

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dalam kurun waktu 5 tahun kebelakang mengenai proses cetak keramik cukup banyak dilakukan pembahasan di berbagai jurnal. Beberapa jurnal akan membahas mengenai pembuatan *plaster mold casting*, proses pembuatan keramik, dan analisis proses penyebab cacat produk.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan Krisnayudha (2022) mengenai pengembangan desain piring bermotif Batik Kawung, dihasilkan output berupa desain produk piring yang siap untuk diproduksi. Adapun penelitian yang dilakukan mulai dari tahap *generating idea* mengenai bagaimana memadukan motif batik tersebut ke dalam rancangan desain piring hingga merancang desain master model. Penelitian tersebut menghasilkan rancangan desain piring dengan 3 jenis ukuran yang berbeda yaitu diameter 18 cm, 22 cm, dan 27 cm. Adapun proses perancangan desain tersebut menggunakan bantuan beberapa *Software* CAD seperti Powershape dan Artcam. Penggunaan *Software* oleh peneliti sebelumnya dinilai mampu untuk menunjang kegiatan penelitian seperti mengonversikan gambar bentuk 2D menjadi bentuk 3D, menambahkan atribut ornamen batik Kawung pada piring.

Berdasarkan penelitian yang dituliskan Chang (2021), penelitian tersebut membahas mengenai teknologi yang dapat membuat pemodelan 3D untuk proses casting berdasarkan studi kasus pengecoran plaster. Chang dalam penelitiannya menyatakan bahwa penggunaan printer 3D dalam proses pembuatan keramik layak untuk diterapkan. Penggunaan printer 3D digunakan untuk pembuatan master model yang kemudian digunakan untuk membuat *plaster mold casting*. Pemodelan komputer yang digunakan untuk mengekstrak *prototype* printer 3D adalah Fusion 360 dari Autodesk. Tentunya kelebihan dari penelitian yang dilakukan Chang (2021) tetap mempertahankan kanon materi dan juga cara pengerjaannya. Penggunaan bantuan printer 3D dalam proses pencetakan master model akan menghemat penggunaan tenaga kerja serta lebih praktis dalam waktu pembuatannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Bakthiar, dkk (2016) mengenai pembahasan tentang metode analisis yang digunakan untuk menganalisa proses kegagalan dalam pengolahan piring di PT. Sango Ceramics Indonesia. Dalam penelitian yang dilakukan Bakthiar dkk, menyebutkan bahwa kegagalan pada proses produksi piring dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah pada saat proses produksi berlangsung. Tujuan dalam penelitian ini yaitu melakukan identifikasi jenis-jenis cacat yang terjadi di rantai produksi serta menentukan usulan perbaikan berdasarkan analisis *defect*. Analisis yang dilakukan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi penyebab dan akibat dari suatu proses yang berlangsung. Sedangkan analisis untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Pada penelitian ini menggunakan metode FTA pada penyebab yang memiliki nilai RPN tertinggi yang ditentukan dari proses analisis metode FMEA.

Keramik merupakan suatu substrat yang dihasilkan dari pemanasan suhu menurut penelitian oleh Zhang, dkk (2019). Dalam penelitiannya, Zhang, dkk meneliti mengenai tingkat residual stress dan potensi lengkungan dari keramik menggunakan simulasi terbatas. Pada penelitiannya mereka melakukan investigasi terkait *warping deformation* dan *residual stress* selama proses manufaktur. Penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil dari elastisitas panas dan plastisitas panas. Kasus *residual stress* dan *warping deformation* pada keramik terjadi selama proses pendinginan. Faktor yang menyebabkan dapat diidentifikasi berdasarkan *thickness* (ketebalan) dan *Pressure* (tekanan).

Penelitian yang dilakukan Anggoro, dkk (2015) yang membahas mengenai penerapan *reverse engineering*, hasil yang didapatkan yaitu desain cetakan pada keramik. Hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan bentuk master model cetakan baru pada keramik *tableware*. Pada penerapannya, peneliti menggunakan bantuan alat scanning CMM yang ditransformasikan ke *Software Powershape* 2015 menjadi gambar cetakan 3D model.



