



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN KEBERHASILAN PROSES LINI PRODUKSI
DENGAN METODE *AXIOMATIC DESIGN*, *SIX SIGMA*, *TRIZ*,
DAN *DOE***

**STUDI KASUS PERANCANGAN ULANG *JIG & FIXTURE*
DAN PROSES CAM BORING DALAM PEMBUATAN
CYLINDER HEAD SEPEDA MOTOR MEREK “X”**

TESIS

**MARJANU PRIAMBODO
1006735220**


FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Marjanu Priambodo

NPM : 1006735220

Tanda Tangan : 

Tanggal : 23 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Marjanu Priambodo

NPM : 1006735220

Program Studi : Teknik Industri

Judul Tesis : Peningkatan Keberhasilan Proses Lini Produksi Dengan Metode
Axiomatic Design, Six Sigma, TRIZ, dan DOE
Studi Kasus Perancangan Ulang *Jig & Fixture* dan Proses *Cam Boring*
Dalam Pembuatan *Cylinder Head* Sepeda Motor
Merek "X"

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Industri pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing	: Ir. Djoko S. Gabriel, MT	(.....)
Pembimbing	: Ir. Dendi P. Ishak, MSIE	(.....)
Penguji	: Prof. Dr. Ir. T Yuri M. Zagloel, MEng.Sc	(.....)
Penguji	: Ir. Sri Bintang Pamungkas, MSIE., Ph.D	(.....)
Penguji	: Ir. Yadrifil, M.Sc	(.....)
Penguji	: Ir. Fauzia Dianawati, M.Si	(.....)
Ditetapkan di	: Depok	
Tanggal	: 23 Juni 2012	

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan anugerah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini sebagai salah satu syarat untuk menmdapatkan gelar Magister Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Tesis yang disusun merupakan kombinasi antara teori dan aplikasi di industri. Penulis mengharapkan tesis ini bisa menjadi jembatan antara dunia akademis dan dunia industri. Sehingga penelitian yang sudah dilakukan dapat memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan dunia industri.

Dalam penulisan tesis ini penulis banyak mendapatkan masukan dan saran dari semua pihak. Pada kesempatan ini izinkanlah penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djoko S. Gabriel, MT, selaku pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan arahan.
2. Bapak Ir. Dendi P. Ishak, MSIE, selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan arahan.
3. Bapak Ir. Yadrifil, M.Sc, selaku dosen pembimbing akademis.
4. Semua staf pengajar Teknik Industri Universitas Indonesia atas ilmu yang sudah diajarkan selama menempuh pendidikan S-2 Teknik Industri.
5. Segenap staf administrasi Teknik Industri Universitas Indonesia di kampus Salemba dan Depok.
6. Orang tua, istri, anak, dan saudara yang sudah memberikan dorongan moral.
7. Rekan-rekan S-2 Teknik Industri angkatan 2010 kelas Salemba.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Oleh karena itu kritik dan masukan yang membangun sangat diharapkan.

Depok, 23

Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. Nama : Marjanu Priambodo
2. NPM : 1006735220
3. Program Studi : Teknik Industri
4. Departemen : Teknik Industri
5. Fakultas : Teknik
6. Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Peningkatan Keberhasilan Proses Lini Produksi Dengan Metode Axiomatic Design, Six Sigma, TRIZ, dan DOE

Studi Kasus Perancangan Ulang Jig & Fixture Dan proses Cam Boring Dalam Pembuatan Cylinder Head Sepeda Motor Merek "X".

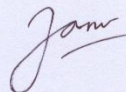
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian persyaratan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 23 Juni 2012

Yang menyatakan



(Marjanu Priambodo)

v

ABSTRAK

Nama : Marjanu Priambodo.
Program Studi : Magister Teknik Industri.
Judul : Peningkatan Keberhasilan Proses Lini Produksi Dengan Metode
Axiomatic Design, Six Sigma, TRIZ, dan DOE.

Studi Kasus perancangan Ulang Jig & Fixture Dan Proses Cam Boring Dalam Pembuatan Cylinder Head Sepeda Motor merek "X".

Tesis ini mendiskusikan sinergi *six sigma*, *axiomatic design* (AD), TRIZ, dan DOE untuk perbaikan desain sistem manufaktur. *Six sigma-axiomatic design-TRIZ* digunakan untuk mendesain sistem. DOE digunakan untuk optimasi parameter desain. AD digunakan untuk men dekomposisi masalah dan TRIZ untuk menemukan solusinya. TRIZ digunakan untuk membangkitkan solusi dan men *decouple* matrik desain dalam kerangka AD. Sinergi *six sigma-AD-TRIZ-DOE* digunakan untuk menyelesaikan studi kasus perbaikan tingkat keberhasilan proses (TKP) *cam boring* di lini *cylinder head machining* untuk sepeda motor 110 cc. Hasilnya TKP proses *cam boring* meningkat dari 95,5 menjadi 97,5% dan TKP lini *cylinder head machining* meningkat dari 93,6% menjadi 95,8

Kata kunci : *six sigma*, *axiomatic design*, TRIZ, DOE, TKP.

ABSTRACT

Name : Marjanu Priambodo.
Study Program : Master of Industrial Engineering.
Title : Process Productivity Increase of Production Line Use Axiomatic Design, Six Sigma, TRIZ, and DOE Methods. Case Study Redesign Jig & Fixture and Cam Boring Process In Cylinder Head Manufacturing For Motorcycle "X".

This paper discuss about sinergetic use of six sigma - axiomatic design (AD) – TRIZ - DOE for manufacturing system design improvement. Six sigma-axiomatic design – TRIZ used in system design phase. DOE used in design parameter optimization phase. AD powerfull in problem decomposition and TRIZ for problem solution. TRIZ used for generate solution and decoupled design matrix in AD framework. Sinergetic use of six sigma - axiomatic design (AD) – TRIZ – DOE aplicated for case study increase of of camboring process productivity in cylinder head machining production line for 110 cc motor cycle. Final result camboring process productivity increase from 95,5% to 97,5% and productivity of cylinder head machining production line increase from 93,6 % to 95,8.

Keywords : six sigma, axiomatic design, TRIZ, DOE, process productivity.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Diagram Pemetaan Masalah dan Solusinya	4
1.3 Perumusan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	7
2 BAB II TINJAUAN TEORI	9
2.1 Teori Kualitas	9
2.2 <i>Axiomatic Design</i>	10
2.3 <i>Six Sigma</i>	14
2.4 <i>Design of Experiment (DOE)</i>	15
2.5 <i>Theory of Inventive Thinking (TRIZ)</i>	16
3 BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	28
3.1 Gambaran Umum Perusahaan	28
3.2 Proses Produksi Cylinder Head	29
3.3 Identifikasi TKP Lini Produksi <i>Cylinder Head Machining</i>	39
3.4 Kerangka Baru Kombinasi <i>AD, Six Sigma, TRIZ, dan DOE</i>	46
3.5 Studi Kasus : Peningkatan TKP Lini Produksi <i>Cylinder Head Machining</i> <i>Dengan Metode Axiomatic Design dan TRIZ</i>	49
4 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	78
4.1 Analisis <i>Jig&Fixture</i>	78
4.2 Analisis <i>Cutting Tools</i>	82
4.3 Hasil Perbaikan	88

5	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1	Kesimpulan.....	94
5.2	Saran.....	95
	DAFTAR PUSTAKA	96



