



## Penerapan MFCA Dengan Lean Tools

Erlinda Sholihah<sup>1</sup>

Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Studi Ekonomi Modern

Jaelani<sup>2</sup>

Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Studi Ekonomi Modern

**ABSTRACT.** *This study aims to analyze the application of Material Flow Cost Accounting (MFCA) as a diagnostic tool and develop methodologies with lean tools that can be validated through their application to case studies in industrial companies. In an effort to become more competitive, the component manufacturing industry needs to find simple and effective solutions that increase productivity while reducing costs. Faced with this reality, companies need to find the right solutions to reduce environmental impact and remain focused on cost control. This study contributes a methodology for integrating MFCA with lean tools in the field of environmental management accounting. This integration enables a comprehensive analysis of the environmental and economic impacts of production, helps companies identify improvement opportunities, and encourages managers to systems of continuous improvement. The study used a review of complementary literature, the development of methods of integrating MFCA and Lean tools. Furthermore, validation is carried out through the application of case studies in industrial companies, which allows the collection of data needed to perform MFCA analysis and calculation models. The integration of MFCA with lean tools provides a comprehensive analysis of the environmental and economic impact of production. The methodology is validated through industry case studies, demonstrating practical applicability and potential benefits. The study also revealed that MFCA analysis has limitations, but when combined with detailed process observations, it can identify inefficiencies that were not detected before. Overall, this methodology enables a shift towards environmentally friendly and low-waste production, and acts as a cycle of continuous improvement to bring production processes closer to ideal optimal levels. The findings suggest that MFCA with lean tools can provide a more comprehensive analysis of the environmental and economic impact of production processes, enabling a shift in production systems towards environmental friendliness and making component waste low. The study provides valuable insights and guidance for companies looking to improve their environmental and economic performance through the integration of MFCA and Lean tools.*

**Keywords:** *Material Flow Cost Accounting, Lean Manufacturing, Production Management*

**ABSTRACT.** Studi ini bertujuan untuk menganalisis penerapan Material Flow Cost Accounting (MFCA) sebagai alat diagnostik dan mengembangkan metodologi dengan lean tools yang dapat divalidasi melalui penerapannya pada studi kasus di perusahaan industri. Dalam upaya menjadi lebih kompetitif, industri pembuatan komponen perlu mencari solusi sederhana dan efektif yang meningkatkan produktivitas sambil mengurangi biaya. Menghadapai kenyataan ini, perusahaan perlu mencari solusi yang tepat untuk mengurangi dampak lingkungan dan tetap berfokus pada pengendalian biaya. Studi ini menyumbangkan metodologi untuk mengintegrasikan MFCA dengan lean tools dalam bidang akuntansi manajemen lingkungan. Integrasi ini memungkinkan analisis komprehensif terhadap dampak lingkungan dan ekonomi produksi, membantu perusahaan mengidentifikasi peluang peningkatan, dan mendorong manajer untuk sistem peningkatan berkelanjutan. Studi ini menggunakan tinjauan literatur yang saling melengkapi, pengembangan metode pengintegrasian alat MFCA dan Lean. Selanjutnya validasi dilakukan melalui penerapan studi kasus di perusahaan industri, yang memungkinkan pengumpulan data yang diperlukan untuk melakukan analisis MFCA dan model perhitungannya. Integrasi MFCA dengan lean tools memberikan analisis komprehensif tentang dampak lingkungan dan ekonomi produksi. Metodologi ini divalidasi melalui studi kasus industri, menunjukkan penerapan praktis dan potensi manfaat. Studi ini juga mengungkapkan bahwa analisis MFCA memiliki keterbatasan, tetapi ketika dikombinasikan dengan pengamatan proses yang terperinci, dapat mengidentifikasi inefisiensi yang tidak terdeteksi sebelumnya. Secara keseluruhan, metodologi ini memungkinkan perubahan menuju produksi ramah lingkungan dan rendah limbah, serta berperan sebagai siklus perbaikan berkelanjutan untuk mendekatkan proses produksi ke tingkat optimal yang ideal. Temuan menunjukkan bahwa MFCA dengan lean tools dapat memberikan analisis yang lebih komprehensif tentang dampak lingkungan dan ekonomi dari proses produksi, memungkinkan perubahan sistem produksi menuju ramah lingkungan dan membuat limbah komponen menjadi rendah. Studi ini memberikan wawasan dan panduan berharga bagi perusahaan yang ingin meningkatkan kinerja lingkungan dan ekonomi mereka melalui integrasi alat MFCA dan Lean.

**Kata kunci:** Akuntansi Biaya Aliran Material, Lean Manufacturing, Manajemen Produksi

## PENDAHULUAN

Saat ini, masyarakat modern sangat kompetitif dan peduli lingkungan menekan perusahaan untuk mencapai produktivitas yang lebih tinggi dengan dampak lingkungan serendah mungkin (Kokubu et al., (2013). Ini membuat beberapa metode alternatif muncul, untuk mendukung keputusan manajemen dalam hal kinerja ekonomi sekaligus mempertimbangkan dampak lingkungan dan volume produksi (Kokubu et al., (2013); Sygulla et al., (2011). Saat ini, Material Flow Cost Accounting (MFCA) dianggap sebagai salah satu alat utama untuk Akuntansi Manajemen Lingkungan (EMA). Menurut standar ISO 14051 (DIN EN ISO (2011), Akuntansi Biaya Arus Material adalah alat manajemen yang memupuk transparansi aliran dan konsumsi energi dan material. Lean Management diakui sebagai solusi untuk menghilangkan pemborosan dengan tujuan utama untuk mengidentifikasi dan menghilangkan beberapa jenis pemborosan yang memungkinkan perusahaan mencapai permintaan pelanggan yang efisien. Selain itu, domain Lean Management terkait dengan aliran fisik dan tidak secara langsung mempertimbangkan dampak ekonomi dari peningkatannya. Metode ini dikembangkan untuk mendukung perusahaan industri dalam efisiensi material dan energi serta mendukung keputusan manajemen dengan menghadirkan nilai efektif limbah perusahaan dengan asumsi bahwa, dampak ekonomi adalah salah satu faktor terpenting dalam lingkungan perusahaan, sehingga hasil MFCA harus memotivasi para manajer untuk mempertimbangkan kembali strategi mereka guna meningkatkan efisiensi produksi (Schmidt et al., (2015). Integrasi MFCA dengan Lean Tools merupakan penggunaan teknik akuntansi biaya arus material yang terintegrasi untuk mengoptimalkan efisiensi dan produktivitas dalam proses produksi. Akuntansi biaya arus material merupakan pendekatan yang fokus pada pengukuran arus material biaya secara spesifik dalam suatu proses produksi. Dengan menggunakan akuntansi biaya arus material, perusahaan dapat melacak dan mengukur biaya yang terkait dengan aliran material secara rinci, sehingga dapat mengidentifikasi potensi pemborosan dan peluang penghematan. Dalam konteks ini, penggunaan Lean Tools seperti Value Stream Mapping, Just-in-Time (JIT), dan Continuous Improvement (Kaizen) adalah untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan yang ada dalam proses produksi.

## **KAJIAN TEORITIS**

### **Material Flow Cost Accounting (MFCA)**

Kebutuhan untuk memenuhi persyaratan yang diberlakukan tentang konsumsi sumber daya dan emisi memaksa perusahaan untuk meningkatkan praktiknya namun harus tetap kompetitif di pasar dunia, dan harus mencapai tingkat produktivitas yang lebih tinggi (Christ et al., (2015); Götze et al., (2014)). Untuk menjawab kebutuhan tersebut, Material Flow Cost Accounting (MFCA) disarankan oleh beberapa penulis sebagai salah satu alat yang dapat mendukung perusahaan dalam pengambilan keputusan untuk perbaikan ekonomi dan lingkungan (Kokubu et al., (2013)). Dalam konteks ini, MFCA dianggap sebagai pendekatan yang menjanjikan karena diakui sebagai metode akuntansi khusus dan salah satu alat utama Akuntansi Manajemen Lingkungan (Götze et al., (2014)). MFCA menyajikan perbandingan biaya antara produk positif (produk) dan produk negatif (limbah), memungkinkan peningkatan efisiensi penggunaan material dan energi. Begitu biaya pemborosan terlihat, hal itu dapat mendorong manajer untuk merencanakan ulang strategi pada perusahaan industri yang pada nantinya, strategi tersebut dapat diimplementasikan untuk mengurangi sumber daya dapat dicapai dan memberikan pengurangan biaya produksi secara keseluruhan dan dampak lingkungan dapat dicapai dengan lebih baik (Schmidt et al., (2015)). MFCA memberikan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengoptimalkan aliran material dan energi di seluruh proses produksi. MFCA memperhitungkan tidak hanya biaya langsung bahan dan energi yang dikonsumsi tetapi juga biaya tidak langsung yang terkait dengan produksi limbah, emisi, dan dampak lingkungan. Dengan mengukur biaya yang terkait dengan aliran ini, MFCA memungkinkan perusahaan mengidentifikasi inefisiensi, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan pemanfaatan sumber daya. Schmidt et al., (2015), membahas penyempurnaan metodis dan penerapan praktis MFCA, menyoroti signifikansinya dalam proses produksi yang berkelanjutan. Sugahara et al., (2019) mengeksplorasi integrasi MFCA dengan prinsip produksi ramping, menekankan perannya dalam manajemen biaya dan peningkatan efisiensi sumber daya.

MFCA juga mengidentifikasi sumber limbah, berkontribusi pada pengurangan sumber daya, dampak lingkungan, dan biaya produksi (Sygulla et al., 2014; Nakajima, 2006). Implementasi MFCA memerlukan pengumpulan data yang tepat dan dapat meningkatkan sistem akuntansi perusahaan serta memberikan informasi untuk proyek masa depan (Sygulla et al., 2014).

## **METODE PENELITIAN**

### **Metodologi penerapan MFCA**

Terlepas dari bidang produksinya, penerapan MFCA dalam suatu organisasi, memerlukan beberapa langkah kolaborasi departemen. Selain itu, tingkat detail dan kompleksitas analisis bergantung pada ukuran organisasi, proses manufaktur, dan informasi yang tersedia. Metode ini dapat diterapkan di organisasi dengan atau tanpa Environment Management System (EMS). Proses penerapannya difasilitasi di perusahaan yang sudah memiliki SML. Metode penerapan MFCA harus dipertimbangkan dengan hati-hati untuk mengevaluasi kinerja sistem produksi. MFCA dapat mendukung hal ini dengan menghitung dampak keuangan dari limbah dan menjadi alat yang berguna untuk pengambilan keputusan. Jika perusahaan sudah memiliki EMS, siklus MFCA-PDCA dapat dimasukkan pada berbagai tahapan siklus EMS-PDCA. Selain itu, keuntungan dari aplikasi MFCA akan meningkat jika dibangun sesuai dengan siklus PDCA.