**Gambar 2. 1. Hasil Produk Penelitian oleh Anggoro dkk**

(Sumber: *Procedia Manufacturing*)

Pada saat proses pembuatan produk piring terdapat kendala yang dihasilkan dari desain sebelumnya yaitu adanya pinggiran piring yang *drop* atau melengkung. Faktor yang menyebabkan adanya sisi yang mengalami *drop* yaitu struktur tanah tidak kuat menampung tekanan saat berada pada temperatur yang panas. Langkah selanjutnya yang dilakukan yaitu merubah bentuk dari piring yang merubah pada sisi piringan tanpa mengubah dari bentuk sebelumnya.

Berdasarkan penelitian oleh Soebroto (2019), membahas mengenai teknik pembuatan keramik manual yang dapat dilakukan selain menggunakan alat putar. Pembuatan keramik dapat menggunakan cetakan yang terbuat dari bahan gipsium atau tanah. Prinsip pembuatan cetakan yang dibuat yaitu menggunakan master model yang kemudian digunakan untuk model dasar dalam pembuatan cetakan sebelum dilakukan pengecoran. Pengecoran yang dilakukan menggunakan tanah liat cair yang kemudian dimasukkan ke dalam cetakan.

Menurut penelitian oleh Effendi (2010), membahas tentang sifat plastis keramik terhadap suhu yang diterima saat proses pembakaran. Berdasarkan hasil pembakaran untuk produk keramik ukir berglasir dapat diketahui bahwa keadaan keramik saat proses pembakaran pada suhu 900°C - 1250°C akan mengalami keelastisan. Hal tersebut dikarenakan keadaan tanah liat sebelum pembakaran cenderung merupakan tanah yang basah. Saat proses pembakaran akan mengalami penyusutan yang diakibatkan dari penguapan sisa air pembentukan yang belum kering sempurna pada tahap pengeringan.

## 2.2. Penelitian Sekarang

Penelitian yang dilakukan saat ini dilakukan untuk melakukan perbaikan pada kendala yang dihadapi saat proses produksi piring bermotif batik kawung di Naruna Ceramic Studio. Naruna Ceramic Studio selaku mitra industri keramik memproduksi piring tersebut sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Pada saat kegiatan penelitian berlangsung, dihasilkan piring bermotif batik kawung sesuai dengan yang bentuk yang diinginkan. Akan tetapi saat proses produksi berlangsung, Naruna Ceramic Studio menemukan adanya hasil piring yang melengkung dan bengkok setelah proses cetak & pembakaran kiln. Hasil piring yang mengalami pembengkokan ditampilkan pada gambar berikut:



**Gambar 2. 2. Piring Berdiameter 27 cm Mengalami Pembengkokan Setelah Proses Pembakaran di Naruna Ceramic Studio: (a.) Pengambilan Gambar dari Samping (b.) Pengambilan Gambar dari Atas**

Adanya permasalahan saat pembuatan piring seperti yang ada pada gambar 2.2 (piring diameter 27 cm), Peneliti akan melakukan identifikasi permasalahan serta membuat usulan rancangan perbaikan berdasarkan kasus tersebut. Beberapa faktor penyebab pembengkokan pada saat proses produksi berlangsung digunakan sebagai data pada penelitian kali ini. Identifikasi penyebab dapat disebabkan pada saat pra-produksi maupun pada saat produksi berlangsung. Berdasarkan faktor-faktor penyebab yang berdampak pada saat proses produksi antara lain kondisi dan penempatan produk saat proses pembakaran berlangsung. Penelitian kali ini juga akan melakukan rancangan perbaikan terhadap permasalahan yang menyebabkan piring tersebut bengkok serta implementasi perbaikannya.

### 2.3. Dasar Teori

Penelitian mengenai perbaikan rancangan desain ini menggunakan beberapa acuan teori yang mendasari peneliti dalam melakukan perbaikan. Acuan dan dasar teori yang dimuat dalam penulisan kali ini diharapkan mampu menjadi gambaran bagi peneliti untuk mencapai tujuan penelitian. Berikut merupakan dasar teori penunjang yang digunakan dalam penelitian kali ini:

#### 2.3.1. Keramik

Keramik merupakan bahan yang dibuat berdasarkan tanah liat yang melewati proses pembakaran sehingga menghasilkan tekstur yang keras dan padat. Menurut Rangkuti, dkk (2008) yang dimuat dalam penulisannya, kata Keramik diadaptasi dari bahasa Yunani yakni *Keramos* yang memiliki arti benda pecah belah yang dibuat berdasarkan tanah. Sifat plastis yang dimiliki tanah liat membuat keramik dapat dibentuk sesuai dengan keinginan dari pengrajin.



