

USULAN PERBAIKAN KUALITAS PRODUK PADA PROSES PELAPISAN LOGAM (HVOF SPRAY) DENGAN METODE SIX-SIGMA DI PT. T

Roesfiansjah Rasjidin, Didik Pamilih
Teknik Industri – Universitas INDONUSA Esa Unggul, Jakarta
Teknik Industri – Universitas INDONUSA Esa Unggul, Jakarta
Jl. Arjuna Utara Tol Tomang Kebun Jeruk, Jakarta 11510
roesfiansjah.rasjidin@indonusa.ac.id

Abstrak

PT. T adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang pelapisan logam *Thermal Spray*, diantaranya; *HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) Spray*, *Thermal Arc Spray*, *Flame Spray Wire*, *Flame Spray Powder*, *Flame Ceramic Spray*, *Spray and Fuse*. Sebagai perusahaan yang menawarkan produk jasa, tentu kepuasan pelanggan adalah tujuan dari bisnis yang dijalankannya. Kualitas merupakan senjata andalan untuk menarik pelanggan, karena dengan produk yang bermutu tinggi akan mendapatkan nilai tersendiri dimata pelanggan. Untuk menilai kinerja perusahaan, dilakukan analisa mengenai cacat produk dengan menggunakan tahapan *six sigma*. Pada tahap pertama diperoleh proses yang mempunyai cacat produk yang terbesar adalah proses HVOF Spray dengan 22 buah cacat atau sebesar 34.9%. Identifikasi melalui Diagram Pareto menunjukkan bahwa jenis cacat *porosity* mempunyai jumlah cacat paling besar dengan jumlah cacat sebanyak 11 produk cacat atau sebesar 50%. Dari perhitungan kapabilitas proses diperoleh nilai 0.03 yang berarti proses yang berlangsung belum baik. Pada penghitungan DPMO didapatkan nilai sebesar 478514.84 ppm dan mempunyai *sigma level* sebesar 1.55 sigma yang berarti proses yang berlangsung masih jauh dari tujuan *six sigma*. Pengolahan data dan analisa dilakukan pada faktor penyebab cacat, dengan menggunakan diagram *fishbone* hingga tahapan FMEA. Hasil akhir menunjukkan faktor yang paling menentukan terjadinya cacat, yaitu parameter kerja bahan bakar.

Kata Kunci: *Thermal Spray*, *HVOF Spray*, *Six Sigma*, *DPMO*

Pendahuluan

PT. T adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang Teknik khususnya dalam bidang pelapisan logam. Bisnis ini cukup berkembang pada masa sekarang ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya keinginan setiap perusahaan untuk efisiensi disemua bagian dan *cost down* setiap proses. Pelapisan logam merupakan salah satu strategi dalam tujuan dari beberapa faktor tersebut.

Tingginya produk cacat merupakan salah satu masalah yang harus ditangani secara khusus agar tidak memakan biaya yang cukup besar. Walaupun cacat produk tidak dapat dihindari, akan tetapi permasalahan ini dapat diturunkan seminimal mungkin demi menurunkan biaya proses produksi.

Produk cacat tidak hanya berdampak pada perusahaan saja akan tetapi menyangkut citra suatu perusahaan dihadapan *Customer* atau pelanggan. Untuk mengatasinya, dapat diimplementasikan suatu sistem kualitas dengan metode *Six Sigma* untuk mencari sebab dari permasalahan yang terjadi. Dalam penerapan sistem tersebut tentu

diawali dengan suatu analisa cacat produk, seberapa besar cacat yang terjadi pada saat sekarang. Sistem yang ingin diterapkan oleh penulis yaitu dengan metode *Six Sigma*. Sistem ini mengacu pada penurunan cacat seminimal mungkin yang mendekati angka cacat produk 3.4 setiap 1 juta produk yang dihasilkan atau tingkat keberhasilan mencapai 99.9997%. Metoda ini merupakan salah satu alternatif sistem peningkatan kualitas atas produk yang dihasilkan. Diharapkan dengan kualitas yang semakin baik, kepuasan pelanggan akan semakin meningkat.

Tinjauan Teori

Thermal Spray (HVOF Spray)

Proses *thermal spray* terdiri dari beberapa metode, salah satunya adalah proses *HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) Spray*. Masing-masing proses *spray* mempunyai karakteristik dan kelebihan sendiri-sendiri.

Metode pelapisan logam dengan *thermal Spray* telah banyak diaplikasikan di beberapa industri yang dapat memberikan proteksi dan meningkatkan

ketahanan terhadap aus, erosi, korosi dan panas, tergantung material yang digunakan. Ada banyak jenis proses thermal spray, akan tetapi dari banyak jenis tersebut semua menyangkut pengendapan material logam atau non logam dalam kondisi cair atau semi cair ke permukaan *substrat*.

Material umpan diumpungkan kedalam *gun*, yang kemudian memanaskan material tersebut menjadi bentuk plak cair lalu dipercepat dengan adanya tekanan udara yang disemprotkan menuju *substrat*. Pada saat partikel cair hasil semprotan tadi mengenai bagian permukaan *substrat*, partikel tersebut kemudian mengalami pendinginan yang membentuk struktur yang berupa lapisan (*Jamellar*), dengan demikian akan membentuk lapisan atau endapan berupa hasil *spray*. Variasi-variasi mendasar proses *thermal spray* adalah material umpan, metode pemanasan dan metode penyemprotan material ke permukaan *substrat*. Material umpan yang digunakan dapat berbentuk serbuk, kawat dan batangan.

Proses pelapisan dengan metode thermal spray mudah digunakan, biaya operasi lebih kecil, dan dapat meningkatkan kinerja dan umur pakai komponen. Perbedaan tingkat porositas dan jumlah *inklusi oksida* pada hasil lapisan akhir adalah merupakan fungsi dari kecepatan partikel cair dan lingkungan, udara dan gas *inert* yang digunakan. Secara khusus lapisan menempel dan terikat pada substrat dengan ikatan mekanik (*mechanical interlock*) dimana permukaan *substrat* telah dikasarkan lebih dahulu dengan grit blasting. Ikatan seperti ini disebut dengan kekuatan ikatan *adhesif*, sedangkan ikatan antara partikel dengan partikel yang sama disebut ikatan *kohesif*. Berdasarkan sumber penghasil panas, proses *thermal spray* dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu pembakaran dan listrik.

Proses pelapisan logam dengan HVOF Spray dan peralatannya terlihat pada gambar 2.2, menggunakan energi kinetik yang luar biasa tinggi dan energi panas yang dihasilkan terkontrol dan menghasilkan lapisan dengan tingkat porositas yang lebih rendah, kekuatan ikatan yang lebih tinggi, permukaan lapisan lebih halus dan tegangan sisa yang lebih rendah jika dibandingkan dengan lapisan yang dihasilkan dari proses *spraying* lainnya, seperti *flame spray*, *electric arc spray* atau *plasma spraying*.



Sumber: Hasil Pengolahan Data
Gambar 1

HVOF Spray Equipment

Metodologi Six Sigma

Sejarah Six Sigma

Six Sigma dicetuskan pada tahun 1964 ketika Dr. Joseph Juran menulis buku berjudul *Managerial Breakthrough*. Buku ini membedakan antara kontrol, yang berarti tidak ada perubahan dengan terobosan yang berarti perubahan.

Ide *six sigma* dimulai tahun 1981 ketika Robert Galvin menantang sektor komunikasi *Schaumburg* untuk perbaikan mutu dalam lima tahun. Pada tahun 1986 Galvin menetapkan tujuan yang lebih menantang dengan perbaikan sepuluh kali lipat dalam semua area fungsional Motorola pada tahun 1989, seratus kali lipat perbaikan pada tahun 1991 dan kemampuan *six sigma* pada tahun 1992.

Motorola yang merupakan salah satu perusahaan besar di Amerika Serikat dan Eropa yang sedang bersaing ketat dengan perusahaan Jepang, memulai program *six sigma* dan menyempurnakan berbagai tekniknya. Pemimpin puncak Motorola menyadari bahwa produk yang mereka hasilkan benar-benar jelek dan mereka tidak memiliki program kualitas. Tetapi pada tahun 1987 ada pendekatan baru yang muncul pada bagian komunikasi Motorola yang pada saat itu dipegang oleh George Fisher, seorang eksekutif mapan dari Kodak. Konsep inovatif ini dinamakan *Six Sigma*.

Definisi Six Sigma

Definisi *six sigma* berbeda-beda tergantung perusahaan yang menerapkan dan buku penerapan metode *six sigma* yang telah diterbitkan. Namun intisari dari program *six sigma* berpusat pada metodologi pemecahan masalah yang disingkat

DMAIC (*Define Measure Analyze Improve Control*). Kelimanya adalah langkah-langkah yang digunakan pada masalah-masalah kronis yang ditetapkan oleh *Black Belt* untuk dipecahkan.