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Pemetaan Masalah dan Solusinya	4
Gambar 2. Diagram Ishikawa Penyebab <i>Waste</i> di Lini Produksi <i>Cylinder Head Machining</i>	4
Gambar 3. Hierarki Proses <i>Axiomatic Design</i>	11
Gambar 4. <i>Zigzagging</i> FRs dan	12
Gambar 5. Tahapan Proses <i>Axiomatic Design</i>	12
Gambar 6. Formula Cp dan Cpk	14
Gambar 7. Pemodelan Proses	15
Gambar 8. Skema Metode TRIZ	16
Gambar 9. Tahapan Metode TRIZ	17
Gambar10. Matrik Kontradiksi Desain Mekanisme <i>Slider-Crank</i>	26
Gambar 11 .Aliran Proses Produksi Sepeda Motor	28
Gambar 12. Bagian <i>Cylinder Head</i>	29
Gambar 13. Urutan Proses Pembuatan <i>Cylinder Head</i>	30
Gambar 14. Urutan Proses Pembuatan <i>Cylinder Head Machining</i>	30
Gambar 15. Proses OP 10 <i>Cylinder Head Machining</i>	31
Gambar 16. Proses OP 20 <i>Cylinder Head Machining</i>	31
Gambar 17. Proses OP 30 <i>Cylinder Head Machining</i>	32
Gambar 18. Proses OP 40 <i>Cylinder Head Machining</i>	32
Gambar 19. Proses OP 50 <i>Cylinder Head Machining</i>	33
Gambar 20. Proses OP 60 <i>Cylinder Head Machining</i>	33
Gambar 21. Proses OP 70 <i>Cylinder Head Machining</i>	34
Gambar 22. Proses OP 80 <i>Cylinder Head Machining</i>	34
Gambar 23. Proses OP 90 <i>Cylinder Head Machining</i>	35
Gambar 24. Proses OP 100 <i>Cylinder Head Machining</i>	35
Gambar 25. Proses OP 110 <i>Cylinder Head Machining</i>	36
Gambar 26. Proses OP 120 <i>Cylinder Head Machining</i>	36
Gambar 27. Proses OP 130 <i>Cylinder Head Machining</i>	36
Gambar 28. Proses OP 140 <i>Cylinder Head Machining</i>	37
Gambar 29. Peta Operasi <i>Cylinder Head Machining</i>	38
Gambar 30. Tata Letak Lini Produksi <i>Cylinder Head Machining</i>	39
Gambar 31. Diagram Pareto Penyebab Cacat di Lini Produksi <i>Cylinder Head Machining</i>	41
Gambar 32. Proses <i>Cam boring</i>	42
Gambar 33. <i>Shaft Rocker Arm</i>	43
Gambar 34. <i>Lay Out</i> Mesin <i>Cam boring</i>	44
Gambar 35. <i>Coordinat Measurement Machine (CMM) Mitutoyo</i>	45
Gambar 36.. Diagram Ishikawa Proses <i>Camboring</i> TKP rendah	45
Gambar 37. Kerangka Sinergi <i>Sig Sigma-AD-TRIZ- DOE</i>	48
Gambar 38. Hierarki FRs dan DPs Desain Awal Mesin <i>Camboring</i> untuk DPs <i>Jig&Fixture</i>	51
Gambar 39. Hierarki FRs dan DPs Desain Awal Mesin <i>Camboring</i> untuk DPs <i>Cutting Tools</i>	54
Gambar 40. Model EMS Mesin <i>Cam boring</i>	55
Gambar 41. Hierarki FRs dan DPs <i>Jig Fixture</i> Setelah Improvemen	65
 Gambar 42. Jarak Lubang <i>Shaft Rocker Arm IN</i> dan <i>EX</i> terhadap Titik Pusat	

<i>Cylinder Head</i>	67
Gambar 43. Grafik Untuk Posisi Lubang <i>Shaft Rocker Arm</i> Sumbu X <i>Inlet</i>	68
Gambar 44. Grafik <i>Main Effect</i> dan Interaksi Sumbu X <i>Inlet</i>	69
Gambar 45. Grafik Untuk Posisi Lubang <i>Shaft Rocker Arm</i> Sumbu Y <i>Inlet</i>	70
Gambar 46. Grafik <i>Main Effect</i> dan Interaksi Sumbu Y <i>Inlet</i>	71
Gambar 47. Grafik Untuk Posisi Lubang <i>Shaft rocker Arm</i> Sumbu X <i>Exhaust</i>	72
Gambar 48. Grafik <i>Main Effect</i> dan Interaksi Sumbu X <i>Exhaust</i>	73
Gambar 49. Grafik Untuk Posisi Lubang <i>Shaft Rocker Arm</i> Sumbu Y <i>Exhaust</i>	74
Gambar 50. Grafik <i>Main Effect</i> dan Interaksi Sumbu Y <i>Exhaust</i>	75
Gambar 51. Desain <i>Jig&Fixture</i> Sebelum Proses <i>Decoupling</i>	79
Gambar 52. Desain <i>Jig&Fixture</i> Setelah Proses <i>Decoupling</i>	80
Gambar 53. Drill <i>Shaft Rocker Arm</i>	82
Gambar 54. Area Proses Drill.....	87
Gambar 55. Crosshole Lubang <i>Shaft Rocker Arm</i> dan Lubang <i>Boltstud</i>	87
Gambar 56. Cp dan Cpk Posisi Sumbu X Lubang <i>Cam Shaft</i>	90
Gambar 57. Cp dan Cpk Posisi Sumbu X Lubang <i>Shaft Rocker Arm Exhaust</i>	91
Gambar 58. Cp dan Cpk Posisi Sumbu X Lubang <i>Shaft Rocker Arm Inlet</i>	91
Gambar 59. Inspeksi 100% Pemasangan <i>Shaft Rocker Arm</i> dan <i>Boltstud</i>	92

