

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini terdiri dari perbandingan untuk penelitian – penelitian terdahulu yang telah dilakukan terhadap penelitian sekarang.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Wibisono dan Suteja (2013) melakukan implelementasi metode DMAIC – Six Sigma pada perbaikan mutu untuk proses *spring adjuster* pada PT.X . Pada tahap *define* digunakan diagram SIPOC untuk mengetahui ruang lingkup dari perusahaan yang diteliti, kemudian dijelaskan ada 4 karakteristik kualitas kritis yang dimiliki produk *spring adjuster* dari 10 karakteristik kualitas berdasarkan CTQ. Tahap *measure* dilakukan pengukuran jumlah cacat berdasarkan karakteristik CTQ yang paling berpengaruh. Kemudian dilakukan pengukuran nilai DPMO dan sigma, dan dihasilkan nilai sigma sebesar 3,19 yaitu kurang dari capaian 6 sigma. Pada tahap analisis dilakukan untuk mencari akar masalah dengan menggunakan fishbone diagram untuk setiap karakteristik cacat yang ditemukan. Kemudian pada tahap *improve* dilakukan perancangan beberapa alat bantu untuk mendukung proses produksi yang berjalan. Kemudian untuk tahap *control* dilakukan uji coba selama beberapa dan diuji secara statistik mengenai hasil pereancangan yang telah dilakukan. Setelah dilakukan implementasi DMAIC ini jumlah cacat pada produk menurun dari 0,28 cacat per unit menjadi 0,05 cacat per unit.

Ramakrishnan dan Jayaprakash (2015) mengaplikasikan *lean six sigma* untuk mereduksi cacat pada pabrik pompa. Pada tahap *define* digunakan COPQ atau *Cost of Poor Quality* untuk beberapa faktor yang mempengaruhi berkaitan dengan 5M. Kemudian pada tahap *measure* dilakukan pengolahan data dengan menggunakan beberapa *tools* yaitu *run chart* dan *p- chart*, kemudian digunakan *pareto chart* untuk menganalisis masalah yang paling sering terjadi pada perakitan motor dan dibuat diagram sebab dan akibat untuk mengetahui masalah apa saja yang mempengaruhi. Setelah diaplikasikan *lean six sigma* ini maka rata- rata cacat per bulan menurun dari 70,30 menjadi 11,69 atau menurun sebesar 83,37% dan menghasilkan nilai sigma sebesar 3,4 sigma dan dapat lebih meningkat lagi. (Tidak ada *improvement* dan *control* yang dibahas, tidak ada nilai sigma awal, tidak ada penjelasan tahapan yang dilakukan)

Arifin dan Supriyanto (2012) mengaplikasikan metode *lean six sigma* untuk usulan improvisasi lini produksi dengan mempertimbangkan faktor lingkungan di perusahaan lampu di Surabaya. Hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut. Tahap *define* yang dilakukan ini diperuntukkan untuk mengidentifikasi obyek yang diamati, *tools* yang digunakan adalah diagram *value stream mapping* untuk mengetahui kondisi aktual obyek. Kemudian pada tahap *measure* dilakukan identifikasi *waste* dan diukur tingkat kejadiannya, pada tahap ini juga diukur DPMO dan nilai sigma dari setiap *waste* tersebut. Fase analisis menggunakan *tools* yaitu *root and causes analysis* kemudian digunakan FMEA untuk memastikan root cause yang paling berpengaruh terhadap terjadinya *waste*, pada penelitian ini ditemukan 15 faktor yang paling berpengaruh. Pada tahap *improvement* ini dilakukan proses perbaikan, tahap ini menggunakan analisis value management untuk mengetahui alternatif perbaikan yang terbaik. Hasilnya adalah alternatif 1 dengan value 1,15. Kemudian untuk fase *control* dilakukan pemantauan terhadap alternatif perbaikan dengan menggunakan *control sheet* dan *control chart*. Hasil penelitian ini sigma defect product menjadi 3,08 dan sigma waiting menjadi 2,08.

Mandahawia dkk. (2012) mengaplikasikan *lean six sigma* untuk meningkatkan produktivitas perusahaan pembuatan kertas. Pada penelitian ini digunakan metodologi DMAIC sebagai berikut. Pada tahap *define* digunakan *high-level process map* untuk mengetahui operasi manakah yang mempengaruhi proses produksi. Pada tahap pengukuran digunakan *tools* berupa R&R atau *Repeatability dan Reproducibility* untuk mengukur error dari perorangan dan tim dari operasi yang telah dipilih pada tahap *define*. Tahap analisis yang dilakukan menggunakan *Cause and Effect Diagram* untuk menentukan *waste* apa saja yang terjadi pada proses tersebut. Kemudian untuk tahap *improvement* dilakukan beberapa tindakan perbaikan yang akan dilakukan untuk mesin pemotong yang menjadi kendala, kemudian dilakukan perbandingan performansi kerja sebelum dan sesudah. Kemudian tahap terakhir adalah *control* pada tahap ini dilakukan rencana untuk perawatan mesin pemotong tersebut dan rencana untuk melakukan 5- S. Hasil dari penelitian ini adalah performansi dari mesin cutting naik dari 21,6% menjadi 48,45%

Wang dan Chen (2012) mengaplikasikan *lean six sigma* pada perusahaan peralatan panel. Hasil dari penelitian yang dilakukan ini didapatkan dengan menggunakan metode DMAIC dengan beberapa *tools* yang digunakan. Pada tahap *define* digunakan diagram SIPOC kemudian untuk prosesnya menggunakan

high-level process map dan *sub- process map* untuk mengetahui ruang lingkup obyek. Kemudian untuk fase pengukuran ini menggunakan pengumpulan data dan pengukuran data mengenai kapabilitas proses dengan menggunakan *tools I-chart*. Kemudian pada tahap analisis ini digunakan uji statistik yaitu ANOVA, kemudian digunakan *tools* berupa pareto diagram untuk mengetahui akar masalah yang terjadi kemudian digunakan FMEA untuk setiap proses kunci. Kemudian untuk fase *improve* digunakan SSM untuk meramalkan biaya produksi dan membuat rencana perbaikan yang akan dilakukan. Kemudian untuk tahap terakhir yaitu *control* dilakukan berdasarkan apa yang akan dilakukan dengan membandingkan hasil $\bar{X}$ bar dan *R chart* sebelum dan sesudah melaksanakan perbaikan. Hasil dari aplikasi *lean six sigma* ini adalah mereduksi biaya sebesar US\$ 4.710.262 dengan C_p dan C_{pk} dari 0,78 dan 0,64 menjadi 1,62 dan 1,49.

