

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada bagian ini akan dibahas penelitian yang sebelumnya telah dilakukan terdahulu dan penelitian yang dilakukan masa kini. Referensi yang digunakan merupakan hasil penelitian yang membahas mengenai gudang, serta pencarian akar masalah dan pencarian solusi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah tersebut.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Ekoanindiyo dan Wedana (2012) menjelaskan bahwa penyimpanan merupakan salah satu hal yang memiliki peran penting dalam industri manufaktur. Rakesh dan Adil (2015) menyatakan hal serupa, bahwa gudang merupakan hal yang sulit dihindari dalam industri manufaktur, dimana persediaan dan permintaan selalu berfluktuasi. Dalam penelitiannya, Ekoanindiyo dan Wedana (2012) mengatakan bahwa gudang tidak harus berukuran luas, namun perlu diimbangi dengan sistem penyimpanan yang baik untuk dapat memaksimalkan penggunaannya. Prinsip gudang adalah “usahakan barang selalu bergerak cepat dan gerakkanlah dengan cepat” (Warman, 1971).

Dalam proses perbaikan gudang, hal utama yang perlu diperhatikan adalah akar permasalahan yang ada dalam gudang tersebut. Tanpa mengetahui akar permasalahannya, perbaikan yang dilakukan tidak akan memberikan dampak signifikan. Pencarian akar masalah dapat dilakukan dengan berbagai cara. Tjahjono dan Felecia (2015) menggunakan *fishbone diagram* untuk mencari penyebab permasalahan yang ada dalam penelitiannya. Dalam sebuah penelitian, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan penyebab permasalahan tidak dapat diatasi semuanya, maka FMEA dapat menjadi salah satu metode yang dapat digunakan untuk memprioritaskan masalah yang mendesak untuk diatasi terlebih dahulu, seperti yang dilakukan oleh Liu dkk. (2014). Salah satu permasalahan yang dapat muncul dalam pengelolaan gudang adalah kurangnya pemanfaatan ruang gudang. Hal ini dapat disebabkan antara lain karena tidak memanfaatkan area udara (*airspace*), atau dapat lebih dipahami dengan dimensi tinggi ruang gudang. Kurangnya pemanfaatan tinggi gudang dapat diatasi dengan penggunaan penggunaan rak, seperti yang dilakukan Putri dan Marie (2015).

2.1.2. Penelitian Masa Kini

Pada CV. Jordan, permasalahan yang dihadapi adalah kapasitas penyimpanan di gudang produk jadi saat ini tidak mampu memenuhi kebutuhan penyimpanan produknya. Pada penelitian ini akan dianalisis penyebab utama kurang optimalnya utilitas gudang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Martiani (2018) beberapa penyebab tidak dapat ditangani; yang termasuk penyebab yang tidak dapat dikendalikan. Salah satu *tool* yang banyak digunakan untuk mencari faktor penyebab masalah adalah *fishbone diagram*. Metode ini menggambarkan suatu akibat permasalahan dan penyebab-penyebabnya (Coccia, 2018). Dari penyebab-penyebab masalah yang ditemukan, dapat ditentukan penyebab masalah yang memberikan akibat terbesar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan penyebab dengan akibat terbesar adalah FMEA (*failure mode and effects analysis*). Dari analisis menggunakan metode FMEA, dapat ditentukan penyebab potensial yang butuh segera ditindaklanjuti (Ellianto dkk., 2015).

Solusi dalam menyelesaikan masalah dapat berbagai macam. Setelah menganalisis penyebab utama dari suatu permasalahan, solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat ditentukan. Seperti yang dilakukan oleh Riski dkk. (2016) yang menerapkan *racking system* sebagai solusi yang diberikan dalam penelitiannya untuk meningkatkan kapasitas produk yang dapat disimpan. Berbeda dengan Andrie (2017) yang mengusulkan solusi *relayout* untuk menyelesaikan permasalahan optimasi gudang dalam penelitiannya.

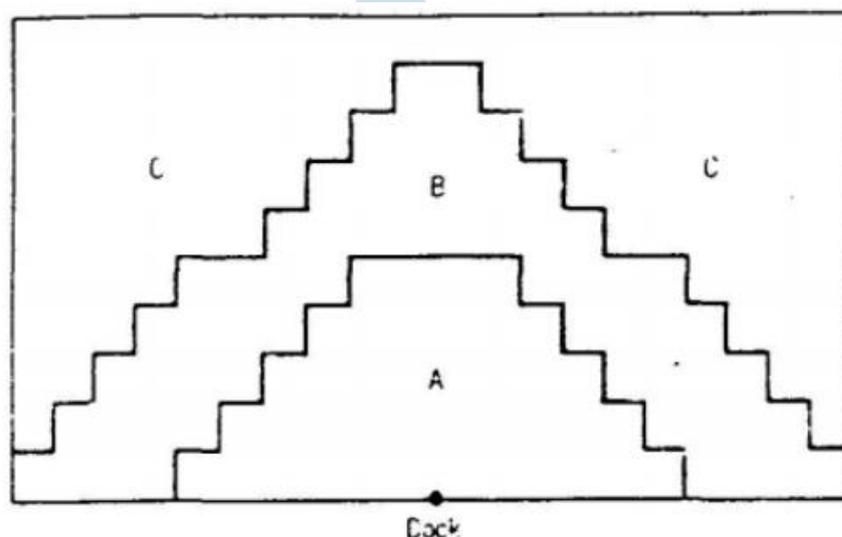
2.2. Dasar Teori

2.2.1. Gudang

Tompkins dkk. (2010) mengatakan bahwa gudang memegang peran penting untuk mendukung kesuksesan rantai pasok perusahaan. Misi sebuah gudang adalah untuk mengirimkan produk secara efektif menuju rantai pasok selanjutnya tanpa mengubah atau merusak bentuk dasar produk. Gudang secara umum diasosiasikan merupakan sebuah ruang khusus yang hanya digunakan untuk menyimpan barang, namun sebenarnya dalam gudang terdapat banyak aktivitas yang terjadi di gudang sebagai bagian dari proses keluar dan masuknya barang dari dan ke dalam gudang. Hal ini mendukung pernyataan Emmett (2005), bahwa proses keluar-masuknya barang pada gudang jauh lebih penting daripada penyimpanan. Sumber daya dalam penyimpanan dan pergudangan adalah ruang, peralatan, dan personil (Tompkins dkk., 2010).

Gudang, khususnya pada sebuah pabrik, terdiri dari beberapa jenis, seperti gudang operasional, gudang perlengkapan, gudang pemberangkatan, dan gudang musiman. Dalam penelitian ini, gudang yang diteliti adalah gudang pemberangkatan. Dalam penelitian yang dilakukan Putri dan Marie (2015), gudang pemberangkatan dapat juga disebut sebagai gudang barang jadi. Fungsi gudang pemberangkatan adalah menyimpan produk yang telah selesai diproses. Dalam penelitian ini, produk yang disimpan dalam gudang pemberangkatan telah dikemas sejumlah ketentuan perusahaan untuk masing-masing produk dan menunggu untuk didistribusikan dari pabrik.