Definisi *six sigma* menurut beberapa sumber ;

1. *Six Sigma* pada hakikatnya adalah suatu cara mengelola perusahaan, meskipun *six sigma* memiliki komponen teknis. Ia adalah program manajemen.
2. *Six Sigma* adalah suatu pengukuran statistik. Dapat memberikan informasi kepada kita seberapa bagus produk dan service kita serta proses didalamnya. Dengan *six sigma* didapat membantu kita untuk menentukan langkah dan arah guna kepuasan pelanggan secara total.
3. *Six Sigma* adalah suatu *Improvement Tool* (alat perbaikan. suatu alat yang lengkap yang dapat dipergunakan dan diaplikasikan pada *Design, Manufacture, Sales, Service, dll*.
4. *Six Sigma* adalah suatu strategi bisnis, yaitu ;
 - Dapat membantu kita dalam meraih keuntungan pada suatu persaingan
 - Bila kita dapat memperbaiki *sigma level* pada suatu proses, berarti kualitas produk akan lebih baik dan biaya yang tidak perlu akan berkurang dan hasilnya yang pasti pelanggan akan semakin puas.
5. *Six Sigma* adalah suatu *philosophy*. Merupakan metode untuk bekerja lebih pintar, tidak keras. Dan *six sigma* membuat kesalahan akan semakin berkurang terhadap pekerjaan yang kita lakukan.
6. *Six Sigma* adalah sebuah visi, dalam hal ini *six sigma* mengharapkan tidak terjadi *defect* dalam sebuah proses yang juga diharapkan oleh sebuah organisasi. (*Thomas Pyzdek, 2002*)
7. *Six Sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3.4 kegagalan dalam persejuta kesempatan (DPMO) untuk setiap transaksi produk (barang atau jasa), upaya giat menuju kesempurnaan (*zero Defect*). (*Vincent Gaspersz, 2002*)
8. *Six Sigma* adalah sebuah cara pintar untuk mengelola sebuah bisnis atau departement. (*Peter S. Pande dan Larry Holpp, 2003*)

Tujuan Six Sigma

Six Sigma sangat menyadari bahwa akan selalu ada potensi untuk terjadinya cacat, bahkan dalam produk yang dibuat dengan baik. Namun pada kinerja 99.9997 %. *Six Sigma* menerapkan sebuah target kinerja dimana cacat dalam banyak proses dan produk menjadi hampir tidak ada. Tiga bidang utama yang menjadi target six sigma adalah ;

1. Meningkatkan kepuasan pelanggan,
2. mengurangi waktu siklus,
3. Mengurangi *defect* (cacat).

Keuntungan Six Sigma

Six sigma memungkinkan pencapaian keteguhan tujuan yang merupakan rahasia keberhasilan, dengan memfokuskan usaha-usaha anda untuk memahami variasi-variasi dalam proses dan cacat yang dihasilkannya. Dimulai dari pihak pelanggan six sigma mengukur permintaan dalam arti yang sebenarnya dari apa yang dibutuhkan pelanggan. Hal ini menguntungkan kedua belah pihak dalam memikirkan apa saja yang benar-benar penting. Melakukan pengukuran yang sifatnya konsisten dengan befokus pada cacat atau kemungkinan terjadinya cacat, pengukuran *six sigma* dapat digunakan untuk mengukur dan membandingkan prose-proses yang benar-benar berbeda di dalam organisasi atau antar organisasi. Begitu anda mendefinisikan kebutuhan secara jelas, anda akan dapat mendefinisikan cacat dan mengukur hampir tiap aktifitas atau preoses usaha. Contoh: kesalahn mencetak dokumen, pengiriman terlambat, kuantitas tidak tepat, kekurangan komponen, sistem kacau dan ketidak sesuaian biaya. *Six sigma* dapat menyatukan tujuan yang penuh ambisi.

Dengan memusatkan perhatian seluruh organisasi pada tujuan kinerja 99.9997 % agar dapat membuat perbaikan yang cukup signifikan.

Mendesign Six Sigma (DFSS : Design For Six Sigma)

DFSS digunakan untuk mendesign suatu produk atau pelayanan saat pertumbuhan. Harapan dari proses sigma level untuk DFSS produk dan jasa adalah kurang 4.5 (tidak lebih dari 1 cacat perseribu kesempatan), tetapi dapat menjadi 6 sigma atau besanya tergantung dari produk. Apabila produksi dengan level cacat rendah dari produk atau jasa dapat tercipta maka diharapkan harapan dan keigian konsumen dapat dimengerti dengan lengkap sebelum design dapat diterapkan.

Dalam implementasinya six sigma terdiri dari 5 tahap, yang dikenal dengan sebutan DMIC, yaitu;

1. *Define*, tujuan dari proyek dan konsumen (internal dan eksternal)
Define merupakan langkah oprasional pertama dalam program peningkatan kualitas *six sigma*, pada tahap ini perlu didefinisikan proyek *six sigma*, dimana kita perlu menetapkan prioritas utama tentang masalah-masalah yang perlu ditangani terlebih dahulu.
2. *Measure*, proses dalam pelaksanaan yang umum

Measure merupakan langkah operasional kedua dalam peningkatan kualitas *six sigma*, dimana kita mulai menentukan karakteristik kualitas yang berhubungan langsung dengan spesifikasi pelanggan (CTQ: *Critical To Quality*), kemudian melakukan perhitungan kapabilitas proses (Cp) sampai dengan menentukan level sigma perusahaan.

3. *Analyze*, dan menemukan akar penyebab dari cacat.
4. *Improvement* proses dan mengendalikan faktor-faktor yang menyebabkan cacat. Tahap ini adalah tahap pemberian usulan-usulan untuk memperbaiki proses dengan cara meminimasi cacat.
5. *Control* proses pelaksanaan produksi atau pelayanan yang akan datang. Merupakan tahap pengendalian untuk memastikan bahwa faktor-faktor penyebab variasi tidak muncul.

Memilih Sumber-sumber untuk ide-ide proyek

Bagi semua proses input adalah kunci bagi hasil yang efektif (*garbage in, garbage out*). Jika hanya memperhatikan bagian data *anecdotal* saat memutuskan dimana memfokuskan usaha *six sigma* maka kemungkinan besar proyek tersebut adalah proyek yang tidak relevan dan tidak dapat dikelola. Sumber ide-ide proyek dapat meliputi hal-hal berikut :

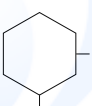
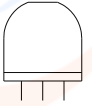




1. Sumber-sumber eksternal
Sumber ini terbagi menjadi tiga kategori : *Voice of customer, Voice of Business and Comparison with Competitors*. Pada dasarnya, sumber-sumber tersebut mengidentifikasi peluang-peluang untuk memenuhi persyaratan pelanggan dengan baik, merespon trens pasar atau menghadapi strategi dan kapabilitas para pesaing. Sumber untuk jenis informasi seperti ini sangat luas, dari artikel-artikel perdagangan dan bisnis, riset pesaing atau pasar, hingga umpan balik dari tenaga penjualan.
2. Sumber internal/eksternal
Input-input ini membantu mengidentifikasi tantangan yang dihadapi oleh bisnis dalam menentukan dan atau mencapai pasar dan strategi-strategi pelanggan.
3. Sumber internal
Frustrasi, isu-isu, masalah dan peluang yang dapat dilihat dalam operasi adalah sumber kunci ketiga dari proyek *six sigma* potensial. Sumber-sumber ini dapat dinamai *Voice of Process* dan *Voice of Employee*. Tujuannya adalah memberikan perhatian yang lebih kepada berbagai perspektif orang mengenai cara-cara

dimana proses dapat diperbaiki untuk keuntungan bisnis, pelanggan, pemegang saham dan karyawan. (Peter S. Pande dan Larry Holpp, 2002)

Analisa Pohon Kesalahan (FTA : Fault-Tree Analyze)

Analisa Pohon Kesalahan (FTA : *Fault-Tree Analyze*) adalah pendekatan dari atas kebawah Untuk analisis keterandalan. FTA menyediakan Perwakilan grafik kejadian yang mungkin mengarah pada kegagalan. Beberapa symbol digunakan dalam pembuatan pohon kesalahan ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1
Simbol Pohon Kesalahan

Simbol Gerbang	Nama Gambar	Hubungan Kasual
	Geerbang AND	Kejadian keluaran terjadi jika semua kejadian masukan terjadi serentak
	Gerbang OR	Kejadian keluaran terjadi jika satu dari kejadian masukan terjadi
	Gerbang menghalang	Masukan menghasilkan keluaran saat kejadian bersyarat terjadi
	Gerbang prioritas AND	Kejadian keluaran terjadi jika semua kejadian masukan terjadi dengan urutan dari kiri ke kanan.
	Geerbang eksklusif OR	Kejadian keluaran terjadi jika satu, tetapi tidak keduanya, dari kejadian masukan terjadi.
	Gerbang m-diluar-n (Gerbang voting atau sample)	Kejadian keluaran terjadi jika m-diluar-n kejadian masukan terjadi.
Simbol Kejadian	Arti	
	Kejadian diwakili oleh sebuah gerbang.	
	Kejadian dasar dengan data yang cukup.	
	Kejadian yang belum berkembang.	
	Baik terjadi atau tidak terjadi.	
	Kejadian bersyarat yang digunakan dengan gerbang menghalangi	
	Simbol pemindahan.	

Secara umum, FTA mengikuti tahap-tahap berikut:

- a. Tentukan kejadian paling atas, kadang-kadang disebut kejadian utama dan merupakan kondisi kegagalan dibawah studi.
- b. Tetapkan batasan FTA.
- c. Periksa system untuk mengerti bagaimana berbagai elemen berhubungan satu dengan yang lainnya dan untuk kejadian paling atas.
- d. Buat pohon kesalahan, mulai pada kejadian paling atas dan bekerja kearah kebawah.
- e. Analisis pohon kesalahan untuk mengidentifikasi cara dalam menghilangkan kejadian yang mengarah kepada kegagalan.
- f. Persiapan rencana tindakan perbaikan Untuk mencegah kegagalan dan rencana kemungkinan berkenaan dengan kegagalan saat mereka terjadi.
- g. Implementasi rencana.
- h. Kembali kelangkah #1 untuk desain baru.

Analisis Model Kegagalan dan Pengaruhnya (FMEA : Failure Mode and Effect Analysis)

Failure Mode and Effect Analysis adalah suatu penaksiran elemen per elemen secara sistematis untuk menyoroti akibat-akibat dari kegagalan komponen, produk, proses atau sistem dalam memenuhi keinginan dan spesifikasi konsumen. Hal ini ditandai dengan nilai yang tinggi atas elemen dari komponen produk, proses, atau sistem yang memerlukan prioritas penanganan untuk mengurangi kegagalan dengan berbagai cara seperti desain ulang, perbaikan secara terus-menerus, pendukung keamanan tinjauan perancangan dan lain-lain. Hal itu dapat dilaksanakan pada tahap perancangan dan menggunakan pengalaman atau pertimbangan atau yang digabungkan dengan reliabilitas data menggunakan pengetahuan tentang rata-rata tingkat kegagalan untuk komponen dan produk yang ada saat ini.