Hassan (2013) mengaplikasikan *lean six sigma* pada proses *welding wire* di sebuah perusahaan. Hasil dari penelitian yang dilakukan ini didapatkan dengan menggunakan metode DMAIC dengan beberapa *tools* yang digunakan. Pada tahap *define* digunakan diagram SIPOC untuk mengetahui ruang lingkup obyek kemudian dilakukan pengumpulan data masa lalu mengenai *waste* yang terjadi pada proses. Kemudian untuk fase pengukuran ini menggunakan pengumpulan data dan pengukuran data dengan menggunakan beberapa tahap, yaitu pemetaan proses, pengumpulan data disertai pemilihan *waste* yang paling kritis dengan menggunakan pareto diagram, pengukuran sigma level dengan mencari nilai DPU dan DPMO, dan pengukuran waktu mesin rusak. Kemudian pada tahap analisis digunakan diagram sebab dan akibat untuk menganalisis sebab dan akibat yang dapat terjadi, untuk memprioritaskan penyebab utama dari *waste* digunakan alat pengambilan keputusan yaitu AHP. Kemudian untuk fase *improve* diajukan beberapa rekomendasi untuk memperbaiki proses yang ada dan melakukan pengukuran DPU dan DPMO baru. Kemudian untuk tahap terakhir yaitu kontrol dilakukan berdasarkan apa yang akan dilakukan dengan menggunakan *control plan*, rencana pengontrolan ini ditujukan agar rekomendasi yang diajukan dapat berjalan sesuai dengan rencana. Hasil dari aplikasi *lean six sigma* ini adalah kemampuan proses menghasilkan produk baik naik menjadi 98,24% dengan level sigma 3,6 dan DPMO 17.600 sesuai dengan target perusahaan yang menginginkan terget hanya ada 2% yang ada pada proses dengan target level sigma 3,55, nilai DPMO 20.000 dan kemampuan proses 98%. Berdasarkan hasil

diatas dapat diketahui bahwa perusahaan sudah mencapai target dengan menggunakan aplikasi metode *lean six sigma*.

Putri dkk. (2017) mengaplikasikan *lean six sigma* pada perusahaan pipa baja las untuk mereduksi terjadinya *waste* proses produksi pada produk pipa las spiral. Hasil dari penelitian yang dilakukan ini didapatkan dengan menggunakan metode DMAIC dengan beberapa *tools* yang digunakan. Pada tahap *define* digunakan diagram SIPOC untuk mengetahui ruang lingkup obyek dan digunakan WRM atau *Waste relationship matrix* untuk menilai *waste* dominan yang ada pada proses produksi yang perlu untuk dihilangkan. Kemudian untuk fase pengukuran ini menggunakan pengumpulan data dan pengukuran data berdasarkan pada *waste* dominan yang terpilih, kemudian digunakan DPMO untuk menilai proses berdasarkan jumlah cacat produk yang dihasilkan. Kemudian pada tahap analisis ini digunakan Pareto *Chart* untuk mengetahui prioritas penyebab *waste* yang terjadi, kemudian digunakan CTQ untuk mengetahui kualitas yang ingin dicapai dari setiap proses dan kemudian masing-masing CTQ dianalisis untuk mengetahui akar permasalahannya dengan menggunakan *Fault Tree Analysis*. Pada tahap *improve* digunakan 5W1H untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan timbulnya *waste* dan diusulkan perbaikan dari akar permasalahan yang ditemukan. Kemudian untuk tahap terakhir yaitu *control* dilakukan penerapan usulan dan perbaikan berdasarkan hasil dari 5W1H yang didapatkan. Hasil dari penerapan *lean six sigma* ini adalah mengusulkan beberapa perbaikan yaitu berupa maintenance mesin, mengganti part secara berkala, menghaluskan permukaan rak penyimpanan pipa, pemilihan *raw material* yang lebih baik, dan pelatihan berupa *on the job training*.

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian Terdahulu	No	Tahun	Judul	Author	Problem	Tujuan	Metode	Tools	Hasil
	1	2013	Implementasi Metode Dmaic-Six Sigma Dalam Perbaikan Mutu Di Industri Kecil Menengah: Studi Kasus Perbaikan Mutu Produk Spring Adjuster Di Pt. X	Yogi Yusuf Wibisono, Theresa Suteja	Defect yang terjadi akibat proses spring adjuster	Memperbaiki kinerja proses dan menurunkan cacat	DMAIC	SIPOC, Critical To Quality Tree, DPMO, <i>Fish Bone Diagram</i> .	Terjadi penurunan defect menjadi dari 0.28 menjadi 0.05 cacat per unit.
	2	2015	<i>Application of Lean six sigma tools for reduction of defects in Pump Manufacturing</i>	V. Ramakrishnan, Dr. J. Jayaprakash	Terjadi defect pada perusahaan pompa	Menurunkan rata- rata cacat per bulan dan meningkatkan nilai sigma	DMAIC	COPQ, Run-Chart, P-Chart, Pareto Chart, Diagram Sebab Akibat	Rata- rata cacat menurun dari 70.30 menjadi 11.69 atau menurun sebesar 83.37%

Tabel 2.1. Lanjutan

	No	Tahun	Judul	Author	Problem	Tujuan	Metode	Tools	Hasil
	3	2012	Aplikasi Metode <i>Lean six sigma</i> Untuk Usulan Improvisasi Lini Produksi Dengan Mempertimbangkan Faktor Lingkungan. Studi Kasus: Departemen GLS (General Lighting Services) PT. Philips Lighting Surabaya	Miftachul Arifin dan H. Hari Supriyanto, Ir., MSIE	Terjadi EHS waste yang menimbulkan dampak lingkungan yang cukup besar	Memperbaiki nilai sigma defect produk dan nilai sigma waiting	DMAIC	<i>Value stream mapping</i> , DPMO, Root and Cause Analysis, FMEA, Analisis Value Management, <i>Control Sheet</i> , <i>Control Chart</i>	Terjadi peningkatan nilai sigma defect product menjadi 3.08 dan sigma waiting menjadi 2.08
	4	2012	<i>An Application of Customized Lean six sigma to Enhance Productivity at a Paper Manufacturing Company</i>	Nabeel Mandahawi a, Rami H. Fouad, Suleiman Obeidata	Terjadi waste pada beberaa mesin yang digunakan dan menimbulkan performansi menjadi menurun	Meningkatkan performansi dari mesin	DMAIC	High-Level Process Map, R&R, Cause and Effect Diagram, Sustain Plan.	Terjadi peningkatan performansi mesin dari 21.6% menjadi 48,45%

Tabel 2.1. Lanjutan

	No	Tahun	Judul	Author	Problem	Tujuan	Metode	Tools	Hasil
	5	2012	<i>Application of Lean six sigma to a panel equipment manufacturer</i>	Fu-Kwun Wang and Kao-Shan Chen	Terjadi pemakaian biaya yang cukup besar dan juga proses yang kurang baik	Mereduksi biaya dan meningkatkan process capability	DMAIC	SIPOC, High-Level Process Map, I- Chart, Pareto diagram, FMEA, SSM, X bar Chart, R bar Chart, Control Plan	Terjadi reduksi biaya sebesar US\$ 4.710.262 dan Cp, Cpk dari 0.78 dan 0.64 menjadi 1.62 dan 1.49
	6	2013	<i>Applying Lean six sigma for Waste Reduction in a Manufacturing Environment</i>	Mohamed K. Hassan	Ditemukan beberapa waste dalam proses produksi welding wire	Mereduksi waste dan meningkatkan nilai sigma serta kemampuan proses untuk menghasilkan produk baik	DMAIC	SIPOC, Pareto- Chart, DPU dan DPMO, Fish-Bone Diagram, AHP, dan Control Plan	Kemampuan proses 98,24% dengan level sigma 3.6 dan DPMO 17.600. Waste yang terjadi pada proses produksi kurang dari 2%