Dalam penelitiannya, Horo (2017) menjelaskan empat jenis metode peletakan barang di gudang penyimpanan barang, yaitu *Dedicated Storage*, *Randomized Storage*, *Class-Based Storage*, dan *Shared Storage*. Metode-metode ini mempengaruhi *layout* dari gudang. Dalam penelitian ini, perusahaan yang diteliti menggunakan metode *Dedicated Storage* dalam menata produknya. Metode ini membagi area peletakan barang hanya untuk satu jenis barang saja. Artinya suatu produk tidak boleh diletakkan pada area produk lain. Dengan menggunakan metode ini, gudang dapat menjadi teratur sehingga dapat dengan mudah mencari suatu barang tertentu dalam gudang, namun untuk dapat mengaplikasikannya dibutuhkan biaya, waktu, dan ruang penyimpanan yang cukup besar, karena dibutuhkan informasi dan analisis mendalam, serta pengaturan ulang apabila terjadi perubahan pada demand produk. Gambar 2.1 menunjukkan bentuk *layout* gudang yang menggunakan metode *dedicated storage*.



Gambar 2.1. Layout Gudang dengan Metode *Dedicated Storage*

Gudang memiliki keterkaitan erat dengan istilah kapasitas dan utilitas. Menurut KBBI Daring, kapasitas memiliki arti ruang yang tersedia atau daya tampung; sedangkan utilitas memiliki arti faedah, kegunaan, atau manfaat. Dalam penelitian ini, digunakan istilah kapasitas gudang, kapasitas penyimpanan, dan utilitas gudang. Kapasitas gudang berarti ruang gudang keseluruhan. Artinya perhitungan kapasitas gudang memperhatikan dimensi-dimensi ruang gudang yang diteliti. Berbeda dengan kapasitas gudang, kapasitas penyimpanan berarti ruang maksimal yang dapat digunakan untuk menyimpan produk. Dimensi yang diperhatikan dalam menghitung kapasitas penyimpanan hanya ruang yang dapat digunakan untuk menyimpan produk. Berbeda pula dengan utilitas gudang yang merujuk pada pemanfaatan gudang. Nilai yang digunakan dalam menghitung utilitas gudang adalah dimensi produk yang dapat disimpan, atau kapasitas penyimpanan, per kapasitas gudang.

2.2.2. Material Handling

Material handling merupakan salah satu aspek yang diperhatikan dalam pengelolaan gudang. *Material handling* dapat didefinisikan sebagai seni dan ilmu mengenai perpindahan, penyimpanan, kontrol, dan perlindungan terhadap bahan dan barang (Tompkins dkk., 2010). Dengan menggunakan definisi ini, dapat dipahami bahwa *material handling* berbasis ilmu pengetahuan yang melibatkan banyak bidang teknik. Artinya proses desain *material handling* membutuhkan tahapan ilmiah seperti pendefinisian masalah, pengumpulan dan analisis data, memunculkan alternatif solusi, evaluasi alternatif, pemilihan dan penerapan alternatif, dan peninjauan secara berkala. Namun di sisi lain, *material handling* merupakan seni karena perancangan *material handling* tidak dapat semata-mata hanya berdasarkan pada rumus dan model matematis, namun diperlukan pengetahuan dan pengalaman praktis mengenai apa yang baik dan kurang baik dilakukan dalam perancangan *material handling*. Dengan pemahaman yang berbeda, *material handling* juga dapat didefinisikan sebagai penyediaan material dalam jumlah tepat pada kondisi yang tepat, tempat yang tepat, posisi yang tepat, urutan yang tepat, biaya yang tepat, dan metode yang tepat. Pemilihan peralatan merupakan langkah terakhir dalam perancangan *material handling*. Perusahaan perlu menentukan terlebih dahulu metode yang tepat dalam usaha penanganan material, sehingga peralatan yang digunakan hanyalah konsekuensi dari metode yang dipilih. Menurut Kumar dan Suresh (2008) terdapat tujuh tujuan *material handling*.

- a. Minimasi biaya penanganan material.
- b. Minimasi penundaan dan gangguan dengan menyediakan material pada saat dan jumlah yang tepat.
- c. Meningkatkan utilitas kapasitas dari fasilitas produksi dengan pemanfaatan kapasitas yang tersedia secara efektif dan meningkatkan produktivitas.
- d. Keamanan dalam menangani material dengan memperbaiki kondisi kerja.
- e. Maksimasi utilisasi peralatan penanganan material.
- f. Menghindari kerusakan material.
- g. Minimasi biaya yang berkaitan dengan inventori.

Material handling pada dasarnya tidak menambah nilai suatu produk, namun tanpa penanganan yang baik, *material handling* dapat meningkatkan biaya tambahan bagi perusahaan hingga dapat merugikan. Untuk mencapai ketujuh tujuan tersebut, *material handling* perlu diterapkan dengan didasari beberapa prinsip:

- a. *Planning Principle*: Setiap aktivitas penanganan harus direncanakan dahulu.
- b. *Systems Principle*: Merencanakan sistem yang sedapat mungkin mengintegrasikan setiap aktivitas penanganan secara efektif.
- c. *Space Utilisation Principle*: Mengoptimalkan penggunaan ruang yang dimiliki
- d. *Unit Load Principle*: Memaksimalkan ukuran, berat, dan kuantitas barang yang ditangani.
- e. *Gravity Principle*: Memanfaatkan gravitasi dalam penanganan material
- f. *Material Flow Principle*: Mengatur peralatan dan rencana alur operasi untuk mencapai aliran material yang optimal.
- g. *Simplification Principle*: Mengurangi atau mengeliminasi peralatan dan/atau gerakan yang tidak diperlukan.
- h. *Safety Principle*: Menyediakan metode dan peralatan penanganan yang aman.
- i. *Mechanisation Principle*: Menggunakan peralatan *material handling* terotomasi.
- j. *Standardisation Principle*: Melakukan standarisasi metode, tipe, ukuran *material handling*.
- k. *Flexibility Principle*: Menggunakan metode serta peralatan yang dapat digunakan dalam beberapa tugas.
- l. *Equipment Selection Principle*: Mempertimbangkan penggunaan setiap aspek metode, pergerakan, dan material.
- m. *Dead Weight Principle*: Mereduksi rasio beban mati peralatan dengan beban yang diangkut.

- n. *Motion Principle*: Memastikan peralatan yang berfungsi untuk menggerakkan material untuk terus bergerak.
- o. *Idle Time Principle*: Meminimasi waktu tunggu, baik dari tenaga kerja, maupun peralatan *material handling*.
- p. *Maintenance Principle*: Menjadwalkan adanya perbaikan menyeluruh pada peralatan *material handling* (perawatan preventif).
- q. *Obsolescence Principle*: Mengganti peralatan maupun metode yang sudah usang dengan peralatan atau metode yang lebih efisien.
- r. *Capacity Principle*: Mengoptimasi kapasitas yang digunakan dengan menggunakan *material handling*.
- s. *Control Principle*: Meningkatkan kontrol, baik produksi maupun inventori, dengan menggunakan *material handling*.
- t. *Performance Principle*: Menentukan efisiensi performa penanganan dalam biaya per unit penanganan, sebagai kriteria utama

2.2.3. Metode Kreatif

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahap yang membutuhkan pemikiran kreatif, baik dalam proses mempertajam permasalahan maupun pemberian usulan solusi. Metode kreatif merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk membantu stimulasi pemikiran kreatif (Cross, 2008). Cara kerjanya adalah memperluas cakupan ide dengan menyingkirkan pemikiran-pemikiran praktis yang menghalangi munculnya ide. Cross (2008) menyebutkan terdapat setidaknya tiga macam metode kreatif yang dapat digunakan. Dalam penelitian ini digunakan dua diantaranya, yaitu *brainstorming* dan *enlarging the search space*.

a. Brainstorming

Brainstorming merupakan salah satu metode kreatif yang banyak diketahui masyarakat umum, yang bertujuan memaksimalkan jumlah ide yang ditampung. Metode ini dilakukan dengan membentuk kelompok yang sebaiknya beragam, dengan keahlian masing-masing, yang tidak hanya memiliki pengetahuan dalam bidang permasalahan, namun juga memiliki pengalaman dalam bidang tersebut.

