

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Deduktif

2.1.1 *Lean Manufacturing*

Lean berarti suatu upaya terus menerus dengan aktivitas atau solusi untuk menghilangkan *waste*, mereduksi operasi *non-value added* (NVA) dan untuk meningkatkan nilai tambah (*value added*) (Wee, 2009) .

Lean manufacturing adalah suatu pendekatan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (*waste*) yang terjadi pada proses produksi, atau aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non-value added*) melalui peningkatan terus menerus (*continues improvement*) dengan cara mengalirkan produk (*material, work in process, output*) dan informasi menggunakan sistem tarik (*pull system*) dan internal dan eksternal untuk mengejar keunggulan dan kesempurnaan (Gaspersz, 2007). *Lean* berfokus pada identifikasi dan eliminasi aktivitas-aktivitas yang tidak bernilai tambah dalam desain, produksi atau operasi dan *supply chain management* yang langsung berkaitan dengan konsumen (Womack & Jones, 2003). Terdapat beberapa prinsip dasar *Lean* untuk penerapan sistem *Lean*, yaitu sebagai berikut (Hines & Taylor, 2000) :

1. Mengidentifikasi nilai produk (barang dan/atau jasa) berdasarkan perspektif konsumen dan bukan dari perspektif perusahaan, fungsi, dan

2. departemen. Dimana konsumen menginginkan produk berkualitas tinggi, dengan harga kompetitif dan penyerahan yang tepat waktu.
3. Mengeliminasi *waste* dimana mengidentifikasi semua langkah yang dibutuhkan. Untuk perancangan, pemesanan dan melakukan pemetaan proses bisnis atau proses kerja.
4. Menentukan tindakan-tindakan yang dapat menciptakan aliran nilai tanpa adanya pemborosan dalam proses produksi.
5. Mengorganisasikan agar material, informasi, dan produk agar dapat mengalir dengan lancar dan efisien dengan menggunakan sistem tarik (*pull system*).
6. Terus-menerus mencari berbagai teknik untuk mencapai kesempurnaan dan alat peningkatan (*improvement tools and techniques*) untuk mencapai keunggulan dan peningkatan terus-menerus

Menurut (Tapping & Shuker, 2003) dalam menerapkan lean, terdapat 3 fase yang harus dilaksanakan yaitu sebagai berikut:

1. Fase permintaan pelanggan
Pada fase ini, kita menentukan siapa pelanggan, apa yang dibutuhkan pelanggan, sehingga permintaan pelanggan dapat dipenuhi. Hal ini membutuhkan perhitungan *takt time* yang berasal dari istilah Jerman “*takt*” yang berarti irama. *Takt time* menunjukkan seberapa cepat sebuah proses berjalan untuk memenuhi permintaan pelanggan. *Takt time* dihitung dengan membagi total waktu operasi yang tersedia dengan total jumlah yang produk dibutuhkan oleh pelanggan.
2. Fase Aliran Berkelanjutan
Jantung dari *lean* adalah *just-in-time* atau aliran yang berkelanjutan yang berarti hanya memproduksi apa yang dibutuhkan pelanggan, pada saat dibutuhkan, dan dalam jumlah yang dibutuhkan.
3. Fase Perataan
Perataan yaitu mendistribusikan pekerjaan yang dibutuhkan dengan rata untuk memenuhi permintaan pelanggan pada periode waktu tertentu.

Kegagalan dalam meratakan pekerjaan dapat berakibat pada penundaan proses sehingga menyebabkan adanya waktu tunggu di antara proses.

Dari penerapan lean, menurut (Tischler, 2006) terdapat tiga hasil yang diharapkan yaitu sebagai berikut :

1. Proses yang lebih baik
Yaitu memberikan nilai yang lebih banyak kepada pelanggan dan melakukannya dengan lebih efisien (lebih sedikit biaya, lebih sedikit pemborosan, dan dengan tindakan yang paling sedikit)
2. Kondisi kerja yang lebih baik
Yaitu meliputi aliran kerja yang lebih jelas, pembagian nilai dan tujuan kerja, kemampuan yang lebih besar untuk melaksanakan pekerjaan (lebih bangga dan menikmati pekerjaan), kemampuan yang lebih besar untuk tetap meningkatkan dan memperbaiki segala sesuatu (lebih sedikit pembatasan sehingga kesempatan berkembang lebih besar), perasaan bahwa pekerja merupakan bagian dari pelayanan (tidak hanya melakukan pekerjaan rutin), dan perasaan integritas (pekerja melakukan apa yang mereka katakan).
3. Memenuhi kebutuhan dan tujuan organisasi, yang dapat meliputi keuntungan, pertumbuhan, nilai, dan pengaruh.

2.1.2 Green Manufacturing

Green manufacturing berkaitan erat dengan *sustainable manufacturing* (SM). *Sustainable* dapat diperoleh dengan melakukan konsep *green* (Dornfeld, 2014). *Sustainable manufacturing* sendiri diartikan sebagai penciptaan produk yang bernilai ekonomis melalui proses yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan sumber daya alam, serta melestarikan sumber daya alam dan energi untuk menjamin ketersediannya dimasa yang akan datang, proses yang dilakukan juga harus aman bagi karyawan, masyarakat dan konsumen. Penerapan *Sustainable Manufacturing* mengarah pada tercapainya pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sebagaimana dikemukakan oleh Komisi Dunia tentang

Lingkungan dan pembangunan diartikan sebagai pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (Donfeld, 2013). Konsep *green* meliputi proses pembuatan produk dengan penggunaan material minimal dan proses yang meminimasi dampak negatif terhadap lingkungan, hemat energi dan sumber daya alam yang aman bagi karyawan, masyarakat dan konsumen dengan tetap bernilai ekonomis (Rehman & Shivastava, 2013). Tujuan *green manufacturing* adalah integrasi berkesinambungan dari perbaikan lingkungan dari proses industri dan produk untuk mengurangi polusi udara, air, dan tanah, mengurangi limbah pada sumbernya dan untuk meminimalkan resiko terhadap manusia dan spesies lainnya. Untuk yang berkaitan dengan proses, *green manufacturing* bertujuan untuk konservasi bahan baku dan energi, menghilangkan penggunaan zat beracun dan mengurangi limbah yang dihasilkan.