Tabel 2.1. Lanjutan

	No	Tahun	Judul	Author	Problem	Tujuan	Metode	Tools	Hasil
	7	2017	Identifikasi Waste Menggunakan Waste Assessment Model (WAM) Pada Lini Produksi PT. KHI Pipe Industries	Andi Rahayu Putri, Lely Herlina, dan Putro Ferro Ferdinand	Ditemukan beberapa waste dalam proses produksi pada produk pipa las spiral atau <i>spiral pipe welded</i> yang produksi di mesin SPM 1200.	Usulan yang dapat dilakukan untuk mereduksi waste yang terjadi pada proses produksi	DMAIC	SIPOC, WRM, DPMO, CTQ, 5 W1H,	Usulan perawatan mesin secara rutin, pelapisan manganis pada kompresor, dan <i>job training</i> ,
Penelitian Sekarang	1	2017	Aplikasi Metode <i>Lean six sigma</i> Untuk Meningkatkan Kualitas Hasil Cetakan Aluminium Di WI Aluminium Yogyakarta	Maria Awandasari H	Ditemukan waste yang terjadi dalam proses produksi	Mereduksi persentase waste dominan yang terjadi di proses produksi	DMAIC	WRM, VSM, <i>Fish Bone Diagram</i> , <i>Pareto Chart</i> , FMEA, <i>Control Sheet</i> .	Terjadi reduksi waste yang terjadi dan mencapai nilai target perusahaan.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Berdasarkan penelitian terdahulu sudah dapat dicapai peningkatan kualitas proses produksi dengan mereduksi tingkat *waste* pada proses produksi dan peningkatan nilai sigma, maka penelitian akan menggunakan metode DMAIC untuk langkah reduksi *waste* dominan pada proses produksi WL Aluminium. Untuk setiap tahap akan digunakan beberapa *tools* yang sudah berhasil digunakan pada penelitian terdahulu. Sebelum masuk dalam tahap DMAIC akan dilakukan identifikasi dan pemilihan *waste* dominan yang terjadi pada proses produksi dengan menggunakan *Waste Relationship Matrix*. Pada tahap *define* akan digunakan *Value Stream Mapping* untuk mengetahui ruang lingkup dari obyek yang diteliti dan setiap urutan proses yang ada didalamnya, kemudian akan diidentifikasi untuk aktivitas NVA dan NNVA yang ada pada proses terutama yang berhubungan dengan *waste* dominan. Pada tahap *measure* dilakukan pengukuran parameter yang berkaitan dengan *waste* dominan dan membandingkannya dengan target dari perusahaan. Kemudian pada tahap analisis akan digunakan *Fish Bone Diagram* untuk mengetahui penyebab- penyebab *waste* yang terjadi dan mempengaruhi nilai persentase parameter. Kemudian pada tahap *improve* digunakan FMEA untuk mengetahui akar masalah dari *waste* yang terjadi dan dilakukan perbaikan pada faktor penyebab *waste* yang terjadi serta melakukan pengukuran parameter setelah dilakukan perbaikan. Kemudian untuk tahap *control* akan dibuat *control sheet* untuk menjaga agar hasil perbaikan dilakukan secara terus-menerus. Hasil yang diharapkan dari penelitian yang dilakukan adalah mereduksi *waste* yang ada pada proses produksi dan mencapai target yang telah ditetapkan perusahaan.

2.2. Dasar Teori

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai teori- teori yang berkaitan dengan topik yang akan diteliti.

2.2.1. Six Sigma

Six Sigma merupakan implementasi dari prinsip dan teknik mutu yang terstruktur, fokus, dan efektif yang ditujukan untuk mencapai performansi bisnis yang bebas dari kesalahan dimana performansi bisnis diukur dari level sigma (Pyzdek, 2003). Aktivitas *Six Sigma* berfokus pada tiga pemangku kepentingan utama yaitu: pelanggan, pemegang saham, dan karyawan (Pyzdek, 2010). Pande dkk. (2000) menyebutkan bahwa *Six Sigma* adalah seperangkat konsep berorientasi

manajemen, dan bahwa penerapan sistem tidak hanya memerlukan ketrampilan aplikasi manajemen mutu, namun juga pengembangan strategi bisnis yang tepat. *Six Sigma* juga merupakan strategi bisnis dan metodologi yang sistematis, penggunaan yang sering mengarah pada terobosan profitabilitas melalui keuntungan signifikan dalam kualitas produk / layanan, kepuasan pelanggan dan produktivitas. *Six Sigma* merupakan perubahan konseptual dalam budaya organisasi dan menekankan orientasi pelanggan, dan perbaikan proses harus didasarkan pada strategi bisnis.

Proses manajemen bisnis adalah salah satu hubungan antara perusahaan sasaran mutu dan strategi bisnis harus diidentifikasi (Banuelas dan Antony, 2002). Program *Six Sigma* dirancang untuk mencapai keunggulan kompetitif, dan Dengan demikian harus dikaitkan secara jelas dengan prioritas bisnis, sebagaimana tercermin dari rencana strategis dan tindakan perusahaan (Snee, 2001). Pearson (2001) menunjukkan bahwa kunci untuk *Six Sigma*.

Kesuksesannya adalah mengoptimalkan hasil bisnis secara keseluruhan dengan menyeimbangkan biaya, kualitas, fitur dan pertimbangan ketersediaan produk dan produksinya menjadi strategi bisnis yang optimal. Strategi bisnis *Six Sigma* bergantung pada alat statistik dan proses dan metode yang dirancang secara khusus untuk mencapai tujuan yang terukur guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas, mengurangi limbah dan meningkatkan produk dan proses.

a. *Six Sigma* Berorientasi pada Pelanggan

Six Sigma dapat didefinisikan sebagai pendekatan berbasis pelanggan, fokus pada kepuasan pelanggan atau sigma pelanggan (Hahn dkk, 1999). Dengan pengetahuan tentang perasaan pelanggan ini, manajemen atas dapat menambahkan value chain untuk meningkatkan perspektif pelanggan, mengintegrasikan aspek perbaikan manusia dan proses (Snee, 1999).

b. *Six Sigma* Berorientasi Proses

Kualitas inti *Six Sigma* membutuhkan manajemen bisnis untuk melihat proses dari perspektif pelanggan, termasuk harapan pelanggan mengenai kinerja, kehandalan, harga rasional dan pengiriman tepat waktu.

c. *Six Sigma* Berorientasi pada Karyawan

Keterlibatan penuh karyawan sangat penting untuk pendekatan kualitas *Six Sigma*. Akibatnya, tingkat manajemen harus berkomitmen untuk memberi kesempatan dan insentif untuk keterlibatan total karyawan (Harry, 2000).

Antony dkk. (2005) menyatakan bahwa faktor terpenting untuk keberhasilan Implementasi *Six Sigma* adalah keterlibatan dan partisipasi manajemen, menghubungkan *Six Sigma* dengan pelanggan dan strategi bisnis organisasi. Pendekatan *Six Sigma* membantu manajemen puncak untuk melakukan strategi yang tepat dengan memilih proyek-proyek yang berkaitan dengan strategi. Dari perspektif ini, hak keputusan untuk memulai sebuah proyek dialokasikan kepada manajer senior (Schroeder dkk, 2008). Potensi *Six Sigma* untuk membantu perusahaan merumuskan dan menerapkan strategi bisnis dan membawa perubahan transformasional yang luas menyiratkan bahwa hal itu dapat dilihat sebagai pendekatan kepemimpinan, filosofi, dan metodologi kepemimpinan tingkat tinggi untuk perubahan.

