

IDENTIFIKASI PENYEBAB CACAT *PULLEY* PADA PROSES PENGECORAN DI PT HIMALAYA NABEYA INDONESIA DENGAN METODE *FMEA & RCA*

M. Derajat Amperajaya, Daryanto
Teknik Industri – Universitas INDONUSA Esa Unggul, Jakarta
Teknik Industri – Universitas INDONUSA Esa Unggul, Jakarta
Jl. Arjuna Utara Tol Tomang Jakarta 11510
derajat.amperajaya@indonusa.ac.id

Abstrak

Foundry atau industri pengecoran adalah salah satu industri *manufacture* yang berfungsi mengubah bahan baku menjadi bahan jadi dengan tingkat kesulitan yang cukup tinggi, artinya industri ini berpotensi cukup besar untuk menghasilkan produk cacat. Sebagai salah satu pemain dibidang pengecoran logam, dalam berproduksi PT Himalaya Nabeya Indonesia banyak mengalami kendala yang terhitung sangat sering terjadi yaitu munculnya jenis cacat Rompal Pasir dan Pasir Slag yang sangat merugikan pihak perusahaan. Dengan menggunakan *Pareto Chart* diperoleh persentase jumlah cacat sebesar 42% untuk Pasir slag, 28.6% untuk Rompal Pasir, dan 29,4% untuk cacat lainnya. Melalui metode *Fishbone* didapat faktor-faktor di setiap elemen Manusia, Mesin, Material, Metode, dan Lingkungan yang menjadi penyebab cacat Rompal Pasir dan Pasir Slag tersebut. Dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) dapat ditelusuri untuk setiap Modus dan Efek Kegagalan Potensial berupa Faktor-faktor Penyebab Kegagalan Mekanisnya, Desain Kontrol Pencegahan, Desain Kontrol Deteksi, Aksi Rekomendasi, serta nilai RPN (*Risk Priority Number*). Melalui FMEA didapat nilai RPN terbesar untuk cacat Pasir Slag adalah 442 sedangkan untuk cacat Rompal Pasir 392. Hasil analisis FMEA diuji menggunakan *Root Cause Analysis* (RCA) sehingga dapat disimpulkan bahwa akar permasalahan utama penyebab terjadinya cacat terbesar adalah tidak dilakukannya beberapa pengujian untuk mengetahui spesifikasi pasir cetak yang dibutuhkan seperti, pengujian besar butir, pengujian kekuatan, pengujian permeabilitas, pengujian kadar air, dan pengujian kadar tanah liat.

Kata Kunci: *Rompal Pasir, Pasir Slag, Pareto Chart, Fishbone, FMEA, RCA*

Pendahuluan

Foundry atau industri pengecoran logam merupakan salah satu industri yang semakin ketat tingkat persaingannya. Dalam pengecoran logam banyak hal yang dapat mempengaruhi tingkat keberhasilan suatu produk hasil coran. PT. Himalaya Nabeya Indonesia sebagai salah satu perusahaan yang bergerak pada bidang pengecoran ingin selalu menghasilkan produk yang berkualitas ditengah kompetisi yang sangat ketat saat ini dimana konsumen menuntut produk yang mempunyai kualitas sesuai dengan keinginannya.

Salah satu produk pengecoran yang dihasilkan PT. Himalaya Nabeya Indonesia adalah *pulley* untuk bus, truk, traktor, mesin diesel dan mesin lainnya. Perusahaan ini sekarang sedang berusaha meningkatkan jaminan kualitas kepada konsumen, karena perusahaan yang dapat memberikan jaminan kualitas yang baik tentu memiliki potensi untuk menguasai pangsa pasar yang ada.

Dalam setiap produksinya PT. Himalaya Nabeya Indonesia berusaha untuk memperhatikan

kualitas secara ketat, namun tetap saja ditemukan sejumlah kecacatan dari produk yang dihasilkan, untuk mengurangi dan memperbaiki jumlah kecacatan yang muncul tersebut pihak perusahaan menganggap perlu untuk mengadakan penelitian sehingga kualitas dari produknya dapat ditingkatkan.

Tinjauan Teori

Pengecoran dilakukan pertama kali di *Mesopotamia* kira-kira 3.000 tahun sebelum masehi, teknik ini diteruskan ke Asia Tengah, India, Asia Tenggara, Jepang, hingga ke Eropa. Cara pengecoran pada zaman dulu ialah dengan cara menuangkan secara langsung logam cair yang didapat dari bijih besi kedalam cetakan, jadi tidak dengan jalan mencairkan kembali besi kasar seperti pada zaman sekarang. Setelah ditemukan kokas di Inggris pada abad 18 maka kokas dapat digunakan untuk mencairkan kembali besi kasar yang di dapat, sama dengan yang dilakukan seperti pada zaman sekarang.

Pengertian penggilingan pasir

Penggilingan atau Pencampuran adalah langkah penting dalam pengolahan pasir, tanah lempung, air dan bahan tambahan di butuhkan pada pasir cetak dan penggilingan dan pencampuran pada pasir tersebut sampai mendapat distribusi yang merata dari bahan-bahan tambahan itu sangatlah penting. Pencampuran yang tidak baik tidak akan memberikan kekuatan yang cukup pada pasir

Pengertian cetak pasir

Cetak pasir dengan pengguncangan adalah mekanisme dari cara pembuatan cetakan yang merupakan benturan tegak berulang. Rangka cetakan, cetakan dan pasir diangkat dan dijatuhkan dalam jangka waktu yang tetap Pasir yang telah di campur pada mesin *sandmixer* di salurkan kedalam mesin cetak pasir, kemudian ditampung dalam tungku yang ada dalam mesin cetak pasir. Prinsip pembuatan cetakan pada mesin ini adalah dengan cara menekan atau dengan mengguncangkan mesin naik turun dengan tiupan angin kompressor pasir kedalam cetakan yang telah dipasang pada mesin tersebut. Cetakan pola dapat disesuaikan dengan apa yang akan di cor. Tetapi secara umum mesin cetak pasir ini digunakan untuk membuat cetakan yang berukuran kecil dan sedang.

Pengertian pemanasan persiapan peleburan bahan cor

Proses ini dilakukan pada alat mesin kupola langkah kerja yang dilakukan untuk proses pemanasan adalah mempersiapkan alat Bantu yang diperlukan seperti Cangkul, kampak, skop, palu, kuas, timbangan. Pelapisan dinding Kupola, pelapisan gayung, pelapisan bak penampung dengan bahan pelapis, Batu SK 34, Batu SK 32, semen api batuapi, tanah liat, *graphite*, *foundry sand*. Aduk bahan dengan air sampai liat dan lengket. Lapiskan pada dinding Kupola, bak penampung, gayung untuk tuang cairan. Keringkan pelapisan tersebut dengan bahan dasar menggunakan kayu, minyak tanah, batu bara. pemanasan dinding kupola dilakukan kurang lebih 2 jam. Pemanasan bak penampung dan gayung secukupnya dengan membuat api diatas bak. Setelah semua lapisan kering Kupola siap untuk pengecoran. Setiap dua kali pengecoran ganti batu api.

Pengertian peleburan logam

Peleburan logam dengan menggunakan mesin kupola masih banyak dipergunakan untuk

peleburan logam, tetapi sekarang tanur listrik lebih banyak dipergunakan dengan alasan biaya peleburan logam yang murah. Dalam peleburan logam disamping pengaturan komposisi kimia dan temperatur perlu juga mengatur jumlah dan macam inklusi bukan logam

Semua proses peleburan logam hanya di lakukan pada mesin kupola atau dapur cor, sebelum proses peleburan logam dikerjakan terlebih dahulu menyiapkan alat bantu seperti *trolley*, skop dan palu. dan memastikan bahwa ukuran bahan baku bisa masuk kedalam dapur cor.

Pengertian penuangan

Cairan baja yang dikeluarkan dari kupoladiterima dalam ladle dan dituangkan kedalam cetakan. Ladle dilapisi batu tahan api hal ini dilakukan untuk menyimpan panas yang ditimbulkan dari baja tersebut. Dalam prose penuangan diperlukan pengaturan tempertur penuangan dengan temperatur 1100-1600 ° C. Dan kecepatan penuangan dan ketenangan penuangan akan mencegah dari cacat keropos/bolong, entuk tidak sempurna, dan patah karena benturan kecepatan penuangan yang rendah akan mengakibatkan cairan yang buruk, dan ketelitian permukaan yang buruk pula. Oleh karena itu kecepatan penuangan yang baik harus ditentukan mengingat macam cairan, ukuran coran dan besar kecilnya cetakan.

Pada proses ini terdiri dari beberapa tahap yaitu: penuangan, pendinginan, pengeluaran coran, mendinginkan cetakan, melapisi permukaan cetakan, cor atau tuang digunakan untuk membuat benda cor yang berlubang dengan menggambarkan cetakan logam tanpa inti Setelah proses pencairan logam selesai dan unsur paduan yang digunakan telah sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh pihak pabrik untuk jenis baja cor yang akan diproduksi, maka langkah selanjutnya adalah penuangan logam cair tersebut kedalam cetakancair yang ada pada mesin kupola kita tuangkan ke dalam lubang cetakkan dengan menggunakan gayung menuangkan logam cair ke lubang cetakkan.