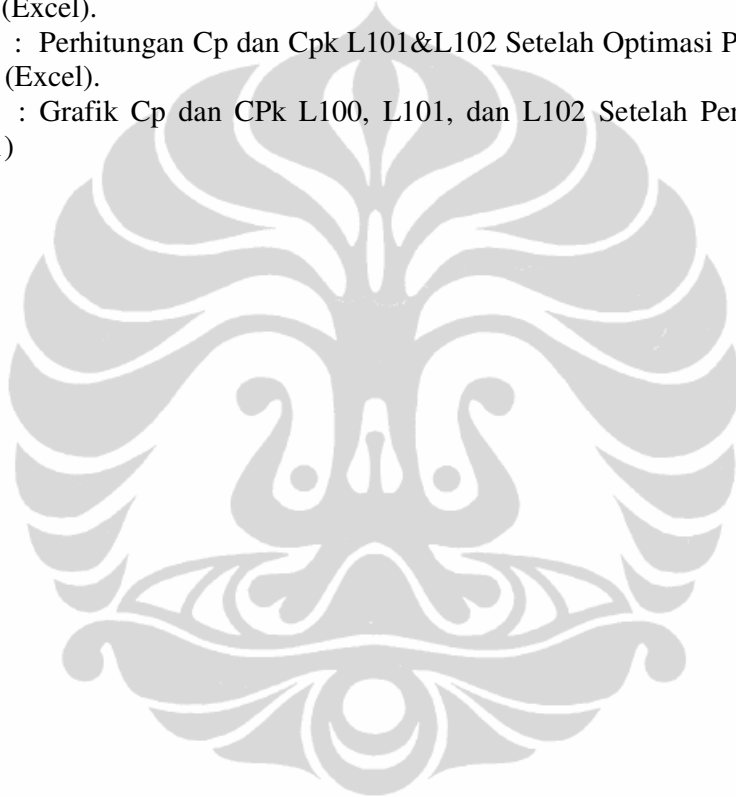


DAFTAR TABEL

Tabel 1. Daftar Jurnal yang Menjadi Rujukan.....	3
Tabel 2. Jumlah Standar <i>Defect</i> Berdasarkan Sigma Level.....	15
Tabel 3. TKP Lini Produksi Cylinder Head Machining.....	40
Tabel 4. Penelitian Sinergi AD-Six Sigma-TRIZ-Metode Taguchi.....	47
Tabel 5. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.....	56
Tabel 6. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.1.....	57
Tabel 7. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.....	58
Tabel 8. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.1.....	58
Tabel 9. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.2.....	59
Tabel 10. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.3.....	60
Tabel 11. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.4.....	60
Tabel 12. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.2.2.1.....	61
Tabel 13. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.2.2.2.....	61
Tabel 14. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.2.2.3.....	62
Tabel 15. Matrik Kontradiksi Proses <i>Decoupling</i>	63
Tabel 16. Faktor dan Level Rancangan Eksperimen.....	67
Tabel 17. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu X <i>Inlet</i> Dalam mm.....	67
Tabel 18. ANOVA Sumbu X <i>Inlet</i>	69
Tabel 19. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu Y <i>Inlet</i> Dalam mm.....	70
Tabel 20. ANOVA Sumbu Y <i>Inlet</i>	71
Tabel 21. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu X <i>Exhaust</i> Dalam mm.....	72
Tabel 22. ANOVA Sumbu X <i>Exhaust</i>	73
Tabel 23. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu Y <i>Exhaust</i> Dalam mm.....	74
Tabel 24. ANOVA Sumbu Y <i>Exhaust</i>	75
Tabel 25. Perbandingan TKP Sebelum&Sesudah Modifikasi <i>Jig&Fixture</i>	88
Tabel 26. Perbandingan Nilai F-Hitung Dengan F-Tabel Sumbu X <i>Inlet</i>	83
Tabel 27. Perbandingan Nilai F-Hitung Dengan F-Tabel Sumbu Y <i>Inlet</i>	84
Tabel 28. Perbandingan Nilai F-Hitung Dengan F-Tabel Sumbu X <i>Exhaust</i>	85
Tabel 29. Perbandingan Nilai F-Hitung Dengan F-Tabel Sumbu Y <i>Exhaust</i>	85

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Data TKP Lini Produksi Cylinder Head Machining Kumulatif Bulan Juli-Agustus 2011
- Lampiran 2 : Data TKP Lini Produksi Cylinder Head Machining Kumulatif Bulan Maret-April 2012.
- Lampiran 3 : Pehitungan Cp dan CPk L100, L101, dan L102 Sebelum Perbaikan (Excel)
- Lampiran 4 : Grafik Cp dan CPk L100, L101, dan L102 Sebelum Perbaikan (Minitab 16.1)
- Lampiran 5 : Perhitungan Cp dan Cpk L100 Setelah Modifikasi Desain Jig&Fixture (Excel).
- Lampiran 6 : Perhitungan Cp dan Cpk L101&L102 Setelah Optimasi Parameter pemotongan (Excel).
- Lampiran 7 : Grafik Cp dan CPk L100, L101, dan L102 Setelah Perbaikan (Minitab 16.1)



BAB I PENDAHULUAN

11.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) selama tahun 2011 penjualan sepeda motor di Indonesia mencapai 8.043.535. Angka penjualan naik 8,72% dibandingkan tahun 2010. Tingginya minat masyarakat dikarenakan sepeda motor menjadi alternatif sarana transportasi yang murah dan efisien. Besarnya ceruk pasar menyebabkan persaingan ketat antar produsen sepeda motor yang didominasi fabrikasi Jepang. Masing-masing produsen berusaha menghasilkan produk yang berkualitas dengan harga kompetitif. Tuntutan produk berkualitas menjadi fokus utama produsen sepeda motor yang diimplementasikan dalam perencanaan sistem manufaktur yang terintegrasi.

Untuk menghasilkan produk manufaktur berkualitas dengan harga kompetitif diperlukan suatu sistem manufaktur yang efisien yang didukung oleh desain sistem manufaktur yang terencana. Definisi sistem manufaktur adalah urutan dan operasi yang melibatkan mesin, *tools*, material, orang, dan informasi untuk menghasilkan nilai tambah fisik, informasi, atau produk pelayanan yang keberhasilan dan biayanya bisa diukur dengan parameter (Cochran dan Dobbs, 2002). Desain sistem manufaktur mencakup semua aspek kreasi dan operasi dari sistem manufaktur. Menciptakan sistem termasuk dalam pemilihan peralatan, susunan peralatan, desain kerja (manual and otomatis), dan standardisasi (Cochran dan Dobbs, 2002).

Desain sistem produksi adalah salah satu elemen penting sistem manufaktur. Sistem produksi harus bisa mengakomodasi permintaan konsumen yaitu produk berkualitas dengan siklus waktu pendek. Tantangannya adalah disamping aspek kepuasan konsumen juga dituntut menghasilkan keuntungan tinggi bagi perusahaan. Desain proses yang tidak terencana dengan baik menyebabkan lini produksi tidak efektif dan efisien. Indikasinya adalah banyaknya *waste*. Menurut konsep sistem produksi Toyota pemborosan (*waste*) terdiri dari :

- Transportasi (*transportation*)
- Persediaan (*inventory*)

- Gerakan (*Motion*)
- Menunggu (*waiting*)
- Proses berlebih (*over processing*)
- Produksi berlebih (*over production*)
- Cacat (*defect*)

PT A adalah perusahaan manufaktur sepeda motor PMA gabungan antara Indonesia dan Jepang. Lini usaha adalah manufaktur sepeda motor 4 langkah yang meliputi proses pembuatan mesin, rangka, dan perakitan. Pembuatan komponen mesin terdiri dari *cylinder head*, *cylinder comp*, *crank case*, *crank shaft*, *piston* yang selanjutnya dirakit dengan komponen mesin lainnya dari supplier. Pada tahun 2011 PT A membangun pabrik baru terpadu dari proses pengecoran sampai perakitan. Mulai beroperasi 12 Juli 2011 dengan kapasitas terpasang 2200 unit/hari. Proses produksi di pabrik baru PT A tidak terlaksana dengan lancar karena ada berbagai permasalahan yang menyebabkan produktivitas produksi rendah. Yang paling dominan adalah di lini produksi *cylinder head machining* tingkat keberhasilan proses (TKP) rendah. Tingkat keberhasilan proses lini produksi *cylinder head machining* disebabkan ada stasiun kerja yang tingkat *defect* nya tinggi. Stasiun kerja tersebut mesin produksinya berhenti total setelah 2 bulan beroperasi. Perbaikan dan analisis dilakukan untuk mengetahui penyebab masalah dan penyelesaiannya. Selama perbaikan proses produksi dilakukan dengan mengganti stasiun kerja yang bermasalah dengan mesin baru.

Manufaktur *cylinder head* terdiri dari proses pengecoran, *machining*, *sub assy*, dan perakitan. Pada tahap perencanaan desain lini produksi *cylinder head machining* dilakukan dengan fokus utama menurunkan biaya investasi mesin dan jumlah tenaga kerja tetapi mengabaikan faktor kualitas. Sehingga di awal investasi mesin dan jumlah tenaga kerja lebih efisien dibandingkan lini produksi lainnya tetapi pada saat produksi massal banyak produk yang dihasilkan cacat dan tidak bisa dipakai. Dari kondisi tersebut akan dilakukan perbaikan kualitas di lini produksi *cylinder head machining* .

Metode desain proses manufaktur yang akan dipakai dalam tesis ini adalah *axiomatic design* dan *Teory of Inventive Problem Solving (TRIZ)*.

