan pengemasan berlangsung relatif stabil dan efisien.

Karena proses produksi ini berupa rangkaian seri maka jumlah material input setiap *Workstation* akan berbeda tergantung dengan jumlah *output* dari sebelumnya. Pada Tabel 4.10 merupakan data dari setiap *scrap* yang dihasilkan pada setiap *Workstation* yang dipengaruhi oleh *material input* dari keluaran sebelumnya.

Tabel 4. 10 Jumlah *Scrap*

Data Produksi PCB			
<i>Workstation</i>	Produk Positif / New Input	Produk Negatif	Satuan
Input Awal	50	-	Kg/Day
<i>Workstation 1</i>	48	2	kg/day
<i>Workstation 2</i>	45,1	2,9	kg/day
<i>Workstation 3</i>	41,5	3,6	kg/day
<i>Workstation 4</i>	40,3	1,2	kg/day
<i>Workstation 5</i>	37,4	2,8	kg/day
<i>Workstation 6</i>	33,7	3,7	kg/day
<i>Workstation 7</i>	33,0	0,7	kg/day
Total	33,03	16,97	kg/day

Untuk mengetahui jumlah sebenarnya berapa *Scrap* setiap *Workstation* yang dihasilkan maka kita dapat menggunakan rumus berikut:

$$\text{Scrap} = \text{Material Input} \times \text{Scrap Rate}$$

- *Workstation 1*

$$\text{Scrap} = 50 \times 0,04 = 2 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja pertama atau *PCB Cutting* dihasilkan total *Scrap sebesar* 2 kg/day.

- *Workstation 2*

$$\text{Scrap} = 48 \times 0,06 = 2,9 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja kedua atau *component placement* dihasilkan total *Scrap sebesar* 2,9 kg/day.

- *Workstation 3*

$$\text{Scrap} = 45,1 \times 0,08 = 3,6 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja ketiga atau *soldering* dihasilkan total *Scrap sebesar* 3,6 kg/day.

- *Workstation 4*

$$\text{Scrap} = 41,5 \times 0,03 = 1,2 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja keempat atau *inspection (optical)* dihasilkan total *Scrap sebesar* 1,2 kg/day.

- *Workstation 5*

$$\text{Scrap} = 40,3 \times 0,07 = 2,8 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja kelima atau *functional testing* dihasilkan total *Scrap sebesar 2,8 kg/day*.

- *Workstation 6*

$$\text{Scrap} = 37,4 \times 0,10 = 3,7 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja keenam atau *rework station* dihasilkan total *Scrap sebesar 3,7 kg/day*.

- *Workstation 7*

$$\text{Scrap} = 33,7 \times 0,02 = 0,7 \text{ kg/day}$$

Pada stasiun kerja terakhir atau *final assembly & packaging* dihasilkan total *Scrap sebesar 1 kg/day*.

Setelah jumlah material *input* dan *scrap* pada setiap *Workstation* diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah produk output yang dihasilkan. Nilai output ini menunjukkan jumlah material yang berhasil dikonversi menjadi produk jadi atau produk bernilai tambah pada setiap tahapan proses produksi. Dengan menghitung *produk output* dapat diketahui tingkat efisiensi pemanfaatan material di tiap *Workstation* serta kontribusinya terhadap hasil akhir proses produksi *control board*. Tetapi, sebelum itu kita perlu mengetahui berapa jumlah material yang hilang dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Total material loss output} = \text{Material Input} - \text{Material loss output WS 1} - 7$$

$$\text{Total material material loss output} = 50 - (2 + 2,9 + 3,6 + 1,2 + 2,8 + 3,7 + 0,7$$

$$\text{Total material material loss output} = 17$$

Setelah diketahui jumlah material yang hilang barulah dapat menghitung jumlah *output* produk positif. Jumlah produk positif dapat diketahui dengan rumus berikut:

$$\text{Product Output} = \text{Material Input} - \text{Material loss output}$$

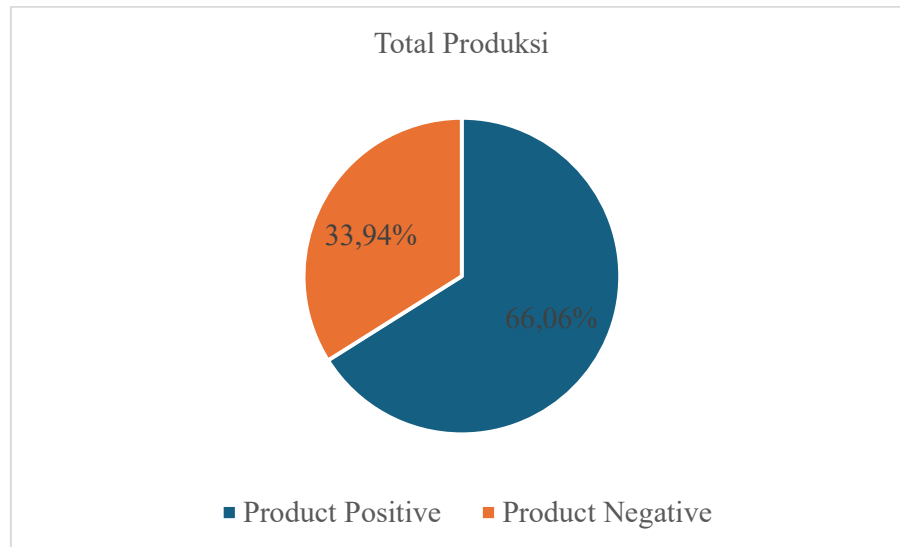
$$\text{Product Output} = 50 - 17$$

$$\text{Product Output} = 33$$

4.2 Pengolahan Data

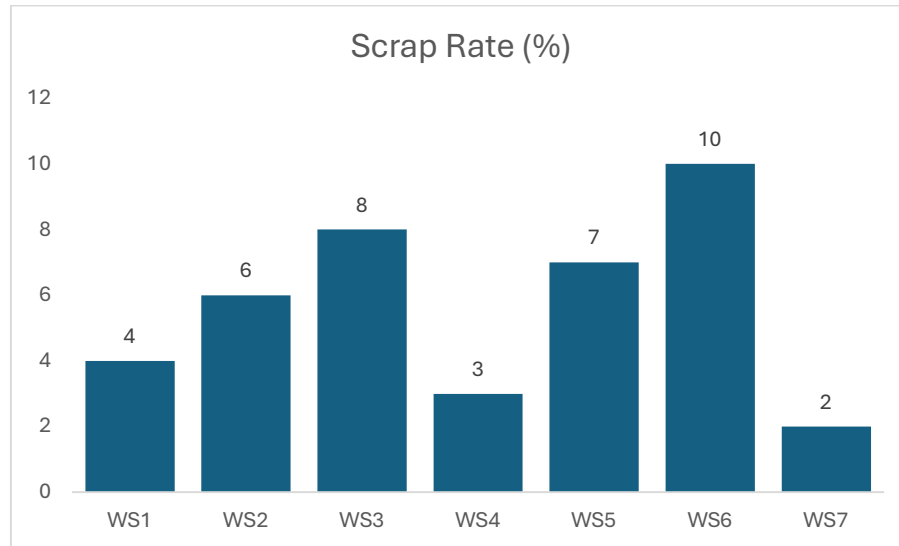
4.2.1 Tahap *Define*

Permasalahan yang dialami perusahaan manufaktur yang memproduksi *control board* adalah tingginya biaya yang harus dikeluarkan pada proses produksi sehingga terjadi pemborosan pada beberapa titik produksi. Pada Gambar 4.2 dapat terlihat perbandingan antara produk positif dan produk negatif.



Gambar 4.2 Total Produksi.

Berdasarkan data produksi dengan input 50 kg per hari, diketahui bahwa hanya 66,06% produk yang menjadi produk positif, sedangkan 33,94% lainnya merupakan produk cacat. Hal ini menunjukkan bahwa dari total bahan baku yang digunakan, sekitar 33 kg berhasil menjadi produk positif, sementara 17 kg menjadi produk negatif. Proses produksi pada perusahaan ini terdiri dari 7 *Workstation* yang masing-masing memiliki kontribusi terhadap tingkat scrap. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat jumlah *scrap* yang terbentuk dari masing-masing *Workstation*.



Gambar 4.3 *Scrap Rate*.

Berdasarkan grafik rate, terlihat adanya ketidak seimbangan tingkat cacat di sepanjang proses produksi. Variasi ini mengindikasikan adanya ketidakkonsistenan dalam proses produksi, tingginya *scrap* ini menimbulkan adanya *hidden cost* yang menyebabkan pemborosan dan kerugian pada perusahaan.

4.2.2 Tahap Measure

Tahap *measure* dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *material flow cost accounting* (MFCA) untuk mengukur serta mengidentifikasi kerugian biaya yang terbuang selama proses produksi. Pengukuran ini didasarkan pada jumlah *scrap* yang dihasilkan pada masing-masing *Workstation*, sehingga dapat diketahui besarnya kerugian material selama proses produksi.

A. Identifikasi dan Klasifikasi Struktur Biaya Produksi

Dalam proses produksi *control board*, setiap *Workstation* tidak hanya menggunakan material dan energi yang berbeda, tetapi juga menghasilkan biaya pengendalian yang berbeda dan terdapat pemasukan dari daur ulang *scrap*. Oleh karena itu, diperlukan pengumpulan dan pengolahan data biaya yang mencakup seluruh aspek penggunaan sumber daya. Data biaya ini terdiri atas biaya material per kilogram, biaya energi per hari, biaya penanganan limbah per kilogram, dan nilai kredit daur ulang. Informasi tersebut menjadi dasar dalam penerapan metode *material flow cost accounting* (MFCA) untuk mengetahui total biaya aktual yang timbul akibat penggunaan material, energi, dan pengolahan limbah di setiap *Workstation* (*Workstation 1-Workstation 7*).