Pengertian pembongkaran cetakan

Proses pembongkaran cetakan dilakukan setelah *part* telah melewati proses pendinginan yang cukup dan pembongkaran dilakukan agar benda cor yang dihasilkan dapat terlihat hasilnya, langkah kerja yang dilakukan pada proses ini adalah Siapkan alat bantu palu, skop, sapu dan *trolley* Memastikan *part*

siap di bongkar setelah proses pendinginan secukupnya. Bongkar pasir hingga benda cor terlihat jelas dan biarkan hingga dingin. Setelah benda cor dingin, mulai digetok dengan ketentuan Bagian yang di getok adalah tap atau lebih cor. Apabila getok tap memungkinkan benda cor rusak maka tap atau lebih cor di gerinda. kumpulkan benda cor secara teratur, selanjutnya untuk proses *sandblast*. Pisahkan pasir resin yang menjadi abu dengan pasir hitam Pasir resin yang menjadi abu di buang dan pasir hitam yang masih bagus untuk dipakai ulang.

Pengertian pencucian

Produk yang telah dipisahkan dengan moulding kemudian di bawa menuju bagian mesin pembersih pasir (*sandblasting machine*). Hasil coran sebagian besar masih kotor dengan masih banyaknya terdapat pasir yang menempel pada produk hasil coran. Dengan menggunakan mesin ini pasir yang menempel pada produk akan secara otomatis terhisap semuanya. Prinsip kerjanya sangat sederhana sekali yaitu dengan cara dilakukan penembakan dengan menggunakan peluru yang berdiameter 2 mm yang ada pada mesin tersebut. Waktu yang dibutuhkan sekitar 4 menit untuk produk sebanyak 1 keranjang.

Pengertian penyusunan cetakan

Penyusunan cetakan *part* adalah proses *finishing* dari divisi *foundry* yaitu menyusun cetakan *part* sesuai tempatnya proses ini dilakukan agar pada saat pengambilan cetakan *part* pada saat akan digunakan lagi tidak susah dan rumit langkah yang dilakukan untuk penyusunan *part* adalah Lepas cetakkan apabila akan ganti part yang di cetak. Gunakan *crane* yang tersedia untuk mengangkat cetakkan. Bersihkan cetakan, Letakkan cetakkan pada rak cetakan sesuai tempatnya

Kualitas

Kualitas merupakan kebutuhan konsumen yang harus terpenuhi dan tercukupi sehingga konsumen menjadi puas. Kualitas dan kepuasan pelanggan mempunyai peran yang penting disamping perubahan-perubahan besar yang terjadi dalam dunia kerja.

Pengertian kualitas menurut beberapa ahli antara lain :

Menurut ISO 9000 (*International Organization For Standardization*, 1992) kualitas adalah keseluruhan

dari fungsi dan karakteristik dari produk dan pelayanan yang memperhatikan kemampuan untuk memuaskan kebutuhan.

Radford mengungkapkan bahwa kualitas adalah kombinasi dari berbagai jenis karakteristik yang mempunyai cirri-ciri khusus yang membedakan satu dengan yang lainnya, atau sebuah jenis produk yang mempunyai karakteristik yang berbeda dengan produk sejenis dari pesaingnya. Menurut *J.M Juran* Kualitas merupakan kesesuaian dalam penggunaannya. Dalam arti dapat memenuhi keinginan dari pelanggan atau pemakai. Menurut *Scherheubach* mengungkapkan bahwa kualitas ditentukan oleh pelanggan; pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut. Menurut *David L. Geotsh dan Davis* mengungkapkan bahwa kualitas adalah suatu kondisi dimana yang berkaitan dengan produk pelayanan, orang, proses dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan.

Pengendalian Kualitas

American National Standard Institutes mendefinisikan bahwa Pengendalian kualitas adalah proses operasional teknik dan aktifitas yang memenuhi kualitas produk atau pelayanan yang memuaskan kebutuhan yang diinginkan.

Menurut *Shall World Wide* Pengendalian kualitas adalah penerapan teknik dan pelayanan dengan standard dan mutu yang tinggi untuk mencapai kepuasan konsumen.

Pengendalian kualitas adalah sebuah sistem dimana kualitas sebuah produk atau pelayanannya diproduksi secara ekonomis dan memenuhi permintaan dari pemakai atau pengguna. (*Japan Institut Standard*).

Pengendalian Kualitas Total

Pengendalian Kualitas Total adalah sebuah sistem yang efektif untuk mempersatukan *Quality Development, Quality Maintenance, Quality Improvement* dari berbagai jenis pekerjaan didalam sebuah organisasi yang memungkinkan untuk pemasaran, teknik, produksi, dan pelayanan pada tahap paling ekonomis yang dapat memenuhi seluruh kepuasan konsumen.

Seorang insinyur Jepang Ishikawa dengan persatuan insinyur dan ahli teknik Jepang (JUSE, 1967). Ishikawa juga mengajukan konsep mengenai

pengendalian kualitas total dengan prinsip fundamental yaitu :

1. Kualitas harus diutamakan lebih dahulu, bukan hanya pada keuntungan jangka pendek semata.
2. Orientasi kebutuhan konsumen, mencoba melihat sector yang telah ada selama ini.
3. Proses selanjutnya adalah konsumen, mencoba melihat sector yang telah ada selama ini.
4. Menggunakandata dan fakta dalam membuat presentasi, penggunaan metode *statistic*.
5. Menghormati antar manusia sebagai penerapan filosofi manajemen.
6. Manajemen *Cross Functional* (antar divisi dan fungsi).

Tiga langkah diajukan Ishikawa yang merupakan dsar dari perencanaan kualitas dan fungsi kualitas yaitu :

- a. Mengetahui terlebih dahulu mengenai karakteristik kualitas.
- b. Mendeterminasikan metode dalam mengukur dan menguji karakteristik dari kualitas.
- c. Menemukan karakteristik *substitute quality*; memiliki pengertian yang benar antara karakteristik sesungguhnya dan karakteristik pengganti.

Statistical Process Control

Produk diciptakan untuk memenuhi permintaan konsumen, maka produk harus diproduksi dengan suatu proses yang stabil (*stable*) dan dapat diulang (*repeatable*). Lebih tepatnya, proses harus *capabel* untuk beroperasi dengan variabilitas yang kecil di sekitar dimensi nominal atau target dari karakteristik kualitas tersebut. Disinalah peran Pengendalian Proses Statistik muncul. *Statistical Process Control (SPC)* atau Pengendalian Proses Statistik adalah seperangkat alat pemecahan masalah yang baik, berguna dalam mencapai stabilitas proses dan memperbaiki kapabilitas melalui pengurangan variabilitas.

SPC ini dapat diaplikasikan pada berbagai proses. Ketujuh alat utamanya (*seven tools*) adalah:

1. “*Check Sheet* “
Berguna untuk mencatat dan mengklasifikasikan data. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam membuat check sheet adalah:
 - a. Maksud dan tujuannya harus jelas.
 - b. Stratifikasi dengan baik
 - c. Dapat diisi dengan mudah dan jelas.
 - d. *Graph* (grafik)

Adalah data yang dinyatakan dalam bentuk gambar. Tujuannya adalah untuk memudahkan pembacaan dan penganalisaan dari data.

Macamnya grafik adalah :

- a. *Line Graph* (Grafik Baris)
Fungsinya : Untuk menunjukkan *Trend* (naik-turunnya) data dari waktu ke waktu.
 - b. *Bar Graph* (Grafik Balok)
Fungsinya : Untuk menunjukkan perbandingan data dan kuantitas dengan jelas.
 - c. *Pie Chart* (Grafik Lingkaran)
Fungsinya : Untuk menunjukkan perbandingan dalam persen (%) item-item sejenis dalam waktu tertentu.
 - d. Grafik Batang
2. *Pareto Diagram*
Digunakan untuk memilih problem atau masalah yang harus diselesaikan terlebih dahulu dan juga meningkatkan operasional.
 3. *Cause & Effect Diagram*
Digunakan untuk :
 - a. Masalah yang dapat diidentifikasi dari masing-masing bagian.
 - b. Bisa dijadikan panduan untuk memecahkan masalah dalam suatu diskusi.
 - c. Pemecahan masalah sudah terekam, tinggal mencari pemecahan masalah yang Sesuai.
 - d. Mendorong kita untuk mencari data (kadang kala bersifat spekulasi) yang menyebabkan suatu kasus, agar dapat terlihat dan dimengerti.
 4. *Histogram*
Unutk mengetahui kronologis perubahan yang terjadi secara vertical maupaun horizontal.
 5. *Scatter Diagram*
Digunakan untuk memberikan gambaran mengenai data dalam berbagai sudut pandang dalam mengantisipasi trend data, mengevaluasi hubungan sebab-akibat dan sebagainya.
 6. *Control Chart* (Peta Kendali)
Adalah sejenis grafik garis yang dilengkapi garis pusat dari satu / sepasang garis batas kendali. Tujuannya adalah untuk menunjukkan apakah proses dalam keadaan terkendali atau tidak. Dinyatakan oleh Ishikawa bahwa 95% dari semua masalah yang ada dalam pengendalian kualitas dalam suatu perusahaan dapat dipecahkan dengan alat-alat tersebut di atas.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Modes effect and Analysis dapat menjabarkan secara sistematis kumpulan dari sebuah aktivitas dalam hal; mengetahui dan mengevaluasi kegagalan potensial dari produk/proses dan efek dari kegagalan tersebut, mengidentifikasi aksi yang harus di hilangkan atau dikurangi untuk mendapatkan peluang probabilita dari kegagalan potensial, dan sebagai dokumen dari semua proses. FMEA lebih berfokus terhadap desain baik untuk produk ataupun proses. Pada perkembangan dewasa ini FMEA dapat dibedakan dalam dua tipe yaitu FMEA desain dan FMEA Proses.