Metode *Axiomatic design (AD)* diperkenalkan pada tahun 1978 oleh Nam Suh. AD mendefinisikan desain sebagai kreasi dari solusi yang tersintesa dalam bentuk produk, proses, atau sistem yang memuaskan keinginan konsumen melalui pemetaan antara *functional requirement (FR)* dan *design parameter (DP)* (Cochran dan Dobbs, 2002). Metodologi AD memfokuskan desainer pertama

menentukan persyaratan desain yang dinyatakan dengan FRs dari desain. Desainer kemudian memilih DP untuk memenuhi FRs (Cochran, Linck, and Won, 2001).

Metode TRIZ dikembangkan oleh ilmuwan Rusia G. Altshuller pada tahun 1946 setelah menganalisis 400.000 paten. Prinsip TRIZ adalah menggunakan matrik kontradiksi yang diambil dari 39 parameter teknik. Sumbu X berisi parameter yang diubah dan sumbu Y berisi parameter yang dipertahankan. Penyelesaian persoalan adalah irisan dari sumbu X dan sumbu Y. Selanjutnya digunakan 40 prinsip kreatif sebagai pengarah untuk menyelesaikan persoalan.

Literatur Review yang membahas mengenai metode *axiomatic design* dan TRIZ adalah sebagai berikut :

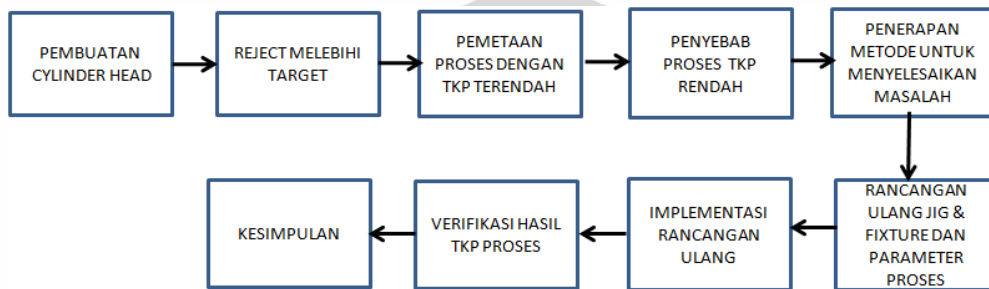
Tabel 1. Daftar Jurnal yang Menjadi Rujukan

NO	JURNAL	PENULIS	TAHUN	METODOLOGY
1	<i>Conceptual design using axiomatic design in a TRIZ framework.</i>	-Madara Ogot	2011	Penggunaan AD dan TRIZ dalam konsep desain. AD diaplikasikan dalam TRIZ framework. <i>Axiomatic independence</i> digunakan untuk memilih kontradiksi fisik dalam TRIZ
2	<i>On the complementary of TRIZ and axiomatic design : from decoupling objective to contradiction identification.</i>	-Joost R Duflou -Wim Dewulf	2011	Penggunaan TRIZ untuk proses decoupling AD yang tidak memenuhi syarat desain karena matriknya <i>couple</i> . Memakai TRIZ tools yaitu kontradiksi <i>engineering</i> parameter .
3	<i>Contribution of TRIZ and axiomatic design to leaness in design : an investigation.</i>	-Gul E okudan - Rohan A Shirwaiker	2011	Pendekatan sinergi AD dan TRIZ untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas desain <i>lean production</i> .
4	<i>Design of safety-critical systems using the complementarities of success and failure domain with a case study.</i>	-Rizwan Ahmed -June Mo Koo -Yong Hoo Jeong -Gyunyoung Heo	2011	Kombinasi AD, TRIZ, dan FTA untuk desain <i>safety system</i> . AD untuk identifikasi fungsional <i>coupling</i> , TRIZ untuk solusi <i>uncoupling</i> , dan FTA untuk improve <i>reability</i> sistem.
5	<i>Application of axiomatic design</i>	-Osman Kulak -Selcuk Cebi	2010	Klasifikasi <i>paper</i> tentang AD berdasarkan tipe aksioma, area

	<i>principles : A literature review.</i>	-Cengiz Kahraman		aplikasi, metode, dan tipe evaluasi.
6	<i>TRIZ and AD design : a review of case studies and a proposed synergistic use.</i>	-Rohan A.Shirwalker -GulE.Okudan	2008	Aplikasi TRIZ untuk proses <i>decoupling, mapping,</i> dan zigzagging antara FRs dan DPs dalam kerangka AD.

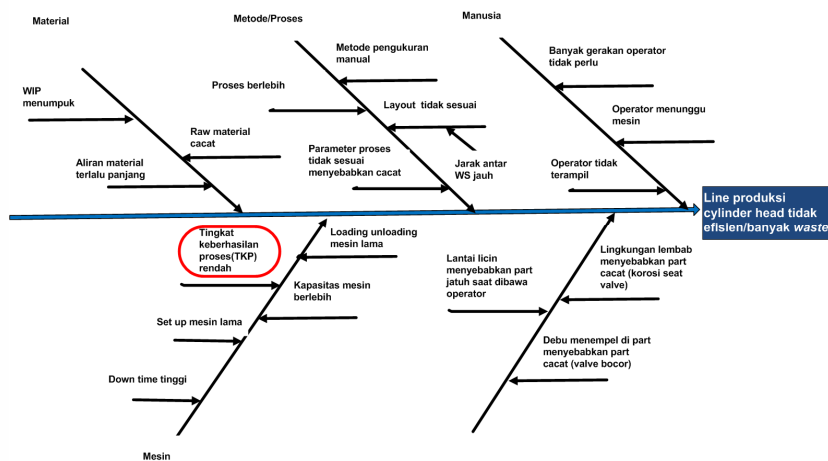
11.2 Diagram Pemetaan Masalah Dan Solusinya

Dari lini produksi *cylinder head machining* yang dianalisis permasalahannya adalah terjadinya pemborosan (*waste*) yang disebabkan tingkat keberhasilan proses (TKP) rendah.



Gambar 1. Diagram Pemetaan Masalah dan Solusinya di Lini Produksi *Cylinder Head Machining*

Untuk mengetahui permasalahan di lini produksi digunakan diagram Ishikawa. Untuk proses manufaktur terdapat 5 aspek yang bisa memicu terjadinya persoalan. Kelima aspek itu adalah orang, metode, mesin, material, dan lingkungan. Diagram Ishikawa penyebab *waste* di lini produksi *cylinder head machining* adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Ishikawa Penyebab *Waste* di Lini Produksi *Cylinder Head Machining*

11.3 Perumusan Persoalan

Tingkat keberhasilan proses (TKP) lini produksi *cylinder head machining* di pabrik baru PT A rendah. Sehingga produktivitas produksinya juga rendah. Akan dilakukan peningkatan TKP lini produksi *cylinder head machining* dengan metodologi *axiomatic design* dan TRIZ.

11.4 Tujuan Penelitian

Memperbaiki tingkat keberhasilan proses (TKP) secara berjenjang meliputi:

- Penilaian dan penetapan stasiun kerja yang paling rendah nilai TKP-nya pada keseluruhan lini *cylinder head machining*.
- Meningkatkan TKP lini produksi *cylinder head machining* menjadi 98%.

11.5 Batasan Masalah

Untuk memperoleh hasil yang akurat pada penelitian ini ruang lingkup pembahasan meliputi :

1. Data benda kerja cacat karena proses *machining* saja.
2. Data barang cacat lini produksi *cylinder head machining* .
3. Produk yang dihasilkan sejenis yaitu *cylinder head* untuk sepeda motor. 4 langkah 110 cc sehingga aspek fleksibilitas ganti model diabaikan.
4. Pembahasan difokuskan di lini *cylinder head machining* sebagai sub sistem dari sistem manufaktur otomotif di PT A secara keseluruhan.
5. Perhitungan kapasitas dan efisiensi produksi diasumsikan 5 hari kerja, 3 shift per 24 jam, waktu efektif bekerja 20 jam sehari (24 jam dikurangi olahraga, pertemuan awal ,istirahat dan makan).