Failure Mode and Effect 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 dihilangkan atau dikurangi untuk mendapatkan peluang 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 design dan FMEA proses.

Salah satu faktor yang penting dalam suksesnya penerapan FMEA adalah '*time liness*'. Maksudnya adalah melakuakannya 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 yang memungkinkan adanya interaksi antara modifikasi dan *field history*.
3. menggunakan desain atau proses yang ada dalam lingkungan., lokasi atau aplikasi baru. FMEA akan berfokus terhadap imbas, terhadap lingkungan baru atau lokasi terhadap desain atau proses yang ada.

FMEA Design

FMEA Design adalah sebuah teknik analisis berdasarkan *design* dari engineering/team yang memuat modus kegagalan potensial penyebab kegagalan mekanis yang muncul dalam proses tersebut. Masing-masing item dari semua system yang ada, sub sistem dan semua komponen harus evaluasi. Secara sitematik pendekatan dilakukan secara parallel, formal dan semua dokumen yang terkait dengan para engineer yang mwelalui beberapa desain proses.

Desain potensial FMEA mendukung proses lain dalam mengurangi resiko kegagalan oleh:

- Dapat membantu mengevaluasi secara objektif dari desain, termasuk persyaratan fungsional dan desain alternatif,
- Evaluasi inisial desain untuk manufaktur, perakitan, service dan siklus dari requirement,
- Tambahkan probalitas dari modus kegagalan potensial dari efek dari sistem selama proses pengembangan desain,
- Sediakan informasi tambahan untuk membantu rencana desain yang efisien, pengembangan dan validasi,
- Rancang ranking dari modus kegagalan potensial berdasarkan efek yang ditimbulkan pada konsumen,
- Sediakan untuk menyerap isu-isu, untuk rekomendasi dan resikonya untuk mengurangi aksi.

- Sediakan referensi untuk masa depan untuk membantu analisis, evaluasi perubahan desain dan pengembangan desain sudah *final*.

FMEA design disebut juga *living* dokumen dan awal untuk:

- Dapat mengetahui sebelum atau saat konsep *design* sudah *final*,
- Dapat melanjutkan *updating* terhadap perubahan atau penambahan informasi yang terkandung dalam pengembangan produk,
- Dapat melengkapi kekurangan sebelum gambar proses produksi dibuat.

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, sebagai contoh;

- Batasan dari finishing permukaan,
- Suaian perakitan/akses untuk tooling,
- Batasan tingkat kekerasan dari baja,
- Toleransi,
- Kemampuan proses atau performansi.

Hal-hal yang terdapat pada FMEA Desain, yaitu:

1. *FMEA number*: tuliskan nomor dokumen,
2. *System, subsistem, or Component Name and Number*: Indikasi level yang tepat dari sebuah analisis dan tulis nama dan nomor dari fungsi system, subsistem atau komponen yang sedang ditulis,
3. *Desaing responsibility*: Tulis nama departemen, gup dan *supplier* jika produk dibuat oleh *supplier*,
4. *Prepared by*: tulis nama dan nomor telepon atau engineering yang terlibat,
5. *Model years*: Tuliskan tahun pembuatannya,
6. *Key Date*: Tuliskan awal pembuatan FMEA,
7. *FMEA date*: Tuliskan tanggal selesainya FMEA,
8. *Core Team*: Tuliskan semua pihak yang terlibat dalam pembuatan FMEA,
9. *Item/Fuction*: tuliskan nama atau informasi lain yang berhubungan dari item yang sedang dianalisis,
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 / Machanism of failure*, adalah bagaimana sebuah kegagalan dapat terjadi dan menjelaskan sesuatu yang dapat mengoreksi atau mengontrol,
15. *Occurrence*: adalah sesuatu yang spesifik menerangkan rata-rata kegagalan yang terjadi,
16. *Current Process Control*: suatu penjelasan yang menerangkan sebuah kontrol yang dapat mendeteksi modus kegagalan yang akan terjadi,
17. *Detection*: deteksi adalah ranking yang menerangkan deteksi yang terbaik yang dapat mengontrol.
18. *Recommended Action*: perkiraan dari seorang engineer untuk mengurangi atau mencegah yang didasarkan terhadap nilai RPN tertinggi, severity tertinggi atau yang lainnya yang didesain oleh sebuah team,
19. *Responsibility for the recommended Action*: tuliskan masing-masing pemenuhan untuk pencapaian rekomendasi aksi,
20. *Action result*: setelah pencegahan/koreksi yang telah diidentifikasi, lakukan peramalan dan catat hasil dari *severity*, *occurrence* dan ranking dari deteksi. Kalkulasi dan catat hasil dari RPN.

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 system yang ada, sub sistem dan semua komponen harus dievaluasi. Secara sistematis pendekatan dilakukan secara paralel, formal dan semua dokumen yang terkait dengan para engineering yang melalui beberapa desain proses.

FMEA proses berguna untuk:

- Mengidentifikasi fungsi dari proses dan *requirement*,
- Mengidentifikasi potensial produk dan hubungan antara proses dengan modus kegagalan,
- Menaksirkan efek kegagalan (potensi pada konsumen)
- Mengidentifikasi potensial dari proses produksi atau perakitan penyebab dan mengidentifikasi variabel proses yang berfokus pada mengurangi tingkat *occurrence* atau deteksi dari kondisi gagal,

- Mengidentifikasi variable proses yang mana berfokus pada proses kontrol,
- Mengembangkan ranking dari modus kegagalan potensial yang didapat dari prioritas dari system untuk pencegahan pertimbangan aksi yang diambil,
- Dokumentasi dari hasil proses produksi atau proses perakitan.

FMEA proses adalah sebuah *living* dokumen dan sebagai awal untuk:

- Sebelum atau saat tahap kelayakan proses,
- Prioritas *tooling* untuk produksi,
- Pengambilan laporan semua proses produksi, dari bentuk per part komponen sampai proses perakitan.

Pada tahap awal dan analisis dari peninjauan kembali proses yang meningkatkan proses, pemecahan ulang atau monitor potensial proses yang focus pada tahap rencana proses produksi kedalam model baru atau komponen program. FMEA proses berasumsi bahwa produk yang telah didesain merupakan bagian dari FMEA desain. Modus kegagalan potensial dapat terjadi karena dsain 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 meng atasi kelemahan proses.

Salah satu tujuan dari FMEA adalah mengarahkan ketersediannya sumber kearah kesempatan yang paling menjanjikan (Pyzdek, Thomas, *The Six Sigama Hand Book*, 2000).

Menurut Peter S. Pande, (2000) langkah-langkah dalam pembuatan FMEA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi proses atau produk,
2. Membuat daftar masalah-masalah potensial yang akan muncul,
3. Memberikan tingkatan pada masalah untuk *severity*, *occurrence* dan *detectability*,
4. Menghitung *risk priority number* (RPN) dan menentukan prioritas tindakan perbaikan,
5. Mengembangkan tindakan untuk mengurangi resiko,
6. skala penilaian untuk perhitungan ini adalah 1-10. Penilaian tergantung dari proses itu sendiri berada pada tingkat berapa bila diukur dari sisi *severity*, *occurrence* dan *detectability* seperti terlihat pada tabel 2, 3, 4.
7. Penilaian *severity* (S), *occurrence* (O) dan *detectability* (D) terhadap proses ini dilakukan secara subyektif , dengan cara berdiskusi denag

manajer mutu, manajer teknis dan *cutomer service*,

8. Risk priority number (RPN) meupakan perkalian dari rating *severity* (S), *occurrence* (O) dan *detectability* (D).

Tabel 2
Skala penilaian untuk *severity*

Rating	Keterangan
1	Efeknya sangat kecil (<i>minor effect</i>)
2 - 3	Efeknya kecil atau cukup rendah (<i>low effect</i>)
4 - 6	Efeknya cukup atau sedang (<i>moderate Effect</i>)
7 - 8	Efeknya tinggi (<i>high effect</i>)
9 - 10	Efeknya sangat tinggi (<i>very high effect</i>)

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 3
Skala penilaian untuk *occurrence*

Rating	Keterangan
1	Sangat jarang terjadi (<i>remote, failure is unlikely</i>)
2 - 3	Kemungkinan terjadinya rendah atau hanya terjadi beberapa kali saja (<i>low, relatively few failure</i>)
4 - 6	Biasa terjadi (<i>moderate, occasional failure</i>)
7 - 8	Sering terjadi atau berulang-ulang (<i>high, repeated failure</i>)
9 - 10	Sangat sering terjadi atau kegagalan yang hampir tidak dapat dihindarkan (<i>very high, almost invitiable failure</i>)

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 4
Skala penilaian untuk *Detectability*

Rating	Keterangan
1	Kemungkinan cacat itu terdeteksi lebih awal sangat tinggi (<i>very high</i>)
2 - 3	Kemungkinan cacatitu terdeteksi lebih awal tinggi (<i>high</i>)
4 - 6	Kemungkinan cacat itu terdeteksi lebih awal rendah (<i>low</i>)
7 - 8	Kemungkinan cacat itu terdeteksi lebih awal sangat rendah (<i>very low</i>)
9 - 10	Cacat itu dapat terdeteksi labih awal (<i>absolute certainty of non detection</i>)

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di *workshop* PT. T pada bulan Desember 2006 sampai dengan Februari 2007. Lokasi tersebut merupakan tempat dimana perusahaan ini melakukan aktifitas *service dan maintenance* Pelapisan Logam dengan metoda *HVOF Spray*.

Penelitian diawali dengan studi pendahuluan untuk mengenal kondisi perusahaan tersebut sekaligus mengetahui permasalahan yang dihadapi melalui wawancara dan pengamatan langsung. Masalah yang teridentifikasi lalu dirumuskan dan dikaji kepustakaan yang terkait dengan masalah. Kebutuhan data yang sudah diketahui lalu dikumpulkan, diolah, dianalisa dan pada akhirnya disimpulkan.

Tahapan pengolahan data tahap *define*

Tahap *define* meliputi pendefinisian masalah dengan metode 5W+2H (*what, where, who, why how and how much*).