Salah satu faktor yang penting dalam suksesnya penerapan FMEA adalah '*timeliness*'. Maksudnya adalah kita melakukannya sebelum proses berlangsung (*before the event*), dan bukan melakukan sesudah terjadi (*after the fact*). Untuk mendapatkan hasil yang bagus, FMEA harus dilakukan atau diterapkan sebelum potensial kegagalan dari proses atau produk telah terjadi dalam produk atau proses tersebut.

Secara umum ada tiga jenis kasus dari FMEA, dimana masing-masing mempunyai fokus yang berbeda:

1. Desain baru, teknologi baru, atau proses baru. FMEA akan berfokus pada desain lengkap, teknologi atau proses.
2. Modifikasi untuk memperbaiki desain atau proses, FMEA harus fokus terhadap modifikasi untuk desain atau proses, yang memungkinkan adanya interaksi antara modifikasi dan *field history*.
3. Menggunakan desain atau proses yang ada kedalam lingkungan, lokasi atau aplikasi baru. FMEA akan berfokus terhadap imbas terhadap lingkungan baru atau lokasi terhadap desain atau proses yang ada.

FMEA Desain

FMEA desain adalah sebuah teknik analisis berdasarkan desain dari *engineer*/team yang memuat modus kegagalan potensial dan penyebab kegagalan mekanis yang muncul pada proses desain tersebut. Masing-masing item dari semua sistem yang ada, sub sistem, dan semua komponen harus di evaluasi. Secara sistematis pendekatan dilakukan secara paralel, formal, dan semua dokument yang terkait dengan para *engineer* yang melalui beberapa desain proses.

Desain potensial FMEA mendukung proses desain dalam mengurangi resiko kegagalan. FMEA desain juga tidak hanya menitik beratkan pada

proses kontrol untuk mengatasi kelemahan potensial dari desain, tetapi juga menganalisa pertimbangan batasan teknik/fisik dari proses produksi/perakitan.

FMEA Proses

FMEA proses adalah sebuah teknik analisis proses *manufacture* atau perakitan dimana didalamnya memuat modus kegagalan potensial dan penyebab kegagalan mekanis yang muncul pada proses produksi tersebut. Masing-masing item dari semua sistem yang ada, sub sistem, dan semua komponen harus di evaluasi. Secara sistematis pendekatan dilakukan secara paralel, formal, dan semua dokumen yang terkait dengan para *engineer* yang melalui beberapa desain proses.

Bagaimana membuat FMEA Desain/ Proses?

1. *FMEA number* : tuliskan nomor dokumen
2. *System, subsystem, or Component Name and Number* : Indikasi level yang tepat dari sebuah analisis dan tulis nama dan nomor dari fungsi dari sistem, subsistem, atau komponen yang sedang dianalisis.
3. *Design responsibility* : Tulis nama Departemen, grup dan *supplier* jika produk dibuat oleh supplier.
4. *Prepared by* : Tuliskan nama, nomor telephone, atau *engineer* yang terlibat.
5. *Model years* : Tuliskan tahun pembuatannya.
6. *Key Date* : Tuliskan awal pembuatan dari FMEA
7. *FMEA Date* : Tuliskan tanggal selesainya FMEA
8. *Core Team* : Tuliskan semua pihak yang terlibat dalam pembuatan FMEA.
9. *Item/ Function* : Tuliskan nama atau informasi lain yang berhubungan dari item yang sedang di analisis.
10. *Potensial Failure Mode* : Modus kegagalan potensial didefinisikan sebagai proses yang potensial akan menimbulkan kegagalan pada proses produksi.
11. *Potensial Effect of Failure* : Adalah efek yang ditimbulkan oleh adanya modus kegagalan potensial pada konsumen.
12. *Severity* : Adalah ranking yang menunjukkan efek yang serius yang berasal dari modus kegagalan.
13. *Classification* : kolom yang digunakan untuk mengklasifikasikan beberapa jenis produk kusus atau mempunyai karakteristik proses kusus.
14. *Potensial Cause/ Mechanism of failure* : Adalah bagaimana sebuah kegagalan dapat terjadi, dan menjelaskan sesuatu yang dapat mnegkorkesi atau mengkontrol.

15. *Occurrence*: Adalah sesuatu yang secara spesifik menerangkan rata-rata kegagalan yang akan terjadi.
16. *Current Proses Control*: Suatu penjelasan yang menerangkan sebuah kontrol yang dapat mendeteksi modus kegagalan yang akan terjadi.
17. *Detection*: Deteksi adalah rangking yang menerangkan deteksi yang terbaik yang dapat mengkontrol.
18. *Recomemended Action*: Perkiraan dari seorang engineer untuk mengurangi atau mencegah yang didasarkan terhadap nilai RPN tertinggi, *severity* tertinggi atau yang lainnya yang di desain oleh sebuah team.
19. *Responsibility for the recommended Action*: Tuliskan masing-masing pemenuhan untuk pencapaian rekomendasi aksi.
20. *Action taken*: Setelah aksi di terapkan pada proses, tulis secara jelas aksi aktual dan tanggal efektifnya.
21. *Action result*: Setelah pencegahan/koreksi aksi yang telah di indentifikasi, lakukan peramalan dan catat hasil dari *severity*, *occurrence* dan rangking dari deteksi. Kalkulasi dan catat hasil dari RPN.

Pada tahap awal dan analisis dari peninjauan kembali proses yang meningkatkan atisipasi, pemecahan ulang, atau monitor potensial proses yang fokus pada tahap rencana proses produksi kedalam model baru atau komponen program. FMEA proses beramsumsi bahwa produk yang telah didesain merupakan bagian dari FMEA desain. Modus kegagalan potensial dapat terjadi karena desain mempunyai kelemahan yang mungkin masih terdapat didalam FMEA proses. Efek dari kegagalan dan pencegahannya sudah dijabarkan dalam FMEA desain. FMEA proses tidak sepenuhnya percaya bahwa perubahan desain produk dapat mengatasi kelemahan proses.

Root Cause Analysis (RCA)

Root cause analysis adalah proses desain yang digunakan untuk menginvestigasi dan mengkategorikan akar penyebab dari sebuah peristiwa yang berhubungan dengan keselamatan, lingkungan, kualitas, keandalan, dan impak dari produksi. Secara sederhana *RCA* digunakan untuk membantu mengidentifikasi bukan hanya *apa dan bagaimana* suatu peristiwa terjadinya kegagalan. dengan pemahaman mengapa sebuah peristiwa dari suatu kegagalan adalah kunci untuk mengadakan

pengembangan secara efektif. Secara umum, kesalahan tidak terjadi begitu saja tetapi dapat kita telusuri seperti mengetahui penyebabnya. Mengidentifikasi akar penyebab adalah salah satu kunci untuk menghindari terjadinya kejadian yang sama.

Definisi dari RCA sampai saat ini masih belum terfokus tetapi secara garis besar RCA di definisikan sebagai berikut:

1. Root cause are underlying causes.

Pihak yang melakukan investigasi mempunyai tujuan untuk dapat mengidentifikasi secara spesifik garis besar penyebab kesalahan. Investigasi yang lebih mendalam dapat berupa bagaimana atau mengapa suatu peristiwa kegagalan bisa terjadi, yang nantinya akan didapatkan rekomendasi tindakan pencegahan untuk menghindari terulangnya kejadian tersebut.

2. Root cause are those that can reasonably be identified.

Investigasi tentang rata-rata kejadian harus menunjukkan adanya cost secara *benefit*. Struktur RCA membantu para analis mendapatkan pemecahan sesuai dengan waktu yang ada untuk melakukan investigasi.

3. Root cause are those over which management has control

Seorang analis harus menghindari menggunakan klasifikasi yang umum seperti kesalahan operator, kegagalan peralatan, atau faktor dari luar. Beberapa penyebab yang tidak cukup spesifik harus mendapat izin dari pihak manajemen untuk melakukan perubahan yang efektif. Manajemen perlu mengetahui secara pasti mengapa peristiwa kegagalan bisa terjadi sebelum aksi di lakukan untuk pencegahan.

4. Root cause are those for which effective recommendations can be generated.

Rekomendasi harus secara langsung mengarah kepada akar permasalahan yang telah di indentifikasi selama proses investigasi.