**Gambar 2. 3. Hasil Pembakaran Keramik**

(Sumber: *KliknClean*)

Untuk membuat produk berbahan dasar tanah liat perlu dilakukan proses pembakaran hingga sifatnya mengeras. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Efendi (2010), proses pembakaran tanah liat yang masih agak lunak memerlukan pembakaran hingga suhu 600°C - 1300°C hingga kadar air yang terkandung menghilang. Akibat dari pembakaran yang dilakukan membuat produk keramik tidak mudah hancur, lebih padat dan keras, dan juga kedap air.

#### 2.3.2. Jenis Cacat Produk Keramik

Pada saat proses pembuatan keramik, tanah liat yang digunakan sebagai bahan dasar melewati beberapa proses hingga pada proses pembakaran. Proses akhir dari pembuatan keramik yaitu pada tahapan pembakaran. Produk keramik hasil pembakaran biasanya mengalami cacat yang menyebabkan tampilan menjadi berubah pada hasil produk akhir. Berikut merupakan jenis cacat produk yang

sering dijumpai saat proses pembuatan keramik:

a. *Shrinkage* (Penyusutan)

*Shrinkage* merupakan salah satu jenis cacat yang terdapat pada proses produksi keramik. *Shrinkage* atau yang lebih dikenal sebagai penyusutan tercipta karena adanya perbedaan waktu pengerasan pada beberapa bagian yang terjadi pada saat proses pengecoran. Rangkuti dkk (2008) dalam penelitiannya menyebutkan tentang pengeringan adonan sebelum pembakaran agar kandungan air dalam adonan berkurang. Saat proses pembakaran berlangsung dapat mengakibatkan perubahan bentuk akibat tidak samanya titik matang adonan keramik. Hal tersebut yang sangat diantisipasi ketika penyusutan yang terjadi hingga menyebabkan bentuk atau motif dari produk pecah.

b. *Bubble* (Gelembung)

*Bubble* merupakan salah satu jenis cacat produk yang juga terdapat pada proses produksi keramik. *Bubble* atau yang lebih dikenal dengan adanya gelembung udara disebabkan pada saat proses pencetakan tanah dengan adonan basah menurut penulisan Rangkuti, dkk (2008). Proses pembakaran yang berlangsung akan mengakibatkan terbentuknya rongga udara yang berpotensi membentuk lubang pada keramik. Dalam pemaparannya, Kurniawan dkk (2021) menyebutkan lubang yang tercipta dari hasil pembakaran disebut dengan *pinhole*.

c. *Restcorner* (Pembengkokan)