Tahapan pengolahan data tahap *measure*

Dalam tahap ini dilakukan pengukuran *sigma level* produk yang cacat diperusahaan dan didahului dengan pengukuran penentuan faktor yang menyebabkan produk cacat, yaitu; diagram *pareto* untuk mengetahui proses dan jenis cacat yang terjadi yang paling besar.

Tahapan pengolahan data tahap *analyze*

Tahap ini dilakukan pencarian faktor yang paling berpengaruh terhadap cacat yang terjadi dengan diagram *fishbone*, lalu menentukan faktor dari *fishbone* yang paling dominan yang selanjutnya dicari faktor yang paling kecil dengan metode FTA dan terakhir menganalisa kegagalan potensial yang dapat terjadi dengan *failure mode and effect analyze* (FMEA). Untuk tahapan proses selanjutnya dari *Six Sigma* tidak dilakukan karena dalam penelitian ini hanya menganalisa guna mendapatkan faktor yang paling berpengaruh terhadap jenis cacat yang terjadi sehingga dapat memberikan masukan kepada perusahaan untuk perbaikan kualitas pada masa yang akan datang.

Hasil dan Pembahasan

Keadaan Umum Perusahaan

PT. T adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang pelapisan logam dan penjualan *product gas detector*. Keduanya saling mendukung dan dengan bisnis yang digeluti oleh pemilik perusahaan mempunyai tujuan

memperlebar area bisnis yang dijalani ini sehingga kemajuan perusahaan semakin terwujud. Perusahaan berdiri pada tanggal 05 April 1995 dengan akte pendirian No.34 tanggal 12 Februari 2002 sampai sekarang ini, perusahaan ini mempunyai dua lokasi yang terpisah antara *Head Office* dan *Workshop*, yaitu tempat repair sebagai produksi dalam bidang *service*. Untuk memberikan pelayanan terbaik kepada *customer* maka dalam penempatan karyawannya pun diseleksi secara ketat dan yang dapat bekerja secara *profesional*. Dengan adanya *Technical Suport*, yaitu Mr. Stevent Booth yang menguasai teknologi ini sekaligus salah satu pemilik perusahaan membuat perusahaan ini sangat dipercaya oleh pelanggannya.

Untuk mewujudkan kepuasan dan pelayanan kepada konsumen perusahaan ini mempunyai jasa yang ditawarkan kepada pelanggan umum, yaitu :

1. Pelapisan logam pada suatu *part* mesin
2. Kualitas dengan standart yang cukup tinggi.
3. Penyewaan mesin pelapisan logam dan peralatan pendukungnya.
4. Jasa *repair* sekaligus *maintenance* suatu mesin.

Jenis bisnis yang digeluti oleh perusahaan ini, yaitu:

- a. Aktifitas bisnis bidang *service* perawatan dan perbaikan.

Teknologi yang ditawarkan untuk pelapisan logam berupa *Thermal Spray* dan *Welding*. Pada bidang ini perusahaan memiliki beberapa jenis peralatan teknologi pelapisan logam dengan *thermal spray* diantaranya: *HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)*, *Thermal Arc Spray*, *Thermal Flame Spray Wire*, *Thermal Flame Spray Powder*, *Thermal Flame Ceramic Spray*, dan *Spray and Fuse*.

Teknologi yang dimiliki dalam bidang *welding* atau pengelasan, diantaranya: *Plasma Transfer Arc Welding(PTAW)*, *Gas Tungsten Arc Welding (TIG)* dan *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*.

- b. Aktifitas bisnis bidang penjualan produk
Pada bidang bisnis ini perusahaan menjual beberapa jenis peralatan *spray* berupa mesin berikut suku cadangnya. Bukan sekedar menjual peralatan saja tetapi menjual juga material *spray* dan *welding*, *superabrasive*, *electrical* dan *mechanical* serta menjual perlengkapan *finishing* lainnya.

Pemeriksaan *Final*

Beberapa jenis pemeriksaan *Final (Finishing)* yang dilakukan *departement Quality* adalah:

Pengujian keretakan (*dye-penetrant test*)

Untuk mengetahui keretakan, susunan struktur dari suatu logam dapat dilakukan pengujian dengan istilah *Dye Penetrant Test (DPT Check)*, dimana terdiri dari tiga jenis cairan yaitu :

a. **Cairan pembersih (*cleaner*)**

Cairan ini berfungsi untuk menghilangkan kotoran dalam bentuk oli, grease dan jenis kotoran yang lainnya yang menghambat cairan *penetrant* masuk dalam celah logam yang retak (*Crack*).

b. **Cairan peresap (*penetrant*)**

Cairan ini berfungsi mengetahui keretakan yang ada dengan cara meresap pada celah-celah yang retak tadi, yang tidak dapat dilihat mata telanjang. Untuk memaksimalkan penyerapan maka diberi waktu selama min. 10 menit, kemudian dibersihkan dengan majun/kain pada permukaan yang di *check* tadi.

c. **Cairan serbuk (*developer*)**

Setelah proses pembersihan selesai maka disemprotkan cairan *developer*. Cairan ini berfungsi untuk menimbulkan cairan yang telah meresap tadi, sebagai penimbul keretakan dan indikasi yang lain.

Pemeriksaan ketebalan lapisan

Pengecekan ini dilakukan untuk menjamin ketebalan lapisan sesuai dengan standart perusahaan yang telah ditetapkan. Standart ketebalan lapisan HVOF Spray ditetapkan perusahaan $\pm 0.2-0.3$ mm.

Pengecekan ketebalan ini dilakukan dengan alat pengukur ketebalan, yaitu; *coating thickness tester* dengan ketelitian micrometer. Dengan catatan alat ini dapat digunakan hanya pada material yang magnetis saja.

Pengecekan dimensi

Pengecekan ini dilakukan untuk menjamin ukuran *finish* masuk dalam batas toleransi yang telah ditetapkan atau tidak atau sesuai dengan permintaan customer (spesifikasi yang diminta). Pengukuran ini menggunakan alat ukur *micrometer*.

Pengecekan visual

Pengecekan ini dilakukan sama dengan pada tahap awal, yaitu: hanya melihat keadaan *part* tersebut pada saat setelah selesai proses *finishing*.

Pemeriksaan kebengkokan

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui keadaan barang tersebut khususnya kebengkokan. Langkah ini dilaksanakan untuk mengetahui kondisi barang pada saat *finish* dengan memeriksa *Run out*-nya menggunakan *dial indikator*, sehingga bila terjadi kebengkokan setelah pengerjaan dapat diketahui.

Pemeriksaan kehalusan

Alat ukur yang digunakan untuk pemeriksaan kehalusan, yaitu: *Ra (Surtronic 10 : Rank Taylor Hobson)*.

Pengolahan Data dan Analisa

Pengolahan data dengan metode *six sigma*

Sebelum melakukan pengolahan data dan masuk pada tahapan *Six Sigma* maka perlu diketahui proses *Thermal Spray*, yang dimulai dari material itu diperoleh hingga dihasilkan produk yang dapat digunakan oleh pelanggan.

Diagram SIPOC merupakan salah satu teknik dalam proses identifikasi guna melihat sekilas tentang *work flow* dari suatu proses. Berikut adalah diagram SIPOC yang menggambarkan proses dihasilkannya produk pelapisan logam. Diagram meliputi *supplier, input, process, output* dan *customer*.



Sumber: Hasil Pengolahan Data
Gambar 2
Diagram *SIPOC*

Tahap pendefinisian (*define*) *six sigma*

Tahap pertama dalam penerapan proses *Six Sigma*, yaitu: *Define*. Langkah ini dilakukan untuk menentukan permasalahan yang dihadapi pada proses produksi pelapisan logam dengan metode *HVOF Spray*. Dengan teridentifikasinya permasalahan yang dihadapi maka dapat dilakukan langkah atau tahap selanjutnya pada proses penerapan *Six Sigma*.

Struktur pernyataan masalah yang diangkat dalam proyek *Six Sigma* dikelompokkan dalam *5W+2H (What, Where, When, Who, Why, How and How-Much)*, dengan metode ini diharapkan permasalahan yang dihadapi dapat didefinisikan sehingga dapat diolah dalam penentuan *sigma level*-nya yang selanjutnya dapat dianalisa penyebab permasalahan yang terjadi.

Dalam pembahasan ini hanya akan dianalisa proses produksi yang telah dilakukan dengan tahapan *Six Sigma*, meskipun tujuan utama dari proses *Six Sigma* ditingkatkannya *sigma level* menuju *Six Sigma* yang menurunkan tingkat produksi cacat yang terjadi. Pendefinisian permasalahan dapat dilakukan dalam beberapa tahap, antara lain:

Menentukan proyek *six sigma*

Proyek *Six Sigma* dapat diterapkan apabila mempunyai tujuan tertentu. Dalam pembahasan ini *Six Sigma* yang diterapkan bertujuan untuk menganalisa penyebab yang paling dominan dari produk cacat yang terjadi pada proses pelapisan logam dengan metode *HVOF Spray*.

Pendefinisian permasalahan dapat ditentukan dengan metode *5W+2H (What, Where, When, Who, Why, How and How-Much)*.

Khusus pendefinisian masalah pada tahap *What* dapat dipaparkan sebagai berikut

Permasalah terjadi disebabkan kurang puasnya pelanggan yang merupakan factor yang

harus dipenuhi oleh perusahaan, guna mencapai kepuasan pelanggan secara maksimal. Dalam penentuan permasalahan ini akan diperoleh dengan menyaring permintaan pelanggan yang berbagai macam dengan tingkat kemampuan perusahaan yang akan diwakili oleh pihak-pihak yang terkait. Penyaringan atau pemilihan prioritas permasalahan dilakukan sebagai berikut.

Penentuan prioritas permasalahan dengan pemberian *score* terlihat pada gambar 3. Pihak yang memberi *score* tersebut dilakukan oleh pihak perusahaan yang terkait. Pengolahan dan penentuan prioritas permasalahan terlihat gambar 3 berikut ini.