Dalam kelompok *brainstorming* dibutuhkan seorang pemimpin, namun kelompok tersebut tidak boleh dibentuk menjadi hirarkis. Peran pemimpin kelompok *brainstorming* adalah memastikan sesi *brainstorming* berjalan sesuai pola. Tugas utama pemimpin kelompok adalah merumuskan masalah sebagai titik awal diskusi, sehingga ide yang muncul tidak terlalu sempit maupun terlalu luas.

Brainstorming dimulai dengan meminta seluruh anggota kelompok memikirkan sebuah ide awal yang muncul, kemudian menyatakan idenya. Selanjutnya ketika anggota kelompok memiliki ide lain, mereka menyimpannya lalu dinyatakan kembali dalam diskusi. Selama sesi *brainstorming*, diharapkan masing-masing anggota mampu memberikan respon kepada anggota lain untuk membangun ide dan memberi stimulasi atau mengkombinasikan dengan idenya sendiri. Berikut merupakan aturan dasar dalam sesi *brainstorming*.

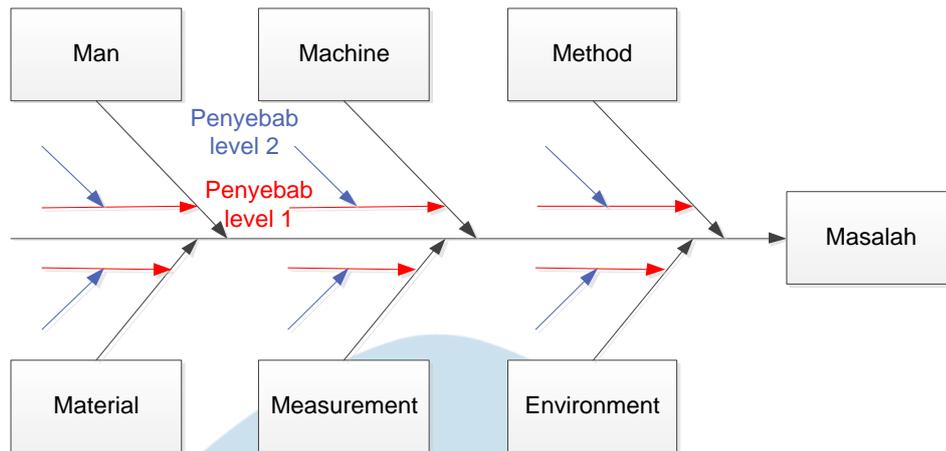
- i. Dilarang memberikan kritik selama sesi berlangsung
- ii. Diharapkan munculnya ide dalam jumlah besar
- iii. Ide-ide *liar* diterima
- iv. Buat seluruh ide tetap singkat dan tajam
- v. Mencoba untuk mengkombinasi dan menyempurnakan ide yang muncul

b. *Enlarging the Search Space*

Berpikir sempit merupakan salah satu bentuk penghambat berpikir kreatif yang paling banyak terjadi. Maka dari itu, memperluas bidang pencarian menjadi salah satu cara dalam menerapkan metode kreatif. Beberapa teknik dapat dilakukan untuk memperluas bidang pencarian, salah satunya adalah *Why? Why? Why?* Teknik ini dapat membantu memperluas bidang pencarian dengan pertanyaan 'kenapa?' terkait permasalahan tersebut, misalnya 'kenapa hal itu diperlukan?' atau 'kenapa hal itu tidak dapat disingkirkan?', dan sebagainya. Jawaban untuk sebuah pertanyaan 'kenapa?' akan dipertanyakan kembali hingga mencapai jalan buntu (pertanyaan tidak dapat dijawab), atau ditemukan sebuah jawaban tak terduga yang menuju pada sebuah ide sebagai solusi permasalahan.

2.2.4. *Fishbone Diagram*

Proses pencarian penyebab masalah merupakan salah satu hal yang penting untuk dilakukan dalam sebuah penelitian. Penelitian dapat menghasilkan keluaran yang optimal apabila penyebab permasalahan dapat dieliminasi. Diagram tulang ikan, yang dapat disebut dengan *fishbone diagram*, diagram Ishikawa, atau *cause-effect diagram* adalah salah satu dari tujuh alat kontrol kualitas yang berguna untuk mencari penyebab suatu permasalahan. Alat ini ditemukan oleh Kaoru Ishikawa pada tahun 1943 (Neyestani, 2017). Nama *fishbone diagram* diambil karena bentuknya yang menyerupai kerangka ikan, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2. Kepala ikan menggambarkan permasalahan yang dianalisis, dan kerangka ikan menggambarkan penyebab maupun potensi penyebab yang dicari.



Gambar 2.2. Fishbone Diagram

Secara umum, analisis menggunakan *fishbone diagram* dilakukan terhadap enam kategori elemen penyebab: *material*, *man*, *machine*, *method*, *measurement*, dan *environment* (Liliana, 2016). Pengelompokan enam kategori elemen dilakukan untuk mengidentifikasi variasi penyebab sehingga analisis terstruktur dan lebih mudah. Keenam kategori elemen tersebut adalah sebagai berikut:

- a. *Man*: setiap orang yang terlibat dalam proses.
- b. *Machine*: peralatan yang digunakan untuk melakukan pekerjaan.
- c. *Method*: prosedur, kebijakan, peraturan, regulasi, maupun hukum yang mengatur bagaimana suatu pekerjaan dilakukan.
- d. *Material*: bahan baku maupun material pendukung yang digunakan untuk menghasilkan produk akhir.
- e. *Measurement*: data yang dihasilkan dari proses yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas
- f. *Environment*: kondisi lingkungan dimana proses pekerjaan dilakukan, seperti lokasi, waktu, suhu, dan sebagainya.

Dalam penggunaannya, kategori elemen yang digunakan pada *fishbone diagram* dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan analisis. Beberapa elemen dapat tidak digunakan apabila dianggap tidak berpengaruh terhadap proses. Masing-masing penyebab maupun potensi penyebab yang ditemukan (penyebab level 1) dituliskan pada kategori elemen yang sesuai. Apabila terdapat penyebab dari penyebab yang pertama (penyebab level 2) dituliskan pada penyebab level 1. Hasil analisis menggunakan *fishbone diagram* diambil dari kesepakatan pemangku kepentingan atas penyelesaian masalah yang akan dilakukan dari penyebab maupun potensi penyebab yang telah ditemukan.