Empat langkah utama dalam root cause

1. Pengumpulan data

Langkah pertama dalam proses analisis adalah pengumpulan data. Tanpa informasi yang lengkap dan pemahaman dari peristiwa, faktor penyebab dan *root cause* yang terasosiasi dengan peristiwa maka tidak dapat teridentifikasi. Informasi dapat berasal dari proses FMEA.

2. Tabel causal factor

Tabel *causal factor* akan menghasilkan struktur untuk seorang *investigator* untuk mengorganisasikan dan menganalisis informasi yang terkumpul selama proses investigasi. Persiapan untuk proses tabel *causal* faktor harus dimulai bersamaan dengan mulainya pengumpulan informasi tentang peristiwa kegagalan tersebut. Tabel *causal* faktor harus sejalan dengan proses pengumpulan data dengan mengidentifikasi kebutuhan yang muncul. *Causal factor* adalah peterjemahan dari kesalahan manusia, kegagalan komponen, dan yang lainnya yang harus dapat di hilangkan yang mana akan menghasilkan pencegahan dari peristiwa kegagalan atau pengurangan secara probabilitas.

3. Indentifikasi *root cause*
Setelah semua *causal factor* telah teridentifikasi, seorang peneliti mulai mengidentifikasi *root cause*. Langkah ini meliputi penggunaan diagram *root cause map* untuk mengetahui alasan untuk masing-masing *causal* faktor. Struktur map ini berisi alasan yang membantu *investigator* menjawab pertanyaan yang muncul tentang fakta-fakta terjadinya *causal factor* sehingga permasalahan yang ada disekitar permasalahan tersebut dapat diketahui.
4. Pembangkitan rekomendasi dan implementasi
Langkah selanjutnya adalah pembangkitan sebuah atau lebih dari rekomendasi. Berdasarkan indentifikasi dari *root cause* untuk fakta-fakta *causal* faktor, mengambil rekomendasi untuk pencegahan terjadinya peristiwa kegagalan telah dibangkitkan.

Metode Penelitian

Tahapan-tahapan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :uraian kerangka penelitian dimulai dari identifikasi masalah, studi pustaka, tujuan penelitian , pengumpulan data, pengolahan data, dan penggunaan *tools* untuk peningkatan kualitas seperti *pareto chart*, *fish bone*, *FMEA*, *RCA*.

Hasil dan Pembahasan

Data yang digunakan untuk proses pengolahan adalah data pada bagian *Quality* selama tiga bulan terakhir yaitu mulai dari bulan Januari sampai dengan Maret 2006. Data-data tersebut memuat jenis cacat yang muncul pada produk coran pada periode tiga bulan tersebut. Jenis-jenis cacat yang muncul pada proses pengecoran logam pada

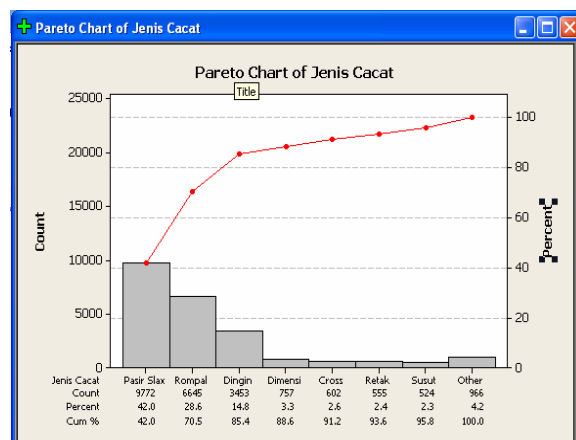
PT Himalaya Nabeya Indonesia adalah *pasir rompal*, *pasir slag*, *dingin*, *retak*, *susut*, *cross dimensi*, *erosi*, *pin hole*, *borok*. Masing-masing jenis cacat mempunyai karakter yang berbeda.

Langkah selanjutnya adalah dengan membuat *Pareto chart* untuk mengetahui jenis cacat mana yang harus diprioritaskan untuk diadakan perbaikan. Pembuatan *pareto chart* dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab versi 14.12. Data yang telah kita stratifikasi, kita *pareto* kan untuk mengetahui jenis cacat mana yang paling dominan diantara ke-10 jenis cacat di atas. Jenis cacat yang dominan tersebut akan kita lakukan analisis pada proses selanjutnya.

Dari pengumpulan data produksi pada bulan Januari s/d Maret 06, maka jenis cacat *pasir slag* dan *pasir rompal* merupakan jenis cacat yang paling dominan muncul pada bulan Januari s/d Maret tersebut. Persentase kumulatif dari kedua jenis cacat ini mencapai 70,5% yang berarti bahwa kedua jenis cacat ini harus diprioritaskan untuk diminimalisir.

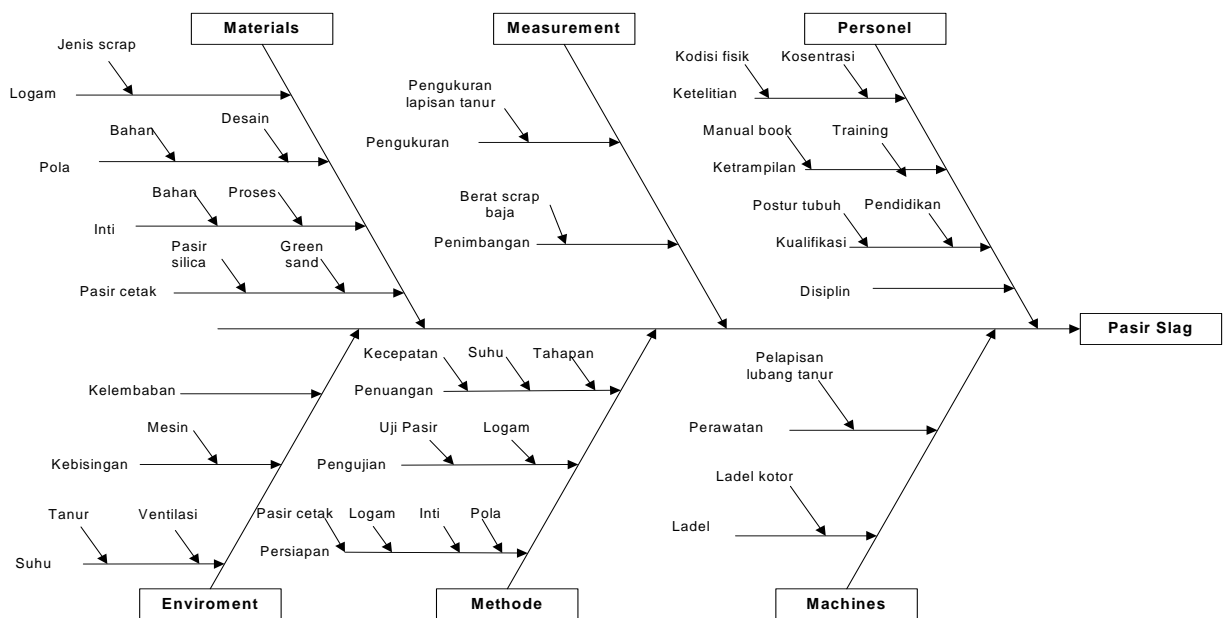
Setelah diperoleh jenis cacat yang akan menjadi prioritas untuk dilakukan perbaikan, maka selanjutnya dilakukan analisa terhadap sumber dan akar penyebab permasalahan dari cacat yang timbul yaitu *pasir slag* dan *rompal pasir* pada proses pengecoran produk *pulley* di PT Himalaya Nabeya Indonesia.

Dengan menggunakan *cause and effect* diagram akan dicari penyebab terjadinya cacat *pasir slag* dan *pasir rompal* tersebut yang ditinjau dari faktor-faktor 5 M + 1E, hasil analisa ini merupakan hasil *brainstorming* yang dilakukan selama penelitian berlangsung.