1) Data Biaya Material (*Material Cost*)

Dalam proses produksi *control board*, setiap *Workstation* tidak hanya menggunakan material dan energi yang berbeda, tetapi juga menghasilkan jenis limbah serta potensi daur ulang yang bervariasi. Oleh karena itu, diperlukan pengumpulan dan pengolahan data biaya yang mencakup seluruh aspek penggunaan sumber daya. Data biaya ini terdiri atas biaya material per kilogram, biaya energi per hari, biaya penanganan limbah per kilogram, dan nilai kredit daur ulang. Informasi tersebut menjadi dasar dalam penerapan metode *material flow cost accounting* (MFCA) untuk mengetahui total biaya aktual yang timbul akibat penggunaan material, energi, dan pengolahan limbah di setiap *Workstation* (*Workstation 1-Workstation 7*).

Biaya material menjadi komponen utama yang berkontribusi paling besar terhadap total biaya produksi dan potensi kerugian akibat *scrap* atau *waste*. Untuk itu, dilakukan perhitungan *material unit cost* per kilogram, yang terdiri dari biaya bahan baku utama dan biaya bahan penunjang yang habis selama proses produksi di setiap *Workstation*. Dengan ketentuan biaya material sebagai berikut:

a) *Base material cost/kg*

Biaya bahan baku utama per kg (misalnya FR-4, *solder alloy*, komponen semikonduktor bila ditimbang). Angka ini mencerminkan nilai material yang hilang atau terpakai bila dihitung per kg input. Tabel 4.13 merupakan rincian dari *Base material cost/kg*.

Tabel 4. 11 *Base material cost/kg*.

Material unit costs	<i>Workstation 1</i>	<i>Workstation 2</i>	<i>Workstation 3</i>	<i>Workstation 4</i>	<i>Workstation 5</i>	<i>Workstation 6</i>	<i>Workstation 7</i>
Base material cost/kg	90000	112500	135000	75000	165000	180000	60000

b) *Consumable cost/kg*

Biaya bahan pendukung yang habis pakai per kg material (misalnya *flux*, *solder paste*, pembersih, *tape*, *nozzle*). Biasanya dihitung sebagai alokasi biaya habis pakai terhadap berat material yang diproses sehingga muncul nilai per-kg. Pada Tabel 4.14 merupakan rincian dari *Consumable cost/kg*

Tabel 4. 12 *Consumable cost/kg*

Material unit costs	Workstation 1	Workstation 2	Workstation 3	Workstation 4	Workstation 5	Workstation 6	Workstation 7
Consumable cost/kg	22500	37500	52500	37500	60000	82500	15000

2) Data Biaya Energi (*Energy Cost*)

Selain biaya material, proses produksi *control board* juga memerlukan konsumsi energi yang cukup besar pada setiap *Workstation*. Energi digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan seperti mesin pemotong, *pick and place*, *reflow soldering*, sistem pendingin, hingga alat uji fungsional. Oleh karena itu, perhitungan energi digunakan dalam proses produksi. data itu meliputi biaya listrik, udara bertekanan (*compressed air*), dan gas nitrogen yang dikonsumsi setiap hari di masing-masing *Workstation*. Hasil perhitungan ini akan menjadi bagian penting dalam analisis efisiensi proses menggunakan metode *material flow cost accounting*. Tabel 4.15 merupakan rincian biaya energi yang digunakan dalam proses produksi

Tabel 4. 13 *Energy Costs*

<i>Energy costs</i>	<i>Workstation 1</i>	<i>Workstation 2</i>	<i>Workstation 3</i>	<i>Workstation 4</i>	<i>Workstation 5</i>	<i>Workstation 6</i>	<i>Workstation 7</i>
<i>Electricity</i>	Rp 225.000	Rp 300.000	Rp 315.000	Rp 135.000	Rp 210.000	Rp 232.500	Rp 112.500
<i>Compressed air</i>	Rp 60.000	Rp 75.000	Rp 67.500	Rp 52.500	Rp 75.000	Rp 90.000	Rp 52.500
<i>Nitrogen</i>	Rp 15.000	Rp 37.500	Rp 67.500	Rp 37.500	Rp 52.500	Rp 52.500	Rp 22.500

3) Data Biaya Penanganan Limbah (*Waste Handling Costs*)

Biaya untuk pengumpulan, pemindahan, transportasi dan pembuangan limbah per kg. dikalikan dengan jumlah produk negatif (kg *scrap*) untuk memperoleh biaya penanganan limbah aktual per *WORKSTATION*. Pada Tabel 4.16 merupakan ringkasan dari biaya *waste handling costs*.

Tabel 4. 14 *Waste Handling Costs*

Handling Costs	
Waste handling cost	Converted cost
<i>Workstation 1</i>	Rp 3.750,00
<i>Workstation 2</i>	Rp 4.500,00

Handling Costs	
Waste handling cost	Converted cost
<i>Workstation 3</i>	Rp 5.250,00
<i>Workstation 4</i>	Rp 3.000,00
<i>Workstation 5</i>	Rp 6.000,00
<i>Workstation 6</i>	Rp 9.000,00
<i>Workstation 7</i>	Rp 2.250,00

4) Data Pemasukan Daur Ulang

Pendapatan dari penjualan/penyerahan *scrap* (misalnya potongan tembaga, *trimmings*, FR-4, pallet/*cardboard*). Ini diperlukan sebagai pemasukan atau pengurangan dari total biaya. Tabel 4.17 merupakan rincian *recycling credit per kg* dari perusahaan *control board* ini

Tabel 4. 15 *Recycling Credit Per Kg*

Recycling Costs	
Waste handling cost	Recycling credit
<i>Workstation 1</i>	Rp 1.500,00
<i>Workstation 2</i>	Rp 1.875,00
<i>Workstation 3</i>	Rp 2.250,00
<i>Workstation 4</i>	Rp 1.125,00
<i>Workstation 5</i>	Rp 2.250,00
<i>Workstation 6</i>	Rp 3.000,00
<i>Workstation 7</i>	Rp 750,00

A. Perhitungan dengan Metode *Traditional Cost Accounting*

Perhitungan biaya menggunakan metode *traditional cost accounting* dilakukan dengan untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan seluruh biaya produksi yang terjadi selama proses pengolahan bahan baku.

$$Total\ Cost = Input\ (kg) \times (Raw\ Material + Energy\ Cost)$$

$$Total\ Cost = 50 \times (1.125.000 + 2.287.500)$$

$$Total\ Cost = Rp\ 170.625.000$$

Pada perhitungan *traditional cost accounting*, diperoleh total biaya produksi sebesar Rp170.625.000. Namun, metode tradisional ini tidak mampu mengidentifikasi secara spesifik biaya yang timbul akibat *waste* yang dihasilkan dari produksi. Selain itu, kemampuan metode ini dalam mendukung pengambilan Keputusan relatif kurang baik, karena biaya kerugian dan pemborosan material yang sebenarnya terjadi tidak terlihat secara jelas dalam sistem *traditional costing*.

B. Perhitungan *Material Flow Cost Accounting*

Setelah seluruh data biaya material, energi, penanganan limbah, serta nilai daur ulang diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *material flow cost accounting* (MFCA). Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui total biaya actual yang timbul pada setiap *Workstation*, baik yang dikonversi menjadi produk bernilai tambah (produk positif) maupun yang terbuang sebagai limbah (produk negatif). Melalui metode MFCA, setiap elemen biaya mulai dari penggunaan material, konsumsi energi, hingga penanganan dan pemulihan limbah dihitung secara menyeluruh sehingga dapat mengidentifikasi area proses yang paling tidak efisien dan menjadi prioritas untuk perbaikan. Adapun rumus perhitungan untuk MFCA adalah sebagai berikut.

$$\text{MFCA} = \text{Produk} \times (\text{Material Costs} + \text{Energy Costs} + \text{Handling Cost} - \text{Recycling Costs})$$

1) Perhitungan MFCA untuk Produk positif

Perhitungan *material flow cost accounting* untuk produk positif dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengalokasikan biaya yang berkaitan langsung dengan produk yang berhasil dihasilkan dalam proses produksi. Produk positif dalam MFCA merepresentasikan output yang memiliki nilai ekonomi dan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Perhitungan produk positif *Workstation 1*

$$\text{produk positif} = 50 \times (112.500 + 300.000)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}20.625.000$$

Perhitungan produk positif *Workstation 2*

$$\text{produk positif} = 48 \times (150.000 + 412.500)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}27.000.000$$

Perhitungan produk positif *Workstation 3*

$$\text{produk positif} = 45,12 \times (187.500 + 450.000)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}28.764.000$$

Perhitungan produk positif *Workstation 4*

$$\text{produk positif} = 41,51 \times (112.500 + 225.000)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}14.009.760$$

Perhitungan produk positif *Workstation 5*

$$\text{produk positif} = 40,27 \times (225.000 + 337.500)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}22.649.112$$

Perhitungan produk positif *Workstation 6*

$$\text{produk positif} = 37,45 \times (262.500 + 375.000)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}23.872.162$$

Perhitungan produk positif *Workstation 7*

$$\text{produk positif} = 33,7 \times (75.000 + 187.500)$$

$$\text{produk positif} = \text{Rp}8.847.743$$

Tabel 4.16 merupakan ringkasan dari perhitungan biaya produk positif pada produksi PCB

Tabel 4. 16 Biaya Produk positif

Produk positif			
<i>Workstation</i>	Input (kg)	Costs	
<i>Workstation 1</i>	50,00	Rp	20.625.000,00
<i>Workstation 2</i>	48,00	Rp	27.000.000,00
<i>Workstation 3</i>	45,12	Rp	28.764.000,00
<i>Workstation 4</i>	41,51	Rp	14.009.760,00
<i>Workstation 5</i>	40,27	Rp	22.649.112,00
<i>Workstation 6</i>	37,45	Rp	23.872.164,05
<i>Workstation 7</i>	33,70	Rp	8.846.743,15
Total Costs		Rp	145.766.779,20

2) Perhitungan MFCA untuk Produk Negatif

Perhitungan *material flow Cost Accounting* untuk produk negatif dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengukur biaya yang timbul akibat pemborosan material selama proses produksi.