2.2.2. DMAIC

Metodologi DMAIC meliputi Definisi, Pengukuran, Analisis, Perbaikan, dan Kontrol, sehingga memberikan kerangka kerja terstruktur untuk memecahkan masalah bisnis dengan pelaksanaan proses yang efektif (Pressly, 2001). Horel (2001) menjelaskan bahwa teknik kualitas DMAIC pertama kali diterapkan pada operasi manufaktur dan berkembang pesat ke area fungsional yang berbeda seperti pemasaran, rekayasa, pembelian dan servis.

Anthony dan Banuelas (2002) melakukan studi kasus pada perusahaan manufaktur bola lampu untuk mengurangi keretakan kulit selama pembuatan umbi dan memperbaiki kerusakan secara dramatis dengan menggunakan teknik kualitas DMAIC. Kim dkk. (2010) melakukan studi kasus ke dalam sebuah perpustakaan penelitian perusahaan perusahaan telekomunikasi di Korea untuk mengidentifikasi dan menghapus komponen yang tidak efektif dan langkah-langkah yang tidak perlu dalam pekerjaan dan layanan perpustakaan.

Metodologi DMAIC melibatkan fase berikut:

- a. *Define*: Mendefinisikan keseluruhan masalah-masalah yang berhubungan dengan bisnis atau penting bagi kepuasan pelanggan.
- b. *Measurement*: Dasar pengukuran untuk mengukur cacat saat ini dan tujuan untuk memperbaiki proses yang ada.
- c. *Analysis*: Tahap analisis diatur dengan tujuan untuk memahami akar penyebab mengapa terjadi cacat dan untuk mengetahui variabel proses kunci itu menyebabkan cacat.

- d. *Improvement*: Selama tahap perbaikan, dilakukan pencarian solusi optimal, dan mengembangkan dan menguji rencana aksi untuk implementasi.
- e. *Control*: Perencanaan pengendalian dan verifikasi kemampuan jangka panjang dilakukan.

Metodologi ini digunakan untuk memperbaiki proses yang sudah ada. Beberapa studi menunjukkan keberhasilan aplikasi DMAIC di berbagai industri seperti kesehatan, pembangkit listrik, retail, keuangan, dan manufaktur (Aboelmaged, 2010).

2.2.3. Lean Manufacturing dan Waste

Pyzdek (2003) menyebutkan bahwa Lean Production dikembangkan oleh Taiichi Ohno, seorang eksekutif produksi Toyota untuk menanggapi sejumlah masalah yang melanda industri Jepang. Masalah utama yang dihadapi adalah bahwa produksi dengan varietas yang tinggi diperlukan untuk melayani pasar Jepang domestik. Teknik produksi massal yang dikembangkan oleh Henry Ford secara ekonomis menghasilkan produk identik yang berjalan lama, tidak sesuai dengan situasi dihadapi oleh Toyota. Saat ini kondisi yang dihadapi oleh Toyota pada akhir 1940-an sudah menjadi hal yang umum di seluruh industri dan lean sudah diadopsi oleh bisnis di seluruh dunia sebagai cara untuk meningkatkan efisiensi dan melayani pelanggan dengan lebih baik.

Pendekatan lean secara sistematis meminimalkan limbah pemborosan yang ada pada value stream. Pemborosan mencakup semua jenis pekerjaan atau aktivitas yang tidak diperlukan, bukan hanya produk yang cacat. Waktu, gerakan, dan materi yang terbuang semuanya adalah pemborosan. Gaspersz dan Fontana (2011) mengidentifikasi ada 9 jenis pemborosan dalam bisnis dan industri :

- a. *Defect* : Jenis pemborosan karena kecacatan produk.
- b. Kelebihan produksi : Pemborosan karena produksi melebihi kuantitas yang seharusnya.
- c. Persediaan (dalam proses atau barang jadi) : Pemborosan akibat kelebihan persediaan.
- d. Proses yang tidak perlu. Pemborosan akibat proses yang lebih panjang.
- e. Gerakan orang yang tidak perlu
- f. Transportasi : Jenis pemborosan karena ada transportasi yang berlebihan.
- g. Menunggu : Pemborosan karena ada waktu untuk menunggu.
- h. K3 : Pemborosan akibat kelalaian dalam prinsip K3.

- i. SDM: Pemborosan SDM akibat pemakaian SDM yang kurang optimum.

2.2.4. Lean Six Sigma

Lean six sigma adalah kombinasi dari dua konsep perbaikan berkelanjutan, *Lean* konsep dan *Six Sigma*, dengan *Lean* membuat standar dan *Six Sigma* menyelidiki dan menyelesaikan variasi dari suatu proses (Breyfogle III dan Meadows, 2001). George (2002) menyatakan bahwa tujuan LSS ada dua, untuk mengubah keseluruhan strategi bisnis CEO dari penglihatan ke kenyataan dengan pelaksanaan proyek yang sesuai, dan untuk menciptakan kemampuan operasional baru yang akan memperluas jangkauan strategi pilihan CEO untuk maju. Metodologi LSS mengikuti prinsip utama dari kedua konsep *Lean* dan *Six Sigma*, memanfaatkan kekuatan keduanya. Konsep *lean* menciptakan standar dan *Six Sigma* menyelidiki dan menyelesaikan variasi dari standar (Breyfogle III, 2003). LSS telah didefinisikan sebagai pendekatan yang mensintesis penggunaan alat dan metode mapan. Alat dan metode praktisi LSS mencakup rangkaian alat produksi ramping dan *Six Sigma*. Antony dkk. (2005) menyimpulkan bahwa LSS adalah metodologi sistematis dengan *Six Sigma* yang dikombinasikan dengan kecepatan dan kelincahan metodologi *lean* untuk menghasilkan solusi lebih besar dalam pencarian bisnis dan keunggulan operasional. Metodologi ramping mencakup proses *lean* yang berusaha memaksimalkan konten nilai tambah dari semua operasi, mengevaluasi semua sistem insentif yang ada untuk memastikan bahwa hal tersebut menghasilkan pengoptimalan global dan bukan pengoptimalan lokal, dan menerapkan proses pengambilan keputusan berdasarkan suara-suara dari pelanggan.

Fungsi LSS adalah mengurangi biaya produksi, meningkatkan produktivitas, meningkatkan keamanan, mempersingkat waktu ke pasar, dan meningkatkan kualitas dan hasil produk. Harvey (2004) menguraikan bahwa setiap organisasi yang ingin memperbaiki suatu proses harus mengidentifikasi jenis masalah perbaikan proses yang dihadapi. Prinsip utama LSS meliputi prioritas *Lean*, pelatihan, keterlibatan pemangku kepentingan, mengukur dampak *just-in-time* dan menciptakan budaya untuk kesuksesan. Metodologi LSS telah digunakan untuk merampingkan catatan dan proses manajemen dan untuk memperbaiki cara informasi mengalir ke, melalui dan keluar dari organisasi. Mengelola catatan telah menjadi usaha perusahaan, dengan beragam tim dibentuk untuk mengerjakan struktur dan solusi (Brett dan Queen, 2005). Mader (2007) menafsirkan bahwa

LSS adalah metode yang ampuh untuk memperbaiki produk, proses dan layanan yang ada. LSS secara efektif menggabungkan prinsip-prinsip *Six Sigma* dengan *Lean* untuk memacu perbaikan yang terus-menerus. Lawson (2007) menafsirkan bahwa *lean manufacturing* menyebabkan produk bergerak melalui proses lebih cepat, dan *Six Sigma* meningkatkan kualitas, sehingga mengintegrasikan dua metodologi komplementer dapat menghasilkan manfaat yang lebih besar daripada menerapkannya secara terpisah.