### ***MFCA***

Efektivitas aplikasi MFCA sangat bergantung pada tingkat dukungan manajemennya. MFCA membutuhkan pengetahuan mendalam tentang metode dan kolaborasi berbagai departemen seperti kualitas, logistik, dan teknik dengan batas dan periode waktu analisis yang ditentukan (Bierer et al., (2012). Ruang lingkup analisis dapat mencakup satu atau beberapa proses, seluruh fasilitas atau bahkan rantai pasokan. Namun dalam pendekatan pertama direkomendasikan pemilihan satu proses, atau produk dengan potensi dampak ekonomi dan lingkungan yang signifikan dalam organisasi. Setelah batas ditentukan, jangka waktu pengumpulan data juga harus ditentukan. Selanjutnya, QC harus dipilih dan ditentukan dengan hati-hati, jika QC dipilih terlalu kasar, beberapa informasi relevan tentang lokasi kerugian material dan biaya produk negatif mungkin menjadi tidak jelas; sebaliknya, jika QC ditetapkan terlalu tepat, kompilasi data MFCA mungkin terlalu rumit dan sulit. Oleh karena itu, sebelum melanjutkan ke fase MFCA berikutnya, analisis makro sistem direkomendasikan untuk menilai otentikasi QC yang ditentukan.

### ***MFCA Do***

Pertama, input dan output dari setiap QC harus diidentifikasi. Biasanya, inputnya adalah bahan baku, bahan operasi dan energi, dan outputnya adalah produk, bahan dan kerugian energi. Identifikasi energi energi dapat diestimasi secara terpisah atau dimasukkan dalam kerugian material dan material, tergantung pada preferensi perusahaan. Aarus input dan

output yang teridentifikasi dari setiap QC harus digunakan untuk menghubungkan semua pusat kuantitas dalam batas analisis MFCA untuk mencapai karakterisasi yang jelas dari aliran sistem produksi. Setelah itu, setiap input dan output harus dikuantifikasi dalam satuan fisik. Analisis MFCA memungkinkan visualisasi dan kuantifikasi kerugian material untuk mendukung pengambilan keputusan manajemen. Ini dicapai dengan peningkatan transparansi kerugian material dalam satuan fisik dan moneter (Sygulla et al., (2011). Langkah selanjutnya adalah konversi kuantifikasi fisik menjadi moneter, Aliran output, produk positif dan produk negatif (limbah), tidak mempertimbangkan biaya material secara eksklusif. Karena, setiap proses produksi memerlukan beberapa jenis input, analisis harus mempertimbangkan semua biaya yang terlibat di dalamnya. Konsekuensinya, biaya aliran bernama yang harus dibebankan ke aliran material (unit fisik) mencakup semua biaya yang dapat terkait atau disebabkan oleh aliran material (Sygulla et al., (2011). Metode MFCA membagi beberapa jenis biaya menjadi biaya bahan, biaya energi, biaya sistem, dan biaya pengolahan limbah.

MFCA membedakan biaya langsung dari biaya tidak langsung, seperti sistem akuntansi biaya lainnya. Biaya tidak langsung seperti, biaya administrasi dan biaya struktur, harus dialokasikan dengan kriteria yang lebih tepat. MFCA bertujuan untuk mendukung pengambilan keputusan, untuk itu, dalam pengambilan keputusan bidang keuangan, aspek lingkungan dan pengumpulan data perusahaan harus dilakukan secara bersamaan untuk membuat model perhitungan MFCA. Model perhitungan ini harus dikembangkan di dalam perusahaan dengan mempertimbangkan semua prinsipal dan fundamental.

### **Aliran Energi dan Analisis Biaya Energi**

Menurut Sygulla et al., (2011), metodologi MFCA harus diselidiki dari sudut pandang teoretis untuk menilai dampak praktik ini dalam hasil keseluruhan. Selain itu, alokasi biaya energi di bawah aliran material mengabaikan informasi tentang konsekuensi dan penyebab hilangnya energi. Meskipun ada kemungkinan mengevaluasi kehilangan energi karena perpindahan panas atau getaran, hal ini tidak mudah dilakukan dan seringkali diabaikan dari sudut pandang aliran energi. Identifikasi inefisiensi energi memerlukan seluruh kategorisasi penggunaan energi dan pembedaan aliran energi yang diinginkan dan tidak diinginkan. Oleh karena itu, keseimbangan energi juga harus dilakukan (Götze et al., (2014); Bierer et al., (2012). Dalam sebagian besar kasus, bagian yang representatif dari biaya terkait dengan energi yang dikonsumsi selama proses berlangsung, neraca energi dan model 'transparan' dimasukkan untuk menilai konsumsi dan penggunaan energi. Selanjutnya, diharapkan bahwa

analisis rinci aliran energi dan pasokan dapat memberikan manfaat lingkungan dan penghematan biaya (Götze et al., (2014).

MEFCA menyarankan kuantifikasi aliran individual dalam satuan fisik dengan semua jenis bahan yang digunakan harus dikuantifikasi dalam satu unit fisik untuk memfasilitasi kuantifikasi dan biaya alokasi posterior. Kuantifikasi material dan energi dalam satuan fisik yang sama tidak dimungkinkan karena material dikuantifikasi dalam kilogram dan energi dalam watt jam. Konsekuensinya tinjauan mengenai kriteria alokasi aliran energi dan material menjadi wajib (Götze et al., (2014).

Manfaat yang akan muncul tergantung pada informasi aliran sumber daya dan upaya untuk melakukan analisis MFECA (Sygulla et al., (2011). Metodologi aplikasi MFECA harus disempurnakan, kegiatan penyelidikan lebih lanjut diperlukan dalam bidang ini untuk meningkatkan nilai informatif Akuntansi Biaya Energi (ECA), menawarkan solusi yang sesuai untuk inefisiensi energi dan metode perencanaan untuk membandingkan alternatif yang berbeda untuk meningkatkan penggunaan energi (Bierer et al., (2012). Evaluasi kedua sistem produksi yang dilakukan dalam penelitian ini, dengan penerapan MFCA, mengalokasikan biaya energi di bawah rasio material. Keputusan ini diambil berdasarkan adanya kesenjangan informasi tentang aliran energi. Selain itu, dalam total biaya produksi, kontribusi biaya energi tidak representatif dan akibatnya keputusan yang berbeda dapat membahayakan signifikansi dan validitas hasil.

### **Analisis loop**

Perusahaan mengadopsi proses daur ulang dalam unit produksi untuk mengurangi jumlah bahan yang terbuang. Jenis proses ini dianggap sebagai loop material internal dari sudut pandang MFCA. Secara finansial dan lingkungan praktik ini menguntungkan karena pengurangan konsumsi bahan baku dan pembuangan bahan, akan tetapi proses daur ulang, menyebabkan biaya tambahan (Götze et al., (2014). Alur karakterisasi sistem yang mencakup proses daur ulang lebih kompleks karena bahan baku, sebagai input, dan aliran output saling bergantung. Untuk mengatasi kesulitan tersebut Götze et al., (2014) menyarankan tiga kemungkinan solusi, yaitu menghitung total biaya semua aliran, mempertimbangkan biaya tambahan yang terkait dengan loop material, dan melaporkan biaya loop secara terpisah. Akan tetapi, solusi tersebut dapat dianggap bertentangan dengan MFCA dan MFECA. Untuk menunjukkan inefisiensi penggunaan material disarankan ekstraksi dan penyajian biaya loop material sebagai biaya tambahan dan independen lainnya.

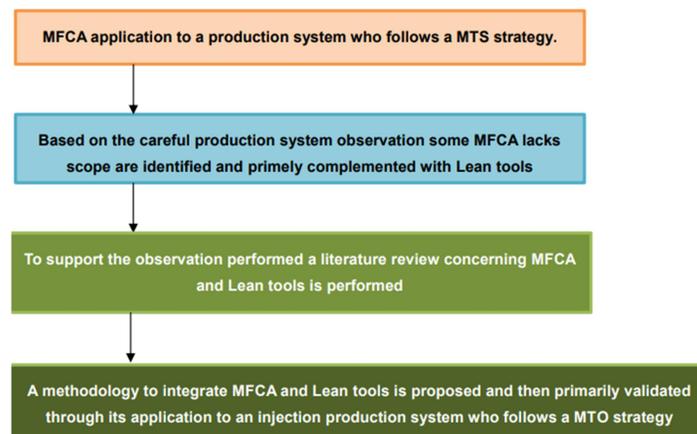
## **Arus Material dan Akuntansi Biaya Tradisional**

MFCA merupakan metode yang pertama kali dirancang untuk diterapkan sebagai alat evaluasi untuk meningkatkan efisiensi sumber daya (Götze et al., (2014). Selain itu, jika dibandingkan dengan Akuntansi Biaya Tradisional (TCA), MFCA lebih disukai karena selain menyajikan kinerja akuntansi secara keseluruhan, MFCA juga menunjukkan nilai sebenarnya dari material yang terbuang yang umumnya dianggap sebagai kehilangan produk yang diperlukan dengan metode tradisional. Evaluasi dan pengembangan alternatif proses dalam perusahaan harus didasarkan pada nilai moneter mereka, dengan pertimbangan bahwa keputusan umumnya didasarkan pada keuntungan ekonomi dan peningkatan margin keuntungan. Dengan demikian, penilaian akan mengacu pada catatan dan laporan ekonomi yang disajikan oleh sistem akuntansi manajemen dan biaya perusahaan. Akuntansi Biaya Tradisional dalam teori menyediakan berbagai macam pendekatan untuk analisis biaya, meskipun sebagian besar gagal dalam identifikasi inefisiensi sumber daya (Götze et al., (2014). Perbedaan MFCA dan TCA yang paling menonjol terdapat pada cara penanganan biaya kerugian material dan inefisiensi energi pada saat analisis proses dilakukan. Dari perspektif TCA, biaya terkait dengan inefisiensi material dan energi dialokasikan ke biaya produk tanpa dibedakan. TCA menganggap pemborosan material dan energi sebagai bagian penting dari proses produksi. Biaya material yang terkait dengan kerugian material seringkali ditentukan sebagai angka standar. Konsekuensinya, hanya yang di luar standar yang dianggap merugi. Selain itu, biaya pengelolaan limbah termasuk dalam biaya produk atau biaya total yang terkait dengan sistem produksi. Semua kesenjangan tersebut mengakibatkan kesalahpahaman dimensi riil dari kerugian material dan inefisiensi energi serta dampaknya pada sistem produksi secara keseluruhan.