	Jml. Permintaan	Kemampuan Perusahaan						Jumlah score	Jml. Permint. x jml score	Rating	
		Bp. Ir. Trisna sumaryanta	Mr. Stevent Booth	Bp. Ir. Sidik Latuconsina	Bp. Sugito	Bp. Ali Faizin	Bp. Budi Lesmana, ST.				
Permintaan Pelanggan	Penerimaan <i>part</i> tepat waktu	9	5	5	3	1	5	3	22	198	2
	Kualitas bahan pelapisan tinggi	8	3	5	3	3	5	3	22	176	3
	Tidak ada produk <i>defect</i>	12	5	5	3	3	5	5	26	312	1
	Pelayanan memuaskan	5	5	3	3	1	5	1	18	90	6
	Perlakuan <i>part</i> pada proses pelapisan bagus	7	3	3	1	1	5	3	16	112	5
	Adanya pelayanan <i>pasca</i> pelapisan	2	3	3	1	1	3	1	12	24	9
	Adanya <i>Discount</i>	5	3	3	1	1	5	3	16	80	7
	Adanya garansi perusahaan	7	3	5	3	1	3	3	18	126	4
	Adanya laporan hasil pelapisan	5	3	3	1	1	3	5	16	80	8

Ket.: 5 = sangat penting, 3 = rata-rata penting, 1 = kurang penting, 0 = tidak penting

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 3 Penentuan Prioritas Permasalahan

Dari gambar 2 dapat diketahui permasalahan yang paling dominan dan sekaligus permasalahan yang diprioritaskan oleh perusahaan untuk memenuhi permintaan para pelanggan, yaitu; tidak adanya produk *defect*, akan tetapi permasalahan ini sering terjadi terlihat pada data yang diperoleh didepartemen *thermal spray* yang mempunyai produk *defect* pada proses tersebut. Terjadinya produk *defect* belum dapat diatasi secara maksimal oleh perusahaan ini, akan tetapi sangat diupayakan untuk menurunkan terjadinya produk *defect* tersebut. Berdasarkan gambar 3 maka perusahaan ini akan memprioritaskan penurunan produk *defect*.

Tahap Pengukuran (*Measure*)

Pada tahap ini akan dilakukan pengukuran terhadap cacat yang terjadi disemua lini dari produksi perusahaan.. Data yang *valid* akan menentukan hasil analisa yang mempunyai keakuratan yang tinggi. Pada tahap awal setelah mendapatkan data cacat dari semua proses pelapisan logam dari perusahaan, maka data tersebut akan diolah untuk menentukan proses mana yang mempunyai cacat yang paling tinggi.

Tabel 5
Struktur Pendefinisian Masalah

What?	→ Menurunkan <i>defect</i> yang terjadi.
Where?	→ Pengambilan data di Departemen <i>workshop</i> PT. T pada divisi <i>Thermal Spray</i> .
When?	→ Proses pengambilan data berdasarkan periode tahun lalu, yaitu: dari tahun 2005 s/d. 2006
Who?	→ Yang bertanggung jawab atas aktifitas pengamatan dan penyelesaian masalah adalah tiap orang yang memegang jabatan dan fungsi masing-masing ditiap bagian dari proses produksi.
Why?	→ Rencana tindakan ini dipilih karena banyaknya produk cacat yang mana bila tidak dilakukan perbaikan sesegera mungkin akan menyebabkan bertambahnya produk cacat sehingga akan meningkatkan biaya proses produksi → Proses yang akan dilakukan adalah membuat diagram pareto untuk mengetahui penyebab permasalahan yang terjadi, menghitung kemampuan proses, menentukan sigma level proses produksi yang telah berjalan, mencari sebab akibat permasalahan yang terjadi, mencari faktor yang paling dominan yang kemudian dipersempit lagi dengan metoda FTA yang akhirnya akan dicari penyebab yang paling utama dengan metode FMEA.
How?	
How-Much?	→ Dengan analisa yang akan dibuat yang bertujuan mendapatkan penyebab dari permasalahan, diharapkan dapat digunakan untuk perhitungan semua <i>cost</i> dari perbaikan dimasa yang akan datang oleh perusahaan.

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Penentuan Cacat Terbesar dari Proses *Thermal Spray*

Dalam menentukan cacat terbesar pada proses *Thermal Spray*, digunakan data yang diperoleh dari *departement QC* yang mencatat dan mengumpulkan data pada suatu *file* sehingga data tersebut dapat digunakan. Data diambil periode tahun 2005 s/d. 2006.

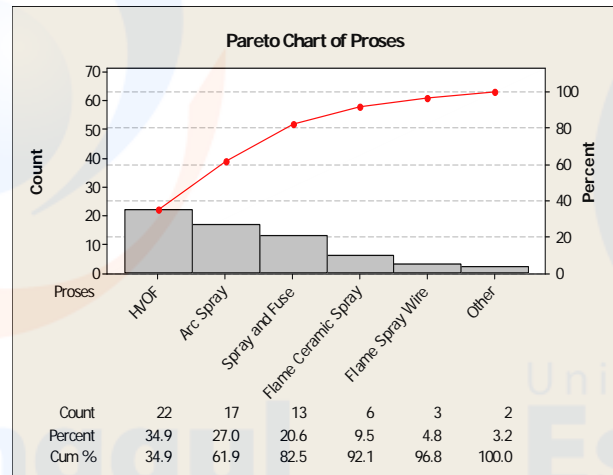
Tabel 6

Jumlah cacat pada Proses *Thermal Spray* pada tahun 2005 s/d. 2006

No.	Jenis Cacat	Jumlah Cacat (buah)	Presentase (%)
1.	<i>HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)</i>	22	34.9
2.	<i>Thermal Arc Spray</i>	17	27.0
3.	<i>Thermal Flame Spray Wire</i>	3	4.8
4.	<i>Thermal Flame Spray Powder</i>	2	3.2
5.	<i>Flame Ceramic Spray</i>	6	9.5
6.	<i>Spray and Fuse</i>	13	20.9

Sumber : Catatan QC untuk produk yang cacat PT. T

Dari tabel 6 dapat diperlihatkan bahwa jumlah cacat yang paling besar. Data yang diolah dengan menggunakan program minitab ditunjukkan pada gambar 4.



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 4 Diagram Pareto Penentuan Cacat Terbesar Proses *Thermal Spray*

Gambar 4 menunjukkan bahwa Proses *Thermal Spray* dengan *HVOF Spray* menunjukkan tingkat cacat yang paling banyak dengan prosentase 34.9%. Untuk mengetahui jenis cacat yang paling banyak atau signifikan diantara jenis cacat pada proses *HVOF Spray*, maka pada tahap selanjutnya akan dilakukan pemilihan atau penentuan jenis cacat yang terbesar dengan diagram pareto pada program minitab.

Penentuan Jenis Cacat Pada Proses *HVOF Spray*

Dalam menentukan jenis cacat pada proses HVOF Spray, digunakan data yang diperoleh dari departement QC yang mencatat dan mengumpulkan data pada suatu file sehingga data tersebut dapat digunakan. Data diambil dari tahun 2005 s/d. 2006 dan pengolahan dapat dilihat pada tabel 7.

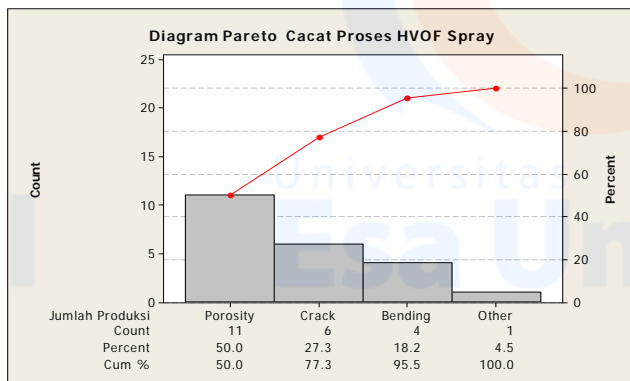
Tabel 7
Jumlah cacat pada Proses HVOF Spray pada tahun 2005 s/d. 2006

Jenis Cacat	Jumlah Cacat (buah)	Presentase (%)
1 Terdapat Permukaan yang Crack (retak)	6	27.3
2 Terdapat porosity	11	50
3 Part yang dilapisi bending	4	18.2
4 Part yang dilapisi Peel Off	1	4.5

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 7 dapat diperlihatkan bahwa jenis cacat yang paling dominan. Data yang diolah dengan menggunakan program minitab ditunjukkan pada gambar 5.

Gambar 5 adalah Diagram pareto yang menunjukkan bahwa cacat yang paling besar pada proses HVOF Spray adalah cacat porosity (50%).



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 5

Diagram Pareto Jenis Cacat Proses HVOF Spray

Pengolahan Data Peta Kendali-p

Data cacat porosity akan diolah kedalam peta kendali p Untuk mengetahui proses produksi masih dalam batas kendali atau tidak. Pada pengolahan menggunakan diagram Pareto dengan program minitab, menunjukkan bawa hasil yang

didapatkan sama dengan pengolahan menggunakan cara manual yang terlihat pada tabel 7.

Dari pengolahan data pada tabel 8, dapat diambil suatu kesimpulan bahwa jumlah cacat terbanyak terdapat pada bulan ke-5 dengan proporsi cacat sebesar 0.1666667 dan mempunyai prosentasi 16.666667%. Untuk selanjutnya data akan diolah kedalam suatu diagram untuk mengetahui besarnya variasi dalam batas kontrol tertentu. Pengolahan data ini akan di sajikan dalam diagram yang diolah dalam program minitab, seperti terlihat pada gambar 6.