11.6 Metodologi Penelitian

Berikut adalah tahapan yang digunakan dalam penelitian ini :

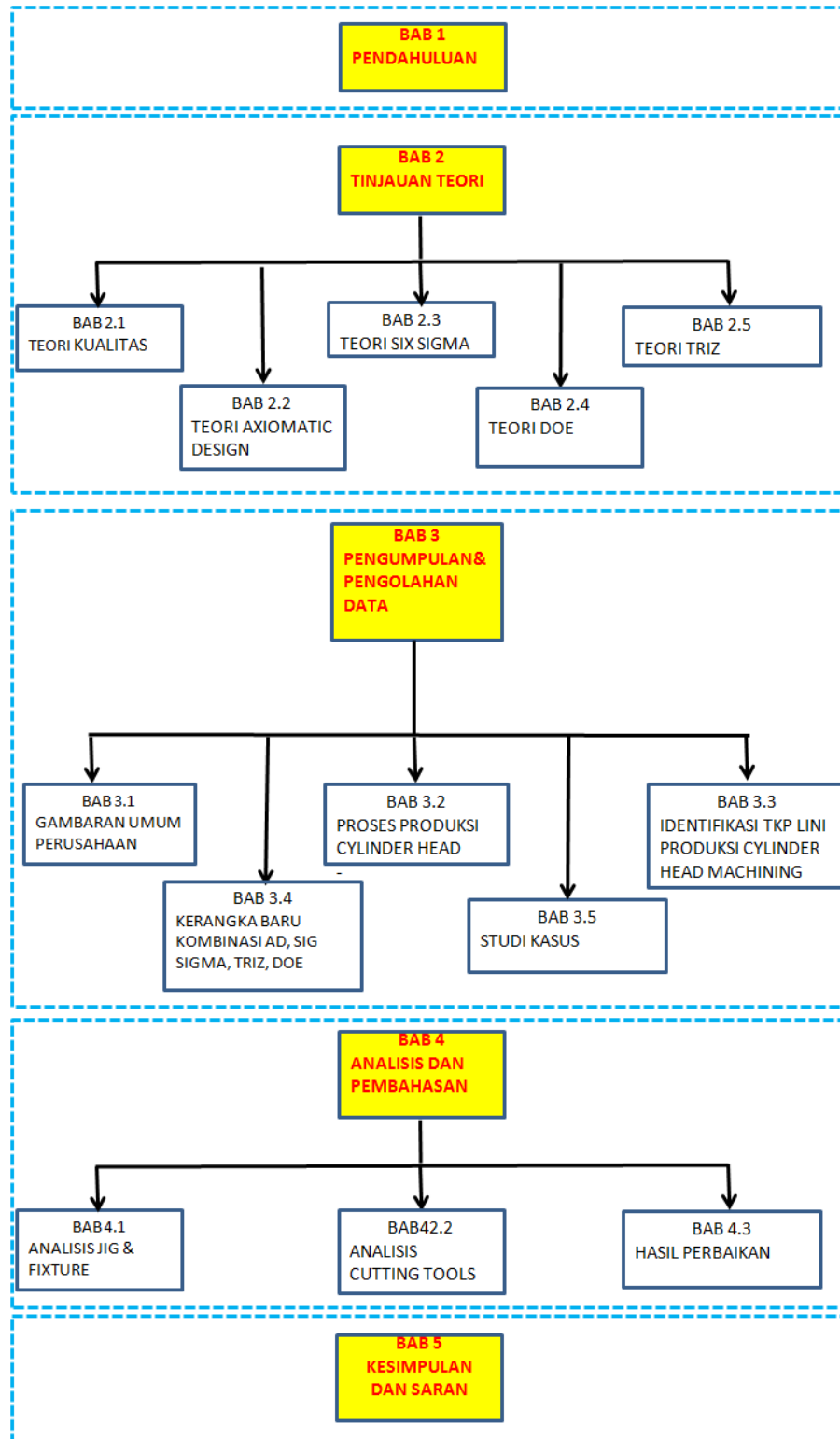
1. Studi Pendahuluan
Pengumpulan data di lapangan dan mempelajari literatur untuk mencari metodologi penelitian yang akan dipakai.
2. Perumusan Persoalan
Dari diagram ishikawa dan diagram pareto diketahui permasalahan utama. Kemudian dilakukan studi literatur untuk merumuskan masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini.
3. Tujuan Penelitian

Peningkatan tingkat keberhasilan proses (TKP) di lini produksi *cylinder head machining* untuk melalui penerapan metode *axiomatic design* dan TRIZ.

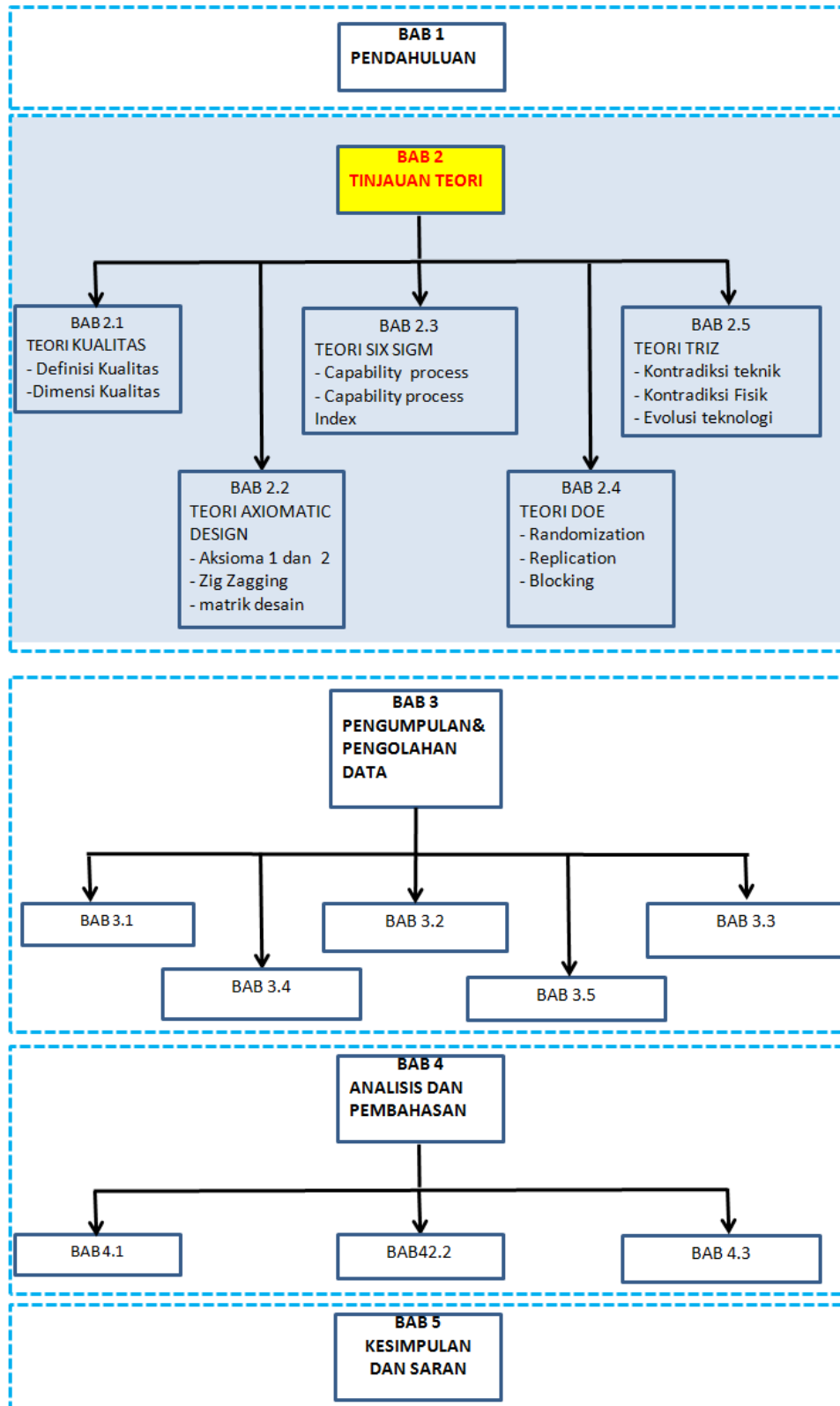
4. Pemetaan proses meliputi :
 - Peta aliran proses *cylinder head*.
 - Peta proses operasi *cylinder head* untuk menghitung *cycle time* proses dan kebutuhan jumlah mesin sesuai kapasitas permintaan konsumen.
5. Analisis desain proses manufaktur dengan metode :
 - *Axiomatic design* : mendefinisikan masalah secara sistematis dan mendetailkan *functional requirement* (FRs) menjadi elemen elemen secara hierarki.
 - TRIZ : mengembangkan *design parameter* (DPs) dari *functional requirement* (FRs).
 - Six Sigma : meningkatkan kemampuan proses.
 - DOE : menemukan parameter desain paling optimal.
6. Perbaikan desain dengan pertimbangan aspek kualitas, biaya, dan ketepatan waktu.
7. Kesimpulan dan Saran.