Analisis MFCA memerlukan informasi terperinci mengenai konsumsi, aliran material dan energi yang pada gilirannya, pengumpulan informasi tersebut membutuhkan pengukurannya dalam satuan fisik di titik-titik tertentu dari sistem produksi. Selain itu, perlu juga mengevaluasi unit fisik tersebut dan mengalokasikan biaya masing-masing ke pengeluaran yang benar. Seluruh proses akurat ini diperlukan untuk implementasi MFCA dan validitasnya. Strategi implementasi yang tepat harus mempertimbangkan rasio antara upaya yang diperlukan MFCA dan manfaat akhir TCA (Götze et al., (2014). Untuk prosedur implementasi juga direkomendasikan, berdasarkan beberapa aplikasi, identifikasi bagian kritis sebelumnya dan kemudian, pengembangan model aliran kasar. Diharapkan aplikasi pertama MFCA menyoroti titik-titik inefisiensi.

## Pendekatan penelitian

Pendekatan penelitian dibagi menjadi tiga fase dan secara skematis. Fase pertama terdiri dari penerapan MFCA ke unit cetakan injeksi yang mengikuti strategi MTS. Aplikasi MFCA membutuhkan karakterisasi rinci sistem produksi untuk menganalisis dan menghitung aliran material dalam satuan fisik. Informasi ini dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam model perhitungan yang dikembangkan untuk analisis. Hasilnya dipresentasikan dan didiskusikan dengan manajer perusahaan. Fase kedua adalah pengamatan yang cermat terhadap sistem produksi yang sama. Ini menunjukkan adanya beberapa masalah produksi yang tidak dapat ditransmisikan oleh MFCA secara jelas dalam hasil perhitungannya karena sifatnya. Dengan demikian, studi kesamaan antara MFCA dan lean tools dilakukan untuk mengakses kelayakan integrasi mereka. Selanjutnya, metodologi untuk mengintegrasikan alat MFCA dan Lean dikembangkan, diusulkan dan divalidasi lebih lanjut. Metodologi ini bertujuan untuk melengkapi kedua metode/alat yang saling memanfaatkan. Di satu sisi, pemetaan MFCA memakan biaya dan memerlukan pengumpulan data terperinci, di sisi lain, lean tools menambahkan informasi penting dari sudut pandang sistem produksi dan memiliki alat khusus untuk analisis akar penyebab dan pemecahan masalah. Kombinasi alat-alat canggih ini akan memungkinkan perusahaan untuk memetakan semua limbah yang terkait dengan sistem produksi, serta mampu menyoroti masalah produksi dan, menggunakan alat untuk analisis akar penyebab untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah dan mengusulkan solusi. Metodologi akan memungkinkan penilaian hasil yang ditingkatkan dalam hal nilai moneter dan konsumsi fisik. Terakhir, metodologi seharusnya digunakan untuk meningkatkan proses produksi dengan menghadirkan dampak dan peluang perbaikan dalam nilai moneter untuk memotivasi manajer agar terus meningkatkan sistem.



Gambar 1. Pendekatan diikuti untuk mengembangkan penelitian ini.

## **Studi Kasus**

Metodologi MFCA digunakan dalam aplikasi dengan sistem produksi dikarakterisasi dengan menentukan batasan dan ruang lingkup sistem serta produk yang akan dianalisis. Dalam penelitian ini, produk yang dipilih adalah Produk A, yang terdiri dari dua komponen yang diproduksi secara terpisah. Kedua, penentuan QC dilakukan berdasarkan proses yang terlibat dalam sistem produksi. MFCA membagi sistem produksi menjadi proses atau bagian yang mengubah, menyimpan, atau memberikan kontribusi pada material dalam Work-In-Process. Aliran produksi dianalisis untuk memahami aliran material dalam proses manufaktur, mulai dari bahan baku hingga pengiriman produk akhir ke pelanggan. Flow map material dikembangkan berdasarkan sistem produksi tersebut, termasuk QC dan aliran material positif dan negatif.

## **Kuantifikasi aliran material**

Pusat-pusat ISO 14051 menyarankan identifikasi input dan output dari setiap QC setelah kuantitasnya ditentukan. Input terbagi menjadi material dan energi, sedangkan output meliputi kerugian produk dan material. Dalam studi kasus ini, energi dan energi yang hilang termasuk dalam produk dan bahan yang terbuang. Aliran energi dimasukkan dalam aliran material dan dilacak sebagai satu kesatuan. Data limbah bahan dimasukkan ke pusat kuantitas pengelolaan limbah tergantung pada sifat kerugiannya. Pemeliharaan peralatan membutuhkan bahan operasi yang biayanya dibebankan ke aliran input QC dan selalu menjadi bagian dari output limbah QC.

## **Prosedur yang Diikuti untuk Mengumpulkan Data Unit Fisik**

Pengukuran input dan output dalam satuan fisik adalah tahap selanjutnya. ISO menyarankan penggunaan massa sebagai unit fisik untuk mengukur material, tetapi bahan operasi yang sulit diukur menggunakan jumlah produk yang digunakan sebagai pengganti. Proses pengumpulan data dan kuantifikasi ini memerlukan waktu dan komunikasi dengan departemen terkait. Jika pengumpulan data fisik tidak memungkinkan, model perhitungan tambahan dikembangkan. Terdapat dua kategori prosedur: pengukuran langsung di lantai produksi dan analisis catatan perusahaan. Tahap awal adalah menghitung jumlah BigBag harian di divisi Bahan Baku untuk memperkirakan konsumsi bahan baku. Selanjutnya, dilakukan penimbangan limbah mesin, termasuk bagian rusak, pelepasan, dan komponen terkontaminasi. Pengukuran ini dilakukan secara harian atau mingguan. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak perusahaan, dengan fokus pada waktu

berhenti dan waktu siklus mesin. Selanjutnya, data dimasukkan ke dalam Auxiliary Calculation Model untuk menghitung volume produksi sebenarnya dan total bahan yang dikonsumsi selama proses produksi.

Perhitungan dilakukan setiap hari selama periode pengumpulan. Setelah satu bulan, hasilnya dibandingkan dengan catatan logistik yang mencakup informasi stok, jumlah palet produk yang dikirimkan, dan jumlah palet yang disimpan di Gudang Produk Akhir. Konsumsi bahan baku dibandingkan dengan catatan stok dan jumlah palet yang dikirim ke pelanggan. Catatan logistik dan gudang juga mendukung perhitungan bahan operasi yang dikonsumsi. Konsistensi hasilnya memvalidasi model perhitungan tambahan dan mengukur aliran material dalam satuan fisik. Pendekatan awal melibatkan pemeliharaan bergilir yang dilakukan oleh pemimpin tim, wawancara dengan operator, dan pertemuan dengan bagian pemeliharaan untuk memahami kebutuhan proses. Informasi ini digabungkan dengan catatan bahan operasi dan perkiraan bahan yang dikonsumsi. Input material harus seimbang dengan outputnya dalam hal produk dan limbah. Setelah semua kuantitas material ditentukan dan neraca dikonfirmasi, langkah selanjutnya adalah mengukur aliran material dalam satuan moneter.

### **Kuantifikasi Aliran Energi, Sistem dan Material**

Biaya sistem produksi mencakup semua biaya moneter yang dikeluarkan untuk melakukan aktivitas. Konsekuensinya, semua biaya yang terkait atau dihasilkan oleh aliran material harus dialokasikan ke masing-masing aliran output (limbah produk atau material). Menurut standar ISO 14051 akurasi analisis dimaksimalkan ketika semua biaya dihitung dari data yang tersedia untuk QC individu dan arus material. Namun, jika hal ini tidak memungkinkan, biaya harus diestimasi dengan prosedur alokasi biaya. Ada empat jenis biaya yang dipertimbangkan oleh MFCA, Biaya Energi, Biaya Sistem, Biaya Bahan, dan biaya pengelolaan Limbah. Biaya Pengelolaan Limbah yang diidentifikasi dalam sistem produksi ini secara eksklusif terkait dengan biaya pengolahan limbah dalam WM-QC, sehingga biaya tersebut langsung dialokasikan ke sistem WM-QC dan tidak diperlukan kriteria alokasi lain.

Biaya energi dihitung secara individual untuk setiap QC. Untuk menghitung biaya ini, pertama-tama peralatan yang digunakan di setiap QC diidentifikasi, dan konsumsi daya diukur menggunakan peralatan khusus, daya PROVA 6830, dan penganalisa harmonik. Kemudian, energi yang dikonsumsi selama proses produksi dihitung diikuti dengan perhitungan biaya Energi. Biaya Sistem mencakup semua biaya yang berkaitan dengan aliran produksi kecuali biaya bahan dan energi. Dengan demikian, biaya karyawan mewakili total

biaya karyawan yang terlibat per QC; biaya Ruang dan Peralatan adalah sewa ruang dan peralatan yang diperlukan untuk QC. Biaya karyawan termasuk biaya setiap karyawan yang terlibat dalam sistem produksi. Ini harus dialokasikan ke setiap QC berdasarkan tugas yang dilakukan. Alokasi biaya karyawan didasarkan pada waktu yang dihabiskan untuk melakukan tugas atau aktivitas yang ditentukan. Kriteria ini tidak dapat diterapkan pada Pemimpin Proyek, karena dia bertanggung jawab atas keseluruhan lini produksi. Dengan demikian, bersama dengan Pemimpin Proyek, distribusi karya-karyanya yang sah per QC ditentukan. Biaya Ruang dihitung menggunakan dan ditugaskan ke setiap QC secara individual berdasarkan ruang yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitas yang terlibat serta ruang yang ditempati oleh peralatan. Biaya Peralatan dialokasikan dengan mempertimbangkan jenis peralatan. Biaya peralatan adalah sewa atau penyusutan bulanan dan dialokasikan ke QC di mana digunakan. Untuk mengalokasikan peralatan non-dedicated ke sistem manufaktur, digunakan kriteria yang berbeda. Biaya energi dan sistem dialokasikan ke produk output atau limbah melalui proporsi rasio massa antara produk dan limbah material, yaitu energi yang dikonsumsi di setiap pusat kuantitas dialokasikan ke aliran output dengan persentase total produksi yang sesuai. kerugian produk dan material.