Perhitungan Produk negatif *Workstation 1*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION1* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 2 \times (112.500 + 300.000 + 3.750 - 1.500) = \text{Rp}.829.500$$

Perhitungan Produk negatif *Workstation 2*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION2* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 2,88 \times (150.000 + 412.500 + 4500 - 1.875) = \text{Rp}.1.627.560$$

Perhitungan Produk negatif *Workstation 3*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION3* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 3,61 \times (187.500 + 450.000 + 5.250 - 2.250) = \text{Rp. } 2.311.948$$

Perhitungan Produk negatif *Workstation 4*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION4* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 1,25 \times (112.500 + 225.000 + 3.000 - 1.125) = \text{Rp. } 422.627$$

Perhitungan Produk negatif *Workstation 5*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION5* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 2,82 \times (225.000 + 337.500 + 6.000 - 2.250) = \text{Rp. } 1.596.007$$

Perhitungan Produk negatif *Workstation 6*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION6* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 3,74 \times (262.500 + 375.000 + 9.000 - 3.000) = \text{Rp. } 2.409.684$$

Perhitungan Produk negatif *Workstation 7*

Hasil perhitungan MFCA untuk produk negatif (*waste*) pada *WORKSTATION2* mendapatkan hasil

$$\text{Produk negatif} = 0,67 \times (75000 + 187.500 + 2.250 - 750) = \text{Rp. } 177.945$$

Tabel 4.21 merupakan gabungan perhitungan dari MFCA yang telah dihitung dan diketahui nilai pemborosan pada masing-masing *Workstation*.

Tabel 4. 17 Biaya Produk negatif

Produk negatif			
<i>Workstation</i>	Input	Costs	
<i>Workstation 1</i>	2,00	Rp	829.500,00
<i>Workstation 2</i>	2,88	Rp	1.627.560,00
<i>Workstation 3</i>	3,61	Rp	2.311.948,80
<i>Workstation 4</i>	1,25	Rp	422.627,76
<i>Workstation 5</i>	2,82	Rp	1.596.007,43
<i>Workstation 6</i>	3,74	Rp	2.409.684,32
<i>Workstation 7</i>	0,67	Rp	177.945,92
Total Costs		Rp	9.375.274,23

C. Perbandingan Perhitungan Tradisional dan MFCA

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *traditional cost accounting* dan metode *material flow cost accounting*, dapat diketahui terdapat perbedaan total biaya produksi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel

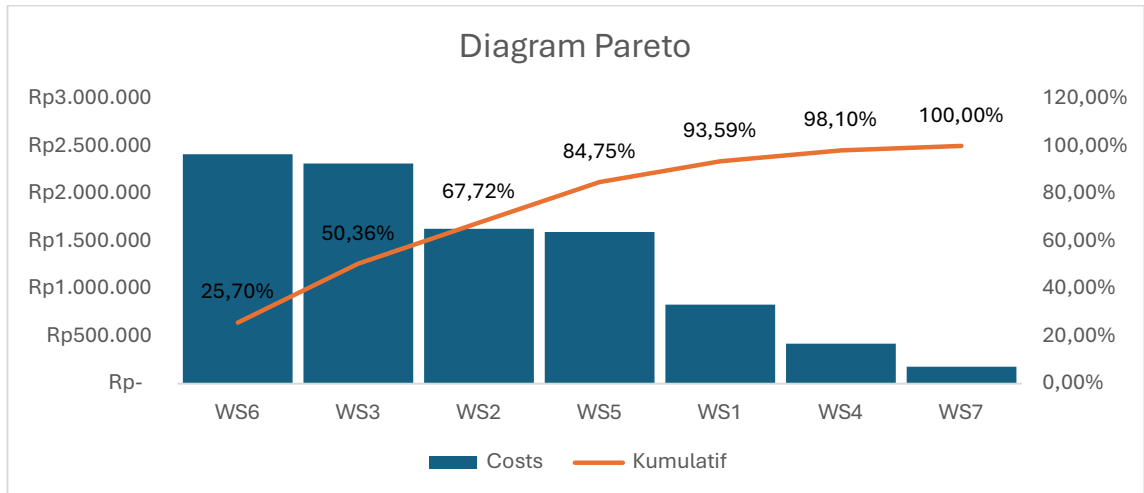
Tabel 4. 18 Perbandingan Perhitungan *Costs*

Aspect	Traditional Costing	MFCA
Produk jadi / positif	Rp170.625.000,00	Rp145.766.779,20
Produk negatif	-	Rp9.375.274,23

Berdasarkan perbandingan antara metode *traditional cost accounting* dan *material flow cost accounting*, terlihat adanya perbedaan signifikan dalam hasil perhitungan biaya. Metode tradisional menunjukkan total biaya produksi sebesar Rp170.625.000 tanpa mengidentifikasi secara spesifik biaya pemborosan. Sementara itu, MFCA menghasilkan total biaya lebih rendah yaitu Rp145.766.779 serta mampu mengungkap adanya biaya pemborosan (*waste cost*) sebesar Rp9.375.274. Hal ini menunjukkan bahwa MFCA tidak hanya memberikan perhitungan yang lebih akurat, tetapi juga mampu mengidentifikasi *hidden cost* dalam proses produksi.

D. Mengidentifikasi Pemborosan

Setelah dilakukan perhitungan *material flow cost accounting* (MFCA) terhadap aliran produk negatif, tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi pemborosan pada proses produksi perusahaan manufaktur *control board* dengan menggunakan diagram *pareto*. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan *Workstation* yang memberikan kontribusi terbesar terhadap pemborosan dan inefisiensi biaya produksi. Dengan menggunakan pendekatan *pareto*, dapat diketahui *Workstation* mana yang menjadi sumber utama kerugian sehingga perusahaan dapat memfokuskan upaya perbaikan pada titik yang memberikan dampak paling signifikan terhadap peningkatan efisiensi. Pada Gambar 4.4 dapat terlihat presentase penyumbang *waste* terbesar pada lini produksi.



Gambar 4.4 *Pareto Chart*

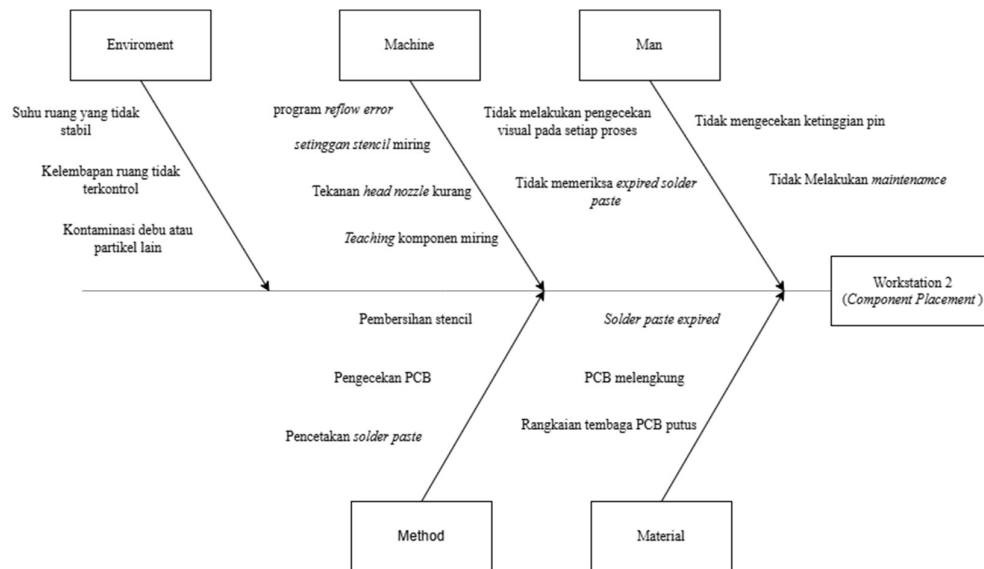
Berdasarkan perhitungan *pareto* menunjukkan distribusi biaya *waste* pada setiap *Workstation*, terlihat adanya perbedaan yang signifikan dalam kontribusi pemborosan di sepanjang lini produksi. Pada Tabel memperlihatkan bahwa *workstation6* merupakan penyumbang *waste* terbesar, diikuti *workstation3*, *workstation2*. Ketiga *Workstation* menyumbang lebih dari 80% total keluruhan biaya *waste*, sehingga menjadi elemen yang paling kritis dalam proses produksi. Sehingga saran perbaikan yang dilakukan yaitu pada *Workstation 2*, *Workstation 3*, dan *Workstation 6* karena pada ketiga *Workstation* itulah yang menjadi 20% penyebab utama.

4.2.3 Tahap *Analyze*

Berdasarkan hasil pengukuran pada tahap *measure* dengan menggunakan diagram *pareto* dapat diketahui bahwa *Workstation 2*, *Workstation 3*, *workstation 5* dan *Workstation 6* merupakan penyumbang utama pemborosan. Maka pada tahap *analyze* dilakukan identifikasi penyebab utama terjadinya pemborosan tersebut. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab pemborosan digunakan *fishbone diagram*.