2.1.2.1 Perhitungan *Carbon Dioksida* (CO₂)

Rumus perhitungan CO₂ yang digunakan oleh IPCC (2006) untuk menghitung emisi CO₂:

Tabel 2. 1 Faktor Emisi Listrik

Bahan Bakar	CEF
	(Kg CO₂/Kwh)
Listrik	0,59

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum \text{FC} \times \text{CEF}$$

$\sum \text{FC}$ = jumlah listrik yang dikonsumsi (Kwh)

CEF = *Carbon Emission Factor* (Kg CO₂/Kwh)

2.1.3 Pengertian *Waste* (Pemborosan)

Waste adalah segala sesuatu yang tidak bernilai tambah. *Waste* harus dihilangkan guna meningkatkan nilai produk dan selanjutnya meningkatkan *customer value* (Åhlström, 1998).

2.1.4 *Seven Waste*

Prinsip utama dari pendekatan *lean* adalah pengurangan atau peniadaan pemborosan (*waste*). Dalam upaya menghilangkan *waste*, maka sangatlah penting untuk mengetahui apakah *waste* itu dan dimana ia berada. Ada 7 macam *waste* yang didefinisikan menurut (Shigeo, 1989) yaitu :

1. *Overproduction*
Adalah *waste* dalam memproduksi yang terlalu banyak melebihi kebutuhan atau terlalu cepat diproduksi yang mengakibatkan *inventory* yang berlebih.
2. *Defect*
Adalah *waste* yang dapat berupa kesalahan yang terjadi saat proses pengerjaan atau bisa berupa kesalahan dokumentasi, permasalahan pada kualitas produk yang dihasilkan, dan perfomansi pengiriman yang buruk.
3. *Unnecessary Inventory*
Adalah *waste* yang berupa penyimpanan barang yang berlebih, serta *delay* informasi produk atau material yang mengakibatkan peningkatan biaya dan penurunan kualitas pelayanan terhadap konsumen.
4. *Unnecessary Process*
Adalah *waste* yang disebabkan oleh proses produksi yang tidak tepat karena prosedur yang salah atau penggunaan peralatan atau mesin yang tidak sesuai.
5. *Excessive transportation*
Adalah *waste* yang berupa pemborosan waktu, tenaga dan biaya yang dikarenakan pergerakan yang berlebihan dari pekerja, aliran informasi atau produk atau material produk.
7. *Waiting*
Adalah *waste* yang berupa penggunaan waktu yang tidak efisien. Dapat berupa ketidakaktifan dari pekerja, informasi, material atau produk dalam periode waktu yang cukup panjang sehingga menyebabkan aliran yang terganggu dan memperpanjang *lead time*.
8. *Unnecessary motion*
Adalah *waste* yang berupa penggunaan waktu yang tidak memberikan nilai tambah untuk produk maupun proses. *Waste* jenis ini biasanya

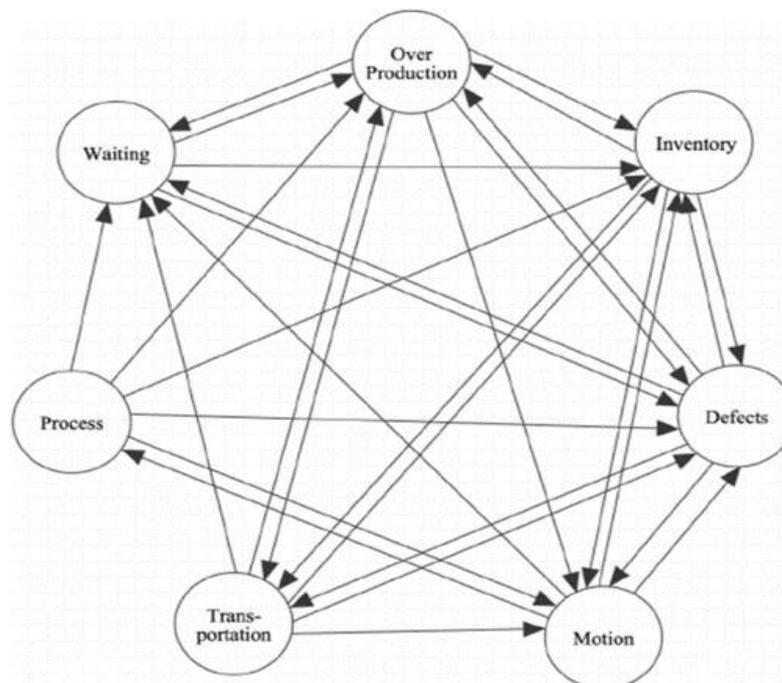
terjadi pada aktivitas tenaga kerja di pabrik, terjadi karena kondisi lingkungan kerja dan peralatan yang tidak ergonomis.

2.1.5 Waste Assessment Model (WAM)

Untuk mengetahui *waste* yang paling dominan sehingga membutuhkan perbaikan dengan segera maka dari itu perlu dilakukan identifikasi *waste*. *Waste Assessment Model* (WAM) merupakan suatu model yang dikembangkan untuk menyederhanakan pencarian dari permasalahan *waste* dan mengidentifikasi untuk mengeliminasi *waste* (Rawabdeh I. A., 2005).