Dari pengolahan data dengan program minitab seperti terlihat pada gambar 6 menunjukkan proses produksi masih dalam batas kontrol. Pengolahan data selanjutnya dapat dilakukan dengan menghitung garis pusatnya, sebagai berikut :

Proporsi cacat p

$$\bar{p} = \frac{np}{n} = \frac{22}{503} = 0.0437$$

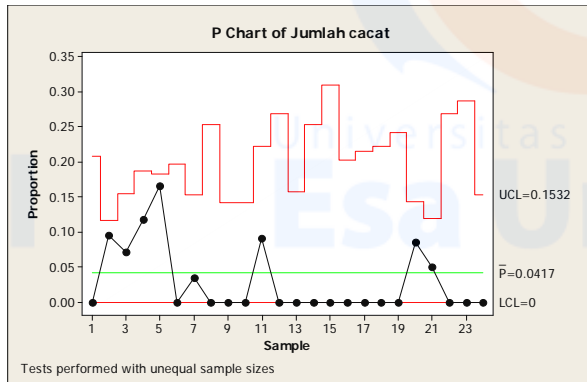
Tabel 8

Jumlah produk lapisan logam HVOF Spray yang ditolak

Bulan	Jumlah Produk si	Jumlah cacat	Proporsi	Prosentasi (%)
1	13	0	0	0
2	63	6	0.095238	9.52380952
3	28	2	0.071428	7.14285714
4	17	2	0.117647	11.7647058
5	18	3	0.1666666	16.6666666
6	15	0	0	0
7	29	1	0.034482	3.44827586
8	8	0	0	0
9	36	1	0.027777	2.77777777
10	36	0	0	0
11	11	1	0.090909	9.09090909
12	7	0	0	0
13	27	0	0	0
14	8	0	0	0
15	5	0	0	0
16	14	0	0	0
17	12	0	0	0
18	11	0	0	0
19	9	0	0	0
20	35	3	0.085714	8.57142857
21	59	3	0.050847	5.08474576
22	7	0	0	0

23	6	0	0	0
24	29	0	0	0
JML.	503	22		

Sumber: Hasil Pengolahan Data



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 6
Diagram Peta Kendali p Produk Cacat

Perhitungan garis kendali atas (LCL) dan garis kendali bawah (UCL)

Garis kendali atas:

$$UCL = p + 3 \frac{\sqrt{p(1-p)}}{n}$$

Garis kendali atas (UCL) bulan Januari 2006 (Bulan 1)

$$UCL = 0.0437 + 3 \frac{\sqrt{(0.0437(1-0.0437))}}{13}$$

$$= 0.214$$

Garis kendali bawah:

$$LCL = p - 3 \frac{\sqrt{p(1-p)}}{n}$$

Garis kendali bawah (LCL) bulan Januari 2006 (Bulan 1)

$$LCL = 0.0437 - 3 \frac{\sqrt{(0.0437(1-0.0437))}}{13}$$

$$= -0.126 (0)$$

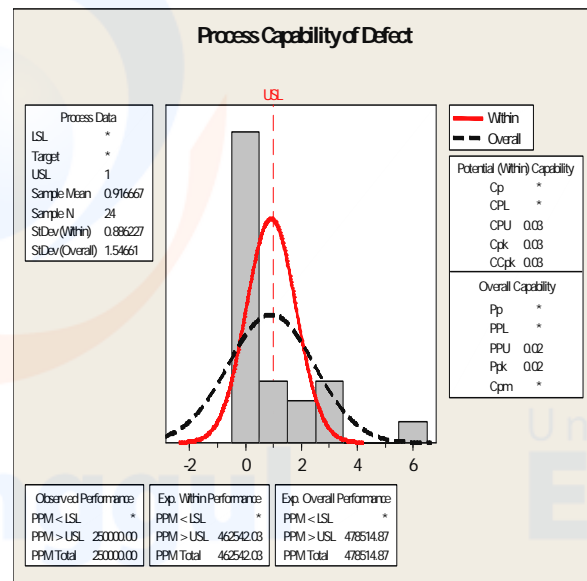
Pada perhitungan garis kendali atas (UCL) dan garis kendali bawah (LCL) untuk bulan berikutnya dengan cara yang sama seperti contoh di atas.

Dari gambar 6 menunjukkan produk cacat masih dalam batas kontrol, sehingga belum diperlukan perbaikan. Selanjutnya akan dihitung kemampuan proses perusahaan

Perhitungan Indeks Kemampuan Proses HVOF Spray Terhadap Cacat Porosity

Indeks kemampuan proses digunakan untuk menentukan tingkat kemampuan proses yang sedang berlangsung pada divisi HVOF Spray.

Dari hasil pengolahan data pada gambar 7 didapatkan dengan batas spesifikasi ketetapan perusahaan sebesar 0.2 % dan pada tahun 2005-2006 proses mempunyai spesifikasi dengan jumlah 503 produk adalah max. 1 buah cacat. Dari pengolahan pada grafik (gambar 7) mempunyai nilai Cpk sebesar 0.03 yang menunjukkan proses belum *kapabel*. Dapat diambil suatu kesimpulan bahwa kapabilitas proses cacat porosity belum memenuhi kebutuhan pelanggan.



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 7 Kapabilitas Proses cacat Porosity

Perhitungan DPMO (Defect per Million Oprtunity) dan level sigma

Perhitungan DPMO dan sigma levelnya dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel, sebagai berikut;

$$DPMO = 1000000(p((Z>USL-\mu)/\sigma))$$

$$= 1000000*(1-(normsdist(1-0.916667)/1.54661))$$

$$= 478514.84 \text{ ppm}$$

dimana :

DPMO : Jumlah cacat dalam satu juta kesempatan (ppm)

USL : Batas atas spesifikasi

μ : Rata-rata

σ : Standart deviasi

Perhitungan sigma levelnya sebagai berikut;
= $\text{normsinv}((1000000-\text{DPMO}/1000000)+1.5)$
= $\text{normsinv}((1000000-478514.84/1000000)+1.5)$
= 1.55388 sigma

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa proses *HVOF Spray* menghasilkan nilai DPMO sebesar 478514.84 ppm dan sigma level 1.55 sigma.

Tahap Analisis (*Analyze*)

Tahap ini merupakan tahap ketiga dari proses *six sigma*. Setelah melakukan pengolahan data dari penentuan masalah yang paling dominan hingga penentuan sigma levelnya maka selanjutnya akan dilakukan analisis dari permasalahan yang telah ada tersebut. Tahap analisis akan dilakukan dalam dua cara, yaitu; dengan analisa pembuatan *Fishbone*, Penentuan Faktor Terbesar Dari Diagram *Fishbone*, FTA dan penggunaan FMEA (*Failur Mode and Effect Analysis*).

Pembuatan *Fishbone*

Setelah pembuatan diagram sebab akibat seperti terlihat gambar 7 maka cacat porosity disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu;

a. Faktor Manusia (*man*)

Keterampilan (*skill*)

Penguasaan dan pemahaman suatu pekerjaan oleh seorang operator sangat mempengaruhi hasil dari proses pelapisan logam tersebut. Semakin lama ia bekerja maka seseorang akan semakin ahli dibidangnya, akan tetapi belum tentu orang lama itu lebih ahli dalam pelaksanaan pekerjaan jika seseorang mempunyai kemampuan dalam diri sendiri faktor ini pasti berpengaruh.

Disiplin

Suatu pekerjaan akan efektif jika semua pekerja dapat melakukan tugasnya dengan baik. Salah satu faktor yang dapat menunjang pekerjaan tersebut adalah disiplin. Seorang operator HVOF Spray harus dapat berkonsentrasi secara penuh dalam melakukan tugasnya, karena proses ini tidak dapat ditinggalkan dan lengah sedikitpun. Hal ini disebabkan proses yang dilakukan terdapat proses pembakaran, sehingga dalam melakukan pekerjaan haruslah berhati-hati agar tidak ada part yang dilapisi tersebut rusak atau barang disekitarnya mengalami dampak terhadap pembakaran tersebut.

Kualifikasi

Seorang operator HVOF Spray umumnya haruslah mempunyai pengetahuan tentang teknik, khususnya tentang perlakuan panas terhadap suatu

benda agar dalam proses pekerjaannya dapat mengetahui pengaruh seberapa besar pemuaihan yang terjadi pada saat proses tersebut.

Motivasi

Semangat atau motivasi seseorang sangatlah berpengaruh terhadap hasil pekerjaan yang dihasilkan. Semakin tinggi motivasi dalam dirinya maka akan semakin baik hasil dari pekerjaannya. Hal ini disebabkan jika seseorang mempunyai suatu motivasi terhadap pekerjaannya ia akan cenderung melakukan pekerjaannya dengan penuh tamgguing jawab dan akan bekerja lebih giat lagi.

b. Faktor Mesin (*Machine*)

Perawatan

Suatu mesin pasti jika lama-lama digunakan akan mengalami penurunan dalam hal kemampuan mesin itu sendiri, baik itu tingkat presisi ataupun fungsinya. Untuk itu agar mesin dapat berjalan sebagaimana mestinya diperlukan suatu *maintenance* secara berkala sesuai dengan umur suatu mesin tersebut. Kebersihan tidak terlalu berpengaruh meskipun kebersihan mesin harus dilakukan.

Kalibrasi Mesin

Proses pelapisan yang dilakukan akan berjalan dengan baik jika cara mesin dapat bekerja dengan baik. Untuk menjaga cara kerja mesin dapat selalu berjalan dengan baik maka diperlukan pengetesan dan penyetingan awal sebelum melakukan proses pelapisan sehingga masalah ditengah proses pelapisan dapat dihindarkan.

c. Faktor Pengukuran (*Measurement*)

Dimensi

Pengukuran dimensi hasil dari proses pelapisan dengan HVOF Spray harus dilakukan dengan cara yang benar. Akan tetapi pengukuran dimensi tidak ada hubungannya dengan cacat yang dihasilkan sehingga faktor ini dapat diabaikan.