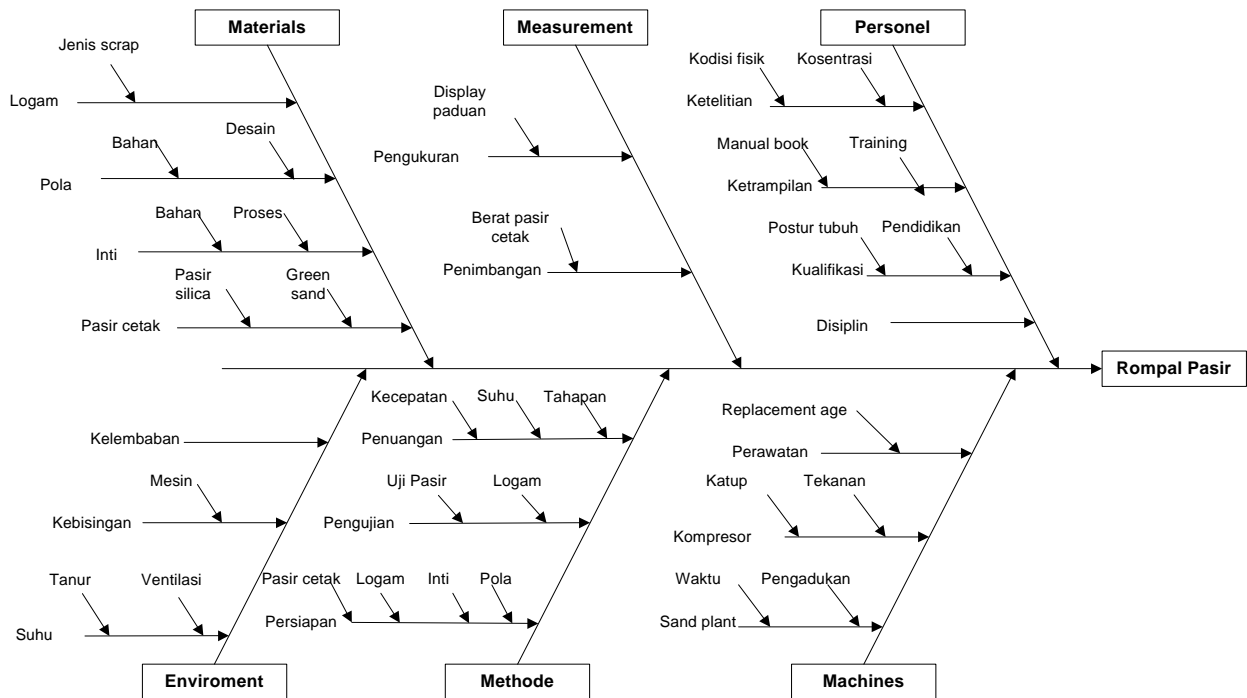
Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 1
Pareto Chart dari jenis cacat



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 3
Cause and Effect diagram Pasir Slag



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 2
Cause and Effect diagram Rompal pasir

Setelah dibuat *cause and effect* diagram tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi dan menilai resiko-resiko yang berhubungan dengan modus kegagalan. Untuk pembuatan FMEA maka dilakukan kajian dan penilaian berdasarkan pembahasan bersama Manager, Staff dan para pekerja.

Di bawah ini ditunjukkan pada Tabel 1. *Failure Mode and Effect Analysis* masalah *rompal pasir* dan Tabel 2 (lihat lampiran). FMEA tentang cacat *pasir slag*. Item, modus kegagalan dan efek kegagalan pada tabel FMEA di bawah ini merupakan permasalahan yang terdeteksi pada *cause and effect diagram*. Permasalahan tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan FMEA yang bertujuan untuk mencari penyebab potensial, upaya pencegahan, aksi perbaikan yang direkomendasikan hingga pencapaian target. Setiap penyebab potensial oleh pihak-pihak terkait diberi skor 1 s/d 10 untuk dampak yang ditimbulkan (severity) sangat ringan s/d sangat berat tanpa peringatan. Skor juga diberikan untuk tingkat kemungkinan terjadi kegagalan (occurrence) dari yang sangat jarang 1 hingga sangat sering 10. Skor untuk deteksi dari yang sangat mudah 1 hingga sangat sulit terdeteksi 10.

Root cause analysis (RCA) adalah proses desain yang digunakan untuk menginvestigasi dan mengkategorikan akar penyebab dari sebuah peristiwa yang berhubungan dengan keselamatan, lingkungan, kualitas, keandalan, dan dampak dari produksi. Secara sederhana RCA digunakan untuk membantu mengidentifikasi bukan hanya *apa dan bagaimana* suatu peristiwa terjadinya kegagalan, tetapi juga dengan memahami *mengapa* sebuah peristiwa dari suatu kegagalan dapat terjadi adalah kunci untuk mengadakan pengembangan lebih luas secara efektif. Secara umum, kesalahan tidak terjadi begitu saja tetapi dapat kita telusuri seperti mengetahui penyebabnya. Mengidentifikasi akar penyebab adalah salah satu kunci untuk menghindari terjadinya kejadian yang sama.

Setelah didapatkan kegagalan potensial dari tabel FMEA di atas, maka selanjutnya dibuat rangking berdasarkan kegagalan potensial yang mempunyai nilai RPN terbesar hingga terkecil yang dapat digunakan sebagai skala prioritas permasalahan yang perlu dipecahkan (lihat gambar pada lampiran).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengolahan data dengan menggunakan Pareto *chart* cacat yang paling dominan adalah *pasir rompal* 42% dan *pasir slag* 28,6%.
2. Berdasarkan *cause and effect diagram* didapat bahwa faktor 5M+1E mempunyai kontribusi terhadap terjadinya jenis cacat *rompal pasir* dan *pasir slag*.
3. Berdasarkan hasil pengolahan dengan FMEA di dapat penyebab cacat yang mempunyai nilai RPN terbesar untuk FMEA Rompal pasir adalah item material pasir di mana nilainya sebesar 392 sedangkan untuk cacat pasir slag yang mempunyai nilai RPN terbesar adalah item material pasir juga yaitu 448.
4. Berdasarkan identifikasi dengan *Root cause analysis* pada nilai RPN terbesar pada FMEA untuk cacat Rompal pasir didapat :
 - a. Pengujian pasir yang datang tidak sesuai dengan standar baku yang ada, di mana pasir hanya diuji karakteristiknya saja.
 - b. Persentase bahan pengikat yang digunakan pada berbagai produk pulley baik yang berprofil rumit maupun yang berprofil sederhana masih kurang sehingga pasir tidak terikat secara sempurna.
 - c. Penggunaan pasir lama yang juga tidak diuji untuk mengetahui siklus pakainya (*life cycle*).

Sedangkan pada identifikasi *root cause analysis* pada nilai RPN terbesar pada FMEA untuk cacat *pasir slag* di dapat :

- a. Proses pembersihan pasir lama yang tidak sempurna dari logam kotoran sisa pengecoran.
- b. Proses peleburan yang menggunakan bahan baku berupa pelat bekas yang banyak mengandung kotoran.
- c. Tanur yang kurang terawat dengan baik sehingga banyak terdapat kotoran.

Daftar Pustaka

- Juran J.m, "*Quality Control Handbook*", Third edition, Mc Graw, New York, 1995.
- Kume, Hitoshi, "Metoda Statistik untuk Peningkatan Mutu", PT. Melton Putra, Jakarta, 1989.

Kusuma, Arief, “*Diktat Kuliah Pengendalian Kualitas*”, Universitas Indonusa Esa Unggul, Jakarta, 2004.

Montgomery, Douglas C, “*Introduction to Statistical Quality Control*”, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc, USA, 2001.

Potential Failure Mode and Effect Analysis, Third edition, Daimler Chrysler Corporation, General Motor Corporation, Ford motor Company, USA, 2001.

Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa, “*Teknik Pengecoran Logam*”, Cetakan Ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.

Turner, Wayne C., Joe H. Mize, dan Kenneth E. Case, “*Introduction to Industrial and Systems Engineering*”, Second Edition, Prentice-Hall International, Inc, USA, 1987.

www.Freequality.com//Failuremodeandeffectanalysis

www.JACOBS//sverdrup.com//RootCauseAnalysis

www.NASA//Lewisresearchcenter//faulttreeanalysis

www.QualityProgress.com

www.Startpagina.nl//fishbone

www.Scinedirect.com//article-faulttreea

LAMPIRAN

Tabel 1
FMEA (Desain) Cacat Pasir Kompal

Item	Modus kegagalan potensial	Effect kegagalan	SIUS	Cause potensial/ Kegagalan mekanis	OCC Protection	Desain kontrol deteksi	DRPN	Rekomendasi action	Pemenuhan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action
Proses <i>blowing</i> kompresor	Tekanan udara kurang dari padat kompresor	Cerakan kurang padat	4	Katup-katup dalam kompresor diperiksa tidak terjadwal	Gunakan Lembar <i>check sheet</i>	Gunakan alarm	8 16 0	Semua katup harus diperiksa kondisinya setiap minggu	Diketahui umur dari katup-katup/parti tersebut dengan MITE.	Action yang dilakukan
				Pressure gauge rusak	Lebih dari satu pressure gauge dipasang secara seri	Pasang alarm pada pressure gauge, alarm akan berbunyi jika tekanan tidak sesuai	6 72	Pressure gauge harus dikalibrasi	Harus menunjukkan angka tekanan yang tepat	SO DR P

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 1
FMEA (Desain) Cacat Pasir Rompal (lanjutan)

Item	Modus kegagalan potensial	Effect kegagalan potensial	S C a s	C a s e	Pemabah potensial/kegagalan mekanis	O C C u r	D P N	D P N	Desain kontrol desain	D P N	Rekomendasi action	Pemudahan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action Action yang dilakukan	S D C e y c l e
					Pipa yang menyulitkan udara terjadi kebocoran atau sambungan tidak rapat sehingga udara bocor									
Proses Blowing	Tekanan udara kurang dari kompresso	Cetakan pasir kurang padat	4		Electrical yang bekerja terlampau				Pasang alarm	5	40	Periksa rutin dari pipa	Tidak ada lagi pipa yang bocor	
									Pasang timer yang akan berbunyi jika tekanan sudah sesuai				Timer bekerja sesuai dengan tekanan yang tepat	
Material pasir rompal	Cetakan pasir mudah rompal	Cetakan cacat	7		Profili dari cetakan pasir sangat berpengaruh terhadap jumlah persentase campuran pasir, semen sand dan sea sand				Gunakan lembar check sheet	8	392	Persentase campuran untuk item produk yang berprofil sulit harus dicekakan dengan item produk yang berprofil mudah	Harus di dapat data campuran material yang tepat untuk masing-masing bentuk profil	
Uji kadar air material pasir	Jumlah kadar air kurang	Cetakan menjadi rapuh	6		Persentase dari air yang tidak dapat mengikat pasir secara menyambung				Gunakan lembar check sheet pengujian	6	252	Kadar air yang terkandung harus diuji	Dedajon kadar air yang tepat untuk masing-masing bentuk profil	