2.2.5. Waste Relationship Matrix

Rawabdeh (2005) menyebutkan bahwa *Waste relationship matrix* merupakan metode yang digunakan untuk menilai hubungan dari setiap pemborosan yang dapat ditemukan pada suatu proses. Menurut Toyota *Production* pemborosan yang ditemukan pada proses produksi ada tujuh tipe pemborosan, kelebihan produksi, cacat produk, gerakan, pemindahan barang, kelebihan persediaan, menunggu, dan kelebihan proses. Berikut merupakan langkah-langkah pengolahan data WRM.

- a. Memberikan kuesioner berupa pertanyaan yang mengidentifikasi hubungan dari setiap pemborosan yang terjadi kepada orang yang mengerti sistem dengan baik. Ada 31 hubungan yang ditunjukkan dengan simbol i dan j untuk ketujuh pemborosan yang dapat ditemukan pada rantai produksi. Ada 6 pertanyaan yang disediakan untuk setiap hubungan *waste* yang terjadi pada proses produksi. Enam pertanyaan tersebut digunakan untuk setiap hubungan yang terjadi dengan memberikan jawaban yang tepat dengan keadaan rantai produksi saat ini.
- b. Memberikan penilaian bobot sesuai dengan jawaban dari setiap pertanyaan sesuai dengan kriteria nilai jawaban. Kemudian menjumlahkan bobot tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan skor akhir hubungan setiap *waste* yang diidentifikasi. Bobot dari setiap jawaban pertanyaan WRM dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Skor Penilaian Jawaban WRM

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
1	Apakah i menghasilkan j	a. Selalu b. Kadang- Kadang c. Jarang	=4 =2 =0
2	Bagaimanakan jenis hubungan antara i dan j	a. Jika i naik maka j naik b. Jika i naik maka j tetap c. Tidak tentu tergantung keadaan	=2 =1 =0
3	Dampak terhadap j karena i	a. Tampak secara langsung & jelas b. Butuh waktu untuk muncul c. Tidak sering muncul	=4 =2 =0
4	Menghilangkan dampak i terhadap j dapat dicapai dengan cara	a. Metode engineering b. Sederhana dan langsung c. Solusi instruksional	=2 =1 =0
5	Dampak i terhadap j terutama mempengaruhi	a. Kualitas produk b. Produktifitas sumber daya c. Cycle time d. Kualitas dan produktifitas e. Kualitas dan cycle time f. Produktifitas dan cycle time g. Kualitas, produktifitas dan cycle time	=1 =1 =1 =2 =2 =2 =4
6	Sebesar apa dampak i terhadap j akan meningkatkan cycle time	a. Sangat tinggi b. Sedang c. Rendah	=4 =2 =0

Sumber : Rawabdeh (2005)

- c. Skor akhir yang telah dihitung pada tahap sebelumnya kemudian dikonversikan menjadi simbol tingkat hubungan yang disesuaikan dengan kriteria. Aturan konversi skor ke simbol tingkat hubungan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Konversi Nilai Hubungan ke Simbol

Range	Jenis Hubungan	Simbol
17-20	Absolut Penting	A
13-16	Sangat Penting	E
9-12	Penting	I
5-8	Biasa	O
1-4	Tidak Penting	U
0	Tidak ada Hubungan	X

Sumber: Rawabdeh (2005)

- d. Hasil konversi pada tahap sebelumnya digunakan kembali dalam perhitungan tingkat pengaruh antar pemborosan yang saling berhubungan dengan nilai konversi A=10, E=8, I=6, O=4, U=2, dan X=0. Hasil dari konversi ini akan dijumlahkan untuk setiap hubungan *waste* yang ada dengan membuat matriks *from-to*, nilai tingkat pengaruh dapat dilihat pada persentase jumlah tingkat pengaruh suatu *waste* dengan total tingkat pengaruh dari *waste* keseluruhan.
- e. Nilai persentase terbesar dibagian kanan akan menunjukkan pemborosan yang dapat mempengaruhi timbulnya *waste* lain atau bisa disebut ini adalah *waste* dominan, kemudian pada tabel bawah terdapat nilai persentase terbesar adalah *waste* yang dipengaruhi oleh *waste* dominan.

2.2.6. Value Stream Mapping

Nash, dkk. (2008) menyebutkan *Value Stream Mapping* adalah suatu alat pemetaan proses yang memiliki fungsi untuk mengidentifikasi semua aliran baik material dan bahan dalam pembuatan produk dari bahan baku menjadi produk jadi.

Penggunaan *Value Stream Mapping* dapat dijadikan awal dan proses identifikasi pemborosan beserta dengan penyebabnya karena *Value Stream Mapping* dapat menggambarkan proses secara menyeluruh dan mengetahui permasalahan didalamnya begitu pula dengan penyelesaian permasalahan tersebut. Pembuatan *Value Stream Mapping* ini menggunakan simbol- simbol yang dapat mewakili setiap aktivitas yang terjadi dalam proses produksi. Ada tiga jenis aktivitas yang dapat ditemukan pada *Value Stream Mapping*, yaitu *non value added* atau aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah, *necessary non value added* atau aktivitas yang penting untuk dilakukan namun tidak memberikan nilai tambah pada produk,

dan *value added* atau aktivitas yang memberikan nilai tambah pada produk. Contoh *Value stream mapping* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



a. Langkah-langkah Pembuatan *Value Stream Mapping*

Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan *value stream mapping* (Gaspersz, 2007) :

- i. Menentukan fokus produk yang akan dipetakan. Pemilihan produk didasarkan pada pemenuhan kriteria volume produksi yang tinggi dan biaya yang paling mahal apabila dibandingkan dengan produk yang lain, dan produk tersebut memiliki segmentasi kriteria penting bagi perusahaan berhubungan dengan minat konsumen pada produk.
- ii. Menggambarkan aliran proses dengan penggunaan simbol-simbol untuk memetakan setiap proses. Pembuatan aliran proses dimulai dari konsumen kemudian ditarik pada proses sebelumnya kemudian dilakukan identifikasi aktifitas yang utama dan meletakkan dalam suatu urutan.
- iii. Menambahkan aliran material dan informasi pada peta yang dibuat, tunjukkan bagaimana material mengalir dari aktivitas satu ke aktivitas lain, dokumentasikan mengenai informasi yang dikumpulkan (elektronik, manual). Dilakukan proses pengumpulan data yang diperlukan untuk setiap proses dan menghubungkan data-data tersebut. Data- data tersebut antara lain waktu setup, waktu proses per unit, takt rate (waktu rata-rata pemenuhan permintaan pelanggan), persentase produk cacat yang terjadi, jumlah operator yang dibutuhkan, persentase downtime (berkaitan dengan hal yang mengakibatkan proses tidak dapat mencapai produktifitas maksimum), dan jumlah WIP. Data- data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *Value Stream Mapping* sesuai dengan aktivitas yang terjadi.

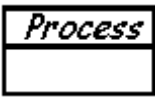
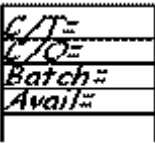
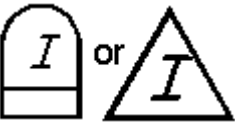
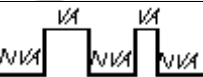
b. Simbol- Simbol dalam *Value Stream Mapping*

Simbol-simbol yang ditemukan dalam *Value Stream Mapping* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Simbol dalam *Value Stream Mapping*

Simbol	Pengertian
	<i>Costumer/ Supplier</i> yaitu pihak diluar perusahaan yang berhubungan langsung dengan pengadaan dan pengiriman barang.