#### **Data kompilasi MFCA untuk model Perhitungan**

Setelah menghitung semua jenis aliran dalam satuan fisik dan menentukan kriteria untuk mengubahnya menjadi unit moneter dan juga aturan alokasi input dan output, model perhitungan mengatur semua informasi yang sebelumnya dihitung dan pada akhirnya mengeksport flow map output akhir di mana biaya aliran ditampilkan. Model ini harus mencakup semua sumber daya yang digunakan dan masing-masing biaya untuk menilai aliran ekonomi (antara QC) dan secara keseluruhan untuk menilai kinerja ekonomi dari seluruh sistem produksi. Informasi yang diperoleh untuk sistem produksi selama periode pengumpulan dapat diekstrapolasi, memperoleh analisis tahunan dari sistem manufaktur. Aliran material harus dikembangkan mengikuti aliran proses, yaitu QC pertama yang harus dikuantifikasi adalah QC dimana sistem produksi dimulai, dalam hal ini bidang Raw Material. Kemudian proses kuantifikasi harus mengikuti aliran material. Untuk menyelesaikan analisis sistem produksi total dan alirannya, prosedur yang disajikan harus dilakukan untuk setiap QC. Model perhitungan diperoleh melalui penerapan prosedur pada semua proses. Analisis ini menyajikan aliran biaya dari seluruh proses produksi dan memungkinkan perusahaan untuk menilai proses mana limbah memiliki nilai tertinggi. Hasil model perhitungan adalah flow map dimana biaya aliran material disajikan melalui

kombinasi dari setiap QC tunggal. Selanjutnya, flow map ini dianalisis berdasarkan biaya limbah material.

### **Metodologi untuk Integrasi MFCA dan Lean Tools**

MFCA adalah metode untuk mendiagnosis sistem produksi berdasarkan kuantifikasi aliran material yang memisahkan material yang digunakan untuk memproduksi produk dari kerugian material (limbah). Ini memungkinkan identifikasi inefisiensi di seluruh sistem produksi dan menyajikan hasil mengenai aliran biaya produk dan limbah. Selama pengembangan studi kasus pertama, yang disajikan pada bagian sebelumnya, MFCA mengizinkan identifikasi pemborosan di setiap QC dan sumber pemborosan tersebut. Namun, tidak ada informasi yang diberikan tentang tingkat kritis dari pemborosan tersebut (tidak ada target atau tolok ukur yang ditentukan) maupun akar penyebab yang diidentifikasi secara sistematis. MFCA memetakan dan menghitung tempat (QC) dan jumlah sumber daya yang dikonsumsi, serta kerugian material (dan energi). Namun, tidak termasuk prosedur untuk mendukung fase selanjutnya dari diagnosis dan implementasi tindakan perbaikan. Dengan demikian penggunaan alat terkait Lean Manufacturing setelah MFCA direkomendasikan karena alasan berikut:

Terlepas dari sebagian besar metode pemikiran Lean ini disarankan dalam studi kasus pertama; dampak dan kinerja dari saran-saran ini tidak diterapkan selama magang karena modifikasi tata letak produksi dan fase transisi jalur produksi. Konsekuensinya, konteks ini memotivasi usulan metodologi yang mengintegrasikan MFCA dan alat manajemen Lean, mengambil keuntungan dari saling melengkapinya. Di satu sisi, MFCA bertujuan untuk menyajikan kepada para manajer nilai uang riil dari limbah dan QC dalam sistem manufaktur yang memiliki kontribusi tertinggi terhadap biaya limbah. Di sisi lain, tujuan alat Manajemen Lean terkait dengan analisis aliran fisik dan solusi pemecahan masalah. Dengan demikian, muncul pertanyaan penelitian: Bagaimana cara mengintegrasikan MFCA dan alat manajemen Lean untuk sistem perbaikan berkelanjutan? Untuk menjawab pertanyaan ini, metodologi integrasi diusulkan. Selanjutnya, divalidasi melalui penerapannya pada studi kasus. Bagian ini disusun sebagai berikut. Pertama, tinjauan konseptual yang terkait dengan MFCA dan alat manufaktur Lean yang berfokus pada saling melengkapi disajikan. Kemudian, metodologi integrasi yang diusulkan dijelaskan. Pada subbagian ketiga, metodologi diterapkan pada studi kasus sistem cetakan injeksi, termasuk juga solusi perbaikan yang dikembangkan. Aplikasi studi kasus bertujuan validasi awal dari metodologi yang diusulkan.

## **Pendekatan MFCA dan Lean**

Saat ini, di pasar yang sangat kompetitif dan ekonomi yang tidak stabil, sebagian besar perusahaan di industri manufaktur menghadapi tantangan untuk meningkatkan margin keuntungan untuk mempertahankan tingkat kualitas produk. Selain itu, karena masalah lingkungan, perusahaan telah ditekan untuk meningkatkan efisiensi sumber daya dari proses pengurangan bahan yang terbuang dan energi yang dikonsumsi. Faktor-faktor tersebut memaksa perusahaan manufaktur untuk mencapai tingkat produktivitas yang lebih tinggi dengan biaya serendah mungkin sambil mengurangi dampak lingkungannya (Kokubu et al., (2013). Dalam kasus khusus perusahaan cetakan injeksi, pelanggan (pasar) terus-menerus menuntut suku cadang yang lebih kompleks dengan tingkat integrasi komponen/fungsi yang lebih tinggi. Kehidupan produk menurun, menurunkan keuntungan yang terkait dengan skala ekonomi dan teknologi yang merata di seluruh dunia cenderung menyebarkan jenis dan lokasi pesaing. Hal ini menimbulkan ketidakpastian yang tinggi dalam margin bisnis; oleh karena itu, minimalisasi produksi dan lead time, dan sumber daya yang dikonsumsi menjadi perhatian sehari-hari. Data MFCA yang diperoleh selama analisis disajikan dalam diagram biaya aliran material. Ini menunjukkan biaya yang dialokasikan per QC, secara individual, dari total sistem produksi menunjukkan secara skematis diagram Sankey terkait biaya menunjukkan diferensiasinya antara item input biaya tipikal (bahan, energi, biaya sistem) dan output (produk, biaya limbah). Untuk alasan penyederhanaan, biaya pengelolaan sampah diabaikan. Akhirnya, MFCA memungkinkan untuk memahami, tidak hanya, kontribusi setiap QC dalam total biaya produksi, tetapi juga membuktikan pengaruh setiap bagian QC (QC-Material; QC-Sistem; QC-Energi) dalam setiap QC.

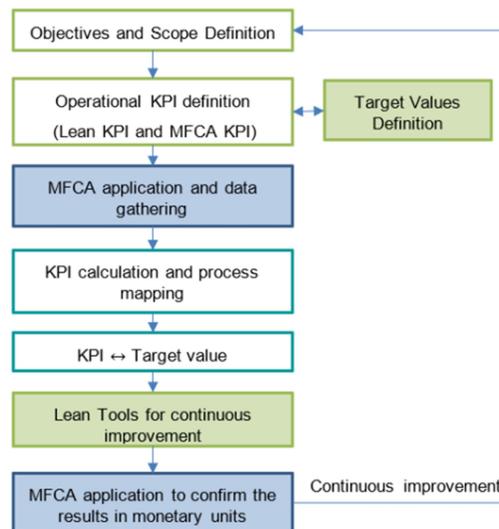
MFCA menunjukkan kinerja masing-masing QC, melalui pemetaan informasi yang terkait dengan masing-masing QC. Informasi ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk mengidentifikasi proses kritis hanya berdasarkan aspek moneter yang tidak dapat menganalisis tingkat kekritisannya QC dan Bagian QC korespondennya. Hal ini disebabkan kurangnya indikator (dalam indikator MFCA) yang dapat mengidentifikasi kontribusi QC tunggal dan Bagian QC untuk Biaya Total, atau parameter apa pun di atas nilai yang diharapkan atau diinginkan.

Aplikasi rencana tindakan menyelesaikan penghapusan pemborosan yang efektif di mana alat pemecahan masalah seperti peristiwa Kaizen (dari interkoneksi Lean dan Kaizen) digunakan untuk mendefinisikan secara kooperatif antara kolaborator perusahaan. Karakteristik intrinsik dari alat-alat ini mengarah pada kebutuhan tugas pengumpulan data dalam unit fisik untuk

menganalisis hasil (kadang-kadang dengan Gemba Walks berturut-turut). Hasil ini kemudian ditunjukkan mengenai waktu yang tidak bernilai tambah (inefisiensi), bagian yang rusak, gerakan yang terbuang, transportasi yang berlebihan. Selama metode pemecahan masalah ini, alat pendukung untuk identifikasi akar penyebab digunakan yaitu, 5W, 5W+1H, Fish-bone diagram, Pareto analysis, Correlation Diagrams, Yamazumi diagrams. Kemudian solusi dihasilkan dengan tujuan menghilangkan akar penyebab, biasanya menggunakan praktik yang baik dari lean tools seperti 5S, SMED, Kanban, dan Mizusumashi.

### Metodologi Lean MFCA

Metodologi yang diusulkan mengintegrasikan fase terstruktur MFCA dengan logika aplikasi lean tools yang dapat disesuaikan, yaitu, alat harus dipilih sesuai dengan masalah produksi. Ini juga menggabungkan alasan yang sangat penting untuk keberhasilan implementasi yang efektif: landasan peningkatan berkelanjutan Kaizen. Siklus Plan-Do-Check-Act diserap dalam metodologi MFCA-Lean meskipun tidak secara eksplisit disebutkan dalam fase berurutan metodologi. Metodologi MFCA-Lean disusun dengan urutan: Definisi Tujuan dan Ruang Lingkup lalu Definisi KPI Operasional. Setelah itu, definisi dan implementasi solusi, MFCA harus diterapkan kembali dengan mempertimbangkan modifikasi Lean dan potensi peningkatan kinerja harus dikonfirmasi. Selanjutnya, siklus perbaikan baru harus dimulai, bertujuan untuk mempromosikan siklus perbaikan berkelanjutan dengan perubahan bertahap - penerapan Siklus Demming, juga dikenal sebagai PDCA, Plan, Do, Check and Act (Basu et al., (2008)).



**Gambar 2. Tinjauan metodologi MFCA-Lean**

Indikator MFCA mungkin tidak diketahui saat pertama kali MFCA diterapkan sehingga tidak ada Nilai Target yang dapat ditentukan. Penggunaan berulang metodologi yang diusulkan, dalam logika Kaizen, akan memungkinkan persepsi nilai yang dituju untuk KPI ini. Untuk analisis KPI lebih lanjut, Nilai Target harus ditentukan dengan mempertimbangkan angka yang digunakan untuk tujuan operasional. Definisi Nilai Target mendukung metodologi yang diusulkan karena menetapkan tonggak atau tujuan numerik untuk setiap KPI yang memungkinkan pemahaman dan evaluasi yang lebih baik tentang kondisi kinerja perusahaan saat ini. KPI berbasis Lean telah diterapkan di banyak bisnis untuk mengelola dan mengontrol sistem yang memungkinkan definisi langsung Nilai Target untuk KPI yang sesuai.