2.1.5.1 Seven Waste Relationship

Semua *waste* memiliki hubungan atau saling bergantung satu sama lain, dimana hubungan ini disebabkan oleh pengaruh dari tiap *waste* dapat muncul secara langsung maupun tidak langsung. Gambar dan tabel dibawa ini akan menampilkan penjelasan keterkaitan antar *waste* (Rawabdeh I. A., 2005):



Gambar 2. 1 Hubungan Antar Waste

Tabel 2. 2 Jenis Hubungan Antar *Waste*

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
1	<i>O_I</i>	Produksi berlebih dan membutuhkan bahan baku dalam jumlah besar yang menyebabkan penumpukan bahan baku dan menghasilkan lebih banyak pekerjaan yang dapat menghabiskan ruang dan mempertimbangkan kondisi sementara ketika tidak ada pelanggan yang mungkin tidak memesan
2	<i>O_D</i>	Ketika operator melakukan produksi berlebih, kekhawatiran akan kualitas mulai timbul
3	<i>O_M</i>	Produksi berlebih mengarah ke perilaku tidak ergonomis, dimana lebih mengarah ke metode kerja yang tidak standar dengan jumlah kerugian gerak yang cukup besar
4	<i>O_T</i>	Produksi berlebih menyebabkan upaya transportasi yang lebih untuk menyokong jumlah bahan yang melimpah
5	<i>O_W</i>	Ketika produksi berlebih, hasil yang didapatkan pada waktu yang lebih lama dan pelanggan lain akan menunggu lebih lama
6	<i>I_O</i>	Semakin tinggi tingkat bahan baku dapat mendorong pekerja untuk bekerja lebih banyak dan dapat meningkatkan profitabilitas.
7	<i>I_D</i>	Peningkatan inventory (RM, WIP, dan FG) akan meningkatkan kemungkinan terjadinya cacat dikarenakan kurangnya perhatian dengan kondisi pergudangan.

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
8	<i>I_M</i>	Peningkatan inventory akan meningkatkan waktu untuk mencari, memilih, menggenggam, menjangkau, memindahkan dan menangani
9	<i>I_T</i>	Peningkatan inventory suatu saat dapat menghalangi gang (jalan yang tersedia), membuat kegiatan produksi lebih banyak menghabiskan untuk transportasi
10	<i>D_O</i>	Produksi berlebih muncul untuk mengatasi kekurangan bagian karena cacat
11	<i>D_I</i>	Memproduksi bagian yang rusak yang perlu dikerjakan ulang yang berarti bahwa meningkatkan adanya <i>inventory</i> karena <i>WIP</i>
12	<i>D_M</i>	Memproduksi cacat meningkatkan waktu pencarian, pemilihan, dan pemeriksaan produk setengah jadi.
13	<i>D_T</i>	Perpindahan produk setengah jadi yang cacat ke stasiun pengerjaan sebelumnya membuat terjadi pemborosan transportasi.
14	<i>D_W</i>	Dengan adanya pengerjaan ulang akan membuat proses selanjutnya menunggu untuk di proses
15	<i>M_I</i>	Metode kerja yang tidak berdasarkan standar dapat menyebabkan meningkatnya <i>WIP</i>
16	<i>M_D</i>	Kurangya pelatihan dan standarisasi berarti bahwa persen cacat dapat meningkat

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
17	<i>M_P</i>	Ketika pekerjaan tidak terstandarisasi, pemborosan proses akan meningkat kerana kurangnya pemahaman kapasitas yang tersedia
18	<i>M_W</i>	Ketika standar tidak diterapkan, waktu akan banyak digunakan untuk mencari, menggenggam, memindahkan, merakit, yang mengakibatkan peningkatan waktu menunggu.
19	<i>T_O</i>	Produk yang dihasilkan lebih dari kapasitas akan dapat meningkatkan pemindahan.
20	<i>T_I</i>	Jumlah <i>material handling equipment</i> (MHE) dapat menyebabkan WIP yang dapat berpengaruh pada proses lainnya.
21	<i>T_D</i>	MHE sangat berperan untuk menentukan pemborosan dalam hal transportasi. MHE yang tidak cocok suatu saat dapat merusak produk yang akhirnya menjadi cacat.
22	<i>T_M</i>	Ketika produk ditransportasikan dimana saja ini berarti bahwa kemungkinan terjadinya pemborosan pergerakan.
23	<i>T_W</i>	Jika MHE tidak mencukupi, ini berarti bahwa produk akan menganggur untuk menunggu dipindahkan.
24	<i>P_O</i>	Untuk mengurangi biaya operasi per waktu mesin, maka mesin didorong untuk beroperasi penuh, yang akhirnya menghasilkan kelebihan produksi.

No.	Jenis Hubungan	Keterangan
25	<i>P_I</i>	Menggabungkan operasi dalam satu sel akan menghasilkan secara langsung untuk mengurangi jumlah WIP karena menghilangkan <i>buffer</i>
26	<i>P_D</i>	Jika mesin tidak dirawat dengan benar, maka dapat menyebabkan cacat akan produksi.
27	<i>P_M</i>	Teknologi baru dari proses yang kurang pelatihan menciptakan pemborosan dalam gerak.
28	<i>P_W</i>	Ketika teknologi yang digunakan tidak sesuai, <i>setup time</i> dan <i>rapetitive down time</i> sudah pasti akan menambah waktu tunggu.
29	<i>W_O</i>	Ketika sebuah mesin menunggu karena <i>supplier</i> melayani konsumen lain, mesin ini suatu saat akan dipaksa untuk memproduksi lebih untuk menjaga untuk membuat proses tetap berjalan
30	<i>W_I</i>	Menunggu berarti lebih banyak item daripada yang dibutuhkan pada titik tertentu, apakah itu RM, WIP atau FG.
31	<i>W_D</i>	Item yang menunggu dapat menyebabkan kerusakan karena kondisi yang tidak sesuai.

Waste memiliki bobot yang berbeda-beda. Dalam penilaian untuk mengetahui bobot dari setiap yang terjadi diantara *waste* tersebut. Untuk menghitung kekuatan *waste relationship* dikembangkan suatu pengukuran dengan kuesioner. Hubungan antar *waste* yang satu dengan yang lainnya dapat disimbolkan dengan menggunakan huruf pertama pada tiap *waste* (Rawabdeh I. A., 2005).