Tabel 2.4. Lanjutan

Simbol	Pengertian
	Simbol ini akan menunjukkan proses operasi yang ada pada perusahaan.
	Data box yang berisi informasi- informasi yang dapat menggambarkan proses yang berjalan.
	Menunjukkan aktivitas penyimpanan barang dalam proses yang berlangsung.
	Pemindahan barang secara eksternal yaitu pengiriman barang dari supplier dan pengiriman barang ke konsumen.
	Tanda panah yang menunjukkan aliran proses yang searah dan bersifat push atau dilakukan terus menerus.
	Tanda panah yang menunjukkan adanya aktivitas pengiriman barang.
	Timeline ini digunakan untuk menuliskan lama waktu yang diperlukan untuk setiap aktivitas yang berjalan.
	Simbol ini menunjukkan adanya operator dalam suatu proses.
	Simbol ini digunakan apabila ada pemindahan barang dengan jalur menggunakan rel.

c. Data Value Stream Mapping

King dan King (2015) menyebutkan bahwa dalam pembuatan Value Stream Mapping diperlukan beberapa data pendukung yaitu data proses dan data transportasi. Berikut merupakan penjelasan dari data- data yang digunakan.

i. Process Data Box

a) Available Time

Waktu total yang tersedia pada jadwal proses yang dijalankan. Sebagai contoh, sebuah perusahaan bekerja dengan dua shift selama

8 jam/shift, 5 hari kerja per minggu. Waktu tersedia dari perusahaan tersebut adalah 80 jam per minggu.

b) *Takt time*

Takt time merupakan pengukuran yang didasarkan pada permintaan *costumer*. *Takt time* dihitung dengan cara total agregat *demand* dibagi dengan *available time* yang tersedia.

c) *Cycle Time*

Waktu yang diperlukan untuk satu bagian, satu *batch*, satu roll, satu tote, atau satu lot untuk menyelesaikan suatu langkah proses, dari saat material memasuki langkah proses hingga selesai. *Cycle time* dapat mencakup waktu yang memberikan nilai tambah, dan waktu yang tidak bernilai tambah, yaitu, waktu yang terbuang dalam suatu proses.

d) *Jadwal Shift*

Jumlah jam per *shift*, *shift* per hari, hari per minggu, atau total jumlah jam per hari dan jumlah hari per minggu.

ii. *Transportation Data Box*

a) *Frekuensi Pemindahan*

Frekuensi pemindahan mewakili seberapa sering pemindahan dilakukan, seberapa sering barang diterima oleh proses selanjutnya.

b) *Transport Time*

Waktu rata-rata yang digunakan untuk memindahkan barang.

c) *Lot Size*

Rata-rata jumlah barang yang dikirim atau diterima. Satuan yang digunakan dalam *transport* disesuaikan dengan data produksi.

2.2.7. Keseragaman Data

Pengukuran waktu merupakan aktivitas pengamatan pada pekerja untuk mencatat waktu kerja setiap elemen ataupun siklus secara langsung maupun tidak langsung. Teknik pengukuran jam henti adalah salah satu metode pengukuran waktu secara langsung yang paling sederhana karenanya metode ini lebih sering digunakan daripada metode –metode pengukuran waktu lainnya (Sutalaksana, 2006).

Uji keseragaman data adalah pengujian yang dilakukan terhadap data pengukuran untuk memastikan data yang telah diukur seragam dan berasal dari sistem yang sama. Uji keseragaman data dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Penentuan *Subgroup*

Subgroup ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.1.

$$k = 1 + 3.3 \log N \quad (2.1)$$

Keterangan :

k = Jumlah *subgroup*

N = Jumlah pengamatan

b. Menghitung rata- rata tiap *subgroup*

Perhitungan rata- rata tiap *subgroup* dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$\bar{X}_i = \frac{\sum X_i}{n_i} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\bar{X}_i$: Nilai rata –rata *subgroup* (detik)

$\sum X_i$: Jumlah data *subgroup* (detik)

n_i : banyaknya sampel tiap *subgroup*

c. Menghitung rata- rata *subgroup*

Perhitungan rata- rata tiap *subgroup* dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}_i}{k} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\bar{\bar{X}}$: Nilai rata –rata *subgroup* (detik)

$\sum \bar{X}_i$: Jumlah rata-rata tiap *subgroup* (detik)

k: banyaknya *subgroup*

d. Perhitungan Standar Deviasi Waktu

Persamaan yang digunakan untuk menghitung standar deviasi waktu dapat dilihat pada persamaan 2.4 dan persamaan 2.5.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{\bar{X}})^2}{N-1}} \quad (\text{untuk } N \leq 30) \quad (2.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{\bar{X}})^2}{N}} \quad (\text{untuk } N > 30) \quad (2.5)$$

Keterangan :

σ : Standar deviasi waktu

$\bar{\bar{X}}$: Nilai rata –rata *subgroup* (detik)

X_i : Data *subgroup* (detik)

N: Jumlah data

e. Perhitungan Standar Deviasi dari distribusi harga rata-rata *subgroup*

Persamaan yang digunakan untuk menghitung standar deviasi dari distribusi harga rata-rata *subgroup* dapat dilihat pada persamaan 2.6.

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\sigma_{\bar{X}}$: Standar deviasi distribusi harga rata-rata *subgroup*

σ : Standar deviasi waktu

N: Banyak data setiap *subgroup*

f. Menghitung Batas Kontrol Atas dan Batas Kontrol Bawah

Persamaan untuk menghitung Batas Kendali Atas dan Batas Kendali Bawah dapat menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8.

$$BKA = \bar{\bar{X}} - K\sigma_{\bar{X}} \quad (2.7)$$

$$BKB = \bar{\bar{X}} + K\sigma_{\bar{X}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\bar{\bar{X}}$: Nilai rata-rata *subgroup* (detik)

$\sigma_{\bar{X}}$: Standar deviasi distribusi harga rata-rata *subgroup*

K: Tingkat keyakinan

Data yang dikatakan seragam berada di antara kedua batas kendali, dan tidak seragam jika berada diluar batas kendali.

g. Waktu Normal

Waktu normal merupakan waktu kerja yang mempertimbangkan faktor penyesuaian. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan waktu normal dapat dilihat pada persamaan 2.9.

$$W_n = W_s \times p \quad (2.9)$$

Keterangan:

W_n = Waktu Normal

W_s = Waktu Siklus

p = Faktor Penyesuaian

h. Waktu Baku

Waktu baku adalah waktu sebenarnya yang digunakan operator untuk memproduksi satu unit produk. Waktu ini mencakup pada waktu toleransi

pekerja untuk mengatasi kelelahan dan kebutuhan pribadi. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan waktu normal dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$W_b = W_n \times (1 + a) \quad (2.10)$$

Keterangan:

W_b = Waktu Baku

W_n = Waktu Normal

a = Faktor Kelonggaran

2.2.8. Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data adalah pengujian yang dilakukan terhadap data hasil pengukuran untuk mengetahui apakah data sudah mencukupi untuk digunakan pada tahap selanjutnya. Data sudah mencukupi jika hasil perhitungan $N' < N$. Pengujian kecukupan data dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut (Sutalaksana, 2006):

a. Tingkat ketelitian

Tingkat ketelitian mewakili penyimpangan maksimum data waktu yang diambil dari hasil perhitungan terhadap nilai waktu yang sebenarnya. Nilai ini dilambangkan dengan nilai s yang akan berbeda nilainya untuk setiap tingkat ketelitian. Tingkat ketelitian 99% dilambangkan dengan nilai $s=0,01$ dan nilai kepercayaan 95% dilambangkan dengan nilai $s=0,05$.

b. Tingkat kepercayaan

Tingkat kepercayaan menunjukkan besarnya probabilitas yang menyatakan bahwa data yang diambil berada dalam tingkat ketelitian yang sebelumnya telah ditentukan. Nilai ini dilambangkan dengan nilai K yang akan berbeda nilainya untuk setiap tingkat kepercayaan. Nilai kepercayaan 99% dilambangkan dengan nilai $K=3$, nilai kepercayaan 95% dilambangkan dengan nilai $K=2$, sedangkan nilai kepercayaan 68% dilambangkan dengan nilai $K=1$.

Rumus untuk menguji kecukupan data pengamatan dapat menggunakan persamaan 2.9.

$$N' = \left[\frac{\frac{K}{s} \sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2 \quad (2.11)$$

Keterangan:

N' : Jumlah pengukuran yang diperlukan

N : Jumlah pengukuran yang telah dilakukan

K : Tingkat keyakinan

s : Tingkat ketelitian

Xi : Data ke-i

2.2.9. Faktor Penyesuaian

Merupakan proses dimana pengukur membandingkan performansi nyata dari operator dengan konsep performansi yang dipahami oleh pengukur. Biasanya disimbolkan dengan huruf p. Cara penentuan dari faktor penyesuaian ada 3:

a. Cara Shumard

Faktor penyesuaian berpatokan pada performansi normal dari pekerja atau dilihat secara subyektif pekerja.

b. Cara Westinghouse

Faktor penyesuaian dilihat dari beberapa faktor yang lebih obyektif. Ada 4 faktor yang dilihat saat menilai performansi:

- i. *Skill* : Kemampuan mengikuti cara kerja yang ditetapkan. *Skill* dibagi lagi menjadi 6 kelas *skill*.
- ii. *Effort* (usaha): Kesungguhan yang ditunjukkan oleh operator ketika melakukan pekerjaannya. Dibagi menjadi 6 kelas.
- iii. Kondisi kerja: Berkaitan dengan kondisi lingkungan fisik dan pekerja. Ada 8 macam kondisi dan dibagi menjadi 6 kelas.
- iv. Konsistensi: Selisih antara waktu penyelesaian dengan rata-ratanya tidak besar. Dibagi menjadi 6 kelas

c. Cara Obyektif

Faktor penyesuaian dilihat dari 2 faktor obyektif:

- i. *Operator speed*: kurang dari satu maka kurang dari normal, lebih dari satu maka lebih dari normal, dan sama dengan satu maka kecepatannya normal.
- ii. *Job difficulty*: dibagi menjadi 6 kategori, anggota badan yang digunakan, pedal pada kaki, mengurangi yang dilakukan oleh tangan, koordinasi tangan dengan mata, adanya kebutuhan *handling*, dan berat.

2.2.10. Faktor Kelonggaran

Faktor kelonggaran berhubungan dengan waktu yang dibutuhkan operator untuk kebutuhan pribadi, istirahat, atau alasan lain diluar pengendaliannya. Seperti *personal allowance*, *fatigue*, dan *delay*. Jika pekerjaan makin berat maka makin besar juga waktu untuk kebutuhan pribadinya. Fatigue dapat disebabkan oleh

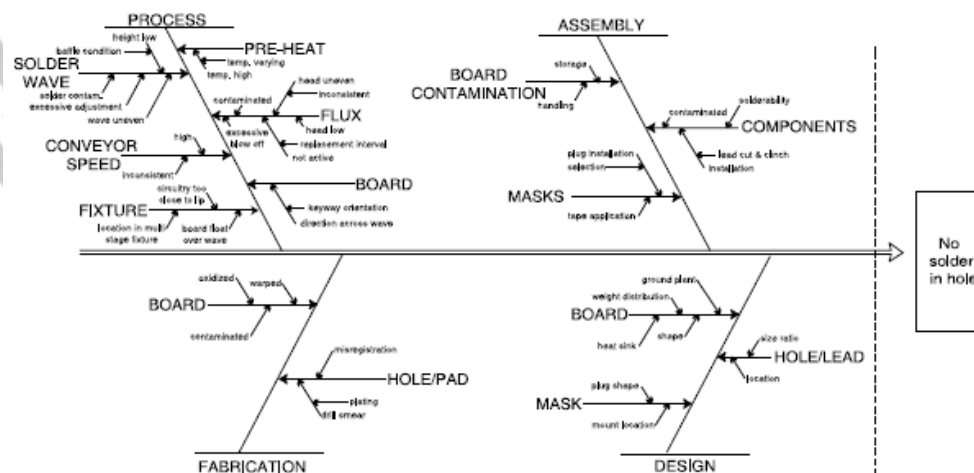
beberapa hal yaitu mesin, durasi kerja, kondisi kerja, postur abnormal, gerakan repetitif, dan pekerjaan yang sulit. Sedangkan *delay* ada dua macam yaitu yang dapat dihindari ataupun yang tidak dapat dihindari.

2.2.11. Fish Bone Diagram

Mitra (2016) menyebutkan bahwa diagram sebab dan akibat adalah alat yang digunakan untuk mengatur dan secara grafis yang menampilkan semua pengetahuan mengenai sebab akibat sehubungan dengan masalah tertentu. Adapun langkah-langkah untuk menyusun *fish bone diagram* adalah:

- Mengembangkan *flow chart* area yang akan diperbaiki.
- Menentukan masalah yang harus dipecahkan.
- Melakukan brainstorming untuk menemukan semua kemungkinan penyebab masalah
 - Mengatur hasil brainstorming dalam kategori rasional
 - Membuat diagram penyebab dan diagram yang secara akurat menampilkan hubungan dari semua data di setiap kategori.

Hasil dari diagram yang telah dibuat dapat digunakan untuk menentukan penyebab dan masalah- masalah yang ada proses, dan dapat digunakan sebagai input dalam proses analisis selanjutnya.