1. Fishbone Diagram Workstation 2

Berikut merupakan Gambar 4.4 analisis dengan *fishbone diagram* untuk *Workstation 2*:



Gambar 4 5 Fishbone Diagram Workstation 2

Berdasarkan Gambar diatas berikut merupakan hal-hal apa saja yang menjadi penyebab masalah pada *Workstation 2*. Tabel 4.19 merupakan penjelasan dari diagram fishbone diatas:

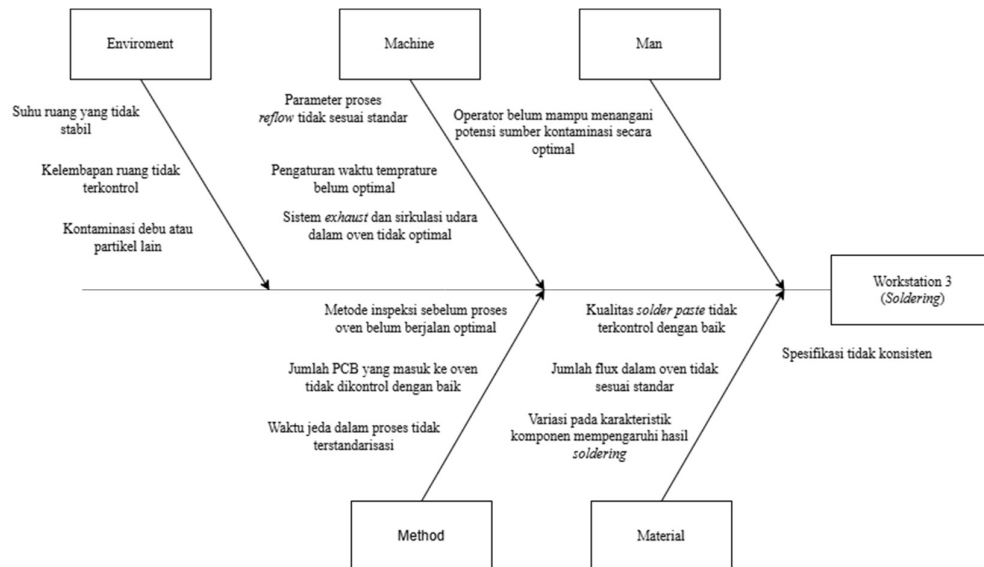
Tabel 4.19 Fishbone Diagram Workstation 2

Workstation 2 (Component Placement)	
Variabel	Akar masalah
Man	Operator tidak melakukan pengecekan visual pada setiap proses.
	Operator tidak melakukan pengecekan visual pada setiap proses.
	Operator tidak mengecek ketinggian pin.
	Operator tidak melakukan <i>maintenance</i>
Machine	Program <i>reflow error</i>
	Settingan <i>stencil</i> miring
	Tekanan <i>head nozzle</i> kurang
	<i>Teaching</i> komponen miring
Material	<i>Solder paste expired</i>
	PCB Melengkung
	Rangkaian tembaga PCB putus
	Ukuran bahan baku tidak sama dengan <i>patten</i> PCB
Method	Tidak melakukan pembersihan <i>stencil</i> secara optimal

Workstation 2 (Component Placement)	
Variabel	Akar masalah
	Tidak mengecek kondisi PCB saat proses
	Mencetak <i>solder paste</i> sampai menutupi <i>patten</i>
Environment	Suhu ruangan tidak stabil
	Kelembapan ruang tidak terkontrol
	Kontaminasi debu atau partikel lain

2. Fishbone Diagram Workstation 3

Berikut merupakan Gambar 4.6 analisis dengan *fishbone diagram* untuk *Workstation 3*:



Gambar 4.6 *Fishbone Diagram Workstation 3*

Berdasarkan Gambar diatas berikut merupakan hal-hal apa saja yang menjadi penyebab masalah pada *Workstation 3*. Tabel 4.20 merupakan penjelasan dari diagram fishbone diatas:

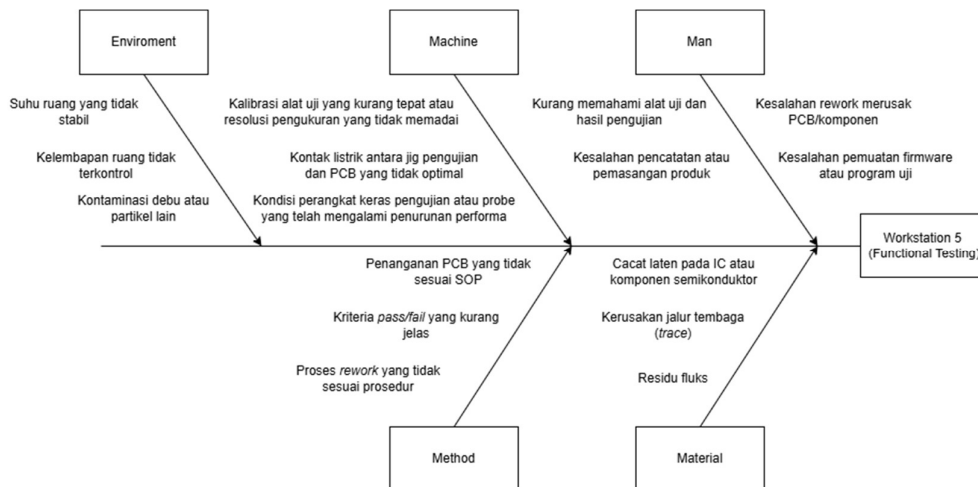
Tabel 4.20 *Fishbone Diagram Workstation 3*

Workstation 3 (Soldering)	
Variabel	Akar masalah
Man	Operator belum mampu menangani potensi sumber kontaminasi secara optimal
Machine	Parameter proses <i>reflow</i> tidak sesuai standar
	Pengaturan waktu temprature belum optimal

<i>Workstation 3 (Soldering)</i>	
Variabel	Akar masalah
	Sistem <i>exhaust</i> dan sirkulasi udara dalam oven tidak optimal
Material	Kualitas <i>solder paste</i> tidak terkontrol dengan baik
	Jumlah <i>flux</i> dalam oven tidak sesuai standar
	Variasi pada karakteristik komponen mempengaruhi hasil <i>soldering</i>
Method	Metode inspeksi sebelum proses oven belum berjalan optimal
	Jumlah PCB yang masuk ke oven tidak dikontrol dengan baik
	Waktu jeda dalam proses tidak terstandarisasi
Environment	Suhu ruangan tidak stabil
	Kelembapan ruang tidak terkontrol
	Kontaminasi debu atau partikel lain

3. *Fishbone diagram workstation 5*

Berikut merupakan Gambar 4.7 analisis dengan *fishbone diagram* untuk *workstation 5*:



Gambar 4.7 *Fishbone Diagram Workstation 5*

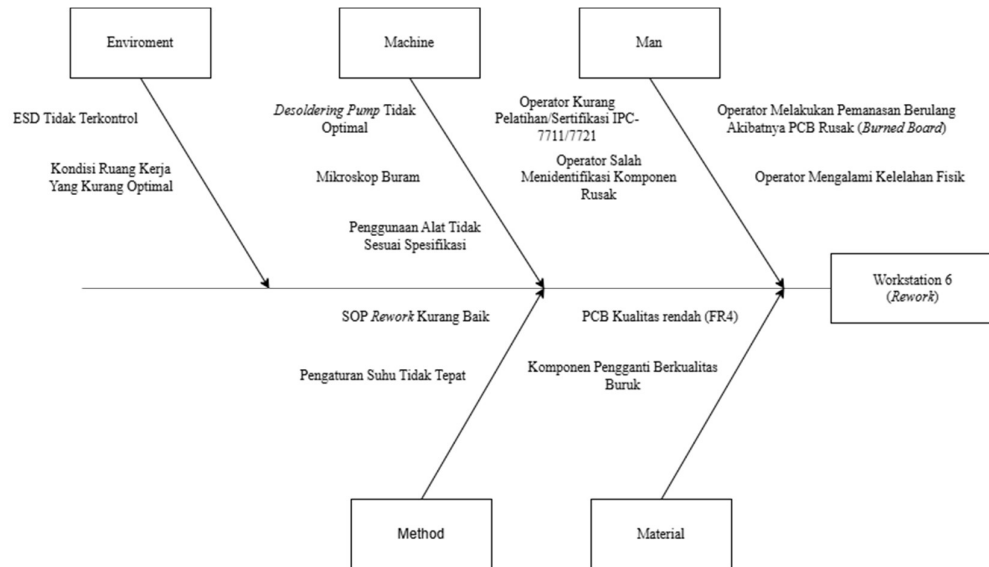
Berdasarkan Gambar diatas berikut merupakan hal-hal apa saja yang menjadi penyebab masalah pada *Workstation 5*. Tabel 4.21 merupakan penjelasan dari diagram fishbone diatas:

Tabel 4. 21 *Fishbone Diagram Workstation 5*

Workstation 5 (Functional Testing)	
Variabel	Akar masalah
Man	Kurang memahami alat uji dan hasil pengujian
	Kesalahan pencatatan atau pemasangan produk
	Kesalahan rework merusak PCB/komponen
	Kesalahan pemuatan firmware atau program uji
Machine	Kalibrasi alat uji yang kurang tepat atau resolusi pengukuran yang tidak memadai
	Kontak listrik antara jig pengujian dan PCB yang tidak optimal
	Kondisi perangkat keras pengujian atau probe yang telah mengalami penurunan performa
Material	Cacat laten pada IC atau komponen semikonduktor
	Kerusakan jalur tembaga (trace)
	Residu fluks
Method	Penanganan PCB yang tidak sesuai SOP
	Kriteria pass/fail yang kurang jelas
	Proses rework yang tidak sesuai prosedur
Environment	Suhu ruangan tidak stabil
	Kelembapan ruang tidak terkontrol
	Kontaminasi debu atau partikel lain

4. *Fishbone Diagram Workstation 6*

Berikut merupakan Gambar 4.6 analisis dengan *fishbone diagram* untuk *Workstation 6*:



Gambar 4.8 Fishbone Diagram Workstation 6

Berdasarkan Gambar diatas berikut merupakan hal-hal apa saja yang menjadi penyebab masalah pada *Workstation 6*. Tabel merupakan penjelasan dari diagram fishbone diatas:

Tabel 4. 22 Fishbone Diagram Workstation 6

Workstation 6 (Rework)	
Variabel	Akar masalah
Man	Operator kurang pelatihan atau sertifikasi IPC-7711/7721
	Operator salah mengidentifikasi komponen rusak
	Operator melakukan pemanasan berulang akibatnya PCB rusak (<i>burned board</i>)
	Operator mengalami kelelahan fisik
Machine	<i>Desoldering pump</i> tidak optimal
	Mikroskop buram
	Penggunaan alat tidak sesuai spesifikasi
Material	PCB kualitas memiliki kualitas rendah
	Komponen pengganti berkualitas buruk
Method	SOP <i>rework</i> kurang baik
	Pengaturan suhu tidak tepat
Environment	ESD tidak terkontrol
	Kondisi ruang kerja kurang optimal

4.2.4 Tahap Improve

Berdasarkan hasil analisis pada tahap sebelumnya menggunakan MFCA, *Pareto*, dan *Fishbone* diagram, diketahui bahwa sumber utama pemborosan berasal dari beberapa *Workstation* kritis, terutama *component placement* pada *workstation 2*, *Soldering* pada *workstation 3*, dan *rework station* pada *workstation 6*. Oleh karena itu, tahap improve difokuskan pada perbaikan akar masalah utama untuk menurunkan *scrap* dan meningkatkan efisiensi produksi.