### **Aplikasi MFCA dan perhitungan KPI**

Metodologi MFCA kemudian harus diterapkan untuk menilai situasi sistem produksi saat ini. Menurut standar ISO 14051 (DIN EN ISO (2011)), penerapan metode mengikuti urutan yang spesifik dan ditentukan. Untuk metodologi yang diusulkan, urutan tersebut dipatuhi dan tugas tambahan disertakan yang bertujuan untuk menghitung tidak hanya KPI terkait MFCA tetapi juga terkait Lean. Penerapan rutin analisis MFCA menuntut model perhitungan untuk mendukung organisasi memahami biaya limbah yang sebenarnya dan konsekuensi dari bahan yang digunakan dan hilang. Output model perhitungan ini hanya menampilkan KPI MFCA “wajib”, sehingga untuk metodologi MFCA-Lean, sebuah modifikasi output/dasbor dilakukan. Modifikasi ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk menganalisis kinerja produksi langsung dari dashboard. Dasbor tersebut disajikan secara rinci di bagian selanjutnya.

### **KPI vs Nilai Target**

Pada titik ini keadaan saat ini dari sistem produksi diketahui, dan hasilnya dapat dianalisis. Bertujuan untuk memfasilitasi kinerja sistem secara keseluruhan, dua jenis dasbor diusulkan, satu untuk setiap QC dan yang lainnya menunjukkan keseluruhan kinerja sistem. Kedua dasbor disarankan memiliki dua area utama, satu didedikasikan untuk indikator MFCA, yang lainnya untuk indikator Lean. Juga, mereka memiliki kolom yang menghubungkan setiap KPI dengan Nilai Target, mis. dengan menunjukkan rasio langsung antara dua angka ini. Namun demikian, metrik lain dapat digunakan oleh perusahaan. Dasbor QC memiliki informasi lebih rinci terkait dengan operasi atau tugas tertentu, jika ada, mis. penyiapan, waktu tunggu, dll. Dasbor ini juga menunjukkan kontribusi setiap QC terhadap keseluruhan biaya produksi.

Dasbor yang terkait dengan kinerja total memiliki indikator kinerja tipikal MFCA akhir serta total biaya yang terlibat. Kontras antara KPI yang diamati, dan Nilai Target menunjukkan keadaan proses saat ini di mana peluang peningkatan mungkin terlihat.

### **Identifikasi QC dan KPI kritis dan aplikasi lean tools**

Penentuan QC kritis dan KPI kritis dapat dilakukan oleh analis atau tim melalui observasi dan analisis dashboard. Pemilihan QC dan KPI kritis memungkinkan fase berikutnya yang efisien dan efektif dari analisis akar penyebab, serta pengembangan dan implementasi solusi. Seperti yang diusulkan oleh filosofi Kaizen, proses peningkatan berkelanjutan harus dicapai dengan pendekatan langkah demi langkah, meluncurkan "hanya" proyek lokal dengan tujuan yang sangat spesifik pada saat itu. Oleh karena itu, QC atau QC kritis harus dianalisis secara rinci untuk memahami alasan di balik aspek krusial melalui penerapan alat diagnostik Lean yang telah disebutkan. Oleh karena itu, strategi perbaikan dapat ditentukan melalui metode pemecahan masalah yang tepat. Terakhir, lean tools untuk peningkatan berkelanjutan harus dilakukan dan hasil peningkatan dikonfirmasi. Misalnya: Jika masalah terkait dengan OEE, maka kinerja Ketersediaan, Performa, dan Kualitas harus dianalisis. Selain itu, jika masalah terkait dengan KPI terkait kualitas, metode 5M mengapa harus digunakan untuk mencapai akar penyebab produk cacat dan kejadian Kaizen, laporan A3 atau metode pemecahan masalah 8D harus diterapkan. Selain itu, jika masalah terkait dengan KPI waktu penyiapan, lean tools SMED dan 5s dapat diimplementasikan untuk menghilangkan pemborosan yang dihasilkan dari area kerja yang tidak terorganisir atau bahkan untuk mengubah aktivitas internal menjadi eksternal dan menghilangkan operasi yang tidak penting yang menciptakan pekerjaan pengaturan standar; jika KPI kritis terkait dengan waktu tunggu laporan A3 atau metode 8D dapat dikembangkan untuk meminimalkan waktu tunggu. Kesimpulannya, strategi berbasis Kaizen yang disediakan oleh penerapan lean tools harus dilakukan, dan hasil yang ditingkatkan harus dianalisis dengan penerapan kembali metodologi terintegrasi yang diusulkan.

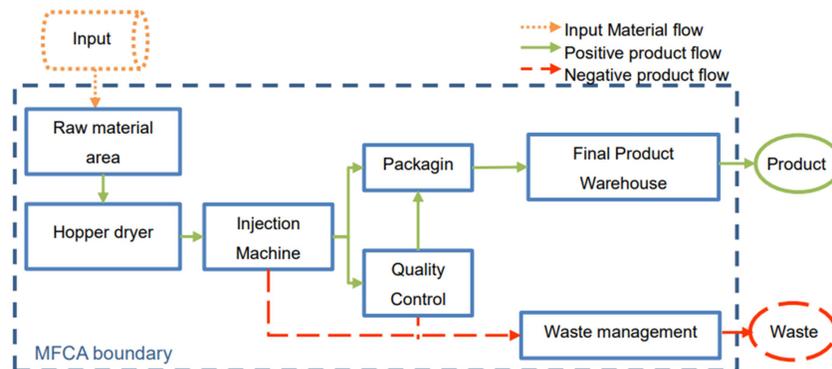
### **Aplikasi Metodologi MFCA-Lean**

Pertama, disajikan karakterisasi singkat dari sistem produksi, diikuti dengan presentasi tujuan yang ditetapkan oleh perusahaan dan KPI yang dipilih untuk penelitian. Selanjutnya, metodologi penerapan MFCA dipaparkan, dan model perhitungannya dijelaskan. Selanjutnya dipaparkan analisis hasil yang diperoleh melalui penerapan MFCA, dilanjutkan dengan

analisis KPI dan Target Values. Terakhir, solusi yang disarankan, dan peningkatan yang dicapai dari penerapan solusi peningkatan Lean dijelaskan dan didiskusikan.

### Aplikasi MFCA dan pengumpulan data

Untuk melakukan analisis MFCA, pertama, periode pengumpulan data ditetapkan sebagai satu rangkaian produksi, yaitu waktu yang diperlukan untuk memproduksi total pesanan (36.000 bagian yang baik). Kemudian, sistem produksi dibagi menjadi QC, dan aliran material dianalisis. Gambar 3 mengilustrasikan flow map material, di mana QC diidentifikasi serta aliran input, produk positif dan produk negatif. Setelah mendefinisikan QC, input dan output harus diukur dalam satuan fisik. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, setiap pusat kuantitas mengidentifikasi tiga parameter yang berbeda, yaitu Stok Material, Konsumsi Energi, dan Sistem. Akibatnya, konsumsi bahan dan energi diukur. Di satu sisi, bahan yang digunakan ditimbang dan sebaliknya energi yang dikonsumsi diukur langsung dari mesin. Kemudian, parameter komponen ketiga, peralatan dan sumber daya manusia, dialokasikan berdasarkan total waktu yang didedikasikan untuk produksi khusus ini.



**Gambar 3. Model Aliran Material**

### Perhitungan biaya Energi, Sistem dan Material

Untuk sistem produksi saat ini, kuantifikasi biaya Energi dan Material dalam satuan moneter mengikuti, tidak hanya beberapa kriteria yang digunakan untuk studi sebelumnya, tetapi juga prosedur yang dikembangkan untuk mengumpulkan data. Itu hanya bisa diterapkan karena kesamaan proses. Kedua produk diproduksi melalui proses injeksi dan juga Persamaan yang digunakan untuk perhitungan biaya bab sebelumnya menarik kembali kenyataan dari penelitian ini. Namun, karena strategi produksi biaya sistem kuantifikasi harus disesuaikan, dan waktu produksi dianggap sebagai variabel.

## HASIL

Melalui analisis Hasil Sistem Total yang diperoleh setelah aplikasi pertama metodologi MFCA-Lean dapat disimpulkan bahwa peningkatan yang diterapkan tidak hanya memungkinkan, Biaya Sistem Total dan akibatnya pengurangan Biaya Produksi Total pada 16.15€ ( -1,72%) dan 16,68€ (-2%) masing-masing tetapi juga, penurunan energi yang dikonsumsi. Hal ini juga menyebabkan peningkatan OEE sebesar 5,4%. Setelah itu, Metodologi MFCA-Lean harus diterapkan kembali untuk mempromosikan siklus peningkatan berkelanjutan. Revaluasi faktor-faktor kritis “baru” dan penerapan ulang seluruh metodologi harus dilakukan dan jika tidak ada perbedaan antara TV dan KPI, disarankan untuk merumuskan ulang parameter. Penerapan metodologi MFCA-Lean yang baru memungkinkan identifikasi keadaan pembuatan produk nyata, distribusi biaya per proses, identifikasi peluang peningkatan diagnosis dan analisis pemecahan masalah serta solusi untuk mengatasi masalah produksi dan pemutakhiran kinerja produksi menggunakan data yang diperoleh melalui penerapan solusi pemecahan masalah. Metodologi MFCA-Lean harus mendorong manajer perusahaan untuk mengevaluasi kembali strategi mereka melalui kinerja sistem produksi, dan mendukung pengambilan keputusan mereka mempromosikan siklus perbaikan terus menerus untuk mengatasi tekanan pasar. Selanjutnya, selama penerapan metodologi integrasi ini ke studi kasus, aspek kritis dan solusi perbaikan diidentifikasi, serta diterapkan. Kemudian, hasilnya dievaluasi, dan kajiannya menyajikan penurunan Total Biaya Produksi dengan mempertimbangkan jenis perusahaan dan sistem produksi. Penerapan metodologi MFCA-Lean memungkinkan pemahaman pengurangan 3% dalam total waktu produksi menyebabkan penurunan biaya sebesar 2% dalam sistem produksi dua hari. Karena industri cetakan dicirikan sebagai industri tanpa henti, pengurangan waktu 3% dapat diterjemahkan sebagai dampak besar pada ekonomi dan ketersediaan perusahaan.

### Hasil Analisis

Model perhitungan adalah langkah terakhir dari analisis MFCA. Setelah itu hasil yang diperoleh harus dikomunikasikan kepada manajer perusahaan. Kemudian manajer perusahaan dapat menggunakan informasi tersebut untuk mendukung pengambilan keputusan guna meningkatkan kinerja keuangan sistem produksi.