2.2.5. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Dalam suatu penelitian, terdapat beberapa hal yang membatasi penyelesaian banyak masalah dalam satu objek penelitian. Oleh karena itu, penyebab permasalahan yang telah ditentukan dapat dianalisis kembali untuk memprioritaskan perbaikan terhadap setidaknya satu penyebab permasalahan yang memberi efek kegagalan paling besar. *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) mampu membantu mendefinisikan, mengidentifikasi, memprioritaskan, dan mengeliminasi kegagalan yang ditemukan maupun potensi kegagalan dari sebuah sistem, desain, maupun proses manufaktur. Tujuan utamanya adalah mengeliminasi penyebab kegagalan atau meminimalisir risiko kegagalan.

a. Kebutuhan Penggunaan FMEA

FMEA efektif digunakan dalam berbagai macam kondisi. Menurut Stamatis (2015), salah satu indikator yang dapat mengindikasikan FMEA dibutuhkan adalah ketika terdapat jawaban 'ya' dari antara pertanyaan-pertanyaan berikut:

- i. Apakah konsumen menjadi lebih sadar akan kualitas?
- ii. Apakah masalah keandalan menjadi fokus utama?
- iii. Apakah persyaratan regulasi sulit dicapai?
- iv. Apakah Anda sedang menyelesaikan banyak permasalahan?
- v. Apakah Anda ketagihan menyelesaikan permasalahan?

Metode FMEA dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang memicu pertanyaan-pertanyaan tersebut. Bagaimanapun juga, alasan utama untuk melakukan FMEA adalah kebutuhan akan peningkatan.

b. Manfaat FMEA

FMEA memiliki beberapa jenis yang berbeda dari aplikasi serta terminologi khusus yang digunakan. Apabila dilakukan dengan tepat, seluruh jenis FMEA akan menuju kepada manfaat-manfaat yang berguna:

- i. Keyakinan bahwa seluruh risiko telah diidentifikasi lebih awal, dan tindakan yang tepat telah dilakukan.
- ii. Didapatkan prioritas dan alasan untuk proses atau tindakan perbaikan.
- iii. Pengurangan sisa bahan, pengerjaan ulang, dan biaya produksi.
- iv. Pemeliharaan pengetahuan produk dan proses.
- v. Pengurangan kegagalan di lapangan dan biaya garansi.
- vi. Didapatkan dokumentasi risiko dan tindakan untuk desain maupun proses untuk masa mendatang.

c. Proses Pelaksanaan FMEA

Dalam melaksanakan FMEA secara efektif, penelitian harus dilakukan dengan pendekatan yang sistematis. Pendekatan yang direkomendasikan oleh Stamatis (2015) terdiri dari 8 langkah yang dapat memfasilitasi seluruh jenis FMEA.

i. Memilih tim dan melakukan *brainstorming*.

Dalam pemilihan tim, perlu dipastikan seluruh anggota yang direkrut mampu berpartisipasi, memiliki beragam keahlian, serta mau berkontribusi membagikan ilmu serta pengalamannya. Setelah tim terbentuk, tim memprioritaskan perbaikan untuk permasalahan yang akan dilakukan, kemudian melakukan *brainstorming*.

ii. Membuat diagram blok fungsional dan/atau diagram alir proses.

Fungsi utama pembuatan diagram blok fungsional dan/atau diagram alir proses adalah supaya tim memahami latar belakang masalah yang dihadapi. Diagram blok fungsional direkomendasikan lebih untuk *system* dan *design* FMEA, sedangkan untuk *process* dan *service* FMEA lebih direkomendasikan menggunakan diagram alir proses.

iii. Memprioritaskan masalah.

Setelah tim memahami latar belakang masalah yang dihadapi, analisis awal dimulai. Pada tahap ini tim memprioritaskan aspek dari permasalahan yang perlu untuk diperbaiki terlebih dahulu. Hal ini dapat disesuaikan dengan berbagai macam hal, seperti permintaan konsumen, biaya garansi, atau permintaan langsung dari manajemen.

iv. Pengumpulan data.

Pada tahap ini tim yang telah dibentuk mengumpulkan data-data terkait kegagalan yang pernah terjadi kemudian mulai mengategorikannya dalam lembar format FMEA.

v. Analisis data.

Data yang telah dikumpulkan dalam tahap sebelumnya kemudian digunakan untuk mengumpulkan informasi yang digunakan untuk mengumpulkan pengetahuan terkait masalah, kemudian mengambil keputusan. Analisis pada tahap ini dapat dilakukan secara kuantitatif maupun kualitatif. Tim dapat melakukan *brainstorming* kembali, menggunakan analisis sebab-akibat, *quality function deployment* (QFD), *design of experiments* (DOE), maupun metode-metode lain yang disepakati oleh tim cocok untuk digunakan.

vi. Merumuskan hasil analisis.

Pada tahap ini digunakan informasi yang dikumpulkan pada tahap analisis data untuk mengukur *severity*, *occurance*, *detection*, dan *risk priority number* (RPN).

vii. Konfirmasi/evaluasi/penilaian.

Setelah hasil analisis tercatat, pada tahap ini dilakukan konfirmasi, evaluasi, dan pengukuran apakah penelitian sukses atau gagal. Evaluasi didapatkan dengan menjawab tiga pertanyaan mendasar: “apakah situasi membaik dari sebelumnya?”, “apakah situasi memburuk dari sebelumnya?”, dan “apakah situasi sama dengan sebelumnya?” Informasi tersebut kemudian digunakan untuk merekomendasikan tindakan serta mendokumentasikan hasil tindakan tersebut dalam lembar format FMEA.

viii. Melakukan semuanya kembali.

Apapun jawaban dari tahap ketujuh, tim tetap perlu melanjutkan perbaikan terus-menerus. Tujuan jangka pendek dilakukannya FMEA adalah meminimasi kegagalan, jika tidak dapat mengeliminasi. Meski begitu, tujuan jangka panjang dilakukannya FMEA adalah mengeliminasi setiap kegagalan sekecil apapun itu, sehingga perbaikan perlu terus dilakukan.

d. Jenis FMEA

FMEA memiliki banyak jenis yang dapat dikategorikan menjadi setidaknya 5 kategori: *design*, *process*, *service*, *equipment*, dan *concept* FMEA. Perbedaan kelima kategori FMEA ini terletak pada karakteristik, fokus, serta tujuan penggunaannya. Tabel 2.1 menunjukkan perbedaan masing-masing kategori.

Tabel 2.1. Kategori FMEA

	Design	Process	Service	Equipment	Concept
Karakteristik	Komponen Sub-sistem Sistem	Mesin Metode Material Tenaga Kerja Pengukuran Lingkungan	Mesin Metode Material Tenaga Kerja Pengukuran Lingkungan	Komponen Sub-sistem Sistem	Komponen Sub-sistem Sistem
Fokus	Minimasi efek kegagalan pada sistem	Minimasi efek kegagalan proses produksi pada sistem	Minimasi masalah dan isu yang mengganggu pelayanan	Minimasi masalah keamanan	Minimasi efek kegagalan pada sistem, proses, atau produk dari sisi keamanan dan regulasi pemerintah
Tujuan	Maksimasi kualitas sistem, keandalan, biaya, serta pemeliharaan	Maksimasi kualitas sistem, keandalan, pemeliharaan, biaya dan produktivitas	Maksimasi kualitas dan kepuasan konsumen	Minimasi isu produksi dan melindungi keamanan operator	Maksimasi kualitas sistem, keandalan, biaya, dan pemeliharaan dalam desain, proses, atau produk

e. Lembar Format FMEA

Lembar format umum untuk segala jenis FMEA sangat sederhana (Stamatis, 2015). Pada Tabel 2.2 dapat dilihat lembar format FMEA secara umum yang mengidentifikasi seluruh informasi yang dibutuhkan untuk mengurangi atau mengeliminasi akar masalah dari kegagalan desain dan/atau proses. Lembar format FMEA digunakan untuk mempermudah dalam analisis, sehingga dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhannya. Oleh karena itu tidak ada kriteria maupun penilaian yang standar untuk digunakan dalam masing-masing FMEA yang digunakan.