Tabel 2. 3 Kriteria untuk Pembobotan Kekuatan *Waste Relationship*

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
1	Apakah <i>i</i> mengakibatkan atau menghasilkan <i>j</i>	a. Selalu	4
		b. Kadang-kadang	2
		c. Jarang	0
2	Bagaimanakah jenis hubungan antara <i>i</i> dan <i>j</i>	a. Jika <i>i</i> naik, maka <i>j</i> naik	2
		b. Jika <i>i</i> naik, maka <i>j</i> tetap	1
		c. Tidak tentu, tergantung keadaan	0
3	Dampak <i>j</i> dikarenakan <i>i</i>	a. Tampak secara langsung & jelas	4
		b. Butuh waktu untuk terlihat	2
		c. Tidak terlihat	0
4	Menghilangkan akibat <i>i</i> terhadap <i>j</i> dapat dicapai dengan cara	a. Metode <i>engineering</i>	2
		b. Sederhana dan langsung	1
		c. Solusi instruksional	0
5	Dampak <i>j</i> dikarenakan oleh <i>i</i> berpengaruh kepada	a. Kualitas produk	1
		b. Produktivitas sumber daya	1
		c. Lead time	1
		d. Kualitas dan produktivitas	2
		e. Kualitas dan <i>lead time</i>	2
		f. Produktivitas dan <i>lead time</i>	2
		g. Kualitas, produktivitas, dan <i>lead time</i>	4

No	Pertanyaan	Pilihan Jawaban	Skor
6	Sebesar apa dampak <i>i</i> terhadap <i>j</i> akan meningkatkan <i>lead time</i>	a. Sangat tinggi	4
		b. Sedang	2
		c. Rendah	0

2.1.5.2 Waste Relationship Matrix (WRM)

WRM digunakan sebagai analisa pengukuran kriteria hubungan antar *Waste* yang terjadi. WRM merupakan matriks yang terdiri dari baris dan kolom yang digunakan untuk menganalisis kriteria pengukuran (Khannan & Haryono, 2015). Baris menunjukkan pengaruh tiap *Waste* pada keenam tipe *Waste* lainnya. Kolom menunjukkan *Waste* yang dipengaruhi oleh keenam *Waste* lainnya. Diagonal matriks menunjukkan nilai hubungan yang tertinggi.

F/T	O	I	D	M	T	P	W
O	A	O	O	O	I	X	E
I	I	A	U	O	I	X	X
D	I	I	A	U	E	X	I
M	X	O	O	A	X	I	A
T	U	O	I	U	A	X	I
P	I	U	I	I	X	A	I
W	O	A	O	X	X	X	A

Gambar 2. 2 Contoh *Waste Relationship Matrix*
Sumber : (Rawabdeh I. A., 2005)

Tabel 2. 4 Konversi Rentang Skors Keterkaitan Antar *Waste*

Range	Jenis Hubungan	Simbol
17-20	Absolutely Necessary	A
13-16	Especially Important	E
9-12	Important	I
5-8	Ordinary Closeness	O
1-4	Unimportant	U

Sumber (Rawabdeh I. A., 2005)

2.1.5.3 Waste Assesment Questionare (WAQ)

WAQ terdiri dari 68 pertanyaan yang berbeda, mewakili aktifitas, kondisi maupun tingkah laku yang dapat menghasilkan *Waste*. Pertanyaan ditandai dengan tulisan “*From*”, artinya pertanyaan tersebut menjelaskan jenis *Waste* yang ada saat ini yang dapat memicu munculnya jenis *Waste* lainnya. Pertanyaan lainnya ditandai dengan tulisan “*TO*”, artinya pertanyaan tersebut menjelaskan tiap jenis *Waste* yang ada saat ini bisa terjadi karena dipengaruhi jenis *Waste* lainnya.

Sedangkan skor untuk ketiga jenis pilihan jawaban kuesioner dibagi menjadi 2 kategori. Kategori pertama, atau kategori A adalah jika jawaban “Ya” berarti diindikasikan adanya pemborosan. Skor jawaban untuk kategori A adalah: 1 jika “Ya”, 0,5 jika “Sedang”, dan 0 jika “Tidak”. Kategori kedua, atau kategori B adalah jika jawaban “Ya” berarti diindikasikan tidak ada pemborosan yang terjadi. Skor jawaban untuk kategori B adalah: 0 jika “Ya”, 0,5 jika “Sedang”, dan 1 jika “Tidak”. WAQ memiliki delapan tahapan perhitungan skor *Waste* untuk mencapai peringkat *Waste*, yaitu antara lain:

- 1) Mengelompokkan dan menghitung jumlah pertanyaan kuesioner berdasarkan jenis pertanyaan.
- 2) Melakukan pembobotan awal untuk tiap jenis *Waste* pada tiap jenis pertanyaan kuesioner berdasarkan nilai bobot dari WRM.
- 3) Menghilangkan pengaruh variasi jumlah pertanyaan untuk tiap jenis pertanyaan dengan membagi bobot setiap baris dengan jumlah pertanyaan yang dikelompokkan (N_i) untuk setiap pertanyaan dengan menggunakan persamaan berikut (Rawabdeh I. A., 2005) :

$$S_j = \sum_{K=1}^K \frac{W_{j.K}}{N_i}$$

- 4) Menghitung jumlah skor (S_j) berdasarkan persamaan 3 dan frekuensi (F_j) dari munculnya nilai pada tiap kolom *waste* dengan mengabaikan nilai 0 (nol).

$$F_j = N - F_0$$

- 5) Memasukkan nilai rata-rata dari jawaban (terlampir) dari hasil kuesioner ke dalam tiap bobot nilai di tabel dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_j = \sum_{K=1}^K X_K \frac{W_{j.K}}{N_i}$$