A. Improve untuk *Workstation 2*

Berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab pada *Workstation 2*, Tabel 4.23 merupakan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas proses *component placement*.

Tabel 4. 23 *Improve Workstation 2*

<i>Workstation 2 (Component Placement)</i>		
FAKTOR	PERMASALAHAN	USULAN PENCEGAHAN
<i>Human</i>	Operator tidak melakukan pengecekan visual pada setiap proses	Melakukan inspeksi visual secara konsisten di setiap tahapan proses
	Operator tidak memeriksa <i>expired solder paste</i>	Melakukan pengecekan rutin terhadap masa berlaku <i>solder paste</i> sebelum digunakan
	Operator tidak mengecek ketinggian pin	Melakukan pengecekan dan penyesuaian ketinggian pin
	Operator tidak melakukan <i>maintenance</i>	Melaksanakan <i>maintenance</i> secara rutin sesuai prosedur
<i>Machine</i>	Program <i>reflow error</i>	Melakukan reset dan pengecekan ulang sistem pada mesin
	Settingan <i>stencil</i> miring	Melakukan kalibrasi dan pengecekan alignment <i>stencil</i> sebelum proses
	Tekanan <i>head nozzle</i> kurang	Memastikan kondisi solenoid angin berfungsi dengan baik
	<i>Teaching</i> komponen miring	Melakukan penyesuaian pada program <i>teaching</i> mesin
<i>Material</i>	<i>Solder paste expired</i>	Mengganti solder paste yang sudah expired dan melakukan kontrol masa simpan

<i>Workstation 2 (Component Placement)</i>		
FAKTOR	PERMASALAHAN	USULAN PENCEGAHAN
	PCB Melengkung	Melakukan pengaturan ulang kerataan pin dan ketinggian meja kerja
	Rangkaian tembaga PCB putus	Mengganti PCB yang mengalami kerusakan
	Ukuran bahan baku tidak sama dengan <i>patten</i> PCB	Memastikan kesesuaian spesifikasi PCB sebelum proses produksi
<i>Method</i>	Tidak melakukan pembersihan <i>stencil</i> secara optimal	Menetapkan standar pembersihan <i>stencil</i>
	Tidak mengecek kondisi PCB saat proses	Melakukan inspeksi PCB pada setiap tahapan proses produksi
	Mencetak <i>solder paste</i> sampai menutupi <i>patten</i>	Mengatur parameter printing agar sesuai dengan desain <i>patten</i> PCB
<i>Environment</i>	Suhu ruangan tidak stabil	Menggunakan alat kontrol suhu
	Kelembapan ruang tidak terkontrol	Menggunakan alat pengontrol kelembapan
	Kontaminasi debu atau partikel lain	Menerapkan standar kebersihan area kerja

B. Improve untuk *Workstation 3*

Berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab pada *Workstation 3*, Tabel 4.24 merupakan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas proses *soldering*.

Tabel 4. 24 *Improve Workstation 3*

<i>Workstation 3 (Soldering)</i>		
FAKTOR	PERMASALAHAN	USULAN PENCEGAHAN
<i>Human</i>	Operator tidak melakukan pengecekan visual pada setiap proses	Melakukan inspeksi visual secara konsisten di setiap tahapan proses
<i>Machine</i>	Parameter proses <i>reflow</i> tidak sesuai standar.	Melakukan reset dan pengecekan ulang sistem pada mesin
	Pengaturan waktu temperature belum optimal	Melakukan kalibrasi dan pengecekan alignment <i>stencil</i> sebelum proses
	Sistem exhaust dan sirkulasi udara dalam oven tidak optimal	Memastikan kondisi solenoid angin berfungsi dengan baik
<i>Material</i>	Kualitas <i>solder paste</i> tidak terkontrol dengan baik	Mengganti <i>solder paste</i> yang sudah expired dan melakukan kontrol masa simpan

<i>Workstation 3 (Soldering)</i>		
FAKTOR	PERMASALAHAN	USULAN PENCEGAHAN
	Jumlah flux dalam oven tidak sesuai standar	Melakukan pengaturan ulang kerataan pin dan ketinggian meja kerja
	Variasi pada karakteristik komponen mempengaruhi hasil <i>soldering</i>	Memastikan kesesuaian spesifikasi PCB sebelum proses produksi
<i>Method</i>	Metode inspeksi sebelum proses oven belum berjalan optimal	Menetapkan standar pembersihan stencil
	Jumlah PCB yang masuk ke oven tidak dikontrol dengan baik	Melakukan inspeksi PCB pada setiap tahapan proses produksi
	Waktu jeda dalam proses tidak terstandarisasi	Mengatur parameter printing agar sesuai dengan desain desain pattern PCB
<i>Environment</i>	Suhu ruangan tidak stabil	Menggunakan alat kontrol suhu
	Kelembapan ruang tidak terkontrol	Menggunakan alat pengontrol kelembapan
	Kontaminasi debu atau partikel lain	Menerapkan standar kebersihan area kerja

C. Improve Workstation 5

Berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab pada *Workstation 5*, Tabel 4.25 merupakan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas proses *rework*.

Tabel 4. 25 Improve Workstation 5

<i>Workstation 5 (Functional Testing)</i>		
Faktor	Permasalahan	Usulan Pencegahan
<i>Man</i>	Kurang memahami alat uji dan hasil pengujian	Melakukan pelatihan berkala mengenai penggunaan alat uji, interpretasi hasil, dan sertifikasi operator.
	Kesalahan pencatatan atau pemasangan produk	Menerapkan <i>checklist</i> , barcode/QR code scanning, dan verifikasi oleh operator kedua (<i>double check</i>).
	Kesalahan rework merusak PCB/komponen	Memberikan pelatihan teknik rework serta melakukan supervisi dan inspeksi hasil rework.
	Kesalahan pemuatan firmware atau program uji	Menggunakan kontrol versi firmware, validasi otomatis, dan konfirmasi sebelum proses pengujian.

Workstation 5 (<i>Functional Testing</i>)		
Faktor	Permasalahan	Usulan Pencegahan
<i>Machine</i>	Kalibrasi alat uji yang kurang tepat atau resolusi pengukuran yang tidak memadai	Menyusun jadwal kalibrasi berkala dan menggunakan alat uji dengan spesifikasi yang sesuai.
	Kontak listrik antara jig pengujian dan PCB yang tidak optimal	Membersihkan jig secara rutin, memeriksa tekanan kontak, dan mengganti pin/probe yang aus.
	Kondisi perangkat keras pengujian atau probe yang telah mengalami penurunan performa	Melakukan inspeksi preventif, pemeliharaan berkala, dan penggantian komponen yang telah melewati umur pakai.
<i>Material</i>	Cacat laten pada IC atau komponen semikonduktor	Memperketat inspeksi material masuk, audit pemasok, dan melakukan <i>burn-in</i> atau uji sampel bila diperlukan.
	Kerusakan jalur tembaga (trace)	Melakukan inspeksi visual/AOI sebelum pengujian dan memastikan penanganan PCB sesuai standar.
	Residu fluks	Mengoptimalkan proses pembersihan PCB dan melakukan inspeksi kebersihan sebelum functional test.
<i>Method</i>	Penanganan PCB yang tidak sesuai SOP	Menyusun SOP yang jelas, memberikan pelatihan, dan melakukan audit kepatuhan secara berkala.
	Kriteria pass/fail yang kurang jelas	Menetapkan batas toleransi yang terdokumentasi dan melakukan validasi parameter pengujian.
	Proses rework yang tidak sesuai prosedur	Menerapkan SOP rework yang baku, proses persetujuan (<i>approval</i>), dan inspeksi setelah rework.

Workstation 5 (<i>Functional Testing</i>)		
Faktor	Permasalahan	Usulan Pencegahan
<i>Environment</i>	Suhu ruangan tidak stabil	Menggunakan alat kontrol suhu
	Kelembapan ruang tidak terkontrol	Menggunakan alat pengontrol kelembapan
	Kontaminasi debu atau partikel lain	Menerapkan standar kebersihan area kerja

D. Improve Workstation 6

Berdasarkan hasil identifikasi akar penyebab pada *Workstation 6*, Tabel 4.21 merupakan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas proses *rework*.