Tabel 2.2. Contoh Lembar Format FMEA Secara Umum

Sistem: SubSistem: Komponen: Proses: Fungsi	Lembar FMEA										Nomor FMEA						
	Halaman ... dari ...	Tim:	Tanggal Dibuat:	Tanggal Revisi													
	Kegagalan	Efek	Severity	Kelas	Penyebab	Occurance	Kontrol Pencegahan	Kontrol Pendeteksi	Detection	RPN	Rekomendasi	Tindakan yang Dilakukan	New Severity	New Occurance	New Detection	New RPN	Komentar

Untuk mengisi lembar FMEA perlu dipahami maksud masing-masing kolom. Berikut penjelasan setiap kolom dalam lembar FMEA.

- i. Fungsi – fokus pada kolom ini adalah maksud dari desain atau proses tersebut. Dengan kata lain, pada kolom ini diisi kebutuhan maupun persyaratan dari desain atau proses.
- ii. Kegagalan – pada kolom ini dituliskan bentuk-bentuk kegagalan yang terjadi atau mungkin terjadi dari kolom fungsi.
- iii. Efek – kolom ini berisi konsekuensi, mengacu dari kegagalan yang terjadi.
- iv. Severity (S) – kolom ini berisi penilaian yang menunjukkan seberapa serius efek dari bentuk kegagalan pada kolom sebelumnya. Secara umum digunakan nilai 1-10; semakin tinggi nilai yang diberikan, semakin serius efek kegagalan.
- v. Kelas – pada kolom ini bentuk kegagalan diklasifikasikan berdasarkan nilai severity, yang menunjukkan karakteristik kritis potensial.

- vi. Penyebab – kolom ini berisi kemungkinan penyebab dari bentuk kegagalan yang ditemukan sebelumnya. Pengisian kolom ini dapat dibantu dengan metode lain seperti *brainstorming*, *fault tree analysis* (FTA), dan sebagainya.
- vii. *Occurance* (O) – Pada kolom ini dituliskan seberapa sering kemungkinan penyebab kegagalan muncul. Nilai yang digunakan adalah 1-10, serupa dengan penilaian *severity*.
- viii. Kontrol Pencegahan – kolom ini berisi rencana kontrol untuk menghindari terjadinya penyebab masalah, atau mengurangi tingkat nilai *occurance*.
- ix. Kontrol Deteksi – pada kolom ini diidentifikasi efektivitas rencana kontrol sebelum diterapkan.
- x. *Detection* (D) – kolom ini berisi penilaian yang serupa dengan *severity* serta *occurance*, yang menunjukkan seberapa sulit penyebab permasalahan dideteksi. Hal ini membuat penilaian *detection* relatif.
- xi. Risk Priority Number (RPN) – kolom ini berisi hasil perkalian dari nilai S, O, dan D. Semakin tinggi nilai RPN, semakin tinggi prioritas untuk memperbaiki kegagalan pada kolom tersebut.
- xii. Rekomendasi – kolom ini berisi tindakan yang sebaiknya dilakukan untuk meminimasi atau mengeliminasi penyebab permasalahan. Tindakan yang direkomendasikan harus sesuai, dapat diterapkan, serta dapat diselesaikan dalam waktu dan biaya yang wajar.
- xiii. Tindakan yang dilakukan – pada kolom ini diidentifikasi tindakan dari daftar rekomendasi untuk selanjutnya dilakukan. Hasil tindakan yang dilakukan dapat digunakan sebagai evaluasi serta dokumen FMEA selanjutnya di masa mendatang.
- xiv. *New Severity* – kolom ini berisi penilaian *severity* baru, yaitu untuk tindakan yang dilakukan dari kolom sebelumnya.
- xv. *New Occurance* – pada kolom ini diisi penilaian *occurance* yang baru untuk tindakan yang dilakukan.
- xvi. *New Detection* – pada kolom ini diisi penilaian *detection* yang baru berdasarkan tindakan yang dilakukan.
- xvii. *New RPN* – dalam kolom ini diisi nilai RPN yang baru sesuai dengan nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* yang baru.

Dalam penggunaan FMEA diharapkan terdapat daftar kriteria yang menjadi pedoman untuk penilaian *severity*, *occurance*, dan *detection*. Hal ini dilakukan supaya pembaca memiliki gambaran kondisi melalui pedoman tersebut.

2.2.6. Perancangan Produk

Dalam penelitian ini, usulan solusi yang diberikan adalah menerapkan sistem *racking* dengan membuat rak sendiri, sehingga dibutuhkan rancangan yang akan digunakan. Perancangan produk menurut Cross (2008) dapat dilakukan menggunakan dua metode: kreatif dan rasional. Pada dasarnya, kedua metode ini memiliki tujuan yang serupa, seperti memperluas bidang pencarian untuk mendapatkan solusi yang potensial, atau memfasilitasi kerja sama tim dan pengambilan keputusan bersama. Dalam perkembangannya, metode rasional lebih dikenal sebagai metode perancangan dibandingkan metode kreatif, dimana metode rasional mendorong pendekatan sistematis. Perancangan produk dengan metode rasional terdiri dari tujuh tahap:

a. Klarifikasi Tujuan

Ketika seorang klien pertama kali meminta desainer merancang sebuah produk, jarang kali kebutuhan produk tersebut disampaikan dengan jelas. Sebagian besar klien hanya mengetahui tipe produk yang diinginkan dengan gambaran besarnya saja dan sedikit ide terkait detail produk yang diminta. Maka dari itu, langkah pertama dalam proses perancangan adalah mengklarifikasikan tujuan perancangan. Hal ini akan sangat berguna sebagai langkah awal proses perancangan produk, meskipun dalam penerapannya tujuan yang diklarifikasikan pada awal proses perancangan ini akan berbeda pada langkah-langkah selanjutnya.

b. Penetapan Fungsi

Langkah kedua dalam perancangan produk dengan metode rasional adalah menetapkan fungsi. Dari daftar tujuan yang telah dibuat, besar kemungkinan untuk mengubah tingkatan yang dibuat pada *objectives tree*. Hal ini dipengaruhi oleh pandangan perancang maupun klien yang fokus pada satu tujuan tanpa memperhatikan fungsi dasar dari produk yang dirancang. Dalam banyak kesempatan, seorang klien fokus terhadap definisi masalah yang terlalu sempit. Pada langkah ini fokus yang dituju adalah menemukan fungsi dasar dari tipe solusi yang diharapkan dapat terpenuhi, bukan tipe solusi potensial. Hal ini dilakukan untuk mendorong ide dari perancang sehingga muncul alternatif solusi yang mampu memenuhi kebutuhan fungsi tersebut. Fungsi dasar yang dimaksud adalah hal yang perlu dipenuhi dari sebuah produk atau sistem, apapun komponen yang digunakan.

c. Menyusun Kebutuhan

Sebuah desain pasti memiliki permasalahan yang merupakan batasan kebutuhan desain tersebut. Misalnya dari aspek biaya, sebuah desain dapat terbatas dengan anggaran yang direncanakan oleh klien, atau harga yang diharapkan konsumen. Aspek lainnya dapat berupa dimensi produk, berat produk, maupun dari hukum yang berlaku serta tuntutan keamanan. Fokus tujuan perancangan maupun fungsi yang telah ditetapkan adalah hal-hal yang dibutuhkan rancangan tanpa memperhatikan batasan-batasan yang ada. Oleh karena itu, spesifikasi performansi dilakukan untuk mengimbangi tujuan dan fungsi yang telah ditetapkan.