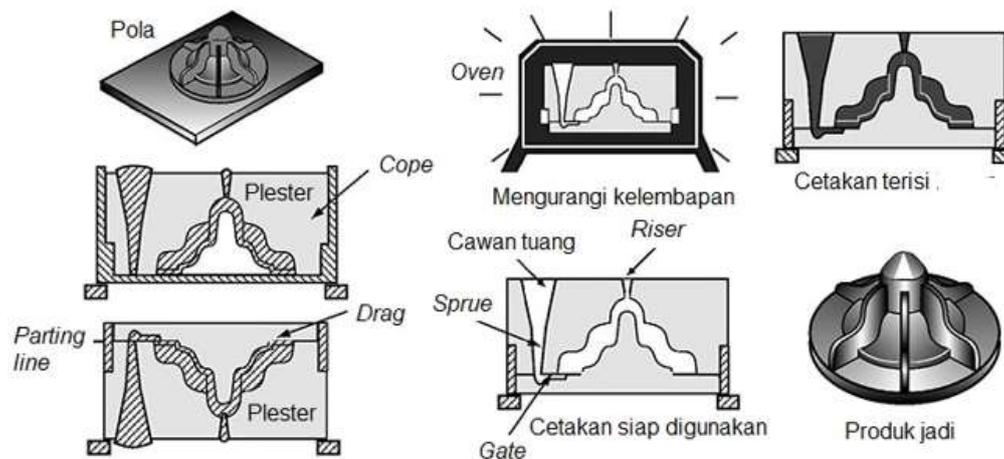
*Restcorner* merupakan salah satu jenis cacat produk yang juga dialami saat proses produksi keramik. Fenomena *restcorner* dalam pemaparan yang dijelaskan dalam penelitian Kurniawan dkk (2021) dikenal dengan pembengkokan yang terjadi karena adanya perbedaan waktu penyusutan dan juga pengeringan. Menurut Rangkuti, dkk (2008) Pembengkokan dapat terjadi adonan yang terlalu kering menyebabkan perbedaan titik matang saat pembakaran sehingga bisa mengalami perubahan bentuk. Pembengkokan produk juga dapat disebabkan karena ukuran ketebalan produk sehingga tidak dapat menahan bentuk secara keseluruhan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan mengubah ukuran yang mengalami pembengkokan serta mengurangi tekanan pada proses master cetakan.

### 2.3.3. Metode Pembuatan Keramik Konvensional

Pembuatan produk keramik konvensional yang paling umum meliputi proses:

#### a. Penuangan Slip

Penuangan slip merupakan suatu metode pembentukan keramik melalui pengecoran yang menggunakan cetakan dari plaster atau yang lebih dikenal cetakan gipsum. Raffie (2021) menyebutkan teknik penuangan tersebut memiliki kelebihan pada bentuk produk yang kompleks dan bertekstur. Pada proses pengecoran ini melibatkan cetakan yang dibuat dari gipsum/plaster saat pembuatan produk.



**Gambar 2. 4. Metode Penuangan Menggunakan Master Cetakan**

(Sumber: *Mechanica Technical Solution*)

Saat proses pembuatan cetakan berlangsung, cetakan perlu ditunggu sekitar 10-20 menit sampai plester/gipsum benar-benar mengeras dan bisa digunakan untuk mencetak. Cetakan plaster memerlukan master model untuk membentuk sesuai dengan pola yang diinginkan. Setelah hasil plester mengering kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kelembaban. Campuran plaster perlu disesuaikan dengan kebutuhannya karena campuran yang tidak sesuai akan terlalu keras sehingga sulit untuk melepaskan plester dengan master model.

Campuran bahan plaster (Slip) yang dimuat dalam tulisan Raffie (2021) diantaranya: Tanah liat, Air & *Sodium Silicate*. Bahan tersebutlah yang kemudian dituang ke dalam master cetakan hingga mengisi ke dalam seluruh permukaan. Proses pembentukan terjadi ketika lapisan tanah liat yang berada di dalam cetakan mulai mengering karena cairan terserap ke dalam master cetakan.

b. Pembentukan *Handmade*

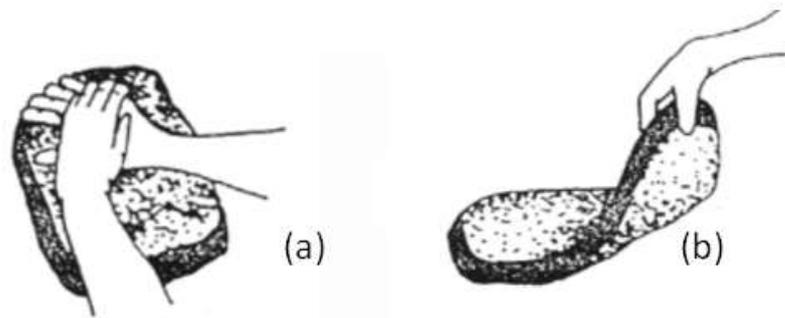
Proses pembentukan secara langsung dengan tangan atau yang dikenal sebagai proses *handmade* merupakan teknik pembentukan yang paling umum dilakukan. Pembentukan tersebut dijelaskan oleh Rangkuti (2008) meliputi dua tahapan yaitu pembentukan awal (*primary forming*) dan pembentukan akhir (*secondary forming*). Adapun teknik pembentukan yang paling umum digunakan yaitu Teknik Roda Putar. Menggunakan adonan yang terbuat dari tanah liat kemudian diletakkan di tengah permukaan meja putar.