- 6) Menghitung jumlah skor (s_j) berdasarkan persamaan 5 dan frekuensi (f_j) untuk tiap nilai bobot pada kolom *Waste*.

$$F_j = N - F_0$$

- 7) Menghitung indikator awal untuk tiap *Waste* (Y_j) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y_j = \frac{S_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j}$$

- 8) Menghitung nilai final *Waste* faktor (Y_{jfinal}) dengan memasukkan faktor probabilitas pengaruh antara jenis *Waste* (P_j) berdasarkan total "from" dan "to" pada WRM. Memprosentasekan bentuk Y_{jfinal} yang diperoleh sehingga bisa diketahui peringkat level dari masing-masing *Waste*. Y_{jfinal} dapat dihasilkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Y_{jfinal} = Y_j \times P_j = \left(\frac{S_j}{S_j} \times \frac{f_j}{F_j} \right) \times (\%From_j \times \%To_j)$$

dimana:

N	= jumlah pertanyaan (68)
N _i	= jumlah pertanyaan yang dikelompokkan
K	= nomor pertanyaan (berkisar antara 1-68)
X _K	= nilai dari jawaban tiap pertanyaan kuesioner (1, 0.5, atau 0)
S _j	= skor <i>Waste</i>
s _j	= total untuk nilai bobot <i>Waste</i>
W _j	= bobot hubungan dari tiap jenis <i>Waste</i>
F _j	= Frekuensi <i>waste</i> bukan 0 (untuk S _j)
f _j	= Frekuensi <i>waste</i> bukan 0 (untuk s _j)
F ₀	= Frekuensi 0 (untuk S _j)
f ₀	= Frekuensi 0 (untuk s _j)
Y _j	= Faktor indikasi awal dari setiap jenis <i>Waste</i>
P _j	= probabilitas pengaruh antar jenis <i>Waste</i>
Y _{jfinal}	= faktor akhir dari setiap jenis <i>Waste</i>

$\%From_j$ = Persentas nilai From *Waste* tertentu

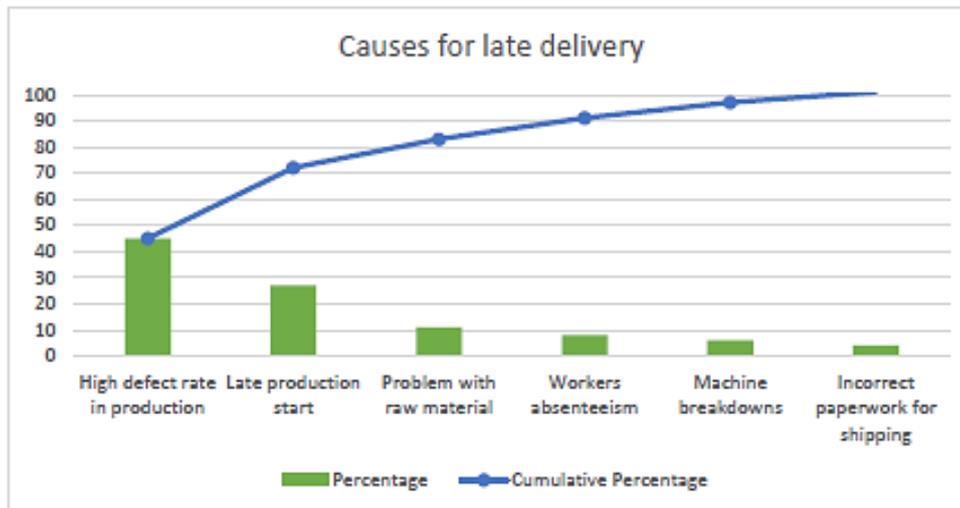
$\%To_j$ = Persentas nilai To *Waste* tertentu

2.1.6 Diagram Pareto

Diagram Pareto diperkenalkan oleh seorang ahli yaitu Alfredo Pareto (1848-1923). Diagram pareto ini merupakan suatu gambaran yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut ranking tertinggi hingga terendah. Diagram ini juga dapat mengidentifikasi masalah yang paling penting yang mempengaruhi usaha perbaikan kualitas dan memberikan petunjuk dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk menyelesaikan masalah. (Ariani, 2004). Sebuah diagram batang yang didasarkan pada prinsip Pareto, yang menyatakan ketika beberapa faktor mempengaruhi suatu situasi, segelintir faktor mengakibatkan sebagian besar dampak. Prinsip Pareto menggambarkan sebuah fenomena dimana 80 persen variasi yang diamati dalam proses sehari-hari dapat dijelaskan dengan hanya 20 persen dari penyebab variasi.

Sebuah diagram Pareto memberikan fakta-fakta yang dibutuhkan untuk menetapkan prioritas. Mengatur dan menampilkan informasi untuk menunjukkan kepentingan relatif dari berbagai masalah atau penyebab masalah. Pada dasarnya diagram Pareto merupakan bentuk khusus diagram batang vertikal yang menempatkan suatu hal (*item*) dengan berurutan (dari tertinggi ke terendah) relatif terhadap suatu efek yang dapat diukur kepentingannya: frekuensi, biaya, waktu.

Mengurutkan suatu *item* dalam urutan frekuensi menurun memudahkan kita untuk memisahkan masalah-masalah dari masalah utama yang menyebabkan munculnya sebagian besar dampak. Dengan demikian, diagram Pareto membantu tim untuk memfokuskan upaya mereka di perbaikan masalah yang memiliki potensi dampak terbesar.