Penyusunan kebutuhan yang dilakukan akan membatasi jangkauan solusi yang dapat diterima, maka kebutuhan yang disusun tidak boleh terlalu sempit. Penyusunan kebutuhan tidak boleh terlalu sempit supaya tidak terjadi eliminasi yang tidak semestinya terhadap solusi yang dapat diterima. Sebaliknya, susunan kebutuhan juga diharapkan tidak terlalu luas supaya tidak muncul alternatif solusi yang tidak tepat. Hal ini dapat menyebabkan rancangan perlu diubah kembali ketika ditemukan hal-hal diluar batasan, sehingga menjadi alasan kuat untuk menyusun kebutuhan sebaik mungkin pada awal proses perancangan.

d. Menentukan Karakteristik

Dalam menentukan spesifikasi produk, terkadang muncul konflik akibat perbedaan sudut pandang antara tim desain dengan divisi lain, misalnya *marketing*. Tim desain memiliki fokus terhadap fungsi produk sehingga menginginkan penggunaan material terbaik—yang notabene membutuhkan biaya lebih tinggi—, sedangkan divisi *marketing* memiliki fokus terhadap keinginan konsumen sehingga menginginkan biaya produk rendah. Langkah ini dilakukan untuk menghasilkan titik temu diantara hubungan antara masing-masing karakteristik dan atribut semacam itu.

e. Menghasilkan Alternatif

Pembangkitan alternatif merupakan aspek utama dalam proses perancangan. Sebagian klien dan konsumen menginginkan penyempurnaan hal yang sudah ada dibandingkan dengan hal baru dengan pertimbangannya masing-masing. Oleh karena itu, membuat variasi dari hal yang sudah ada merupakan hal penting dalam sebuah perancangan. Hal ini memicu pemikiran kreatif sehingga dapat dibangkitkan alternatif yang luas namun relevan.

f. Evaluasi Alternatif

Setelah alternatif solusi dibangkitkan, perancang dihadapkan dengan masalah pemilihan satu solusi terbaik. Pemilihan alternatif merupakan hal umum dalam sebuah proses perancangan. Proses pemilihan dapat dilakukan dengan menebak, menggunakan intuisi, pengalaman, maupun pemilihan secara acak. Meskipun begitu, pemilihan akan lebih baik apabila dilakukan secara rasional, atau setidaknya dengan suatu prosedur. Hal ini meningkatkan validitas pilihan yang ditentukan, sehingga baik perancang maupun pihak-pihak yang terkait dengan rancangan memiliki keyakinan terhadap pilihan yang diambil.

g. Meningkatkan Detail

Fokus sebuah rancangan tidak selalu menuju pada konsep rancangan baru yang radikal, namun juga pada modifikasi untuk sebuah rancangan produk yang telah ada. Modifikasi dilakukan untuk menyempurnakan produk dalam berbagai aspek, seperti peningkatan kinerja, mengurangi beban, meminimalisir biaya, dan sebagainya. Setiap modifikasi dapat diklasifikasikan menjadi salah satu diantara dua tipe; modifikasi dengan target peningkatan nilai bagi konsumen, atau mengurangi biaya bagi produsen. Dalam langkah perancangan yang terakhir ini, dilakukan peningkatan detail dari fitur atau fungsi melalui modifikasi komponen yang digunakan, baik dengan mengganti bahan baku, melakukan perubahan terhadap bahan baku yang telah ditentukan, ataupun menghilangkan sebagian komponen dari rancangan.

Metode yang relevan digunakan dalam langkah perancangan ini adalah *value engineering*. Target metode ini adalah meningkatkan perbedaan antara biaya dan nilai produk dengan cara menurunkan biaya atau meningkatkan nilai produk, atau bahkan keduanya. Prosedur dalam metode ini terdiri dari 5 tahap. Tahap pertama adalah membuat daftar komponen terpisah dari produk, kemudian mengidentifikasi fungsi dari masing-masing komponen. Tahap kedua adalah menentukan nilai dari fungsi yang telah diidentifikasi. Tahap ini digunakan sebagai alasan rasional mengapa fungsi perlu dimodifikasi. Misalnya suatu fungsi yang disempurnakan memiliki nilai rendah akan menjadi sia-sia; sebaliknya, suatu fungsi dengan nilai tinggi yang diturunkan biayanya dengan menggunakan bahan dengan kelas lebih rendah akan menurunkan nilai produk tersebut. Tahap selanjutnya adalah menentukan biaya dari masing-masing komponen. Dalam tahap ini biaya yang dilakukan analisis terhadap biaya yang digunakan untuk

membuat produk tersebut, sehingga kemudian dapat ditentukan fungsi yang mungkin dimodifikasi. Tahap keempat adalah mencari cara untuk menurunkan biaya tanpa menurunkan nilai fungsi produk, atau menambah nilai produk tanpa menambah biaya. Pada tahap ini dapat digunakan pedoman untuk menurunkan biaya, seperti pada Tabel 2.3. Pedoman untuk menurunkan biaya disusun dalam bentuk pertanyaan, dimana jawaban positif untuk pertanyaan dari suatu cara mengindikasikan cara tersebut mungkin digunakan. Oleh karena itu, dimungkinkan penggunaan beberapa cara penurunan biaya dalam meningkatkan detail suatu rancangan.

Tabel 2.3. Pedoman Cara Menurunkan Biaya

Cara	Pedoman
Eliminasi	Apakah fungsi (beserta komponen yang digunakan) dapat dieliminasi? Apakah ada komponen yang berlebih?
Mengurangi	Apakah jumlah komponen dapat dikurangi? Apakah beberapa komponen dapat digabungkan menjadi satu?
Menyederhanakan	Apakah ada alternatif yang lebih sederhana? Apakah ada urutan perakitan yang lebih mudah? Apakah ada bentuk yang lebih sederhana?
Memodifikasi	Apakah ada material lebih murah yang memuaskan? Apakah metode pengerjaan dapat ditingkatkan?
Standardisasi	Apakah komponen dapat dibuat standar daripada special? Apakah dimensi komponen dapat dibuat standar atau modular? Apakah komponen dapat diduplikasi?

Pedoman untuk meningkatkan nilai produk disusun berdasarkan aspek yang ingin ditingkatkan, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.4. Sama halnya dengan cara menurunkan biaya, peningkatan nilai produk juga dimungkinkan dilakukan menggunakan lebih dari satu aspek berdasarkan pedoman aspek peningkatan produk.