### Hasil MFCA

Flow map adalah hasil akhir dari analisis MFCA menyajikan aliran ekonomi berdasarkan sumber daya yang dikonsumsi di setiap pusat kuantitas. Tujuan utama flow map adalah untuk

memetakan nilai limbah riil dan aliran ekonomi produksi. Dengan demikian, dibagi dalam QC dan kemudian setiap QC dibagi lagi menjadi biaya Input, biaya Energi dan Sistem dan Output yang pada gilirannya membedakan biaya limbah produk dan material. Model aliran saat ini juga menunjukkan distribusi persentase antara QC untuk memungkinkan analisis namun tidak wajib untuk output analisis MFCA. Dari analisis dimungkinkan untuk menganalisis proses dalam sistem produksi total di mana pemborosan bahan meningkatkan biayanya. Flow map MFCA menunjukkan bahwa QC tunggal dengan biaya limbah tertinggi adalah QC. Selain itu, dimungkinkan untuk menganalisis bagian dari produk yang merupakan kontribusi biaya tertinggi untuk total biaya limbah. Perhitungan ini dilakukan hanya dengan mempertimbangkan biaya limbah QC pengelolaan limbah (terkontaminasi dan rusak). Mengikuti aliran limbah masing-masing dari setiap bagian. Selanjutnya juga dapat dilakukan analisis biaya akhir dari proses produksi per Part. Analisis sistem produksi dilakukan berdasarkan output MFCA yang meliputi aliran biaya sistem produksi dibagi per QC. Selain itu, untuk menganalisis sistem manufaktur diperlukan analisis pelengkap, jenis analisis atau ruang lingkupnya tidak secara khusus termasuk dalam standar atau pedoman MFCA; hanya arahan yang tidak jelas yang diberikan sebagai saran tentang bagaimana hasil tersebut harus disajikan.

### **Hasil Analisis pelengkap**

Analisis posterior dari hasil MFCA dan kemungkinan kesimpulan, yang tidak termasuk dalam output MFCA, bergantung pada kemampuan penganalisa untuk memisahkan beberapa titik kritis dalam sistem produksi dan untuk melakukan analisis komparatif yang diperlukan. Dari hasil langsung MFCA dimungkinkan untuk membangun analisis lebih lanjut, yang bergantung pada tujuan studi dan kebutuhan analisis/perusahaan. Untuk studi kasus ini penting untuk menganalisis penyebab utama pemborosan material dan dampak keuangannya. Dari nilai yang disajikan, dimungkinkan untuk menghitung distribusi biaya per bagian yang membentuk produk. Untuk jumlah biaya produk setiap bagian, dengan mempertimbangkan distribusi bahan setelah QC. Selain itu, mengikuti prosedur yang sama memungkinkan untuk menghitung biaya limbah per bagian dan akibatnya untuk total produksi. Analisis komplementer yang dilakukan berdasarkan hasil MFCA bersama dengan pengamatan terhadap sistem produksi memungkinkan identifikasi beberapa titik kritis dan saran utama untuk penyebabnya. Analisis komplementer dari hasil keseluruhan menunjukkan bahwa 96,6% dari total biaya terkait dengan produksi suku cadang dengan spesifikasi yang diperlukan untuk dikirim ke pelanggan dan 3,4% terkait dengan kerugian material. Produksi

bagian 2 mewakili lebih 15,6% dari total biaya daripada manufaktur. Bagian 1, nilai ini bisa menjadi konsekuensi dari karakteristik Bagian 2. Dengan demikian, analisis utama untuk menilai penyebab perbedaan ini menunjukkan perlu memasok lebih dari 1,85gram bahan baku daripada memproduksi satu Bagian 1. Selain itu, biaya yang terkait dengan limbah material 1% lebih tinggi dalam produksi Bagian 1 kemudian dalam produksi Bagian 2 analisis pelengkap menghubungkan perbedaan ini dengan uji destruktif yang dilakukan dalam kendali mutu Bagian 1. Selanjutnya, jika bagian-bagian produksi dianalisis secara terpisah, dimungkinkan untuk menilai bahwa: 5,3% dari biaya yang diperlukan untuk produksi Bagian 1 terkait dengan kerugian material, nilai ini disebabkan oleh uji destruktif yang dilakukan selama kontrol kualitas Bagian 1. Analisis pelengkap juga mengidentifikasi kontribusi biaya dari setiap QC yang dibagi dalam Produk dan Limbah, dan kontribusi terhadap total biaya produksi berdasarkan kenaikan biaya di setiap QC (produk atau limbah) dalam total biaya produksi.

Hasil yang diperoleh, menunjukkan bahwa pada Bahan Baku adalah QC dimana produk memiliki biaya tertinggi yang mewakili 67,9%. Setelah analisis, kontribusi biaya setiap bagian QC dalam biaya yang dikeluarkan setiap QC dibagi dalam produk dan limbah masing-masing. Studi pelengkap ini dilakukan untuk mendukung pengetahuan dalam setiap QC dimana bagian QC mewakili biaya kontribusi tertinggi dan berdasarkan hal itu mendukung pemangku kepentingan untuk merencanakan kembali strategi mereka. Biaya QC Bahan Baku ditetapkan sebagai konsekuensi dari semua bahan yang diperlukan untuk pembuatan produk dimasukkan dalam QC ini. Semua biaya bahan yang dibutuhkan mewakili sekitar 98% dari total Biaya Bahan Baku QC-biaya yang memiliki pengaruh tinggi dalam kinerja ekonomi sistem produksi. Nilai yang tinggi ini merupakan konsekuensi dari prosedur pengemasan setiap bagian yang seluruhnya dilakukan oleh karyawan. Analisis pelengkap memungkinkan pengenalan beberapa masalah dan beberapa saran perbaikan dijelaskan lebih lanjut. Selain itu, fase pengemasan adalah di mana semua bahan pembantu dimasukkan yang juga berkontribusi pada biaya QC.

Analisis pelengkap yang dilakukan berdasarkan flow map MFCA bertujuan untuk menyajikan dan mencoba menunjukkan alasan di balik nilai biaya limbah. Dengan demikian, analisis ini menunjukkan QC-Quality control sebagai QC dengan nilai biaya tertinggi. Sekali pergantian teknisi kualitas melakukan pengujian yang sama meningkatkan biaya proses karena karyawan khusus memerlukan biaya per jam yang lebih tinggi. Pengelolaan Limbah dari komponen yang rusak juga berkontribusi terhadap peningkatan biaya limbah. Proses ini

diperlukan dari pelanggan untuk alasan kerahasiaan desain, dan perusahaan terpaksa menggiling semua suku cadang yang rusak dan semua suku cadang yang dikembalikan dari pelanggan. Jadi, biaya ini berasal dari biaya karyawan yang melakukan tugas ini dan dari mesin yang digunakan. Pada bagian selanjutnya, beberapa saran perbaikan berdasarkan analisis pelengkap yang dilakukan disajikan.

### **Hasil Analisis MFCA**

Analisis MFCA yang diterapkan pada sistem produksi produk mendukung gagasan bahwa metode ini dapat digunakan untuk membantu perusahaan memahami keadaan sistem produksinya saat ini dalam satuan moneter. Selain itu, terungkap bahwa MFCA memungkinkan pemahaman menyeluruh tentang aliran biaya sistem produksi dengan memetakan pergerakan material. Kesimpulannya, metode ini dapat membantu memetakan dan mendukung analisis arus biaya serta dampak biaya pemborosan dalam sistem produksi total. Sebelum penerapan MFCA, perusahaan percaya bahwa pemborosan material per input material ini lini produksi lebih rendah dari 1%. Hal ini merupakan konsekuensi dari metode akuntansi biaya tradisional perusahaan yang memperkirakan perhitungan biaya limbah melalui perbandingan antara area bahan baku dan data gudang produk akhir. Namun, ketika bahan pembantu dan operasi dimasukkan ke dalam aplikasi MFCA, hasil yang diperoleh nilai limbah material nyata mewakili lebih dari 3%. Selain itu, metode ini dapat diterapkan sebagai alat diagnostik jika digabungkan dengan pengamatan yang cermat untuk mendeteksi pemborosan material dan sumber daya selama sistem produksi.

Analisis MFCA adalah alat yang signifikan untuk mengevaluasi dan memahami biaya limbah riil dan dampaknya terhadap sistem produksi. Ini bertujuan untuk memotivasi para manajer dan insinyur untuk mendefinisikan kembali strategi mereka berdasarkan biaya limbah dan dampak lingkungan dan ekonomi. Metode MFCA memperhatikan pengurangan biaya produksi melalui penurunan konsumsi material yang dapat melalui pengurangan limbah material. Untuk melakukan analisis ini diperlukan data yang terperinci dan luas yang juga dapat digunakan untuk meningkatkan sistem informasi dan akuntansi perusahaan, menawarkan data yang tepat untuk keputusan proyek di masa depan. Selain itu, ini bisa menjadi alat diagnostik yang berguna untuk mengenali beberapa masalah produksi selama periode analisis dan pengumpulan data bila digabungkan dengan analisis visual. Analisis MFCA mampu menilai semua pemborosan material dan sumber daya berdasarkan data ekstensif dan karakterisasi sistem tetapi tidak siap untuk mengenali dan mengatasi inefisiensi dari sudut pandang sistem manufaktur. Padahal, setelah mendapatkan hasil MFCA perlu

dilakukan beberapa analisis untuk dapat menyimpulkan kinerja sistem secara keseluruhan dan keterbatasannya. Selain itu, pengumpulan data ekstensif yang diperlukan dari analisis MFCA dapat digunakan untuk analisis sistematis lebih lanjut yang memungkinkan identifikasi titik kritis dengan mudah. Kesimpulan ini, dan perlunya pengamatan terperinci dari sistem produksi untuk mengusulkan solusi dan menilai beberapa akar penyebab pemborosan material memotivasi studi yang berkaitan dengan kemungkinan integrasi MFCA dengan lean tools.

### **Hasil Identifikasi QC dan KPI kritis**

Hasil dan identifikasi QC dan KPI kritis dianalisis menggunakan dasbor metodologi MFCA-Lean. Dasbor ini meliputi biaya per QC, baik input maupun output, produk, dan limbah, serta presentasi KPI untuk menunjukkan kinerja aktual dari proses produksi. Selain itu, dasbor ini juga membandingkan KPI dengan Nilai Target, sehingga pengguna dapat mengevaluasi apakah rencana yang ditetapkan telah tercapai. Dari analisis dasbor, dapat diidentifikasi KPI kritis yang mengindikasikan peluang peningkatan. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis berbagai kategori yang diusulkan. Dalam studi kasus ini, KPI yang menunjukkan jarak tertinggi ke Target Value dianggap paling sesuai untuk analisis per QC, serta KPI yang berpengaruh terhadap kontribusi Total Biaya Produksi. Untuk analisis TPS, QC yang berkontribusi paling besar terhadap Total Biaya Produksi dinilai sebagai sub-bagian kritikal. Hasil analisis visual dari dasbor disusun dalam matriks untuk analisis lebih lanjut. Matriks ini mempertimbangkan KPI, biaya terkait dari setiap KPI, dan tingkat kekritisannya yang ditunjukkan dengan sistem warna. Warna merah menyoroti nilai yang paling kritis dalam hal biaya dan persentase, sedangkan warna kuning menunjukkan tingkat kekritisannya kedua. Matriks ini memungkinkan identifikasi QC dan KPI yang kritis. Hasil studi ini tergantung pada analisis dan tujuan pengguna metodologi MFCA-Lean, yang diterapkan per QC dan untuk Total Produksi.