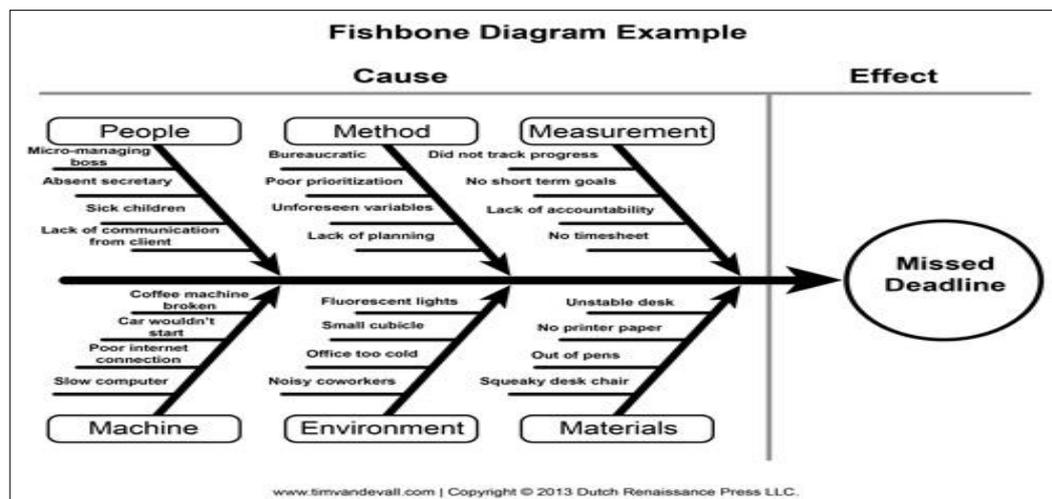
Gambar 2.3 Contoh Diagram Pareto

2.1.7 Fishbone Diagram

Diagram *fishbone* merupakan salah satu tools dari *root cause analysis* yang digunakan untuk mengidentifikasi berbagai sebab potensial dari suatu masalah dan menganalisis masalah tersebut melalui sesi brainstorming. Masalah akan dipecah menjadi sejumlah kategori yang berkaitan, kategori yang paling umum digunakan adalah: (1) *man* (orang), yaitu semua orang yang terlibat dari sebuah proses; (2) *method* (metode), yaitu bagaimana proses dilakukan, seperti prosedur, peraturan dan lain-lain; (3) *material*, yaitu semua bahan-bahan yang diperlukan untuk menjalankan proses; (4) *machine* (mesin), yaitu semua mesin, peralatan, komputer dan lain-lain yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan; (5) *measurement* (pengukuran), yaitu cara pengambilan data dari proses yang dipakai untuk menentukan kualitas proses; (6) *environment* (lingkungan), yaitu kondisi di sekitar tempat kerja, seperti suhu udara, tingkat kebisingan, kelembaban udara, dan lain-lain. (Handes, Susanto, Novita, & Wajong, 2013). Adapun kegunaan dari Diagram *fishbone* ialah:

1. Membantu menentukan akar penyebab masalah dan ada banyak penyebab yang berkontribusi terhadap akibat
2. Mendorong partisipasi team
3. Format yang mudah dibaca untuk diagram hubungan sebab dan akibat

4. Indikasi variasi kemungkinan penyebab
5. Meningkatkan pengetahuan tentang proses
6. Menampilkan grafis hubungan masing-masing penyebab dan akibat
7. Membantu untuk mengidentifikasi area untuk dilakukan perbaikan.



Gambar 2.4 Contoh *Fishbone* Diagram

2.1.8 *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi, mendefinisikan, mengenali dan mencegah suatu masalah, kesalahan dan seterusnya yang diketahui atau potensial dari sebuah sistem, desain, proses dan servis sebelum ke konsumen (Stamatis, 1995). Dalam hal ini FMEA difokuskan pada pencegahan cacat, meningkatkan keamanan dan membuat peningkatan kepuasan pelanggan. FMEA digunakan dalam proses perancangan dan produksi, sehingga bisa mengurangi biaya dengan mengidentifikasi perbaikan produk dan proses sebelum pengembangan proses saat perubahan mudah dan murah dibuat. Secara umum, FMEA didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu:

- 1) Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya.
- 2) Efek dari kegagalan tersebut.

- 3) Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

Prosedur *FMEA* ini dilakukan dengan memperhitungkan nilai *RPN* (*Risk Priority Number*) dengan meminimumkan resiko kegagalan dengan mengurangi *Severity*, *Occurence* dan meningkatkan kemampuan *Detection* yang dapat dijelaskan pada table dibawah ini:

- 1) *Severity* merupakan tahapan pertama dalam mengetahui tingkat bahaya yang akan terjadi pada *output* yang dihasilkan. *Severity* berkaitan dengan efek atau akibat pada mode kesalahan. *Severity* dan peringkatnya dalam mode kesalahan dengan angka 1 sampai 10 dimana 1 merupakan tingkat paling rendah dan 10 tingkat paling tinggi yang harus dianalisis lebih lanjut. Berikut adalah kriteria *severity*.

Tabel 2. 5 Nilai Severity

Rating	Kriteria
1	<i>Negligible severity</i> (Pengaruh buruk yang dapat diabaikan) kita tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kinerja produk. Konsumen mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan ini
2	<i>Mild severity</i> (Pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang ditimbulkan akan bersifat ringan, konsumen tidak akan merasakan perubahan kinerja. Perbaikan dapat dikerjakan pada saat pemeliharaan reguler.
3	
4	<i>Moderate severity</i> (pengaruh buruk yang <i>moderate</i>). Konsumen akan merasakan penurunan kualitas, namun masih dalam batas toleransi.
5	Perbaikan yang dilakukan tidak mahal dan dapat selesai dalam waktu singkat.
6	
7	<i>High severity</i> (Pengaruh buruk yang tinggi). konsumen akan merasakan penurunan kualitas yang berada diluar batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan sangat mahal.
8	
9	<i>Potential severity</i> (Pengaruh buruk yang sangat tinggi). akibat yang ditimbulkan sangat berpengaruh terhadap kualitas lain, konsumen tidak akan menerimanya.
10	

2) *Occurance* adalah kemungkinan atau probabilitas terjadinya kegagalan dengan seberapa sering kemungkinan penyebab potensi kesalahan yang akan terjadi. Kemungkinan dari peringkat *occurance* memiliki makna relatif daripada nilai absolut. Pada nilai *occurance* dimulai dari skala 1 sampai 10 yang mana peringkat tersebut konsisten dan terus berlangsung. Kesalahan yang terjadi digunakan untuk menunjukkan jumlah kesalahan yang diperkirakan selama proses.