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel FMEA 1
(Desain) Cacat Pasir Rempal (lanjutan)

Item	Modus kegagalan potensial	Effect Kegagalan Potensial	Sv	Causal	Penyebab potensial/ Kegagalan mekanis	O	Desain kontrol/ pencegahan	D	R	Rekomendasi action	Peningkatan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action			
												S	O	D	R
Uji tanah liat material pasir	Kandungan liat lemah	Pasir tidak dapat terikat secara baik	7	7	Daya ikat rendah sehingga cetakan menjadi mudah tercabik	7	Gunakan lembar <i>check sheet</i> pengujian	5	245	Tanah liat yang terkandung harus di uji. Pihak vendor harus diserahkan sertifikat sebagai pelengkap.	Harus diketahui jumlah persentase yang tepat seberapa banyak kandungan tanah liat yang tepat				
Uji permeabilitas material pasir	Tingkat permeabilitas rendah	Gas dari logam cair tidak dapat keluar	7	7	Pori-pori dari cetakan yang terlalu kecil	6	Gunakan lembar <i>check sheet</i> pengujian	8	336	Perlu dilakukan uji permabilitas	Harus didapat tingkat permeabilitas yang tepat untuk liap-liap profil				
Uji kekerasan material pasir	Cetakan tidak dapat menahan aliran logam cair	Hasil cetak menjadi cacat	6	6	Bahan pengikat tidak dapat mengikat dengan baik	5	Gunakan lembar <i>check sheet</i> pengujian	4	120	Perlu dilakukan uji kekerasan	Harus didapat kekerasan untuk masing-masing jenis bahan yang sedang di cor (TC 125, FC 150, FC 200)				
Uji besar material pasir	Pori-pori besar sehingga cetakan pasir kurang padat	Cetakan pasir rapuh	7	7	Besar butir terlalu besar	7	Inspeksi pasir tiap hari	9	441	Perlu dilakukan uji besar butir	Dapat diketahui berapa kali pasir yang akan digunakan harus melalui talapan pengayakan tak mendapatkan ukuran butir yang tepat				

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel FMEA 1
(Desain) Cacat Pasir Kompal (lanjutan)

Item	Modus kegagalan potensial	Effect kegagalan potensial	Severity	Causes	Penyebab potensial/kegagalan mekanisme	Occurrence	Control	Desain kontrol deteksi	Detection	RPN	Rekomendasi action	Pemilihan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action
Material pola	Pasir melekat pada pola	Potensial	6	Pemberian tepung meazena atau cairan tetra tidak merata pada permukaan pola	8	Perbaikan	Perhatikan Pola harus di inspeksi terlebih dahulu sebelum proses blowing		7	336	Di hitung kebutuhan tetra dan tepung meazena yang tepat	Di dapat ukuran yang tepat dari tetra dan tepung meazena untuk setiap cetakan	Action yang dilakukan
	Pasir terangkat Saat pola diangkat	Potensial	6	Desain dari pola yang tidak mempunyai sudut ketirusan	5	Visual kontrol saat pengangkatan			7	210	Desain pola untuk hub harus dibuat cenderung trus	Setiap pola harus di buat trus	
Material logam	Pasir tercampur menjadi cacat	Potensial	5	Persentase scrap baja yang di lebur	6	Gunakan lebur check level			7	210	Komposisi penggunaan dari jenis scrap baja baru dengan scrap lama 60 : 40%	Penggunaan scrap baja baru harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Harus didapat kecepatan tuang yang tepat untuk masing-masing berat jenis logam yaitu FC 125, FC 150, FC 200	
	Pasir tercampur menjadi cacat	Potensial	5	Berat jenis dari logam yang di cairkan	6	Jenis scrap harus sesuai dengan spesifikasi			7	210	Sesuaikan kecepatan tuang logam coran		

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel FMEA 1
(Desain) Cacat Pasir Rempal (lanjutan)

Item	Modus kegagalan potensial	Uraian kegagalan potensial	Cause	Effect	Severity	Occurrence	Detection	Control	Desain kontrol deteksi	RPN	Rekomendasi action	Pemenuhan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action
Material	Pasir cetak terdorong	Cetakan menjadi rusak sehingga produk menjadi cacat	5	Tinggi inti yang dibuat melebihi tinggi rongga cetakan	5	7	175	Gunakan lembar <i>check-sheet</i>	Sebelum dipasang pada cetakan ukur terlebih dahulu tinggi dari inti	7	Cetakan untuk membuat inti harus diperhitungkan antara tinggi rongga estakan dengan tinggi inti	Harus dibuat tinggi rongga untuk masing-masing profil dari cetakan yang menggunakan inti	S O D R e e e P v e l N
Proses <i>pouring</i>	Kecepatan tuang terlalu cepat	Pasir tercabik	6	Kecepatan tuang logam cair	7	9	378	Ada operator lain yang mengawasi kecepatan penangan	Harus diukur kecepatan tuang yang dilakukan operator yang melakukan penangan	9	Kecepatan penangan harus distandarkan	Kecepatan penangan harus distandarkan	S O D R e e e P v e l N
Temperatur suhu tuang rendah	Viskositas tinggi	Belum ada standar suhu siap tuang yang paling tepat untuk penangan antara range (1500 s.d. 1350°C)	6	Pasir pada suhu siap tuang	4	168	Sular penangan harus di awasi dengan ketat	Di dapat suhu tuang yang tepat dari range antara 1300°-1500°C	Di dapat suhu tuang yang tepat dari range antara 1300°-1500°C	4	Sular penangan harus di awasi dengan ketat	Di dapat suhu tuang yang tepat dari range antara 1300°-1500°C	S O D R e e e P v e l N

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel FMEA 2
(Desain) Cacat Pasir Slag

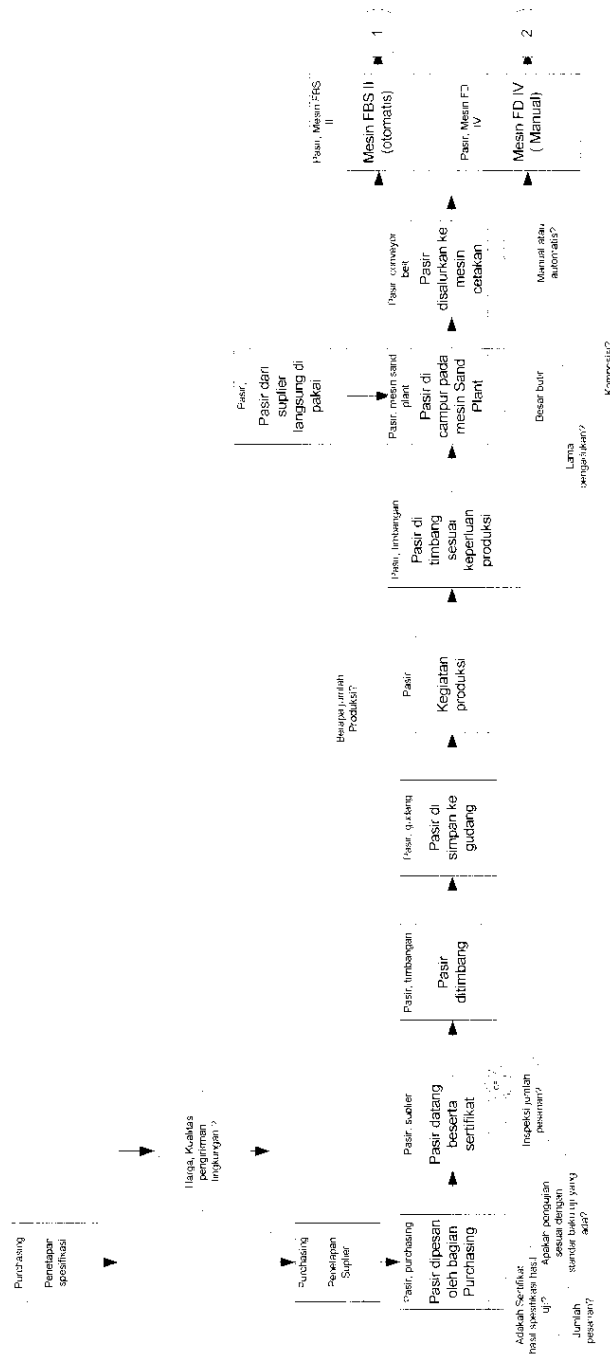
Item	Modus kegagalan potensial	Effect kegagalan Potensial	Seva Potensial	Cause Kegagalan mekanis	Oc Desain kontrol pencegahan	Desain kontrol deteksi	D R P N C	Rekomendasi action	Pemenuhan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action	
Material Logam	Banyak terdapat kotoran pada pasir hasil cetak	Produk coran sulit untuk di <i>machining</i> dan tampilan menjadi tidak menarik	8	Spesifikasi <i>scrap</i> yang dipesan dari <i>sapiter</i> tidak sesuai	6	Gunakan lembar <i>checksheet</i>	7	336	Pihak <i>purchasing</i> harus memolak jika pesanan <i>scrap</i> baja yang dibeli tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan pabrik	Bahan <i>scrap</i> baja yang digunakan harus konsisten dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan pabrik	Action yang dilakukan
Material pasir	Hasil cetakan kotor	Produk coran menjadi kotor	7	Persentase bahan untuk pengikat <i>kontroll</i> kurang banyak sehingga pasir tidak secara sempurna terikat.	8	448	Persentase bahan untuk pengikat di tambahkan	Didapatkan jumlah persentase bahan pengikat yang tepat			
										S O D R P e c e l N	