Tabel 2.4. Pedoman Aspek Peningkatan Nilai Produk

Aspek	Penjelasan
Utilitas	Aspek-aspek kinerja produk seperti kapasitas, kecepatan, akurasi, tenaga, dan sebagainya
Reliabilitas	Kebebasan dari kerusakan atau malfungsi, kinerja dibawah berbagai kondisi lingkungan
Keamanan	Pengoperasian yang bebas dari risiko
Perawatan	Sederhana, pemeliharaan yang jarang bahkan tidak diperlukan
Masa Hidup	Jangka waktu penggunaan produk yang panjang
Polusi	Hasil sampingan yang kecil bahkan tidak ada dari produk, seperti kebisingan dan panas

Tahap terakhir adalah mengevaluasi dan memilih alternatif peningkatan yang dilakukan, karena beberapa alternatif mungkin tidak dapat dilakukan bersamaan. Tabel 2.5 menunjukkan bentuk umum hasil analisis dengan metode *value engineering*.

Tabel 2.5. Analisis Value Engineering Umum

Komponen	Fungsi	Value	Biaya (Rupiah)	
			Original	Re-design
Komponen 1				
Komponen 2				
Komponen 3				

2.2.7. Pengujian Data

Dalam penelitian kuantitatif, diperlukan beberapa uji dan / atau analisis statistik seperti uji kenormalan, uji keseragaman data, uji kecukupan data, uji hipotesis, maupun penentuan letak data (Nuryadi dkk., 2017). Dalam penelitian ini, dilakukan penentuan letak data antropometri dengan perhitungan persentil. Selain itu, digunakan pula uji hipotesis berupa uji t data berpasangan untuk mengetahui apakah kedua data yang digunakan memiliki perbedaan bermakna atau tidak.

a. Perhitungan Persentil

Persentil berasal dari kata persen, yang berarti per seratus, sehingga persentil dapat diartikan sebagai nilai per seratus dari sebuah kumpulan data numerik. Misalnya disebutkan persentil ke 30, berarti nilai ke 30 per seratus dari kumpulan data yang dicari persentil ke-30-nya. Umumnya, dalam sebuah perancangan produk, nilai yang digunakan adalah persentil 5, 50, atau 95. Perhitungan persentil dilakukan melalui 3 tahap, yaitu:

i. Mengurutkan Data

Tahap pertama adalah mengurutkan data dari nilai yang terkecil hingga terbesar untuk mempermudah dalam tahap-tahap selanjutnya, yaitu penentuan letak data serta nilai yang dicari dari data yang dimiliki.

ii. Menentukan Letak Data

Dalam tahap kedua, ditentukan letak dari nilai data yang dicari, yang dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.9. Perhitungan pada tahap ini menggunakan angka persentil yang diinginkan, jumlah data yang digunakan, serta koefisien. Nilai koefisien data yang digunakan dapat berupa 0 atau 1. Nilai koefisien 0 digunakan jika nilai persentil 0 adalah 0. Sedangkan nilai koefisien 1 digunakan jika nilai persentil 0 menggunakan nilai data pertama.

$$n_j = \frac{i(N+1-2C)}{100} \quad (2.9)$$

Keterangan:

n_j : Urutan data ke-j

i : Urutan persentil yang dicari

N : Jumlah data yang dimiliki

C : Koefisien berdasarkan data yang digunakan

iii. Menghitung Nilai Persentil

Setelah mengetahui letak nilai yang dicari, nilai persentil didapatkan sesuai dengan nilai dari urutan data yang telah ditemukan pada tahap kedua. Apabila letak nilai data yang ditemukan bukan merupakan bilangan bulat, seperti persamaan 2.10, nilai persentil dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11.

$$n_j = m_j, y_j \quad (2.10)$$

$$P_i = x_j + y_j(x_{j+1} - x_j) \quad (2.11)$$

Keterangan:

m_j : Bilangan bulat dari nilai n_j

y_j : Bilangan desimal dari nilai n_j

P_i : Persentil ke-i

x_j : Nilai dari m_j

b. Uji t Data Berpasangan

Uji t berpasangan merupakan salah satu uji hipotesis yang digunakan pada data yang saling berhubungan. Uji ini dilakukan untuk memastikan adanya perbedaan diantara kedua data tersebut. Salah satu ciri yang sering ditemui pada data berpasangan adalah sebuah objek yang diberi perlakuan berbeda (Nuryadi dkk., 2017). Dalam kasus semacam ini hasil uji t berpasangan dapat digunakan sebagai salah satu indikator pengaruh perlakuan tersebut terhadap objek penelitian.

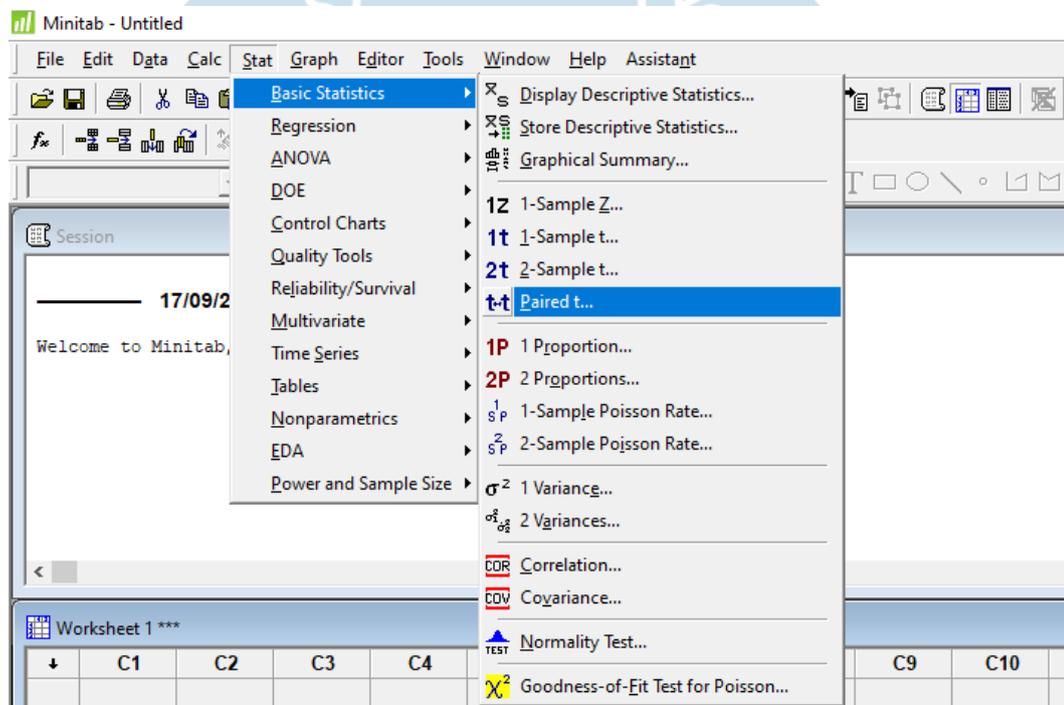
Sama seperti uji hipotesis lainnya, dalam uji t data berpasangan dapat digunakan uji hipotesis satu-ekor maupun uji hipotesis dua-ekor, serta hipotesis yang digunakan dapat ditentukan. Secara umum, uji t yang digunakan dalam penelitian menggunakan uji hipotesis dua-ekor dengan hipotesis 0 berupa rata-rata data (μ) pertama sama dengan rata-rata data kedua. Dengan begitu, hipotesis alternatif secara umum berupa rata-rata data pertama tidak sama dengan rata-rata data kedua, sehingga hipotesis yang digunakan dapat ditulis sebagai berikut:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \text{ atau } \mu_1 = \mu_2 \quad (2.12)$$

$$H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \text{ atau } \mu_1 \neq \mu_2 \quad (2.13)$$