11.7 Sistematika Penulisan

Penelitian tugas akhir ini disusun dalam beberapa bab dengan tujuan memudahkan alur proses berpikir, dengan sistematika sebagai berikut:



BAB II



BAB II TINJAUAN TEORI

2.1 Teori Kualitas

Kompetisi dunia industri yang sangat ketat menuntut perusahaan mampu menghasilkan produk atau jasa ke konsumen dengan kualitas baik, harga murah, dan tepat waktu. Kualitas dapat didefinisikan dari berbagai aspek.

Definisi kualitas (Garvin, 1988) :

1. *Transcendent approach* : kondisi sempurna berimplikasi terhadap kualitas bagus yang berbeda dengan kualitas buruk.
2. *Product based approach* : spesifik *feature* dan *attribute* yang dapat diukur untuk menunjukkan kualitas bagus.
3. *User based approach* : produk atau jasa terbaik yang mampu memuaskan konsumen.
4. *Manufacturing based approach* : spesifikasi teknik terhadap karakteristik produk dan kemampuan manufaktur sesuai permintaan.
5. *Value based approach* : tingkat kesempurnaan dengan harga (*price*) yang bisa diterima dan kontrol variabilitas dengan biaya (*cost*) yang dapat diterima.

Dari pengertian diatas kualitas produk atau jasa dapat dilihat dari berbagai aspek yaitu kesesuaian dengan permintaan konsumen dan kesesuaian dengan parameter desain.

Untuk memperjelas pengertian kualitas dari kriteria konsumen dan kriteria teknis dari desainer ada 8 dimensi kualitas (Garvin, 1988):

1. *Performance* : karakteristik operasi utama produk atau jasa dan terukur (contoh : kecepatan mobil).
2. *Features* : karakteristik tambahan yang melengkapi karakteristik operasi utama produk atau jasa (contoh : AC mobil).
3. *Reliability* : jaminan produk tidak rusak dalam periode waktu tertentu (contoh : mesin mobil tetap handal digunakan dalam periode waktu tertentu).
4. *Conformance* : kepresisian produk atau jasa sesuai dengan spesifikasi standar (contoh : variasi toleransi produk cenderung seragam).
5. *Durability* : pengukuran lamanya *life cycle* produk atau jasa (contoh : prediksi *life cycle bearing*).
6. *Serviceability* : kecepatan produk bisa diperbaiki ketika rusak berhubungan dengan habit dan kompetensi tukang servis (contoh : ketersediaan komponen mesin dan kemudahan instalasi).

7. *Aesthetics* : preferensi subyektif individu konsumen terhadap penglihatan, perasaan, suara, rasa, dan bau dari penampilan produk atau jasa (contoh : penilaian konsumen terhadap bentuk *body* mobil).
8. *Perceived quality* : penilaian subyektif konsumen terhadap produk atau jasa berdasarkan pengukuran tidak langsung (contoh : penilaian subyektif konsumen terhadap jenis mobil terbaik).

8 dimensi kualitas menurut Garvin kurang lengkap untuk bidang jasa. Ada studi yang lebih lengkap mengidentifikasi dimensi kualitas untuk bidang jasa (Berry, Zeithmal, Parasuraman, 1990) :

1. *Reliability* : kemampuan untuk menampilkan *service reliability* dan kemandirian, artinya harapan konsumen sesuai dengan jasa yang disediakan.
2. *Responsiveness* : kemauan untuk membantu konsumen dan menyediakan pelayanan memuaskan.
3. *Assurance* : kemampuan berkomunikasi dengan konsumen sesuai tingkat kompetensi dan menyediakan pelayanan sesuai keperluan.
4. *Empathy* : pendekatan dan pemahaman terhadap kebutuhan konsumen.
5. *Tangibles* : penampilan fasilitas fisik, peralatan, personel, dan fasilitas komunikasi.

2.2. Axiomatic Design

Axiomatic design (AD) mendefinisikan desain sebagai kreasi dari sintesis solusi dalam bentuk produk, proses, sistem yang memberikan kepuasan kepada kebutuhan konsumen melalui pemetaan *functional requirement* (FRs) dalam fungsional domain dan *design parameter* (DPs) dari domain fisik melalui pemilihan DPs yang sesuai untuk memenuhi FRs (Suh, 1990).

Fokus dari AD adalah menentukan tujuan dan cara mencapainya. Jadi ide dasar metodologi AD adalah menentukan *what* (tujuan) dan *how* (bagaimana) mencapai tujuan tersebut. Tujuan desain diwujudkan dengan FRs dan solusinya dengan DPs. Proses desain dilakukan dengan memilih DPs terbaik untuk memenuhi FRs yang telah ditentukan.

Untuk memahami AD akan didefinisikan elemen-elemen dasar dalam AD yaitu *functional requirement* (FRs), *design parameter* (DPs), *constraints* (Cs) dan *process variable* (PVs).

Definisi dari *functional requirement* (FRs) adalah minimum set dari *independent requirement* yang memberikan ciri khas kebutuhan fungsional dari solusi desain dalam domain fungsional dengan constraintnya *safety*, ekonomi, *reliability*, dan kualitas.

Definisi dari parameter desain (DPs) adalah elemen dari solusi desain dalam domain fisik yang dipilih untuk memenuhi spesifikasi FRs.

Definisi *constraints* (CAs) adalah ikatan terhadap solusi yang diterima.