Suhu

Suhu atau temperatur dapat berpengaruh terhadap hasil yang didapatkan. Dengan temperatur yang tinggi/panas bukan tidak mungkin hasil yang didapatkan akan terjadi suatu indikasi cacat.

d. Faktor Metode (*Method*)

Pengaturan Temperatur

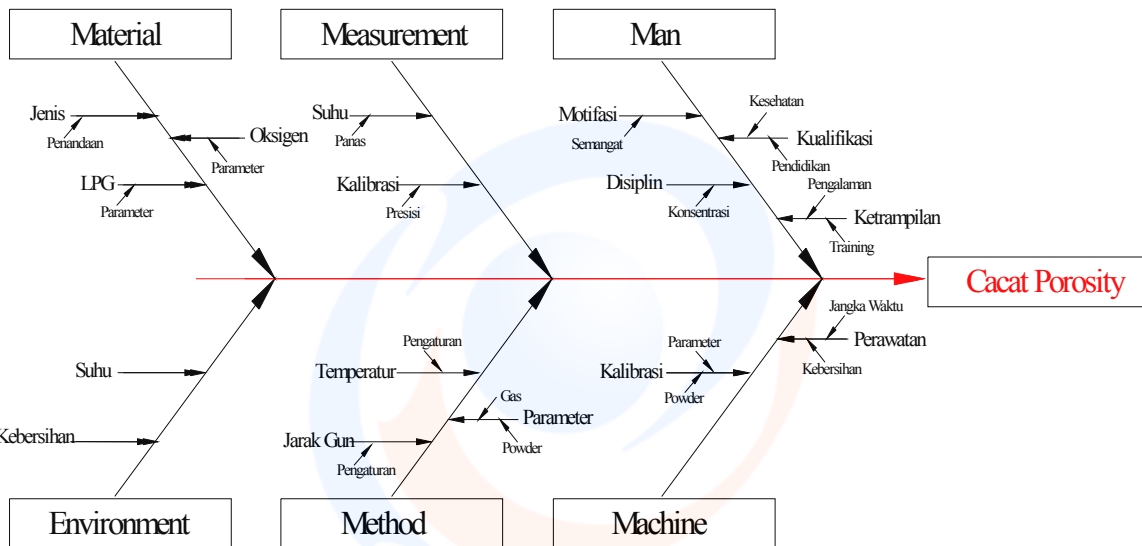
Temperatur sangat berpengaruh terhadap hhasil yang akan dicapai. Baik itu terhadap ukuran dimensinya atau terjadi indikasi yang disebabkan panas yang berbeda. Dengan metode pengecekan

temperatur ukuran dimensi dapat diketahui dan indikasi cacat yang lain dapat dihindarkan. Dalam proses pelapisan harus diperhatikan masalah temperature ini. Apakah harus berhenti pada saat temperature mulaia naik atau proses selama berlangsung diberi bantuan udara pendingin. Sehingga temperatur tetap stabil pada temperatur kerja

proses yang berjalan sudah lancar, membuat seorang operator cenderung kurang memperhatikan faktor ini. Sehingga jika lama-lama tidak dilakukan pengecekan akan mengakibatkan jarak pada gun dengan benda kerja mengalami perubahan yang tidak diketahui, sehingga terjadi permasalahan pada proses HVOF Spray.

Jarak Gun HVOF Spray dengan benda yang dilapisi
 Jarak gun dengan benda kerja haruslah sesuai dengan standart yang telah ditetapkan. Biasanya jarak ini kurang diperhatikan karena

Pengaturan Parameter
 Dengan suatu cara dengan mengatur parameternya maka akan didapatkan suatu proses kerja yang baik sehingga akan diikuti hasil yang optimal pula.



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 8
 Diagram Fishbone Cacat Porosity

e. Faktor Bahan Pelapis (*Material*)

Material Pelapis

Bahan atau material pelapis merupakan faktor yang utama, karena material ini menentukan sifat dari spesifikasi atau karakteristik dari permukaan pelapisan dari suatu part. Kesalahan pengambilan jenis material pelapis akan membuat sifat dari lapisan berbeda dengan yang diinginkan. Untuk menjaga hal ini tidak terjadi maka dibutuhkan penandaan dari masing-masing jenis material dengan jelas.

Gas LPG

Gas ini merupakan salah satu gas pembentuk pembakaran guna pencairan atau pelelehan material pelapis Untuk membentuk lapisan logam. Kejadian atau penyebab pembakaran

tidak sempurna karena adanya penurunan parameter dari gas tersebut baik itu pada tekanan isi atau tekanan kerja. Untuk menjaga tekanan tersebut tetap stabil dibutuhkan pengecekan parameter secara kontunyu, agar parameter tekanan kerja dapat terjaga dengan baik.

Gas Oksigen

Gas ini merupakan syarat adanya pembakaran, jika gas ini terjadi penurunan tekanan dalam hal ini permasalahannya sama dengan gas LPG yaitu pada tekanan kerja. Untuk menjaga tekanan kerja tetap stabil diperlukan pengecekan parameter kerja secara berulang-ulang. Tekanan yang tidak sesuai dengan proporsi yang dibutuhkan menyebabkan pembakaran tidak sempurna.

f. Faktor Lingkungan

Lingkungan dalam proses HVOF Spray tidak terlalu berpengaruh karena area proses pelapisan telah disendirikan yang orang lain tidak boleh masuk dalam area ini karena kebisingan dari proses cenderung orang disekitarnya tidak mendekati.

Suhu Ruang

Suhu ruang tidak berpengaruh terhadap proses pelapisan karena proses pelapisan sendiri terjadi dengan pembakaran, sehingga dengan suhu ruang rata-rata 20°C tidak mempunyai pengaruh.

Dari diagram *fishbone* yang terlihat pada gambar 8 dan dijelaskan pada tahap analisa ternyata banyak faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya cacat *porosity* sehingga belum diketahui faktor yang paling dominan diantara fakto-faktor tersebut. Agar dapat menemukan permasalahan yang berpengaruh terhadap terjadinya cacat *porosity*, pada proses HVOF Spray maka harus diadakan pengkajian yang lebih dalam lagi. Pencarian ini akan diketahui dengan banyak cara dan metode akan tetapi pada pembahasan ini, penulis akan menentukan faktor yang paling dominan berdasarkan penilaian kualifikasi oleh departemen Quality.

Penentuan Faktor Terbesar Dari Diagram *Fishbone*

Pada tahap ini akan dijelaskan dalam penentuan atau pencarian faktor yang paling berpengaruh terjadinya cacat *porosity* pada proses HVOF Spray. Langkah ini dilakukan karena pada tahap pencarian faktor yang paling dominan pada langkah sebelumnya, yaitu; dengan diagram *fishbone* yang terlihat pada gambar 8 belum dapat menentukan faktor yang paling berpengaruh. Oleh sebab itu sangat perlu ditelusuri lagi yang lebih dalam agar faktor yang paling berpengaruh dapat diketahui.

Dengan melanjutkan diagram *fishbone* (Gambar 8) yang telah dibuat dengan memberi *score* pada masing-masing faktor yang telah ada berdasarkan kesepakatan yang telah ditetapkan oleh departemen Quality dilakukan dengan pihak yang terkait.

Penentuan skala penilaian yang diberikan tentang pengaruh proses HVOF Spray kepada pihak yang terkait adalah sebagai berikut;
Skala Penilaian:

8-10 = Sangat Berpengaruh
6-7 = Berpengaruh
4-5 = Agak Berpengaruh
2-3 = Kurang Berpengaruh
0-1 = Tidak Berpengaruh

Penentuan faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya cacat pada hasil pelapisan logam dengan HVOF Spray ditunjukkan pada gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya cacat *porosity* adalah Metode (*Method*). Ini ditunjukkan dengan angka terbesar dengan nilai 37. Dengan didapatkan angka terbesar maka faktor ini yang menjadi prioritas yang paling utama, sehingga dapat dilakukan analisa sekaligus perbaikan pada faktor ini. Tahap selanjutnya akan dicari faktor yang paling berpengaruh terhadap terjadinya cacat *porosity* dengan FTA *Method*.

Penentuan Faktor Dominan dengan Metode FTA

Setelah menentukan faktor yang dominan pada pembuatan diagram *fishbone* ternyata faktor yang telah didapat masih bersifat umum. Untuk menentukan faktor yang lebih spesifik lagi, pada pembahasan ini akan dibuat diagram FTA seperti terlihat pada gambar 10.

Pada gambar 10 terlihat bahwa metode merupakan permasalahan atau faktor dari pengaruh cacat *porosity* yang masih umum. Kemudian dari faktor utama tadi akan dicari faktor yang lebih kecil lagi, terlihat pada gambar 10 terdapat tiga factor dari factor metode, sebagai berikut:

Jarak *Gun*

Pada faktor ini merupakan *and gate*, yang sudah tidak dapat diubah-ubah jarak *gun* tersebut. Hal ini dikarenakan, jika jarak terlalu jauh maka material akan jatuh lebih cepat, ini disebabkan material itu mempunyai berat jenis sendiri dan akan jatuh sebelum menempel pada bahan yang akan dilapisi atau tidak terbentuk lapisan yang diinginkan.

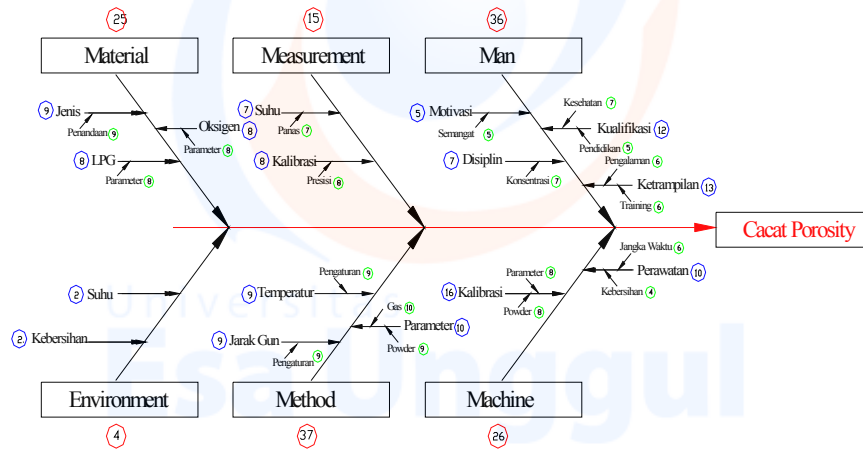
Begitu juga jika jarak *gun* terlalu dekat maka akan terbentuk lapisan logam yang kurang matang, Hal ini disebabkan material yang belum meleleh akan lebih cepat sampai pada bahan yang dilapisi sehingga lapisan yang terbentuk kurang maksimal.