**Gambar 2. 5. Teknik Roda Putar**

(Sumber: Rangkuti, 2008)

Teknik memutar di atas roda tersebut menghasilkan produk keramik yang berbentuk silindris. Kecepatan putaran dapat disesuaikan dengan kebutuhan baik secara manual maupun bantuan mekanis. Rangkuti (2008) menyebutkan bahwa teknik pembuatan ini meninggalkan jejak yang disebut *striation* akibat adanya penekanan dalam putaran. Adapun teknik pembentukan lainnya yaitu gabungan antara teknik pijat, teknik spiral, dan teknik lempeng.



**Gambar 2. 6. Teknik Gabungan: (a) Teknik Pijat, (b) Teknik Lempeng**

(Sumber: Rangkuti, 2008)

Teknik gabungan merupakan perpaduan antara teknik lempeng, teknik spiral, teknik pijat untuk menghasilkan bentuk yang kompleks (Soebroto, 2019). Pembentukan tersebut dilakukan untuk membuat produk yang dapat disesuaikan dengan kreativitas dari pembuat. Tahapan yang dapat dilakukan yaitu membuat lempengan adonan, hingga menekan tanah sesuai dengan bentuk.

#### **2.3.4. Metode Desain Produk Keramik dengan Teknologi CAD/CAM**

*Computer Aided Design* merupakan sistem *Software* perancangan gambar yang digunakan untuk menggambarkan produk secara visual. *Software* CAD digunakan untuk mengetahui beberapa informasi terkait rancangan berupa bentuk produk, geometri, dimensi, serta massa produk rancangan. *Solid* model yang dihasilkan dari *Software* CAD memungkinkan untuk memvisualisasikan komponen yang lebih realistis. Berikut merupakan *Software* CAD yang digunakan sebagai penunjang dalam proses perbaikan desain, antara lain:

- i. Artcam



**Gambar 2. 7. Logo Software Artcam**

(sumber: [www.exoda.com](http://www.exoda.com))

Salah satu *software* yang digunakan dalam pembuatan motif menjadi bentuk 3D art yaitu *Artcam*. Penggunaan *software* tersebut dinilai mampu menunjang kegiatan mendesain dengan gambar hasil render yang optimal. Penggunaan *software* tersebut jauh lebih ringan apabila digunakan pada komputer berspesifikasi menengah-atas. Melalui *software* ini, penelitian yang dilakukan oleh Bawono dkk (2015) menghasilkan hasil desain untuk pembuatan souvenir logam bertema wisata kota Jogja. Hasil yang diperoleh dari *software* tersebut cukup detail dan akurat sehingga penggunaannya mampu untuk menunjang proses desain pada penelitian kali ini.

ii. Powershape



**Gambar 2. 8. Logo Software Powershape**

(sumber: [www.CAMTEK.in](http://www.CAMTEK.in))

Powershape merupakan *Software* CAD 3D Desain yang digunakan untuk menggambar produk berbasis CAD. *Software Powershape* menawarkan fitur yang digunakan dalam mengimplementasikan bentuk CAD ke produk nyata menggunakan mesin CNC. Berbeda dengan model solid, model dalam *Software Powershape* yaitu bermain pada permukaan. *Software Powershape* yang digunakan yaitu versi 2016 karena *operating system* yang bekerja tidak terlalu berat. Hasil gambar yang muncul pada *Software Powershape* memiliki hasil yang akurat dan detail. Namun kelemahan dari *Software* ini terbatas pada *user interface* yang masih sederhana. Melalui *Software* ini, penelitian yang dilakukan oleh Krisnayudha (2022) menghasilkan hasil desain untuk master model piring bermotif Batik Kawung.