Tabel 4. 26 Improve Workstation 6

Workstation 6 (Rework)		
FAKTOR	PERMASALAHAN	USULAN PENCEGAHAN
<i>Human</i>	Operator kurang pelatihan atau sertifikasi IPC-7711/7721	Memberikan pelatihan teknis dan sertifikasi IPC-7711/7721 Kepada operator
	Operator salah mengidentifikasi komponen rusak	Menyusun panduan identifikasi komponen dan meningkatkan kompetensi melalui <i>training</i>
	Operator melakukan pemanasan berulang akibatnya PCB rusak (<i>burned board</i>)	Menetapkan batas maksimum pemanasan dan SOP <i>rework</i> yang jelas
	Operator mengalami kelelahan fisik	Mengatur waktu kerja/shift dan memberikan waktu istirahat yang cukup
<i>Machine</i>	<i>Desoldering pump</i> tidak optimal	Melakukan <i>maintenance</i> rutin dan penggantian alat jika diperlukan
	Mikroskop buram	Membersihkan dan melakukan kalibrasi mikroskop secara berkala
	Penggunaan alat tidak sesuai spesifikasi	Memberikan panduan penggunaan alat dan memastikan kesesuaian alat dengan pekerjaan
<i>Material</i>	PCB kualitas memiliki kualitas rendah	Melakukan seleksi <i>supplier</i> dan <i>incoming quality control</i>
	Komponen pengganti berkualitas buruk	Menggunakan komponen dengan standar kualitas yang telah ditentukan
<i>Method</i>	SOP <i>rework</i> kurang baik	Menyusun dan memperbaiki SOP <i>rework</i> sesuai standar industri

<i>Workstation 6 (Rework)</i>		
FAKTOR	PERMASALAHAN	USULAN PENCEGAHAN
	Pengaturan suhu tidak tepat	Menetapkan standar suhu <i>rework</i> dan melakukan <i>monitoring</i> selama proses
<i>Environment</i>	ESD tidak terkontrol	Menerapkan sistem ESD <i>control</i>
	Kondisi ruang kerja kurang optimal	Menjaga kebersihan, pencahayaan, dan kenyamanan area kerja

4.2.5 Tahap *Control*

Tahap *control* merupakan tahap akhir dalam metode DMAIC yang bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan yang telah diimplementasikan pada tahap *improve* dapat berjalan secara konsisten dan berkelanjutan. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan MFCA, *Pareto*, dan *Fishbone* diagram diketahui sumber utama pemborosan adalah pada *component placement* pada *workstation 2*, *soldering* pada *workstation 3*, dan *rework workstation 6*. Menurut jurnal yang ditulis oleh (Lead et al., 2025) cara untuk memastikan keberlanjutan dari perbaikan ini, beberapa langkah pengendalian perlu diterapkan secara konsisten, antara lain:

- Mematuhi *standard operating procedure* (SOP) secara ketat.
- Melaksanakan pelatihan operator secara berkala.
- Tidak menugaskan operator baru pada proses penyolderan.
- Memastikan pencatatan limbah harian dilakukan dengan baik dan teratur.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Tingkat Scrap dan Hidden Costs pada Proses Produksi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa total material input sebesar 50 kg/hari hanya mampu menghasilkan produk positif sebesar 33,03 kg/hari atau sekitar 66,03%, sedangkan sebesar 16,97 kg/hari atau 33,94% berubah menjadi produk negatif. Persentase kehilangan material tersebut menunjukkan bahwa efisiensi proses produksi masih belum optimal. Hasil analisis menggunakan diagram *pareto* menunjukkan bahwa sumber pemborosan terbesar pada proses produksi terpusat pada *Workstation 2 (Component Placement)*, *Workstation 3 (Soldering)*, dan *Workstation 6 (Rework)*. Ketiga *Workstation* tersebut menjadi area paling kritis karena memberikan kontribusi terbesar terhadap total *scrap* produksi, tingginya penggunaan *consumable*, serta meningkatnya biaya *waste handling* dibandingkan *Workstation* lainnya. Menurut hasil pengukuran dan analisis menggunakan *pareto chart* dapat diketahui bahwa *Workstation 6* menjadi titik paling kritis dengan tingkat *scrap* sebesar 10% atau 3,74 kg/hari dan menghasilkan biaya produk negatif sebesar Rp2.409.684 menjadi yang terbesar diantara yang lainnya. Proses *rework* seharusnya menjadi aktivitas korektif minor untuk memperbaiki unit tertentu tanpa menghasilkan *scrap* tambahan dalam jumlah besar. Akan tetapi, kondisi aktual menunjukkan bahwa *rework* justru menjadi pemborosan terbesar. Fenomena ini menunjukkan bahwa *rework* bukan lagi aktivitas tambahan, tetapi telah berubah menjadi bagian utama dari aliran produksi. Dari perspektif *lean manufacturing*, kondisi tersebut merupakan indikasi buruk karena perusahaan mulai bergantung pada aktivitas *non-value added* untuk mempertahankan *output produksi*. Kondisi ini menandakan proses produksi yang berjalan tidak baik karena produk yang masuk ke *Workstation rework* sebenarnya sudah memiliki nilai produksi yang sangat tinggi. Ketika produk gagal pada tahap ini, maka seluruh biaya proses sebelumnya ikut hilang hal ini juga menunjukkan adanya *hidden factory* dalam sistem produksi, yaitu kondisi dimana perusahaan secara tidak sadar mengalokasikan sumber daya besar hanya untuk memperbaiki produk gagal. Semakin besar aktivitas *rework*, semakin besar pula biaya tersembunyi yang tidak memberikan nilai tambah kepada pelanggan.

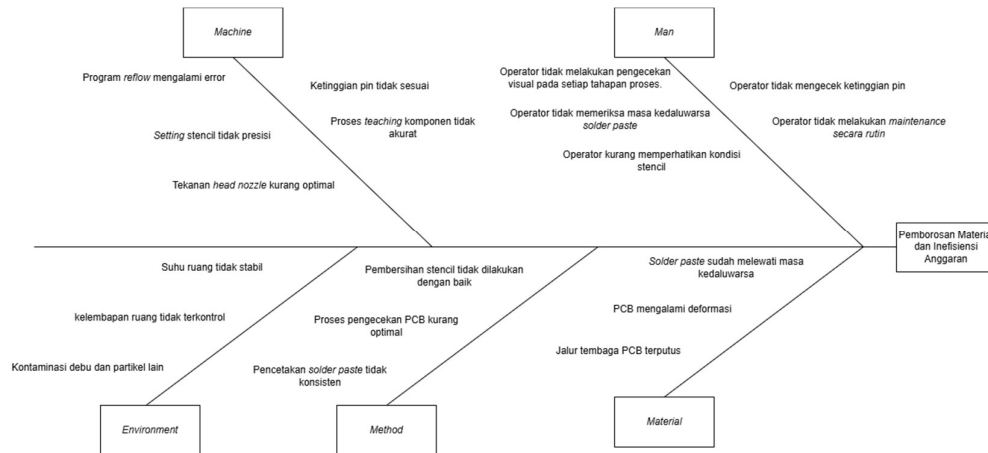
Pemborosan serupa juga terjadi pada *Workstation 3 (Soldering)* yang menghasilkan *scrap* sebesar 8% atau 3,61 kg/hari dengan biaya produk negatif Rp2.311.948. Pada proses *soldering*, pada kondisi normal kualitas sambungan solder harus stabil, presisi, dan sesuai standar temperatur proses. Namun pada kondisi aktualnya *Workstation 3* menempati urutan kedua penyebab pemborosan terbesar pada proses produksi. Tingginya *scrap* pada proses *soldering* menunjukkan adanya ketidakstabilan proses termal dan kualitas penyolderan. Anomali utama pada *Workstation* ini adalah tingginya *defect* pada proses yang seharusnya menjadi inti penyatuan komponen elektronik. Tingginya variasi cacat menunjukkan bahwa parameter proses tidak terkendali secara konsisten proses *soldering* seharusnya menghasilkan sambungan solder yang kuat, bersih dan homogen. Dalam proses *soldering* normal, *solder dross* memang akan terbentuk akibat oksidasi logam cair. Akan tetapi, jumlah *dross* yang terlalu besar menunjukkan bahwa temperature solder tidak stabil dan proses control flux tidak berjalan optimal. Fenomena *solder dross* menjadi perhatian khusus karena secara tidak langsung menunjukkan hilangnya material bernilai tinggi. *Solder alloy* mengandung timah, timbal, atau *SAC alloy* yang memiliki harga relatif mahal. Selain itu, *flux residue treatment* dan *filter handling* juga menunjukkan adanya *hidden waste* pada sistem *soldering*. *Flux residue* yang berlebihan menunjukkan bahwa jumlah flux yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan proses. Normalnya flux hanya digunakan dalam jumlah minimal untuk membantu *wetting solder*. Dengan demikian, *Workstation soldering* menunjukkan bahwa perusahaan kehilangan material bernilai tinggi akibat lemahnya control parameter proses dan belum optimalnya pengendalian *waste termal*. *Workstation* selanjutnya yang menjadi fokus utama pemborosan pada produksi *control board* ini adalah *Workstation 2* yaitu *component placement* pada proses ini menghasilkan 6% *scrap* atau sebanyak 2,88 kg/hari dengan biaya pemborosan mencapai Rp1.627.560. Nilai tersebut tergolong tinggi karena proses *component placement* merupakan proses otomatis menggunakan mesin SMT yang seharusnya memiliki tingkat akurasi tinggi dan minim akan kesalahan. Namun pada kondisi actual ditemukan masih banyak kesalahan penempatan komponen (*misalignment*). Anomali pada *Workstation 2* menjadi sangat penting karena *defect* pada tahap ini bersifat tersembunyi. Kesalahan *placement* membuat penggunaan *consumable* seperti penggunaan *feeder tape* pada mesin SMT saat proses *re-pick*. Selain itu, *solder paste* collection juga menunjukkan adanya ketidakefisienan penggunaan material. Dalam kondisi ideal, *solder paste* hanya digunakan sesuai volume kebutuhan pad PCB.

Kesalahan tersembunyi ini dapat terdeteksi pada proses *soldering* akibatnya *defect* kecil berkembang menjadi pemborosan yang lebih besar pada *Workstation* selanjutnya.