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel FMEA 2
(Desain) Cacat Pasir Slag (lanjutan)

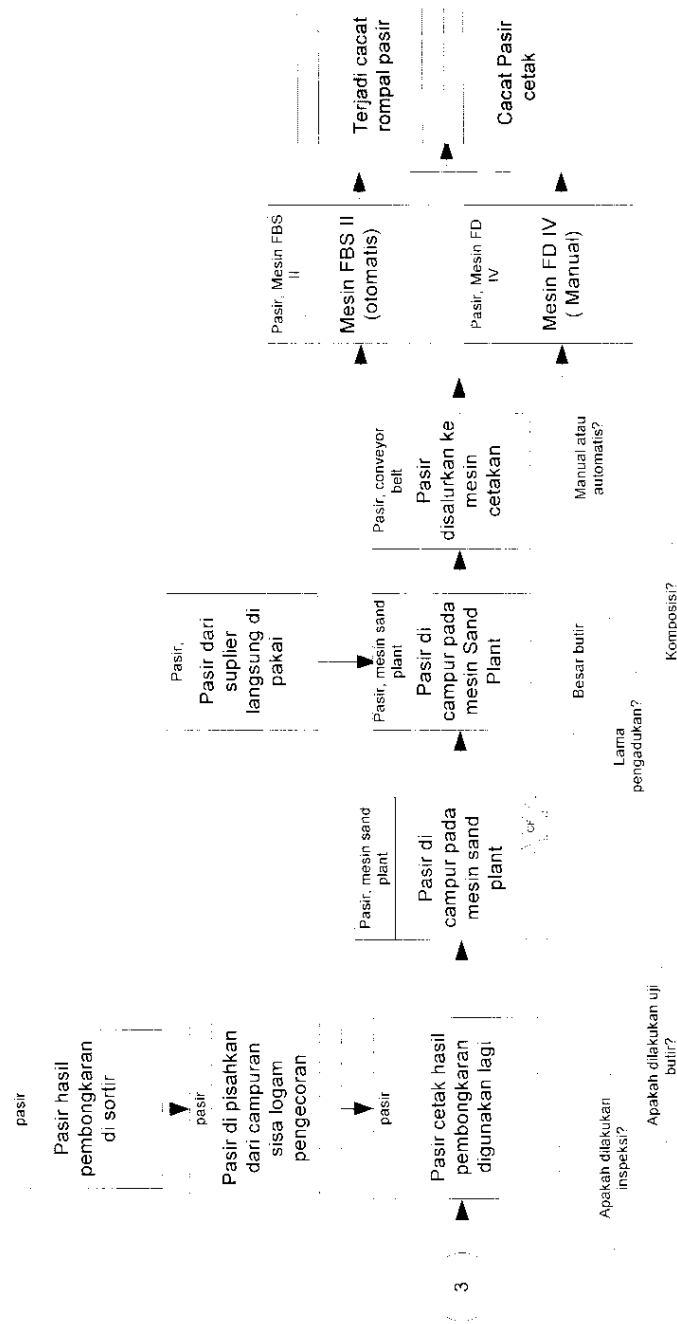
Item	Modus kegagalan potensial	Effect kegagalan potensial	Ciri Potensial Kegagalan	Desain kontrol pencegahan	Desain kontrol deteksi	DPRNC	Rekomendasi action	Pemenuhan target pencapaian	Hasil dari rekomendasi action	
									Action yang dilakukan	Result
Proses Melting	Logam cair kotor	Produk coran menjadi kotor	Tidak ada tanur yang bersifat holding sehingga tidak ada penyangkutan tahap 2	Gunakan lembar checksheet	6	7	252	Pencegahan tanur holding akan mengoptimalkan proses pembersihan logam cair	Logam cair yang akan dituang ke dalam cetakan pasir menjadi lebih murni.	S O D R e c e P v c t N
Ladel kotor	Cairan yang ada pada ladel menjadi kotor	Produk coran menjadi kotor	Penggunaan cover all (pasir slag) tidak efektif sehingga kotoran yang ada pada ladel tidak terangkat sempurna.	Inspeksi awal ladel sebelum dituang dengan logam cair	8	4	160	Perbaikan ladel yang dilakukan setiap satu bulan sekali yaitu dengan Pelapisan dinding ladel untuk mengurangi kotoran ikutan bereaksi dengan logam cair	Ladel menjadi bersih dan terhindar dari kotoran	S O D R e c e P v c t N

Sumber: Hasil Pengolahan Data



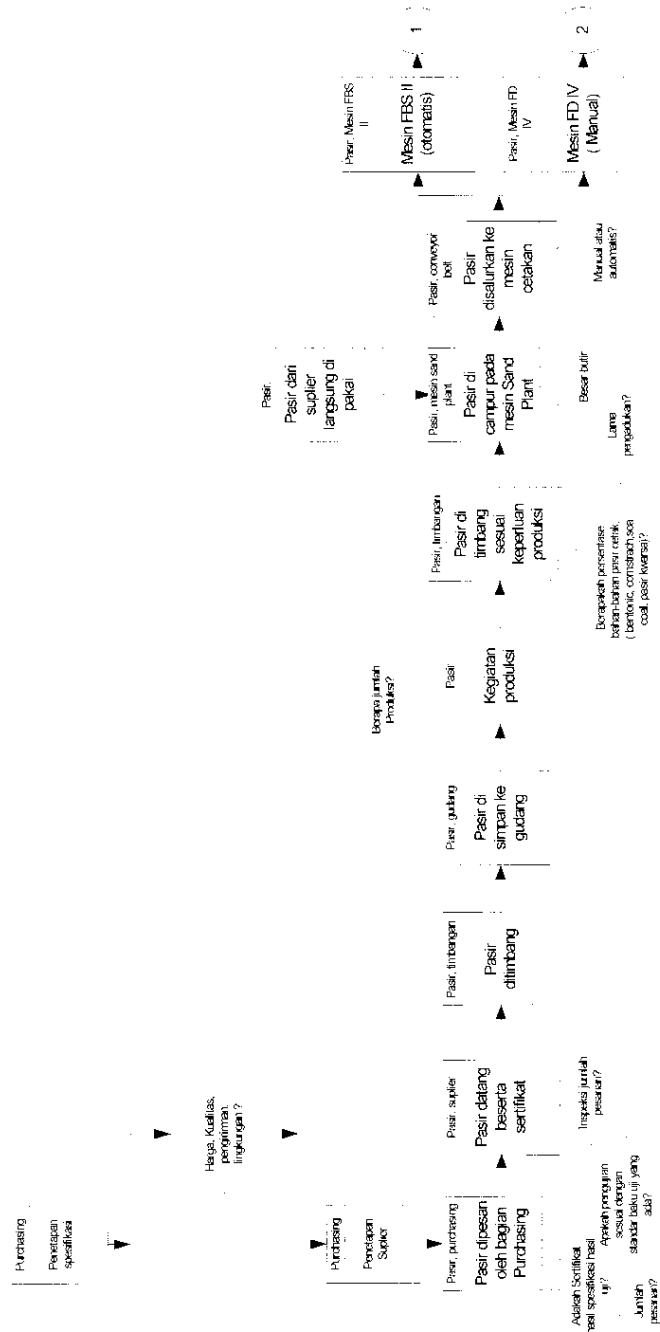
Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 4
Root Cause Analysis Kempl Pulver