### 2.3.5. Teknik Pembakaran Keramik

Pembakaran pada produk keramik dilakukan untuk mematangkan tanah liat menjadi keras. Adapun pengamatan proses pembakaran yang dilakukan Rangkuti (2008) meliputi perubahan warna yang terjadi. Dalam tulisannya, ia mengklasifikasikan tahapan pembakaran menjadi 3 bagian, yaitu tahap *dehidrasi*, tahap *reduksi*, tahap *oksidasi*, dan tahap *vitrifikasi*. Tahap *dehidrasi* diawali dengan proses penguapan air dari adonan tanah liat (lempung). Tahap kedua yaitu *reduksi*, merupakan proses pemisahan karbon dan juga mineral yang ada dalam tanah liat. Tahap ketiga yaitu *oksidasi*, merupakan proses untuk mengurangi karbon sehingga suhu yang dibutuhkan pembakaran cukup. Tahap keempat yaitu *vitrifikasi*, merupakan proses pengikatan mineral yang terdapat dalam tanah liat. Pada tahap ini, tanah liat yang mengandung mineral akan berubah warna menjadi merah kecoklatan.

Hasil identifikasi warna pada tahap pembakaran dijelaskan melalui tabel sebagai berikut:

**Tabel 2. 1. Identifikasi Perubahan Warna Proses Pembakaran**

Tahap Pembakaran	Warna Bagian Tengah	
	Merata	Tidak Merata
Dehidrasi	-	Merah coklat
Reduksi	-	Hitam
Oksidasi	Merah, Krem, Coklat, Abu-abu	-
Vitrifikasi	Putih, Krem, Abu-abu	-

(Sumber: Rangkuti, 2008)

Namun warna yang dihasilkan tidak hanya muncul selama proses pembakaran saja, melainkan pada jenis tanah liat dan juga adonannya.

### 2.3.6 Teknik Glasir Produk Keramik

Pelapisan glasir pada produk keramik sangat umum digunakan, terutama untuk produk-produk keramik yang bersifat *tableware*. Penggunaan glasir sendiri berfungsi untuk menutupi permukaan keramik karena memiliki lapisan yang bening, licin dan mengkilap. Rangkuti (2008) menyebutkan bahwa teknik glasir bisa dilakukan dengan proses celup, semprot, maupun kuas. Kelebihan dari proses celup yaitu lapisan glasir yang merata serta tidak meninggalkan bekas pada permukaan benda.

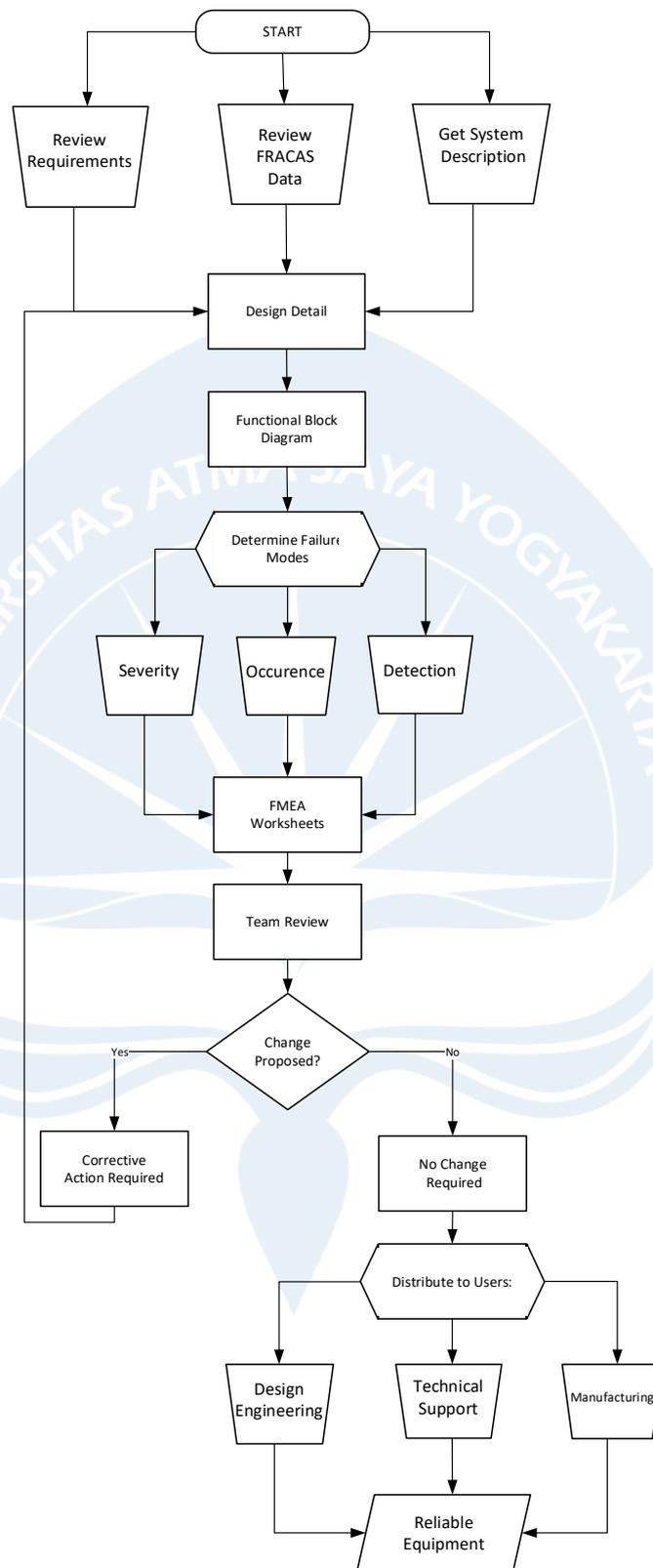
### 2.3.7 Failure Modes Effect & Analysis (FMEA)