Tabel 2. 6 Nilai *Occurance*

Ranking	Kriteria Verbal	Probabilitas
1	Tidak mungkin penyebab ini mengakibatkan Kegagalan	1 dalam 1000000
2		1 dalam 200000
3	Kegagalan akan jarang terjadi	1 dalam 4000
4		1 dalam 1000000
5	Kegagalan agak mungkin terjadi	1 dalam 4000
6		1 dalam 80
7		1 dalam 40
8	Kegagalan adalah sangat mungkin terjadi	1 dalam 20
9	Hampir dapat dipastikan bahwa	1 dalam 8
10	kegagalan Kegagalan akan mungkin terjadi	1 dalam 2

3) *Detection* merupakan seberapa jauh kemungkinan untuk mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu kegagalan. Peringkat yang terdapat pada *detection* termasuk kedalam peringkat relatif dalam lingkup FMEA. Agar dapat mencapai peringkat yang lebih rendah, maka harus dapat meningkatkan kontrol deteksi yang sudah direncanakan. Namun apabila terdapat lebih dari satu kontrol yang dapat teridentifikasi, maka disarankan agar peringkat deteksi setiap kontrol

dimasukkkan sebagai bagian dari deskripsi kontrol. Seperti misalnya terjadi suatu kesalahan dan kemudian mulai menilai kemampuan dari keseluruhan proses kontrol saat ini untuk mencegah bagian yang terdapat kesalahan. Pemeriksaan kualitas secara acak tidak mungkin untuk mendeteksi kesalahan yang terisolasi dan tidak seharusnya mempengaruhi peringkat *detection*. Berikut merupakan tabel peringkat *detection*,

Tabel 2. 7 Nilai Detection

Ranking	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian
	Metode Pencegahan atau deteksi sangat efektif.	
1	Tidak ada kesempatan bahwa penyebab akan muncul lagi.	1 dalam 1000000
2	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi adalah	1 dalam 200000
3	sangat rendah.	1 dalam 4000
4	Kemungkinan penyebab bersifat moderate.	1 dalam 1000000
5	Metode deteksi masih memungkinkan	1 dalam 4000
6	kadang-kadang penyebab itu terjadi	1 dalam 80
7	Kemungkinan bahwa penyebab itu masih	1 dalam 40
8	tinggi. Metode deteksi kurang efektif, karena penyebab masih berulang lagi	1 dalam 20
9	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi sangat	1 dalam 8
10	tinggi	1 dalam 2

Risk Priority Number (RPN) merupakan pengukuran resiko relatif dengan mengalikan nilai *Severity*, *Occurance*, dan *detection*. RPN adalah suatu sistem matematis Ambang batas yang terdapat di dalam lingkup FMEA dapat berkisar diantara 1 sampai 1000. Pengukuran ambang batas RPN tidak disarankan dipraktekkan untuk menentukan kebutuhan akan tindakan. Nilai RPN diasumsikan sebagai ukuran resiko relatif dan perbaikan yang berkelanjutan.

$$RPN = S \times O \times D$$

Dimana:

S = *Severity*

O = *Occurrence*

D = *Detection*

Nilai RPN berkisar 1-1000 dengan 1 sebagai kemungkinan risiko desain terkecil. Nilai RPN dapat digunakan sebagai panduan untuk mengetahui masalah yang paling serius. Selanjutnya tindakan yang harus dilakukan (*Recommended Action*) yang mempunyai tujuan agar dapat mengurangi kriteria yang menyusun RPN.

2.2 Kajian Induktif

Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk mengidentifikasi pemborosan yang ada di lini produksi, identifikasi dilakukan bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan agar lini produksi dapat berjalan lebih baik dan efisien. Berikut merupakan kajian induktif yang merupakan penelitian terdahulu mengenai penggunaan dalam pemecahan masalah lini produksi:

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan judul *The application of Lean Six Sigma to the configuration control in Intel's manufacturing R&D environment* yang diteliti oleh (Panat, Dimitrova, Selvamuniandy, Ishiko, & Sun, 2014) menghasilkan bahwa pendekatan *Lean Six Sigma* menghasilkan peningkatan efisiensi melebihi target, yaitu 60% pengurangan waktu *idle* dan *waste* serta target pengurangan 40% seiring dengan mengurangi variasi proses bisnis dan menunjukkan adanya peningkatan kepuasan stakeholder tanpa mengorbankan ketelitian teknis manufaktur kontrol konfigurasi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Elianto, Santoso, & Sonief, 2015) menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan *Lean Six Sigma*, FMEA dan Fuzzy dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk botol sabun cair. Hasil penelitian diperoleh identifikasi *waste* paling beresiko yaitu *waste defect*