Gambar 2.2. Fish Bone Diagram

2.2.12. FMEA (Failure Mode dan Effect Analysis)

Pyzdex (2003) menyebutkan bahwa analisis kegagalan mode dan efek, atau FMEA, adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisis semua

kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi, pengaruhnya terhadap sistem, kemungkinan terjadinya, dan kemungkinan kegagalan itu tidak terdeteksi. FMEA menyediakan dasar untuk klasifikasi karakteristik, yaitu untuk mengidentifikasi CTQ dan variabel kritis lainnya seperti analisis Pareto. Satu tujuan FMEA adalah untuk mengarahkan sumber daya yang tersedia ke peluang yang paling menjanjikan dengan kegagalan yang sangat tidak mungkin terjadi, bahkan kegagalan dengan konsekuensi serius. Ada dua jenis FMEA yang berhubungan dengan fase penerapan analisis yaitu FMEA Proses dan FMEA desain. FMEA proses digunakan untuk menganalisis proses yang berjalan sedangkan FMEA desain lebih kepada analisis perencanaan desain dari produk yang akan dibuat. Pada tahap ini FMEA yang digunakan adalah FMEA proses. FMEA proses merupakan bagian integral dari proses perancangan awal dan harus dilakukan pada fase perbaikan DMAIC. FMEA adalah dokumen yang dapat diperbarui untuk mencerminkan desain perubahan dalam tahap kontrol atau verifikasi. Analisis ini dapat digunakan untuk menilai penyebab yang berisiko tinggi dan aktivitas yang sedang dilakukan tindakan korektif. FMEA juga digunakan untuk menentukan pertimbangan uji khusus, titik pemeriksaan mutu, tindakan pemeliharaan preventif, kendala operasional, masa manfaat, dan informasi dan aktivitas terkait lainnya yang diperlukan untuk meminimalkan risiko kegagalan. Semua tindakan yang direkomendasikan yang dihasilkan dari FMEA harus dievaluasi dan diposisikan secara formal dengan implementasi yang tepat atau mendokumentasikan alasan tanpa tindakan. Langkah-langkah berikut digunakan dalam melakukan sebuah FMEA:

- a. Mengidentifikasi sistem. Sistem lengkap termasuk identifikasi fungsi internal dan antarmuka, kinerja yang diharapkan di semua tingkat sistem, batasan sistem, dan kegagalan. Narasi fungsional sistem harus mencakup deskripsi dari masing-masing tujuan dalam hal fungsi yang mengidentifikasi tugas yang harus dilakukan untuk masing-masing tujuan dan mode operasional. Narasi harus menggambarkan lingkungan, waktu siklus yang diharapkan dan utilisasi peralatan, dan fungsi dan output dari setiap item.
- b. Membangun peta proses yang menggambarkan operasi, keterkaitan, dan saling ketergantungan entitas fungsional.
- c. Melakukan analisis SIPOC untuk setiap subproses dalam sistem. Semua proses dan antarmuka sistem harus ditunjukkan.

- d. Membuat daftar fungsi yang dimaksud setiap langkah dalam proses atau subproses.
- e. Untuk setiap langkah proses, identifikasi semua potensi kerusakan item dan item mode dan mengidentifikasi efek yang tepat pada fungsi atau item langsung di sistem, dan pada misi yang akan dilakukan untuk pelanggan.
- f. Evaluasi setiap mode kegagalan dalam hal konsekuensi potensial terburuk yang dapat menyebabkan dan menetapkan kategori klasifikasi, atau SEV (seberapa signifikan efek kegagalan ini terhadap pelanggan) sesuai dengan Tabel 2.5.
- g. Menentukan kemungkinan terjadinya setiap mode kegagalan dan atur kategori risiko kejadian, atau OCC (seberapa mungkin penyebab kegagalan ini terjadi) sesuai dengan Tabel 2.6.
- h. Mengidentifikasi metode deteksi kegagalan dan tentukan kategori risiko pendeteksian, atau DET sesuai dengan Tabel 2.7.
- i. Melakukan perhitungan angka prioritas risiko (RPN) untuk sistem saat ini. Semakin besar nilai RPN maka potensi kegagalan tersebut harus lebih diperhatikan. Perhitungan nilai RPN dapat dilihat pada persamaan 2.9 (seberapa besar kemungkinan sistem yang ada akan mendeteksi penyebabnya)
$$RPN = SEV \times OCC \times DET \quad (2.12)$$
- j. Menentukan ketentuan kompensasi untuk setiap mode kegagalan.
- k. Mengidentifikasi desain korektif atau tindakan lain yang diperlukan untuk menghilangkan kegagalan atau mengendalikan risikonya. Tetapkan tanggung jawab dan tanggal jatuh tempo untuk perbaikan tindakan.
- l. Mengidentifikasi tindakan perbaikan pada atribut sistem lainnya.
- m. Mengidentifikasi tingkat keparahan, kejadian, dan risiko pendeteksian setelah koreksi tindakan dan hitung RPN sesudah dilakukan perbaikan.

Tabel 2.5. Panduan Penilaian Severity

Rating	Severity (SEV)
	Seberapa signifikan kegagalan ini dirasakan pelanggan?
1	Minor. Customer tidak menyadari efek yang terjadi atau bahkan menganggap hal tersebut tidak penting.
2	Customer mengetahui efek yang dapat terjadi.
3	Customer akan merasa terganggu karena performansi yang rendah.
4	Sedang. Customer merasakan ketidakpuasan akibat performansi yang rendah
5	Produktivitas customer menurun.
6	Customer akan melakukan komplain. Customer mungkin akan meminta perbaikan, retur, atau bahkan uang ganti rugi. Pada tahap ini akan terjadi peningkatan biaya internal (adanya perbaikan dan pengerjaan ulang)
7	Kritis. Loyalitas customer akan berkurang. Operasional secara internal dapat terkena imbasnya.
8	Keinginan customer akan hilang sepenuhnya sebagai akibat dari efeknya. Operasional internal dapat sangat terganggu.
9	Keamanan pelanggan atau karyawan dikompromikan. Kepatuhan terhadap peraturan dipertanyakan.
10	Bencana. Pelanggan atau karyawan terancam tanpa peringatan. Pelanggaran hukum atau peraturan.

Tabel 2.6. Panduan Penilaian Occurence

Rating	Occurence (OCC)
	Seberapa besar kemungkinan penyebab kegagalan ini terjadi?
1	Hampir tidak pernah terjadi.
2	Tingkat kegagalan yang terdokumentasi rendah.
3	Tingkat kegagalan yang tidak terdokumentasi rendah.
4	Kegagalan terjadi dari waktu ke waktu.
5	Tingkat kegagalan yang terdokumentasi sedang.
6	Tingkat kegagalan yang tidak terdokumentasi sedang.
7	Tingkat kegagalan yang terdokumentasi tinggi.
8	Tingkat kegagalan yang tidak terdokumentasi tinggi.
9	Kegagalan sangat sering terjadi.
10	Kegagalan hampir selalu terjadi.

Tabel 2.7. Panduan Penilaian Detectability

Rating	Detectability (DET)
	Seberapa besar kemungkinan sistem yang ada akan mendeteksi penyebab yang terjadi?
1	Hampir pasti bisa terdeteksi sebelum sampai ke tangan costumer. ($p \approx 0$)
2	Kemungkinan sangat rendah untuk sampai ke tangan costumer tanpa terdeteksi. ($0 < p \leq 0,01$)
3	Kemungkinan rendah untuk sampai ke tangan costumer tanpa terdeteksi. ($0,01 < p \leq 0,05$)
4	Biasanya terdeteksi sebelum sampai ke tangan costumer. ($0,05 < p \leq 0,2$)
5	Kemungkinan bisa terdeteksi sebelum sampai ke tangan costumer. ($0,2 < p \leq 0,5$)
6	Kemungkinan tidak terdeteksi sebelum sampai ke tangan costumer. ($0,5 < p \leq 0,7$)
7	Sangat tidak mungkin terdeteksi sebelum sampai ke tangan costumer. ($0,7 < p \leq 0,9$)
8	Kemungkinan terdeteksi buruk ($0,9 < p \leq 0,95$)
9	Kemungkinan terdeteksi sangat buruk ($0,95 < p \leq 0,99$)
10	Hampir pasti kegagalan tidak akan terdeteksi. ($p \approx 1$)