*Failure Mode Effect & Analysis* atau yang biasa dikenal dengan FMEA merupakan suatu metode analisis yang menilai kegagalan yang muncul dari suatu proses. Penentuan FMEA dapat mengacu pada kegagalan yang bersifat pada proses kerja dari suatu pekerjaan dan juga keselamatan kerja (K3). Namun pada penelitian kali ini konteks kegagalan yang diidentifikasi yaitu kualitas produk yang dihasilkan. Kegagalan dalam konteks kualitas tersebut dinilai berdasarkan ada tidaknya cacat produk yang dihasilkan.

Dalam penerapannya, metode FMEA akan mengidentifikasi potensi kegagalan yang berujung pada rekomendasi untuk menentukan program yang efektif. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Villacourt (1992), prioritas dari kegagalan tersebut dapat dihitung berdasarkan *Risk Priority Number* dari metode FMEA. Metode FMEA merupakan langkah untuk menganalisis sistem dengan cara membedah menjadi beberapa level yang berbeda. Semua level tersebut berfungsi sebagai persiapan dalam mencari potensi dari suatu pekerjaan atau tahapan dari setiap fungsi. Dalam menentukan potensi kegagalan beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Identifikasi semua kegagalan yang terjadi dari setiap proses.
2. Identifikasi efek dari setiap kegagalan proses.
3. Identifikasi potensi penyebab dari kegagalan.
4. Melakukan kontrol terhadap kegagalan yang terjadi.
5. Penentuan *Risk Priority Number*.

Berdasarkan langkah-langkah penentuan tersebut, Berikut merupakan proses penentuan nilai dari metode FMEA yang digambarkan melalui diagram sebagai berikut:



**Gambar 2. 9. FMEA Process**

(sumber: Villacourt,1992)

### **2.3.8 Cause & Effect Analysis (Fishbone Diagram)**

*Cause & Effect Analysis* merupakan suatu teknik dalam menganalisis permasalahan berdasarkan faktor-faktor penyebab. Menurut Coccia (2018) teknik menganalisis tersebut disusun menyerupai tulang ikan dengan mengarah pada pokok permasalahan yang ada. Susunan atas faktor-faktor penyebab tersebut kemudian dikenal sebagai *fishbone diagram*. Faktor-faktor penyusun tersebut disusun dan dikelompokkan ke dalam beberapa kategori antara lain:

a. Manusia (*Man*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya campur tangan dari manusia atau tenaga kerja.

b. Mesin (*Machine*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya kesalahan yang disebabkan alat yang digunakan.

c. Metode (*Method*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya cara atau metode yang kurang tepat sehingga mempengaruhi permasalahan yang terjadi.

d. Bahan baku (*Material*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya penggunaan material penyusun yang tidak tepat sehingga mempengaruhi permasalahan.

e. Biaya (*Money*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya biaya yang harus dikeluarkan sehingga mempengaruhi permasalahan yang terjadi.

f. Lingkungan (*Environment*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya faktor eksternal dari luar sistem yang secara tidak langsung maupun langsung berpengaruh pada permasalahan.

g. Sumber daya (*Energy*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari adanya campur tangan sumber daya dalam sistem yang mempengaruhi masalah.