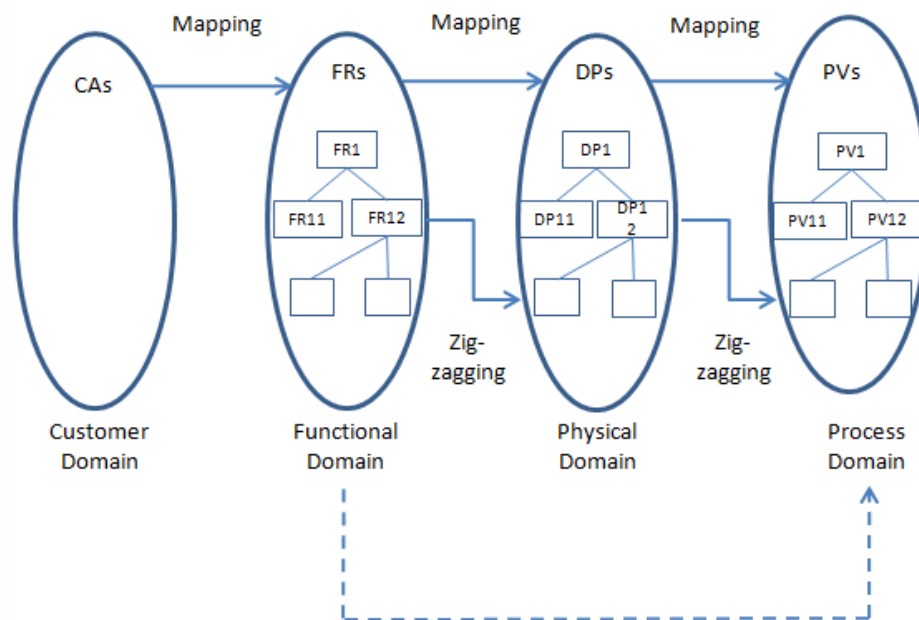
Definisi *process variables* (PVs) adalah elemen dari domain proses yang memberikan ciri khas terhadap proses yang memenuhi spesifikasi DPs.

2 aksioma dari *axiomatic design* digunakan untuk menentukan parameter desain terbaik, yaitu (Suh, 1990) :

Aksioma 1 : *the independence axiom : maintain the independence of the Frs.*

Aksioma 2 : *the information axiom : minimize the information content in a design.*

Metodologi AD proses dari level tertinggi (abstraksi) ke level terendah (elemen modular). Kalau diurutkan hierarki proses AD adalah dari sistem ke sub sistem ke komponen ke *feature*. Proses AD dapat dimodelkan secara hierarki dalam 3 domain : *functional, physical, dan process*. Pernyataan pada level tertinggi mempengaruhi desain pada level terendah. Untuk mengurai permasalahan desain dilakukan proses *zig zagging* diantara domain.

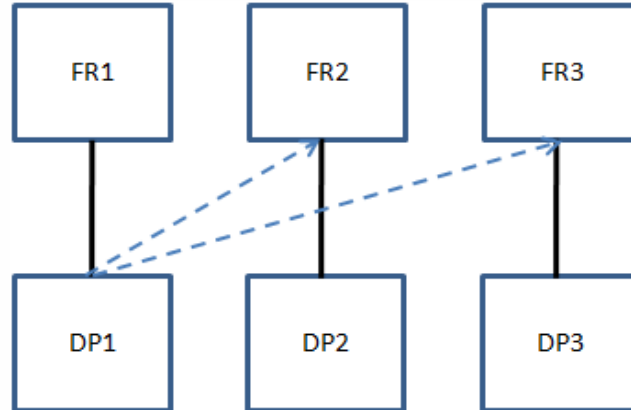


Gambar 3. Hierarki Proses *Axiomatic Design* (El Haik, 2005)

Dalam AD hubungan antara FRs dan DPs dapat dinyatakan dengan matrik desain. Hubungan antara vektor FRs dan DPs dinyatakan dalam persamaan

$$\{FRs\} = [A] [DPs] \quad (2.1)$$

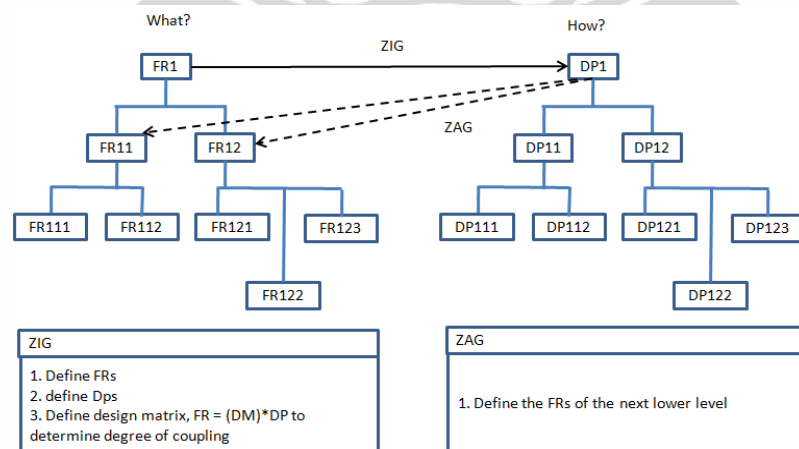
A menyatakan elemen matrik desain yang menunjukkan efek perubahan DPs terhadap FRs.



Gambar 4. Zigzagging FRs dan DPs (Cochran, Arinez, Duda, Linck, 2002)

Matrik desain terdiri dari elemen biner X's dan 0's yang menunjukkan hubungan antara Frs dan DPs. Tahapan Aplikasi AD dalam desain proses adalah sebagai berikut :

1. Mendefinisikan level teratas FRs untuk sistem manufaktur yang didesain.
2. Menentukan DPs yang berhubungan dengan FRs (proses *zigging*).
3. Sebelum proses melangkah ke level selanjutnya, aksioma 1 yaitu *independence axiom* harus dipenuhi. Aksioma 1 dapat dipenuhi jika desain *uncoupled* atau *partially coupled*.
4. Level selanjutnya dari Frs dilakukan jika satu *independence axiom* sudah terpenuhi (proses *zagging*).



Gambar 5. Tahapan Proses *Axiomatic Design* (Cochran, Dobbs, 2002)

5. Susun matrik desain yang terdiri dari elemen FRs dan DPs:

- Susun matrik desain yang terdiri dari.
[FR] =[A] [DP]
- Tentukan DPs yang mempengaruhi FRs berdasarkan kondisi fisis desain.
- Beri notasi X's untuk DPs yang mempengaruhi FRs dan notasi 0's untuk DPs yang tidak mempengaruhi FRs.
- Susun persamaan hubungan antara Frs dan DPs dengan A menyatakan elemen matrik desain yang menunjukkan efek perubahan DPs terhadap FRs.

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.1.1} \\ \text{FR1.1.2} \\ \text{FR1.1.3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.1.1} \\ \text{DP1.1.2} \\ \text{DP1.1.3} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Contoh matrik desain dan cara pembacaannya :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.1.1} \\ \text{FR1.1.2} \\ \text{FR1.1.3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & X \\ 0 & X & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.1.1} \\ \text{DP1.1.2} \\ \text{DP1.1.3} \end{pmatrix}$$

$A_{11} = X$ menunjukkan $DP_{1.1.1}$ mempengaruhi $FR_{1.1.1}$

$A_{12} = 0$ menunjukkan $DP_{1.1.2}$ tidak mempengaruhi $FR_{1.1.1}$

$A_{13} = 0$ menunjukkan $DP_{1.1.3}$ tidak mempengaruhi $FR_{1.1.1}$

$A_{21} = 0$ menunjukkan $DP_{1.1.1}$ tidak mempengaruhi $FR_{1.1.2}$

$A_{22} = X$ menunjukkan $DP_{1.1.2}$ mempengaruhi $FR_{1.1.2}$

$A_{23} = X$ menunjukkan $DP_{1.1.3}$ mempengaruhi $FR_{1.1.2}$

$A_{31} = 0$ menunjukkan $DP_{1.1.1}$ tidak mempengaruhi $FR_{1.1.3}$

$A_{32} = X$ menunjukkan $DP_{1.1.2}$ mempengaruhi $FR_{1.1.3}$

$A_{33} = 0$ menunjukkan $DP_{1.1.3}$ tidak mempengaruhi $FR_{1.1.3}$

- Tentukan pola matrik desain *coupled* atau *uncoupled*, jika matrik desain *coupled* lakukan proses *decoupled*.