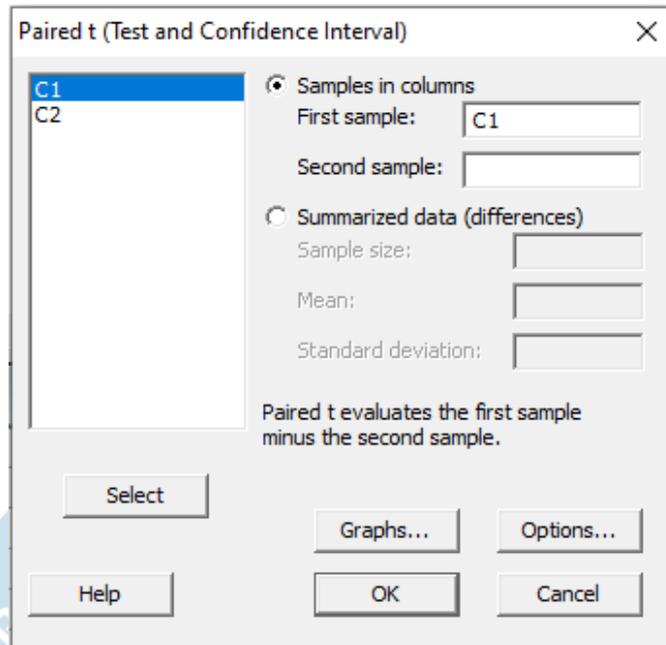
Salah satu cara yang dapat digunakan untuk melakukan uji t data berpasangan adalah menggunakan *software Minitab*. Tahapan yang dilakukan dalam penggunaan *software Minitab* untuk uji t data berpasangan secara umum adalah sebagai berikut:

- i. Menuliskan masing-masing kelompok data ke dalam dua kolom yang berbeda.
- ii. Memilih menu *Stat*, kemudian *Basic Statistics*, lalu memilih *Paired t*, seperti pada Gambar 2.3.



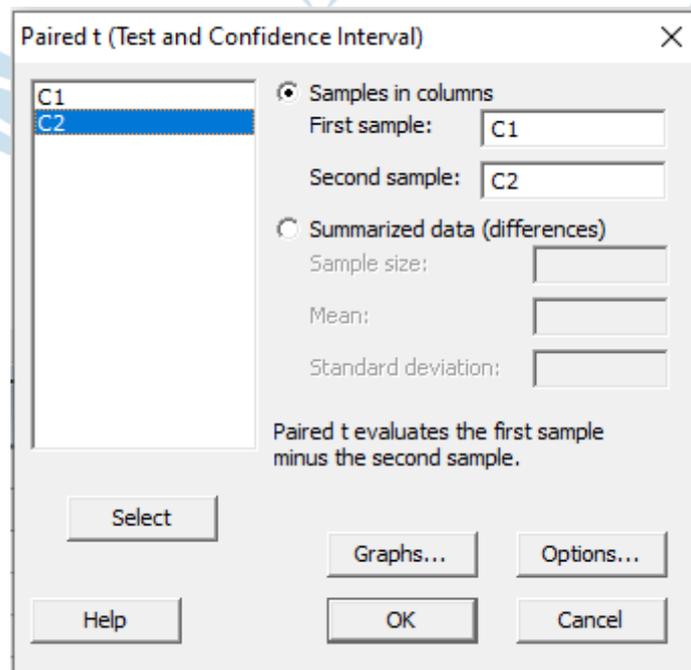
Gambar 2.3. Langkah Kedua Uji t Data Berpasangan dengan *Minitab*

- iii. Memilih nama kolom yang berisi kelompok data pertama dari kolom paling kiri dengan melakukan dua kali klik atau melakukan sekali klik pada kolom data kemudian melakukan klik pada tombol "*Select*"; lalu memastikan kolom data yang dipilih tertulis pada kolom "*First sample:*", seperti pada Gambar 2.4.



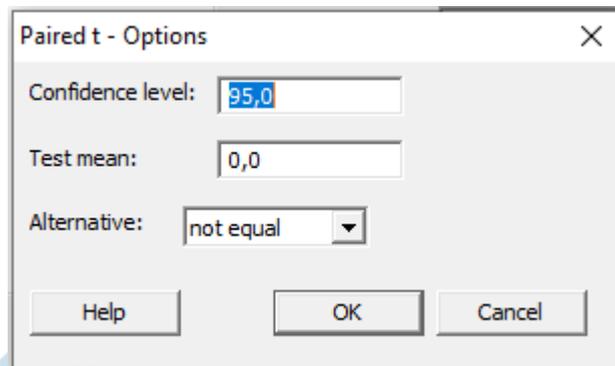
Gambar 2.4. Langkah Ketiga Uji t Data Berpasangan dengan *Minitab*

- iv. Memilih nama kolom yang berisi kelompok data kedua dari kolom paling kiri dengan melakukan dua kali klik atau melakukan sekali klik pada kolom data kemudian melakukan klik pada tombol “*Select*”; lalu memastikan kolom data yang dipilih tertulis pada kolom “*Second sample*.”, seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Langkah Keempat Uji t Data Berpasangan dengan *Minitab*

- v. Memilih tombol “Options” dan menuliskan tingkat keyakinan yang digunakan pada kolom sebelah “Confidence Level”, seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Langkah Kelima Uji t Data Berpasangan dengan Minitab

- vi. Memastikan kolom di sebelah “Test mean” berisi 0,0 dan kolom di sebelah “Alternative” berisi “not equal”. Kemudian klik “OK” pada kotak dialog “Paired t – Options”, dan klik “OK” lagi pada kotak dialog “Paired t (Test and Confidence Interval)”.
- vii. Menganalisis hasil uji t data berpasangan dengan melihat bagian *P-Value* pada jendela *Session*, seperti pada Gambar 2.7. Hipotesis 0 diterima apabila nilai *P-Value* lebih besar dari derajat ketelitian yang digunakan, yang berarti kedua kelompok data tidak memiliki perbedaan yang bermakna dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan. Sebaliknya, apabila nilai *P-Value* lebih kecil dari derajat ketelitian maka Hipotesis 0 ditolak, yang berarti kedua kelompok data memiliki perbedaan dalam tingkat kepercayaan yang telah ditentukan.

17/09/2021 14:45:11

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Paired T-Test and CI: C1; C2

Paired T for C1 - C2

	N	Mean	StDev	SE Mean
C1	12	35,317	2,344	0,677
C2	12	34,008	1,181	0,341
Difference	12	1,308	2,340	0,675

95% CI for mean difference: (-0,178; 2,795)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1,94 P-Value = 0,079

Gambar 2.7. Langkah Ketujuh Uji t Data Berpasangan dengan Minitab