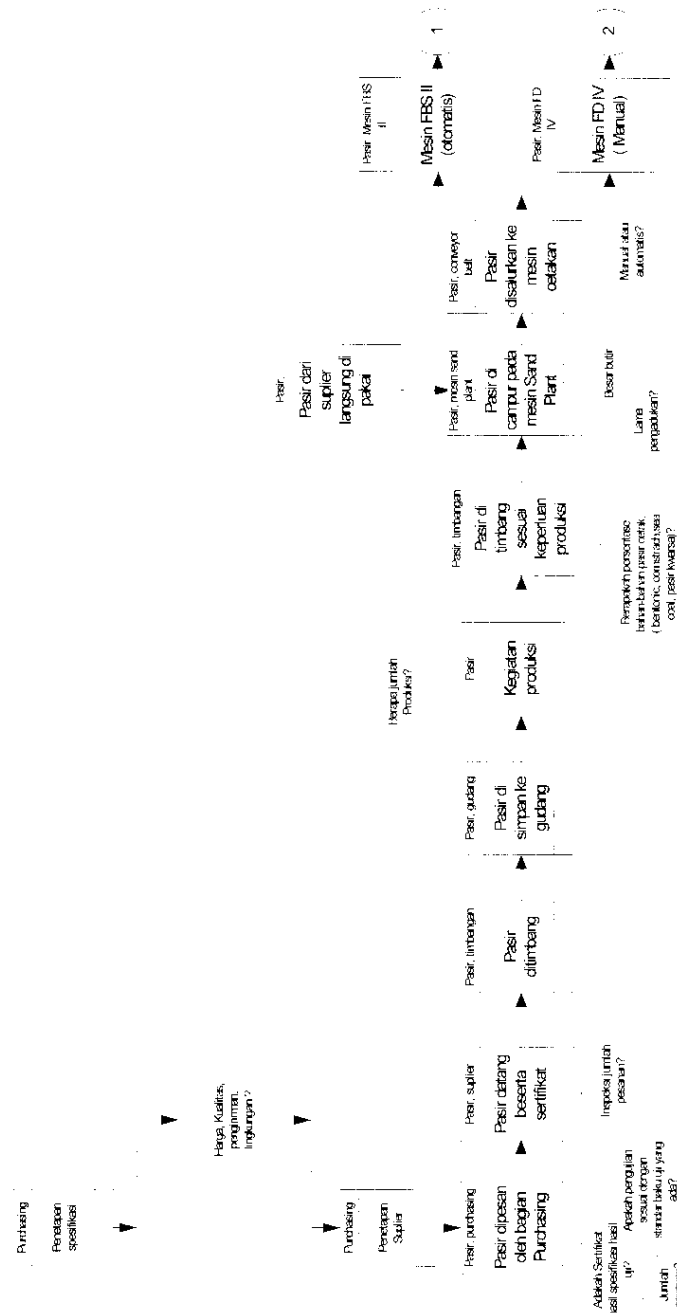
Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 4
Root Cause Analysis Rangkap Pasir (Lanjutan)



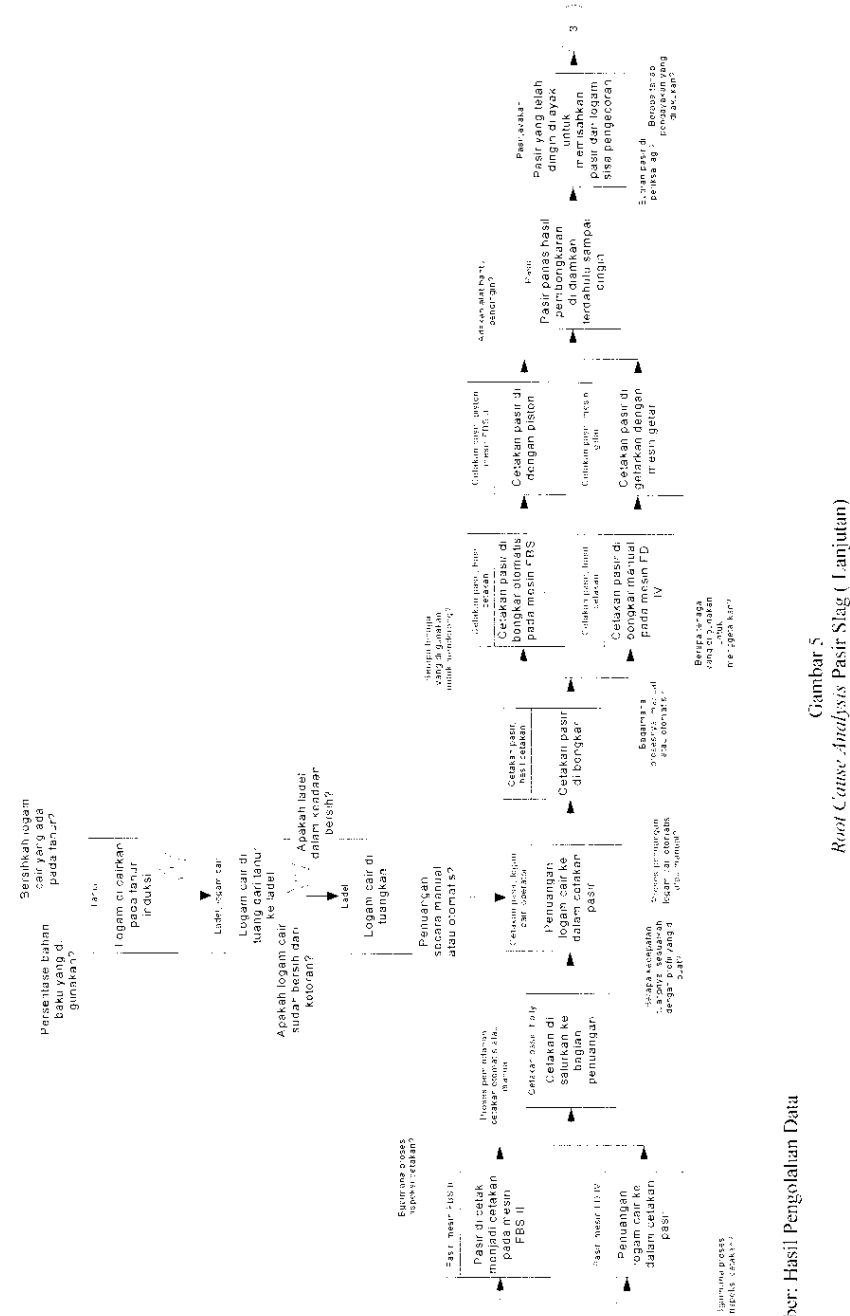
Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 5
Root Cause Analysis Pasir Slag



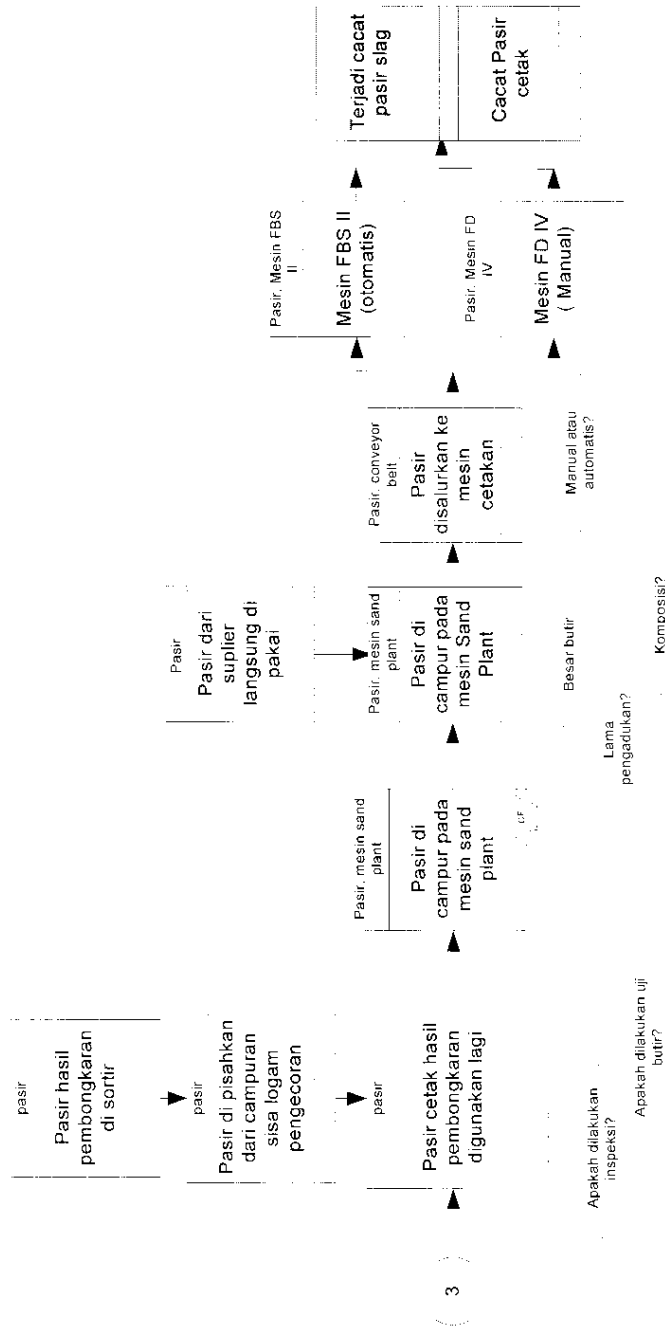
Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 5
Root Cause Analysis Pasir Slag



Gambar 5
Root Cause Analysis Pasir Slag (Lanjutan)

Sumber: Hasil Pengolahan Data



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 5.
Root Cause Analysis Pasir Slag (Lanjutan)