#### h. Pengetahuan (*Information*)

Kategori yang mengelompokkan faktor-faktor penyebab didasari dari kurangnya informasi atau petunjuk sehingga mempengaruhi permasalahan yang ada.

### 2.3.9. Fault Tree Analysis

*Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan suatu teknik dalam menganalisis penyebab masalah yang ditemukan dalam suatu proses. Penentuan *fault tree analysis* dilakukan berdasarkan pertimbangan permasalahan pada proses yang paling kritis. Proses *fault tree analysis* dilakukan dengan menganalisis semua potensi yang menyebabkan permasalahan tersebut muncul. Potensi tersebut diuraikan menjadi beberapa macam kategori dan disusun menyerupai akar pohon. Penentuan dalam *fault tree analysis* perlu mengidentifikasi potensi permasalahan hingga ke akar penyebabnya.

Menurut Priyanta (2000), Sebuah *fault tree analysis* mengilustrasikan keadaan dari komponen-komponen sistem dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Simbol grafis yang dinyatakan dikenal dengan gerbang logika (*logic gate*). Sebuah *fault tree analysis* secara umum dilakukan dalam 4 tahap antara lain:

#### a. Definisikan problem dan kondisi batas dari sistem

Poin ini secara langsung akan mendefinisikan problem dari suatu *critical event* yang terjadi. Pendefinisian meliputi 3 proses yaitu apa, dimana dan kapan. Apa mendefinisikan terkait *problem* apakah yang sedang terjadi, dimana mendefinisikan terkait lokasi dimana *critical event* tersebut terjadi, sedangkan kapan mendefinisikan terkait waktu atau saat apa *critical event* berlangsung.

Berdasarkan proses pendefinisian tersebut, langkah selanjutnya yaitu menetapkan batasan dalam sistem (*boundary condition*). Dalam menentukan batasan perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Batasan fisik : mengenai bagian dalam sistem yang akan dimasukkan ke dalam analisis.
- Kondisi awal : mengenai kondisi awal saat proses produksi berlangsung.
- Kondisi batas : mengenai adanya pengaruh eksternal yang juga dimasukkan ke dalam analisis.
- Level resolusi : mengidentifikasi berbagai alasan potensial yang mempengaruhi kegagalan.

b. Perancangan *fault tree*

Perancangan *fault tree* dimulai dari mencantumkan pokok permasalahan (*top event*) yang kemudian dikoneksikan ke level penyebab menggunakan sebuah gerbang logika. Level penyebab tersebut diambil dari kegagalan yang terdapat pada fungsi utama sistem. Penentuan level penyebab perlu dianalisa sampai ke semua penyebab pada *fault event*. Dalam merancang *fault tree* perlu melakukan analisis secara mendalam terkait *basic* yang terdapat pada *fault event*. Dalam penentuan *basic* tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu: *primary failures*, *secondary failures*, dan *command faults*.

c. Mengidentifikasi minimal *cut set* atau *path set*

*Cut set* merupakan kombinasi dari berbagai *fault event* yang ada dalam pembuatan *fault tree analysis*. Adanya *cut set* tersebut akan memberikan informasi keterkaitan tentang berbagai *fault event* yang terhubung. Dalam pembuatan *fault tree* yang sederhana memungkinkan adanya minimal *cut set* tanpa menggunakan algoritma tertentu atau sesuai dengan prosedur formal yang berlaku.

d. Melakukan analisis pada *fault tree*

Analisis *fault tree* dapat dilakukan berdasarkan tingkat kritis yang diukur dari sebuah *cut set*. Faktor lain yang penting dalam penentuan kekritisannya antara lain: *human error*, kegagalan komponen, kegagalan peralatan, kegagalan penunjang produksi dan lainnya.