Terakhir kondisi serupa juga ditemukan pada *Workstation 5 (Functional Testing)*, meskipun dengan skala kerugian yang sedikit lebih kecil. Pada *Workstation* ini dihasilkan tingkat *scrap* sebesar 7% atau setara 2,82 kg/hari, dengan biaya produk negatif sebesar Rp1.596.007,43, menjadikannya kontributor *hidden cost* terbesar keempat di antara seluruh *Workstation* dan nilainya hampir menyamai *Workstation 2* yang telah dikategorikan sebagai *Workstation* kritis. Secara ideal, *functional testing* seharusnya berfungsi sebagai gerbang verifikasi pasif yang hanya memisahkan unit baik dan unit cacat tanpa menimbulkan kehilangan material dalam jumlah besar, mengingat proses pengujian fungsional pada dasarnya tidak mengubah bentuk fisik produk. Akan tetapi, kondisi aktual menunjukkan bahwa *Workstation 5* justru menghasilkan kerugian material yang cukup signifikan, yang mengindikasikan bahwa kegagalan pada tahap ini bukan sekadar proses penyaringan biasa, melainkan telah menjadi titik akumulasi dari kegagalan-kegagalan yang sebenarnya terjadi pada proses-proses sebelumnya. Fenomena ini penting untuk diperhatikan karena unit yang gagal pada *Workstation 5* merupakan produk yang telah melalui hampir seluruh rangkaian proses produksi, mulai dari pemotongan PCB, penempatan komponen, penyolderan, hingga inspeksi optik, sehingga nilai biaya yang telah tertanam pada produk tersebut menjadi jauh lebih tinggi dibandingkan kegagalan yang terjadi pada *Workstation* di awal lini produksi.

5.2 Evaluasi dan Usulan Perbaikan

Berdasarkan uraian analisis di atas yang merupakan penjelasan dari kondisi anomali yang terjadi pada proses produksi, langkah selanjutnya adalah merangkum kemungkinan akar penyebab masalah dari pemborosan tersebut menggunakan diagram *fishbone*. Pada Gambar 5.1 disajikan akar masalah utama dari hasil analisis *fishbone diagram*, dengan *Workstation 6 (Rework)* ditetapkan sebagai prioritas utama perbaikan mengingat *Workstation* ini menghasilkan tingkat *scrap* tertinggi sebesar 10% serta *hidden cost* terbesar yaitu Rp2.409.684,32 di antara seluruh *Workstation* pada lini produksi.



Gambar 5. 1 *Fishbone workstation 6* Sebagai Prioritas Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan diagram *fishbone* terhadap faktor-faktor penyebab terjadinya permasalahan pada *Workstation 6 (Rework)*, Tabel 5.1 merupakan usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk meminimalkan potensi terjadinya *defect* serta meningkatkan kualitas proses produksi pada *Workstation* tersebut.

Tabel 5.1 Usulan Perbaikan

Usulan Perbaikan		
Faktor	Permasalahan	Usulan pencegahan
Manusian (<i>Man</i>)	Operator tidak melakukan pengecekan visual pada setiap tahapan proses	Melakukan inspeksi visual secara konsisten di setiap tahapan proses
	Operator tidak memeriksa masa kedaluwarsa <i>solder paste</i>	Melakukan pengecekan rutin terhadap masa berlaku <i>solder paste</i> sebelum digunakan
	Operator kurang memperhatikan kondisi stencil	Membersihkan stencil maksimal setiap 3 kali setelah printing
	Operator tidak mengecek ketinggian pin	Melakukan pengecekan dan penyesuaian ketinggian pin
	Operator tidak melakukan <i>maintenance</i> secara rutin	Melaksanakan <i>maintenance</i> secara rutin sesuai prosedur
Mesin (<i>Machine</i>)	Program <i>reflow</i> mengalami <i>error</i>	Melakukan reset dan pengecekan ulang sistem pada mesin

Usulan Perbaikan		
Faktor	Permasalahan	Usulan pencegahan
	<i>setting</i> stencil tidak presisi	Melakukan kalibrasi dan pengecekan alignment stencil sebelum proses
	tekanan <i>head nozzle</i> kurang optimal	Memastikan kondisi solenoid angin berfungsi dengan baik
	ketinggian pin tidak sesuai	Melakukan penyesuaian pada program teaching mesin
	Proses <i>teaching</i> komponen tidak akurat	Mengganti solder paste yang sudah expired dan melakukan kontrol masa simpan
Material	<i>Solder paste</i> sudah melewati masa kedaluwarsa	Melakukan pengaturan ulang kerataan pin dan ketinggian meja kerja
	PCB mengalami deformasi	Mengganti PCB yang mengalami kerusakan
	Jalur tembaga PCB terputus	Memastikan kesesuaian spesifikasi PCB sebelum proses produksi
Metode (<i>Method</i>)	Pembersihan stencil tidak dilakukan dengan baik	Menetapkan standar pembersihan stencil
	Proses pengecekan PCB kurang optimal	Melakukan inspeksi PCB pada setiap tahapan proses produksi
	Pencetakan <i>solder paste</i> tidak konsisten	Mengatur parameter printing agar sesuai dengan desain desain pattern PCB
Lingkungan (<i>Environment</i>)	Suhu ruangan tidak stabil	Menggunakan alat kontrol suhu
	Kelembapan ruang tidak terkontrol	Menggunakan alat pengontrol kelembapan
	Kontaminasi debu atau partikel lain	Menerapkan standar kebersihan area kerja

5.3 Rekomendasi Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *material flow cost accounting* (MFCA) dan Six Sigma mampu mengidentifikasi besarnya kerugian material, biaya yang ditimbulkan akibat *scrap*, serta faktor-faktor penyebab utama pemborosan pada proses produksi *control board*. Meskipun demikian, masih terdapat peluang untuk mengembangkan pendekatan perbaikan yang lebih menyeluruh guna meningkatkan efisiensi proses produksi secara

menyeluruh. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah *lean manufacturing*, yang berfokus pada pengurangan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value added*). Melalui pendekatan ini, perusahaan dapat meminimalkan berbagai bentuk pemborosan sehingga efisiensi proses produksi dapat meningkat. Pendekatan tersebut dapat didukung oleh *value stream mapping* (VSM) untuk memetakan aliran material dan informasi secara menyeluruh, sehingga *bottleneck*, waktu tunggu, aktivitas *rework*, dan pemborosan lainnya dapat diidentifikasi dengan lebih jelas.

Selain kedua metode tersebut penelitian ini juga bisa mengadaptasi *failure mode and effects analysis* (FMEA) dapat digunakan untuk melengkapi analisis penyebab masalah dengan menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko kegagalan pada proses setiap proses. Dengan demikian, perusahaan dapat memfokuskan upaya perbaikan pada permasalahan yang memiliki dampak paling signifikan terhadap kualitas produk dan kinerja produksi. Usulan perbaikan tersebut bisa divalidasi dengan menggunakan perangkat lunak simulasi seperti FlexSim. Simulasi ini memungkinkan perusahaan untuk mengevaluasi dan memperoleh beberapa alternatif perbaikan tanpa mengganggu proses produksi yang sedang berjalan, sehingga keputusan implementasi dapat dilakukan secara lebih tepat dan terukur.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari total input material sebesar 50 kg/hari, dihasilkan *scrap* sebesar 16,97 kg/hari (33,94%), sementara produk positif yang dihasilkan hanya sebesar 33,03 kg/hari (66,06%). Tingkat *scrap* tertinggi terjadi pada *Workstation* 6 (*Rework*) sebesar 10% (3,74 kg/hari), diikuti *Workstation* 3 (*Soldering*) sebesar 8% (3,61 kg/hari), *Workstation* 5 (*Functional Testing*) sebesar 7% (2,82 kg/hari), dan *Workstation* 2 (*Component Placement*) sebesar 6% (2,88 kg/hari). Hasil perhitungan MFCA menunjukkan total *hidden cost* akibat *scrap* dan pemborosan di seluruh *Workstation* mencapai Rp9.375.274,23/hari, dengan kontribusi terbesar berasal dari *Workstation* 6 (Rp2.409.684,32), disusul *Workstation* 3 (Rp2.311.948,80), *Workstation* 2 (Rp1.627.560,00), dan *Workstation* 5 (Rp1.596.007,43).
2. Faktor utama penyebab tingginya *scrap* berdasarkan analisis *pareto* dan *fishbone diagram*, tiga *workstation* kritis (*workstation* 2, *workstation* 3, *workstation* 5 dan *workstation* 6) menyumbang lebih dari 80% total biaya *waste*. Faktor-faktor penyebab utama meliputi faktor manusia seperti kurangnya kedisiplinan dan pelatihan operator, faktor mesin berupa peralatan yang tidak terkalibrasi dan kurang perawatan, faktor material seperti penggunaan *solder paste* kedaluwarsa dan kualitas PCB rendah, faktor metode akibat tidak adanya SOP yang terstandarisasi, dan faktor lingkungan berupa suhu dan kelembapan ruang produksi yang tidak terkontrol.
3. Rekomendasi perbaikan diprioritaskan pada *Workstation* 6 (*Rework*) sebagai *Workstation* paling kritis dalam proses produksi, melalui standarisasi SOP proses *rework*, pelatihan dan sertifikasi operator (IPC-7711/7721), pemeliharaan serta kalibrasi alat secara berkala (*desoldering pump*, mikroskop), penerapan sistem kontrol ESD, dan pengendalian kondisi lingkungan kerja (suhu dan kelembapan). Penerapan langkah-langkah perbaikan tersebut secara konsisten diharapkan dapat menurunkan tingkat *scrap* dan *hidden cost* yang ditimbulkan oleh *Workstation* 6 secara signifikan, sehingga turut meningkatkan efisiensi proses produksi *control board* secara keseluruhan.

6.2 Saran

Penelitian ini telah menggunakan MFCA dan Six Sigma untuk mengidentifikasi pemborosan material dan tingginya *scrap* masih terjadi pada beberapa *workstation* sehingga diperlukan upaya perbaikan yang lebih komprehensif. Penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan beberapa saran yang dapat diterapkan dari penelitian ini adalah

Pertama, pada penelitian ini dapat mengintegrasikan konsep *lean manufacturing*. Pendekatan *lean manufacturing* berfokus pada eliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (*non value added activities*) sehingga dapat meningkatkan efisiensi aliran proses, mengurangi pemborosan, dan memperbaiki produktivitas secara berkelanjutan.