dan diperoleh empat macam jenis *defect* kritis yaitu *defect* kotor hitam, garis di dinding botol, leher menyempit/buntu, mulut tidak rata. Kemudian diperoleh total 34 macam jenis penyebab kegagalan dan dari perhitungan FMEA diketahui bahwa hasil perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dan *fuzzy risk priority number* (FRPN) tertinggi adalah sama yaitu didapat dari *defect* kotoran hitam dengan penyebab *defect* yaitu kurang memperhatikan komposisi material dan kontaminasi/kerak yang terbakar.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Hidayat, Tama, & Efranto, 2014) dengan judul penerapan *lean manufacturing* dengan metode VSM dan FMEA untuk mengurangi *waste* pada produk *Plywood* di PT Kutai Timber Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada proses produksi *Plywood* ukuran 9 x 1220 x 2440 mm di PT Kutai Timber Indonesia didapatkan 3 jenis *waste* yang teridentifikasi yaitu *waste defect*, *waiting time*, dan *unnecessary inventory*. Perbaikan yang diusulkan adalah penambahan jumlah mesin *dryer* dari 1 mesin menjadi 2 mesin untuk mengurangi *waste waiting*, dan *unnecessary inventory*, serta memberikan desain alat *material handling* yang lebih tepat dan ergonomis, yaitu dengan memberikan perbaikan pada pembatas dan pendorong alat dan dengan melakukan *corrective maintenance* yaitu menentukan perawatan dengan pekerjaan perbaikan *rehabilitative* untuk mengurangi *waste product defect*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Faritsy & Suseno, 2015) dengan judul peningkatan produktivitas perusahaan dengan metode *six sigma*, *lean* dan *kaizen*. Metode penelitian menggunakan *six sigma*, *stopwatch time study* dan *value stream mapping* (VSM). Untuk *improve* menggunakan *tools kaizen* yang berfokus pada 5S di proses kerja stasiun rangkaian rangka produksi tiang listrik beton. Hasilnya dengan produktivitas awal rangkaian rangka sebesar 1,56 sigma, setelah dilakukan perbaikan menjadi 1,99 sigma. Pada proses operasi saat ini ditemukan waktu transportasi = 37,5 menit dan waktu *delay* = 305 menit. Pada peta kerja usulan dihasilkan waktu transportasi = 16,25 dan waktu *delay* = 70 menit. Pada CVSM waktu siklus = 4,71 jam dan *lead time* = 38,86 jam dengan total WIP = 299

unit. Pada FVSM waktu siklus = 4,399 jam dan *lead time* = 30,01 jam dengan total WIP = 198 unit.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Utama, Dewi, & Mawarti, 2016) dengan judul penelitian identifikasi *waste* pada proses produksi *Key Set clarinet* dengan pendekatan *lean manufacturing*. Hasil dari penelitian ini adalah permasalahan yang dihadapi oleh YMPI yaitu tidak tercapainya target produksi *key set Clarinet* yang telah ditentukan oleh pihak *production control* disebabkan adanya *waste* pada lini produksi *brand instrument initial process 2 key set clarinet*. Hasil identifikasi *waste* yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *waste assessment model* menghasilkan empat jenis *waste* yang paling dominan yaitu *defect* (26,04%), *motion* (19,34%), *inventory* (19,22%) dan *waiting* (13,91%).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Putri, Herlina, & Ferdinant) yang berjudul identifikasi *waste* menggunakan *waste assessment model* (WAM) pada lini produksi KHI Pipe Industries. Metode yang digunakan adalah *waste assessment model* (WAM), *six sigma*, *fault tree analysis* (FTA), 5W + 1H di bidang industri pembuatan pipa baja las terbesar di Indonesia. Hasil dari penelitian ini dengan identifikasi yang tertinggi pada *waste* produksi pipa gas spiral di PT. KHI Pipe Industries adalah 27% untuk *defect*. Usulan perbaikannya untuk mengurangi *waste* pada *defect* yaitu *maintenancenya* berupa pelapisan manganis pada sisi mesin agar tidak bergesekan dengan coil.

Berdasarkan penelitian (Musyahidah, Choiri, & Hamdala). Metode yang digunakan ialah *value stream mapping* sebagai upaya meminimalkan *waste*. Diketahui dengan metode WAM bobot *waste* tertinggi terdapat pada proses *Heat Sealing* mempunyai bobot *waste* sebesar 8.25. *Waste* yang terjadi pada proses ini disebabkan oleh tiga *waste*, yaitu *waiting*, *transportation* dan *defect*. Usulan perbaikannya pada proses *heat sealing* yaitu usulan perbaikan dengan perencanaan kartu kanban. Memberikan desain baru palet untuk aktivitas *material handling cover*, dan usulan terakhir yaitu pemberian *earplug* pada operator agar lebih berkonsentrasi pada pekerjaannya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Sigalingging, Tama, & Riawati) . Dengan judul penerapan *lean manufacturing* untuk mereduksi *waste* pada produksi filter rokok dengan *WAM* dan metode Taguchi di PT. Essentra, Sidoarjo. Hasil dari penelitian ini adalah *waste* yang paling dominan ialah *defect*. Usulan rekomendasi perbaikan yang diberikan terkait adanya *defect* pada proses pembuatan filter ACM502205 di PT. Essentra adalah dengan menerapkan *setting level* optimal yang didapatkan dengan perhitungan menggunakan metode Taguchi, yaitu: faktor A level 2 (filter di oven selama 4 menit dengan suhu 110°C), faktor B level 2 (set circum 16,85mm), faktor C level 2 (set roundness 95%), faktor D level 2 (set PZ 9%), faktor E level 2 (Set PD 445mmWg), faktor F level 1 (set weight 0,416 gr), dan faktor G level 1 (set menthol 119,8mg).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Rochman, Sugiono, & Efranto, 2014) dengan judul penelitian tentang penerapan *lean manufacturing* dengan menggunakan WRM, WAQ dan VALSAT untuk meminimasi *waste* pada proses *finishing*. Berdasarkan hasil identifikasi WRM diketahui bahwa dari *defect* ke *inventory* memiliki persentase tertinggi, sedangkan dari identifikasi WAQ didapatkan *waste* terbesar adalah *defect*, *inventory*, dan *waiting*. Rekomendasi perbaikan dengan membuat *checklist* untuk *setting* awal mesin dan juga penerapan 5S.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Nuruddin, Surachman, Setyanto, & Soenoko, 2013) tentang implementasi konsep *lean manufacturing* untuk meminimalkan waktu keterlambatan penyelesaian produk sebagai *value* konsumen. Dengan metode yang digunakan yaitu VALSAT, *fishbone diagram* dan FMEA. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa *waste* yang terjadi ialah *waiting*. Rekomendasi yang diberikan adalah dengan meningkatkan sistem informasi antara internal dan eksternal di dalam aktivitas pabrik.