Tabel 9
Pembuatan Failure Mode and Effect Analyse

Tabel 4.6 Failure Mode and Effect Analyse (FMEA) Desain Cacat Porosity

Item	Modus Kegagalan Potensial	Effect Kegagalan Potensial	S e v	C l a s s	Penyebab Potensial / Kegagalan Mekanis	O c c u r	Desain Kontrol Pencegahan	Desain Kontrol Deteksi	D e t e c	R P N	Rekomendasi Action	Pemenuhan Target Pencapaian	Hasil dari Rekomendasi Action				
													Action yang dilakukan	S e v	O c c	D e t	R P N
Tekanan kerja oksigen	Tekanan oksigen kurang	Nyala api kurang optimal	8		Seal bocor	3	Sinyal lampu, lampu akan menyala apabila seal bocor	Gunakan lembar Check seet	2	48	Semua seal harus diperiksa kondisinya tiap akan dilakukan operasi	Diketahui umur seal					
			8		Pressure gauge rusak	6	Pasang lampu pada pressure gauge, lampu akan menyala jika tekanan tidak sesuai	Lebih dari satu, pressure gauge di pasang secara seri	4	192	Pressure gauge harus dikalibrasi	Harus menunjukkan angka tekanan yang tepat					
			6		Pipa/slang yang menyalurkan oksigen terjadi kebocoran	3	Pasang Alarm	lembar Check seet	7	126	Pemeriksaan rutin dari pipa/slang	Tidak ada lagi, pipa/slang yang bocor					
			8		Elektrikal yang bekerja terlambat	3	Pasang timer yang akan berbunyi, jika tekanan tidak sesuai		6	144	Setting timer dan tekanan yang tepat	Timer bekerja sesuai dengan tekanan yang tepat					
Tekanan oksigen lebih tinggi	Tekanan oksigen lebih tinggi	Temperatur tinggi	8		Pressure gauge rusak	3	Lebih dari satu pressure gauge, dipasang secara seri	Pasang lampu pada gauge, lampu akan menyala jika tekanan tidak sesuai	3	72	Pressure gauge harus dikalibrasi	Harus menunjukkan angka tekanan yang tepat					
			7		Komposisi gas LPG & oksigen tidak seimbang	3	Flow meter rusak	Lebih dari satu pressure gauge, dipasang secara seri	Pemasangan beberapa flowmeter dekat operator	2	42	Kalibrasi alat flow meter	Flow meter harus menunjukkan angka yang tepat				
Tekanan kerja gas LPG	Kemurnian LPG rendah	Nyala api tidak stabil	9		Terkontaminasi pelarut lain	2		Check Sheet	3	54	Tetapkan spesifikasi kemurnian LPG yang sesuai	Pastikan kemurnian LPG sesuai speck					
	Tekanan Gas rendah	Komposisi Gas tidak seimbang	9		Pressure gauge rusak	3	Pasang lampu pada pressure gauge, lampu akan menyala jika tekanan tidak sesuai	lebih dari satu pressure gauge dipasang secara seri	3	81	Pressure gauge harus dikalibrasi	Harus menunjukkan angka yang tepat					
	Tekanan Gas tinggi	Temperatur tinggi	7		Pressure gauge rusak	3	Pasang lampu pada pressure gauge, lampu akan menyala jika tekanan tidak sesuai	lebih dari satu pressure gauge dipasang secara seri	2	42	Pressure gauge harus dikalibrasi	Harus menunjukkan angka yang tepat					

Sumber: Hasil Pengolahan Data

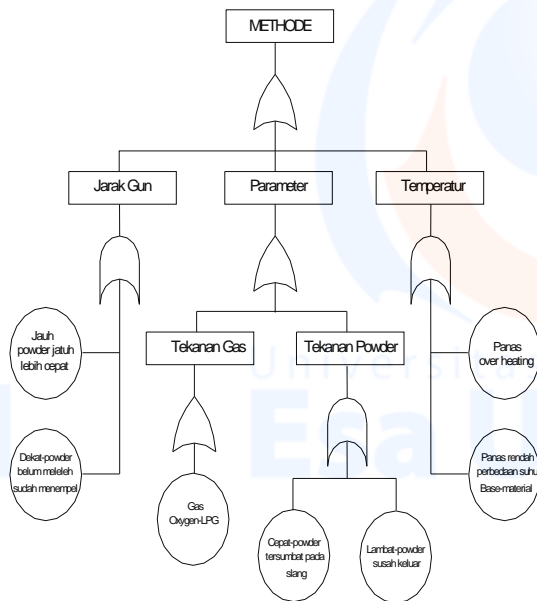


Keterangan :

- Total Score
- Sub Total Score
- Nilai Kualifikasi

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 9 Diagram Fishbone Dengan Nilai Kualifikasi



Sumber: Hasil Pengolahan Data

Gambar 10 Diagram FTA

Parameter

Pengaruh dari cacat *porosity* disebabkan oleh parameter yang tidak stabil dan merupakan *or gate* yang mempunyai parameter kerja dua parameter, yaitu; tekanan gas atau bahan bakar dan tekanan material/powder. Dalam penelusuran permasalahan lagi didapatkan tekanan gas yang menjadi permasalahannya, karena pada tekanan *powder* jika tidak berjalan maka proses gagal atau tidak terjadi pelapisan logam dan dapat jelaskan

lagi, jika tekanan *powder* terlalu cepat akan terjadi sumbatan pada slang aliran *powder* dan jika terlalu lambat *powder* yang keluar akan sedikit sehingga akan terjadi pemborosan pada bahan bakar. Akan tetapi jika dilihat pada tekanan gas ternyata dengan tekanan gas berubah-ubah proses pelapisan tetap berjalan meskipun cenderung terjadi gagal dan merupakan *or gate*.

Temperatur

Pada faktor temperatur ini merupakan *and gate*, karena temperatur kerja tidak dapat dirubah lagi. Apabila panas yang terjadi terlalu tinggi maka pelapisan yang terjadi akan tidak tahan dengan panas tersebut dan akan terlepas dari material yang dilapisi. Begitu juga bila panas yang terjadi terlalu rendah maka tidak terjadi pelapisan logam, karena material pelapis tidak akan menempel pada bahan yang dilapisi. Hal ini terjadi temperatur tidak sesuai dengan bahan yang dilapisi.

Dari pembuatan diagram FTA didapatkan bahwa. Untuk menentukan faktor permasalahan yang lebih spesifik lagi akan digunakan metode FMEA untuk menentukan faktor tersebut. Penentuan penyebab dari terjadinya cacat *porosity* akan dibahas pada pembahasan selanjutnya.

Pembuatan *Failure Mode and Effect Analyse (FMEA)* cacat *porosity*

Dari diagram FTA seperti gambar 10 telah diketahui bahwa tekanan gas merupakan faktor yang sangat mempengaruhi terjadinya cacat *porosity*. Untuk mendapatkan faktor yang paling mendasar

maka pada tahap selanjutnya akan dibuat *FMEA (Failure Mode and Effect Analyse)* untuk mendapatkan faktor tersebut dan pembuatannya terlihat pada tabel 9.

Kesimpulan

Dari pengolahan data yang telah dilakukan maka dapat ditarik suatu kesimpulan, sebagai berikut: (1) Dengan pengolahan diagram pareto menunjukkan *defect* yang terbesar adalah Proses *HVOF Spray* dengan produk gagal sebesar 22 produk dengan prosentasi sebesar 34.9%. Dan jenis cacat yang terjadi, didapatkan paling dominan yaitu jenis cacat *porosity*. Dengan jumlah cacat sebanyak 11 produk dan mempunyai prosentasinya sebesar 27,3% dari jenis cacat yang lain. (2) Dari pengolahan data dengan peta kendali p, dapat dilihat pada grafik 4.15 cacat yang terjadi masih dalam batas kendali. Dari pengolahan data untuk mengetahui kemampuan proses didapatkan kapabilitas prosesnya belum *capable*, dengan nilai Cpk sebesar 0.03. Dalam perhitungan sigma levelnya didapatkan angka 1.55 sigma dengan DPMO sebesar 478514.84 ppm ini berarti cacat produk bias diaktakan masih cukup besar. (3) Pencarian sebab terjadinya cacat dengan diagram *fishbone* maka cacat yang cukup besar didapatkan faktor yang paling dominan dari diagram *fishbone* adalah Metode. Dengan metode FTA, menunjukkan parameter bahan bakar mempunyai faktor yang paling mempengaruhi terjadinya produk cacat *porosity*. (4) Dengan metode FMEA didapatkan faktor yang menyebabkan terjadinya cacat, yaitu; *pressure gauge* rusak dengan nilai RPN sebesar 192.

Daftar Pustaka

- C. Tri Hendradi, "Statistik Six Sigma dengan Minitab : Panduan Cerdas Inisiatif Kualitas 6 σ ", ANDI, Yogyakarta, 2006.
- Dorothea Wahyu Ariani, "Manajemen Kualitas", Andi, Yogyakarta, 1999.
- Dorothea W. Ariani, "Manajemen Kualitas", Univ. Atma Jaya, Yogyakarta, 1999.
- Gaspersz, Vincent, "Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001 : 2000 MBNQA dan HCCP", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2002.
- Pande, Pete, Larry Holpp, "Berpikir Cepat Sig Sigma", ANDI, Yogyakarta.

Peter S. Pande, Robert P. Neuman. Ronal R. Cabavagih, "The Six Sigma Way", ANDI, Yogyakarta, 2000.

Teknokraftindo Asia & Sulzer Metco, "Thermal spray High Technology Processes : Basic and Anvanced Training Program". Bandung, 2003.

Wheat, Barbara, Chuck Mills, Mike Carnel, "Learning Into Six Sigma", PT. Bhuana Ilmu Populer, Jakarta, 2004