Kedua, salah satu alat yang dapat digunakan *value stream mapping* (VSM). Metode ini memungkinkan perusahaan memetakan seluruh aliran material dan informasi pada proses produksi *control board*, mulai dari bahan baku hingga produk jadi. Melalui VSM perusahaan dapat mengidentifikasi *bottleneck*, waktu tunggu, aktivitas *rework*, serta berbagai bentuk pemborosan yang belum terlihat dari analisis *scrap* dan biaya. Dengan demikian, peluang perbaikan proses dapat ditentukan secara lebih sistematis dan menyeluruh.

Ketiga, selain menggunakan VSM pada penelitian berikutnya juga dapat menerapkan *failure mode and effects analysis* (FMEA) dapat digunakan untuk menentukan prioritas perbaikan berdasarkan tingkat risiko kegagalan, tetapi juga mengevaluasi tingkat keparahan, frekuensi kejadian, dan kemampuan deteksi dari setiap risiko sehingga perusahaan dapat memfokuskan sumber daya pada permasalahan yang paling kritis.

Usulan perbaikan yang dihasilkan dari *lean manufacturing*, VSM, dan FMEA dapat divalidasi menggunakan perangkat lunak simulasi FlexSim. Simulasi memungkinkan perusahaan menguji berbagai scenario perbaikan tanpa mengganggu proses produksi yang sedang berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. W., & Amiruddin, H. (2020). Efek Green Accounting Terhadap Material Flow Cost Accounting Dalam Meningkatkan Keberlangsungan Perusahaan. *EKUITAS (Jurnal Ekonomi Dan Keuangan)*, 4(2), 166–186.
<https://doi.org/10.24034/j25485024.y2020.v4.i2.4145>
- Achibat, F. E., Lebkiri, A., Aouane, E. mahjoub, Lougraimzi, H., Berrid, N., & Maqboul, A. (2023). Analysis of the Impact of Six Sigma and Lean Manufacturing on the Performance of Companies. *Management Systems in Produktion Engineering*, 31(2), 191–196.
<https://doi.org/10.2478/mspe-2023-0020>
- Ariefiara, D., Theresa, R. M., & Sari, R. (2021). Sustainability in health service industry: The implementation of Material Flow Cost Accounting (MFCA) as an eco-efficient analysis.
- Brochard, G., Liu, C., Wei, X., Heidbrink, W., Lin, Z., Gorelenkov, N., Chrystal, C., Du, X., Bao, J., Polevoi, A. R., Schneider, M., Kim, S. H., Pinches, S. D., Liu, P., Nicolau, J. H., & Lütjens, H. (2024). Saturation of *Fishbone* Instability by Self-Generated Zonal Flo $Workstation$ in Tokamak Plasmas. *Physical Review Letters*, 132(7), 1–6.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.075101>
- Brochard, G., Liu, C., Wei, X., Heidbrink, W., Lin, Z., Gorelenkov, N., Chrystal, C., Du, X., Bao, J., Polevoi, A. R., Schneider, M., Kim, S. H., Pinches, S. D., Liu, P., Nicolau, J. H., & Lütjens, H. (2024). Saturation of *Fishbone* Instability by Self-Generated Zonal Flo $Workstation$ in Tokamak Plasmas. *Physical Review Letters*, 132(7), 1–6.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.075101>
- Byrne, B., McDermott, O., & Noonan, J. (2021). Applying lean six sigma methodology to a pharmaceutical manufacturing facility: A case study. *Processes*, 9(3).
<https://doi.org/10.3390/pr9030550>
- Byrne, B., McDermott, O., & Noonan, J. (2021). Applying lean six sigma methodology to a pharmaceutical manufacturing facility: A case study. *Processes*, 9(3).
<https://doi.org/10.3390/pr9030550>
- Fajri, T. N., & Shauki, E. R. (2023). Potensi Food Loss Dan Food Waste Pada Umkm: Mfca, Nudging Dan Neutralization Theory. *Jurnal Aplikasi Akuntansi*, 7(2), 328–345.
<https://doi.org/10.29303/jaa.v7i2.187>
- H, H. (2021). Lean Six Sigma Implementation , A Systematic Literature Review. 9, 125–139.
- Handayani, S. A., & Hayati, E. N. (2022). Perancangan Stasiun Kerja Guna Menunjang Kinerja Operator. *Jurnal Cakrawala Informasi*, 2(1), 69–79. <https://doi.org/10.54066/jci.v2i1.202>
- Hayati, D., Bayunata, A., & Tarmizi, M. I. (2022). Penerapan Lean Management Pada Proses Rantai Pasok Barang Berbahaya Dan Beracun Bagi Manusia Di Industri Elektronika. *JPP (Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang)*, 17(1), 114–120.
<https://doi.org/10.36086/jpp.v17i1.1228>
- Holifahtus Sakdiyah, S., Eltivia, N., & Afandi, A. (2022). Root Cause Analysis Using *Fishbone* Diagram: Company Management Decision Making. *Journal of Applied Business, Taxation and Economics Research*, 1(6), 566–576. <https://doi.org/10.54408/jabter.v1i6.103>
- Holifahtus Sakdiyah, S., Eltivia, N., & Afandi, A. (2022). Root Cause Analysis Using *Fishbone* Diagram: Company Management Decision Making. *Journal of Applied Business, Taxation and Economics Research*, 1(6), 566–576. <https://doi.org/10.54408/jabter.v1i6.103>
- Irfanto, R. (2022). the Analysis Cause of Casting Repair Work With *Pareto* Chart in Project X. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 106–117. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4485>
- Irfanto, R. (2022). the Analysis Cause of Casting Repair Work With *Pareto* Chart in Project X. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 106–117. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4485>

- Jum'a, L., & Basheer, M. E. (2023). Analysis of Warehouse Value-Added Services Using *Pareto* as a Quality Tool: A Case Study of Third-Party Logistics Service Provider. *Administrative Sciences*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/admsci13020051>
- Jum'a, L., & Basheer, M. E. (2023). Analysis of Warehouse Value-Added Services Using *Pareto* as a Quality Tool: A Case Study of Third-Party Logistics Service Provider. *Administrative Sciences*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/admsci13020051>
- Kayu, P., Slj, P. T., Tbk, G., Christyn, M., Dwi, S., & Abangan, F. (2025). Jurnal Sains Ekonomi dan Edukasi Analisis Menggunakan Peta Kendali I-MR dan Diagram *Pareto* pada. 2(6), 1221–1236.
- Kitada, H., Tennojiya, T., Kim, J., & Higashida, A. (2022). Management practice of Material Flow Cost Accounting and its discontinuance. *Cleaner Environmental Systems*, 6(March), 100089. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100089> IBIMA Business Review, 2021. <https://doi.org/10.5171/2021.747009>
- Kokubu, K., Kitada, H., Nishitani, K., & Shinohara, A. (2023). How Material Flow Cost Accounting contributes to the SDGs through improving management decision-making. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 25(5), 2783–2793. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01696-7>
- Nurjanah, D. A., Kusminah, I. L., Rachmat, A. N., & Nabella, N. (2024). Analisis Penentuan Komponen Kritis Small Excavator Menggunakan Metode FMEA dan Diagram *Pareto*. *Journal of Safety, Health, and Environmental Engineering*, 1(1), 7–15. <https://doi.org/10.33863/jshee.v1i1.19>
- Nursyamsi, I., & Momon, A. (2022). Analisa Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Seven Tools untuk Meminimalkan Return Konsumen di PT. XYZ. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1), 2701–2708. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3878>
- Qu, L., Wang, Z., Sun, C., & Yin, L. (2022). Application of ABB in environmental management accounting: Incorporating MFCA into the budget process. *Frontiers in Environmental Science*, 10(August), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.963903>
- Rifaldi, M., & Sudarwati, W. (2024). Penerapan Metode Six Sigma dan FMEA Sebagai Usaha untuk Mengurangi Cacat pada Produk Bracket. *Jurnal Umj*, April 2024, 1–9.
- Sa, H. (2025). Optimasi proses pemulihan tembaga dan nikel dari limbah PCB menggunakan machine learning. 3, 327–332.
- Satriani, D., & Kusuma, V. V. (2020). Perhitungan harga pokok produksi dan harga pokok penjualan terhadap laba penjualan. *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, Dan Akuntansi)*, 4(2), 438. <https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jtin/article/view/645>
- Soediantono, D. (2022). Literature Review of Lean Six Sigma (LSS) Implementation and Recommendations for Implementation in the Defense Industries Literature Review Implementasi Lean Six Sigma (LSS) dan. 3(2), 24–34.
- Supriyati, S. (2023). Rancang Bangun Cnc (Computer Numerical Control) Untuk Pembuatan Pcb Berbasis Arduino. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa Dan Sosial*, 19(2), 114–120. <https://doi.org/10.32497/orbith.v19i2.4995>
- Tran, T. T., & Herzig, C. (2020). Material flow cost accounting in developing countries: A systematic review. *Sustainability* (Switzerland), 12(13). <https://doi.org/10.3390/su12135413>
- Walls, C., Putri, A. R. K., & Beck, G. (2023). Material Flow Cost Accounting as a Resource-Saving Tool for Emerging Recycling Technologies. *Clean Technologies*, 5(2), 652–674. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol5020033>

- Walls, C., Putri, A. R. K., & Beck, G. (2023). Material Flow Cost Accounting as a *Resource-Saving Tool* for Emerging Recycling Technologies. *Clean Technologies*, 5(2), 652–674. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol5020033>
- Walz, M., & Guenther, E. (2021). What effects does Material Flow Cost Accounting have for companies?: Evidence from a case studies analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 25(3), 593– 613. <https://doi.org/10.1111/jiec.13064>
- Wara, I. L., Sudirman, R., & Rusli, A. (2023). Penerapan Green Accounting Terhadap Kinerja Keuangan Pt Asera Tirta Posidonia Kota Palopo. *Jesya*, 6(2), 1482–1489. <https://doi.org/10.36778/jesya.v6i2.1129>
- Yang, L., Xiao, X., & Gu, K. (2021). Agricultural waste recycling optimization of family farms based on environmental management accounting in rural China. *Sustainability* (Switzerland), 13(10). <https://doi.org/10.3390/su13105515>