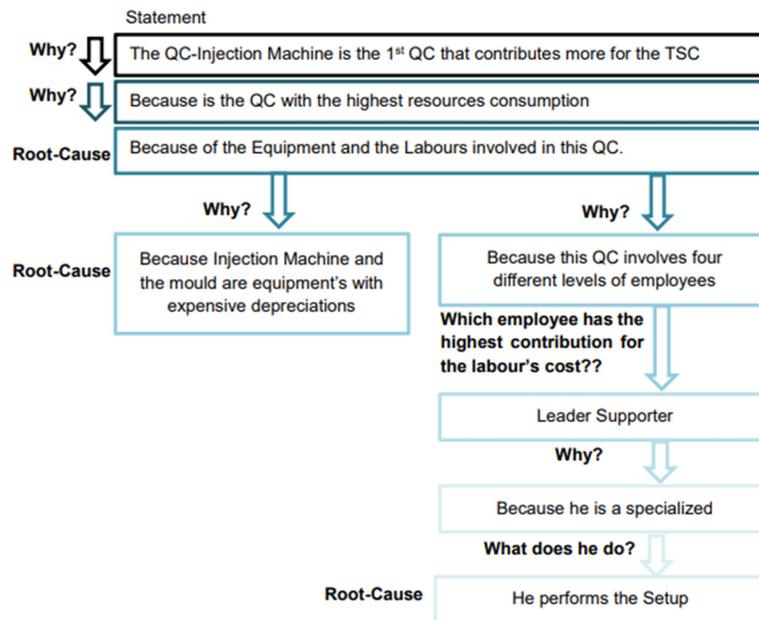
### **Hasil Integrasi Alat ramping**

Dengan mengidentifikasi KPI dan QC kritis sebelumnya, analisis yang berbeda dilakukan untuk setiap KPI yang dianggap kritis untuk mengakses Akar Penyebab dan kemudian solusi yang memungkinkan. Subbagian ini disusun sebagai berikut. Pertama, analisis akar penyebab dilakukan untuk mengakses alasan di balik KPI kritis. Kemudian dipilih KPI yang paling kritis atau yang memiliki pengaruh paling besar terhadap Biaya Sistem Produksi untuk

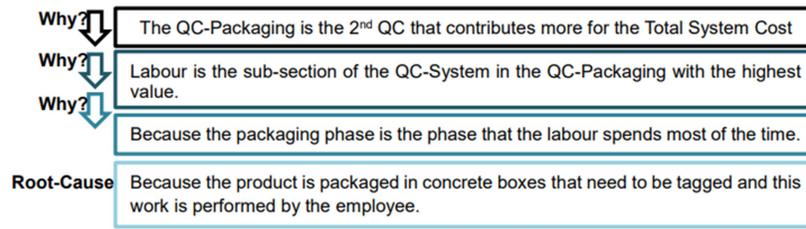
dianalisis lebih lanjut. Terakhir, solusi Pemecahan Masalah diterapkan dan hasil metodologi MFCA-Lean dikonfirmasi.

**Integrasi lean tools Root-Cause**

Pada bagian sebelumnya dikemukakan bahwa QC-Mesin Injeksi dan QC-Packaging merupakan QC yang memiliki kontribusi tertinggi untuk QC-System dari Total Production System. Dengan demikian, analisis akar penyebab dilakukan untuk kedua QC menggunakan alat diagnostik 5Mengapa dan 5Ws. Dari analisis 5W dapat disimpulkan bahwa akar penyebab tingginya nilai QC-System pada Mesin Injeksi pertama-tama disebabkan oleh peralatan dan tenaga kerja yang terlibat dalam proses tersebut. Namun, ketika akar penyebab dianalisis secara rinci dapat diakses bahwa nilai Peralatan adalah konsekuensi dari penyusutan mesin. Namun, biaya Tenaga Kerja dibagi dalam Manajer Proyek (18%), Pemimpin Tim (31,6%), Karyawan (5,1%) dan Pendukung Pemimpin (45,3%). Seperti yang telah dijelaskan pada bab 3 tugas pokok Leader supporter berkaitan dengan kegiatan setup dan supply bahan baku. Oleh karena itu, akar penyebab terus memahami alasan di balik itu. Dengan demikian, tingkat spesialisasi yang diperlukan untuk melakukan aktivitas penyetelan berhubungan langsung dengan biaya per jamnya. Selain itu, kegiatan setup juga ditunjuk sebagai yang kedua lebih kritis tentang perbedaan Nilai Target KPI. Berdasarkan uraian sebelumnya, penyetelan dianggap sebagai akar penyebab dari kontribusi Mesin Injeksi QC terhadap Total Biaya Sistem. Untuk QC-Packaging: 5Mengapa Analisis akar penyebab untuk biaya Sistem dalam QC-Packaging, Gambar 5.

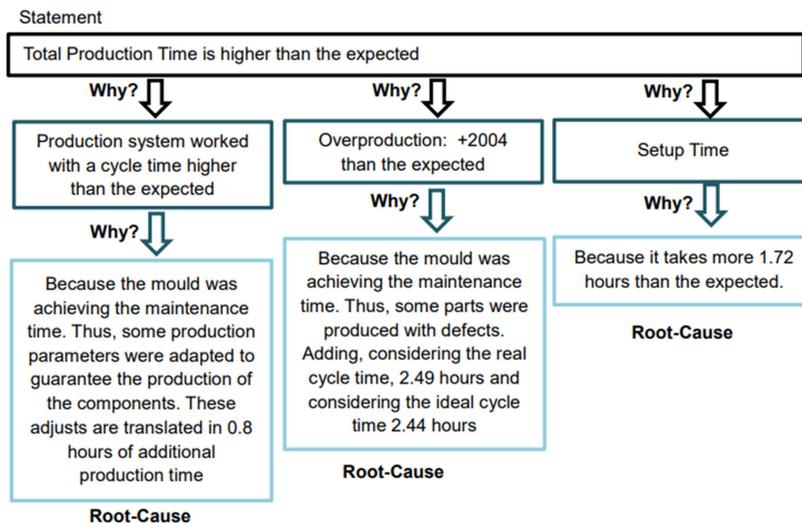


**Gambar 4. Analisis akar penyebab pada Mesin Injeksi QC**

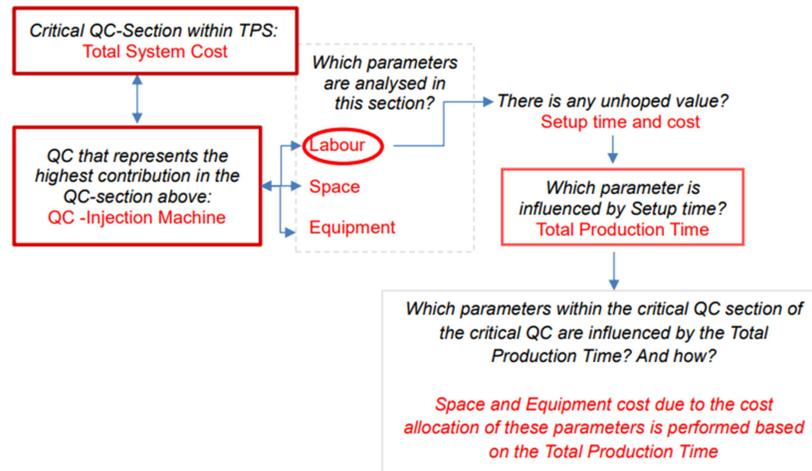


**Gambar 5. Analisis akar penyebab untuk QC-Packaging**

Kegiatan pengemasan memiliki persyaratan khusus dari departemen mutu, dan operator perlu melakukan tugas-tugas ini mengikuti prosedur. Karena QC-Packaging tergantung pada persyaratan kualitas dan QC yang paling kritis memiliki penyebab operasional. Mesin Injeksi QC, lebih khusus lagi, Pengaturan dapat ditingkatkan dengan penerapan lean tools khusus, parameter ini dipilih untuk analisis lebih lanjut. Untuk menilai akar penyebab dari KPI ini, analisis penyebab berdasarkan 5Mengapa dilakukan dan disajikan pada Gambar 6. Dua penyebab pertama terkait dengan kondisi cetakan, dan penyebab ketiga terkait dengan waktu penyetelan. Waktu penyetelan memengaruhi waktu Sistem Total sejak yang terakhir ini bergantung pada waktu manufaktur tetapi juga memperhitungkan waktu Penyetelan yang dapat ditingkatkan dengan penerapan solusi pemecahan masalah.



**Gambar 6. Analisis akar penyebab Total Waktu Produksi**



**Gambar 7. Analisis penyebab dari nilai kritis dari total biaya sistem**

Berdasarkan analisis sebelumnya dapat disimpulkan bahwa pengurangan waktu setup akan mengurangi kontribusi biaya yang mengarah, tidak hanya, untuk hasil positif dalam komponen Tenaga Kerja Sistem QC dalam mesin injeksi, tetapi juga, untuk positif berdampak pada Total Waktu Produksi. Dengan demikian, jika Total Waktu Produksi dikurangi, maka kontribusi biaya ruang dan peralatan juga akan berkurang. Berkaitan dengan asumsi tersebut, waktu Setup dipilih sebagai parameter untuk dianalisis secara cermat sebagai titik peluang perbaikan. Sebagai kesimpulan utama, metodologi MFCA-Lean memungkinkan identifikasi QC kritis berdasarkan tujuan perusahaan. Selain itu, tanpa analisis akar penyebab yang dilakukan melalui penerapan lean tools, akar penyebab masalah produksi ini tidak dapat diidentifikasi secara langsung dengan penerapan MFCA ke sistem produksi. Gambar 7 menyajikan ringkasan analisis informasi dari subbagian ini untuk memberikan gambaran yang jelas tentang pengaruh.

### **Lean aplikasi sebagai solusi pemecahan masalah**

Informasi akar penyebab dari KPI kritis (Waktu penyetelan) dianalisis dan solusi pemecahan masalah diterapkan. Gemba Walk dilakukan di Mesin Injeksi QC untuk mengamati proses Setup dan mengidentifikasi pemborosan waktu. Dua alat yang diterapkan adalah 5S dan SMED. Alat 5S digunakan untuk mengorganisir alat dan aksesori agar area kerja terorganisir dan mudah diakses, dengan tujuan mengurangi masalah yang teridentifikasi sebelumnya. Alat SMED digunakan untuk mengubah langkah-langkah internal menjadi langkah-langkah eksternal dalam proses, juga dengan tujuan mengurangi masalah yang teridentifikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa lean tools berhasil mengurangi waktu penyetelan sebesar 51%.

Setelah itu, MFCA digunakan kembali untuk memeriksa hasil peningkatan berdasarkan implikasi keuangan.

	Before tools application	Expected after SMED and 5S application	Real after SMED and 5S application
Setup time	3hr 13 min	1hr 25 min	1hr 35 min
Setup reduction		-56%	-51%

**Tabel 5-13 Waktu penyetelan setelah aplikasi lean tools**

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Hasil yang diperoleh melalui aplikasi MFCA mengungkapkan bahwa persentase limbah riil tiga kali lebih tinggi dari yang diharapkan perusahaan. Oleh karena itu, MFCA terbukti menjadi alat diagnostik yang tepat dalam hal nilai moneter. MFCA adalah alat yang efektif untuk menentukan penggunaan sumber daya dan diubah sebagai produk atau kerugian dalam hal kinerja moneter. MFCA menyajikan biaya produksi nyata dari sistem produksi berdasarkan data ekstensif yang dikumpulkan dan memungkinkan penganalisa untuk secara langsung mengidentifikasi beberapa inefisiensi yang jelas. Selain itu, ini bisa menjadi alat diagnostik yang berguna untuk mengenali beberapa inefisiensi produksi selama periode analisis dan pengumpulan data hanya jika didukung oleh pengamatan cermat secara simultan. Analisis MFCA memungkinkan penghitungan semua bahan dan sumber daya yang terbuang berdasarkan data ekstensif dan karakterisasi sistem, tetapi tidak siap menangani inefisiensi dari sudut pandang sistem manufaktur – sebagai lean tools. Metodologi MFCA-Lean muncul untuk mengatasi keterbatasan MFCA yang disajikan. Dari pengamatan yang dilakukan mengenai komplementaritas MFCA dan lean tools, tinjauan literatur dari keduanya dilakukan untuk mendukung kemungkinan integrasi alat MFCA dan Lean. Kemudian, metodologi tersebut dikembangkan dan berhasil diterapkan pada sistem produksi injection molding yang mengikuti strategi MTO.

Dari hasil integrasi penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa metodologi MFCA-Lean memungkinkan, tidak hanya pemahaman biaya yang dikeluarkan dalam sistem produksi dan alurnya, tetapi juga menyoroti KPI kritis melalui perbandingannya dengan nilai target yang dituju. Selain itu, lean tools khusus juga disediakan untuk mengevaluasi akar penyebab masalah dan menggunakan alat pemecahan masalah untuk memecahkan masalah yang ada.

Setelah penerapan solusi yang diusulkan metodologi memungkinkan konfirmasi hasil dalam satuan moneter karena kinerja kegiatan perbaikan. Sehingga, secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa metode MFCA dan lean tools dapat diintegrasikan. Integrasi berdasarkan prosedur langkah-langkah ini memungkinkan pencapaian hasil yang ditargetkan secara langsung selaras dengan tujuan dan ruang lingkup perusahaan. Metodologi MFCA-Lean mampu menyajikan keadaan sebenarnya dari sistem produksi dalam unit moneter untuk dorongan manajer untuk mengevaluasi kembali strategi mereka dan menyediakan alat untuk mengenali akar penyebab, mendukung dan meningkatkan aktivitas karyawan yang memandu pekerjaan mereka secara efisien. Metodologi ini harus diimplementasikan sebagai siklus perbaikan berkelanjutan sehingga proses produksi bergerak mendekati proses optimal yang ideal.

### **Saran Penelitian Masa Depan**

Untuk penelitian dimasa depan disarankan untuk mengembangkan metodologi atau setidaknya pedoman untuk memodelkan aliran energi secara independen dari aliran material. Alokasi energi di bawah aliran material biasanya mengabaikan beberapa jenis pemborosan energi seperti getaran atau perpindahan panas. Identifikasi efisiensi energi yang efisien dapat meningkatkan kinerja lingkungan suatu perusahaan, serta pemahaman yang lebih mendalam tentang kinerja lingkungan dan ekonomi. Selain itu, penerapan metodologi MFCA-Lean yang dikembangkan dalam pekerjaan ini dalam sistem manufaktur yang berbeda juga dapat diterapkan dimasa depan. Karena hanya diterapkan sekali dan untuk proses produksi cetakan injeksi, cakupan penerapannya harus diperluas untuk mendukung validasi metodologi.

### **REFERENCES**

- Adaptive Business Management Systems Ltd. (Year). Yamazumi charts | Adaptive BMS. Retrieved from [https://www.adaptivebms.com/Introduction\\_to\\_Yamazumi\\_charts/](https://www.adaptivebms.com/Introduction_to_Yamazumi_charts/)
- Basu, R. (2008). Implementing Six Sigma and Lean: A practical guide to tools and techniques.
- Basu, R., & Basu, R. (2008). Chapter 10 – Qualitative techniques. In *Implementing Six Sigma and Lean* (pp. 195–240).
- Basu, R., & Basu, R. (2008). Chapter 5 – Tools for measurement. In *Implementing Six Sigma and Lean* (pp. 64–88).
- Basu, R., & Basu, R. (2008). Chapter 6 – Tools for analysis. In *Implementing Six Sigma and Lean* (pp. 89–111).
- Basu, R., & Basu, R. (2008). Chapter 7 – Tools for improvement. In *Implementing Six Sigma and Lean* (pp. 112–132).

- Bierer, A., & Götze, U. (2012). Energy Cost Accounting: Conventional and Flow-oriented Approaches. *Journal of Competitiveness*, 4(2), 128-144.
- Bryce, D. M. (1997). *Plastic Injection Molding: Material Selection and Product Design Fundamentals*. Society of Manufacturing Engineers.
- Christ, K. L., & Burritt, R. L. (2015). Material flow cost accounting: a review and agenda for future research. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1378-1389.
- Christ, K. L., & Burritt, R. L. (2016). ISO 14051: A new era for MFCA implementation and research. *Revista Contabilidade & Finanças*, 19(1), 1-9.
- Devaraju, M. K., Sathish, M., & Honma, I. (2013). Handbook of Sustainable Engineering. *Handbook of Sustainable Engineering*, 1149-1173.
- Dimla, D. E., Camilotto, M., & Miani, F. (2005). Design and optimization of conformal cooling channels in injection molding tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 1294-1300.
- DIN EN ISO (14051:2011). (2011). *Environmental Management – Material Flow Cost Accounting General Framework (ISO 14051)*.
- Doolen, T. L., & Van Aken, E. M. (2009). Kaizen events and organizational performance: a field study. *International Journal of Production Performance Management*, 29(5), 494–519.
- Götze, U., Hertel, A., Schmidt, A., & Päßler, E. (2014). Technology and Manufacturing Process Selection (pp. 281-296).
- Guenther, E., Jasch, C., Schmidt, M., Wagner, B., & Ilg, P. (2015). Material flow cost accounting - Looking back and ahead. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1249-1254.
- Kamal, M. R. (2009). *Injection Molding: Introduction and General Background* (1st ed.). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Kokubu, K., & Tachikawa, H. (2013). Material Flow Cost Accounting: Significance and Practical Approach? In *Handbook of Sustainable Engineering* (pp. 351-369). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Korenko, M., Kročko, V., Ľitňák, M., Földešiová, D., Adamik, M., & Álló, Š. (2008). Application 8D Method for Problems Solving.
- Ministry of Economy, Trade, and Industry Japan (METI). (2011). *Material Flow Cost Accounting - MFCA Case Examples*.
- Nakajima, M. (2006). Material Flow Cost Accounting (MFCA) by the Nikkei Ecology of Sustainable Management. *Nikkei*, 8(8), 1-22.
- NIIR Board of Consultants and Engineers. (2006). *The Complete Technology Book On Plastic Extrusion, Moulding And Mould Designs* (1st ed.).
- Rosato, D. V., Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). *Injection Molding Handbook*. Springer US.
- Saha, B., Toh, W. Q., Liu, E., Tor, S. B., Hardt, D. E., & Lee, J. (2016). A review on the importance of surface coating of micro/nano-mold in micro/nano-molding processes. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 26(1), 40.
- Sakai, T., & Kikugawa, K. (2009). Part II: *Injection Molding Machinery and Systems: Injection Molding Machines, Tools, and Processes* (1st ed.). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Schmidt, A., Götze, U., & Sygulla, R. (2015). Extending the scope of Material Flow Cost Accounting - Methodical refinements and use case. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1320-1332.
- Schmidt, A., Götze, U., & Sygulla, R. (2015). Extending the scope of Material Flow Cost Accounting – methodical refinements and use case. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1320–1332.

- Schmidt, M., & Nakajima, M. (2013). Material Flow Cost Accounting as an Approach to Improve Resource Efficiency in Manufacturing Companies. *Resources*, 2(3), 358-369.
- Sobek, D. K., & Jimmerson, C. (2004). A3 Reports: Tool for process improvement. *IIE Annual Conference Proceedings*, m, 1–6.
- Spear, S. J. (Year). *Learning to Lead at Toyota*.
- Sugahara, S., & Gotoh, Y. (2019). Cost management using material flow accounting in lean production. *Journal of Management Accounting Research*, 32(1), 49-60.
- Sygulla, R., Bierer, A., & Götze, U. (2011). Material Flow Cost Accounting – Proposals for Improving the Evaluation of Monetary Effects of Resource Saving Process Designs. 44th CIRP International Conference on Manufacturing Systems, June, 1-3.
- Sygulla, R., Götze, U., & Bierer, A. (2014). Material Flow Cost Accounting: A Tool for Designing Economically and Ecologically Sustainable Production Processes. *Technology and Manufacturing Process Selection*, 281-296.
- Tyagi, S., Choudhary, A., Cai, X., & Yang, K. (2015). Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process. *International Journal of Production Economics*, 160, 202–212.
- Vasconcelos, P. V., Lino, F. J., & Neto, R. J. L. (2003). Estudo de injeção de termoplásticos em moldes produzidos em compósitos de base epoxídica de alta temperatura. *Paginas.Fe.Up.Pt*.
- Wagner, B. (2015). A report on the origins of Material Flow Cost Accounting (MFCA) research activities. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1255-1261.