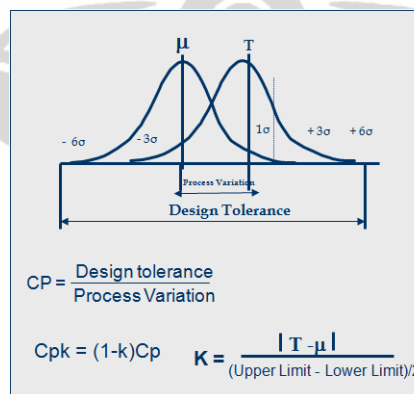
- Proses *decoupled* dilakukan dengan mengubah desain yaitu menambah DPs baru atau mengurangi DPs.

6. Susun matrik desain baru setelah dilakukan proses *decoupled*.

2.3 Six Sigma

Six sigma adalah metodologi yang dapat digunakan untuk memperbaiki kemampuan proses. Menurut *six sigma* proses adalah dasar dari improvement. Proses meliputi produk dan jasa yang dihasilkan perusahaan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Tujuan improvement proses adalah *mean performance* sesuai target dan mengurangi variasi. Improvement mean performance dan variasi dapat menurunkan cacat, menaikkan margin keuntungan, moral karyawan lebih baik, kualitas tinggi, dan *business excellence*. Saat ini aplikasi *six sigma* di industri sangat luas. *Six sigma* implikasinya sangat luas terhadap keberlangsungan bisnis perusahaan karena berhubungan dengan *return of investment*.

Nama *six sigma* berasal dari terminologi statistik. *Sigma* atau σ merepresentasikan standar deviasi. Untuk distribusi normal probabilitas area $\pm 6\sigma$ di sekitar nilai rata-rata adalah 0.9999. Dalam standar six sigma proses produksi menghasilkan cacat dalam *rate* 3,4 per 1 juta produk. Proses disebut cacat jika keluar dari standar. Standar terdiri dari *upper specification limit* (USL) dan *lower specification limit* (LSL). Formula dari *sigma level* adalah :



Gambar 6. Formula Cp dan Cpk (El Haik, 2005)

Berikut adalah tabel dari *sigma level* untuk distribusi normal.

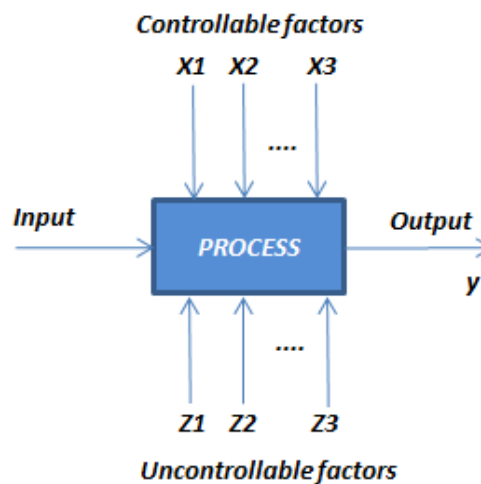
Tabel 2. Jumlah Standar *Defect* Berdasarkan Level Sigma (El Haik, 2005)

Long Term Yield (%)	Short-Term Sigma	Defect per 1.000.000	Defect per 10.000	Defect per 100
99.9996599	6	3.4	0.034	0.00034
99.9767327	5	232.67	2.327	0.02327
99.379032	4	6.209.68	62.097	0.62097
93.3192771	3	66.807.23	668.072	6.68072
69.1462467	2	308.537.53	3085.375	30.85375
30.8537533	1	691.462.47	6914.625	69.14625
6.6807229	0	933,192.77	9331.928	93.31928

Program *six sigma* dirancang untuk mengurangi variasi produk. Targetnya adalah setengah toleransi produk sama dengan 6σ . Dari perspektif teknik adalah pengendalian variasi produk sedangkan dari perspektif manajemen menggambarkan jumlah cacat produk per 1.000.000.

2.4 Design of Experiment

Secara umum eksperimen digunakan untuk untuk mempelajari unjuk kerja proses dan sistem. Proses adalah kombinasi dari operasi, mesin, metode, orang, dan sumber daya lainnya yang mentransformasikan input ke dalam output yang memiliki satu atau beberapa variable respon. Proses dapat dimodelkan sebagai berikut :



Gambar 7. Pemodelan Proses (Montgomery, 2009)

Tujuan eksperimen (Montgomery, 2009) :

- Menentukan variabel yang paling mempengaruhi respon X.
- Menentukan dimana X yang berpengaruh harus diatur agar respon Y selalu mendekati nilai nominal yang dikehendaki.

- Menentukan dimana x yang berpengaruh harus diatur agar variabilitas dalam respon Y kecil.
- Menentukan dimana x yang berpengaruh harus diatur agar pengaruh variable tidak terkontrol (Z_1, Z_2, \dots, Z_q) minimal.

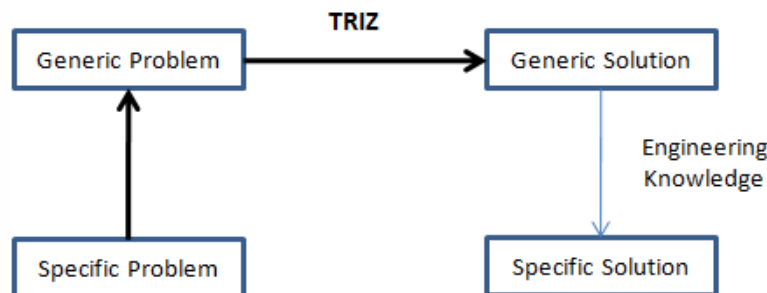
Definisi dari *design of experiment* (DOE) adalah proses perencanaan eksperimen sehingga data yang sesuai dapat dikumpulkan dan dianalisis menggunakan metode statistika dan menghasilkan kesimpulan valid dan obyektif (Montgomery, 2009). Prinsip dasar desain eksperimen adalah (Montgomery, 2000) :

- *Randomization* : alokasi material eksperimen dan eksperimen yang dilakukan secara acak.
- *Replication* : pengulangan secara independen setiap kombinasi faktor.
- *Blocking* : teknik eksperimen yang digunakan untuk improvemen kepresisian dengan mengatur eksperimen menjadi beberapa grup yang masing masing grup berisi faktor sejenis.

2.5 Theory of inventive problem solving (TRIZ)

Theory of inventive problem solving (TRIZ) dikembangkan oleh ilmuwan Rusia G.S. Altshuller pada tahun 1946 yang meneliti 400.000 paten di seluruh dunia dari berbagai disiplin ilmu. TRIZ adalah metode pemecahan masalah sistematis yang berdasarkan *human-oriented knowledge*. TRIZ dapat didefinisikan dengan pendekatan *knowledge based* karena (Savransky, 2000) :

1. Pengetahuan mengenai pemecahan masalah umum secara heuristik berasal dari intisari paten masa lalu di seluruh dunia dari berbagai disiplin ilmu teknik.
2. Menggunakan pengetahuan dari *natural effect* dan ilmu teknik. Informasi yang luas disusun dan disimpulkan selama pemecahan masalah.
3. Menggunakan pengetahuan tentang domain dimana masalah terjadi. Pengetahuan termasuk informasi tentang teknik, similaritas dan ketidaksamaan sistem dan proses, teknik lingkungan, dan evolusi atau pengembangan.



Gambar 8. Skema Metode TRIZ (Savransky, 2000)

Aspek *human oriented* dari TRIZ adalah pemecahan masalah secara heuristik berorientasi pada manusia bukan mesin. Problem yang terjadi bersifat spesifik sehingga tidak langsung bisa diselesaikan dengan komputasi. Untuk masalah yang berulang mungkin bisa diselesaikan dengan komputasi tetapi masalah yang terjadi dalam konsep desain biasanya baru dan lebih efektif diselesaikan oleh orang.

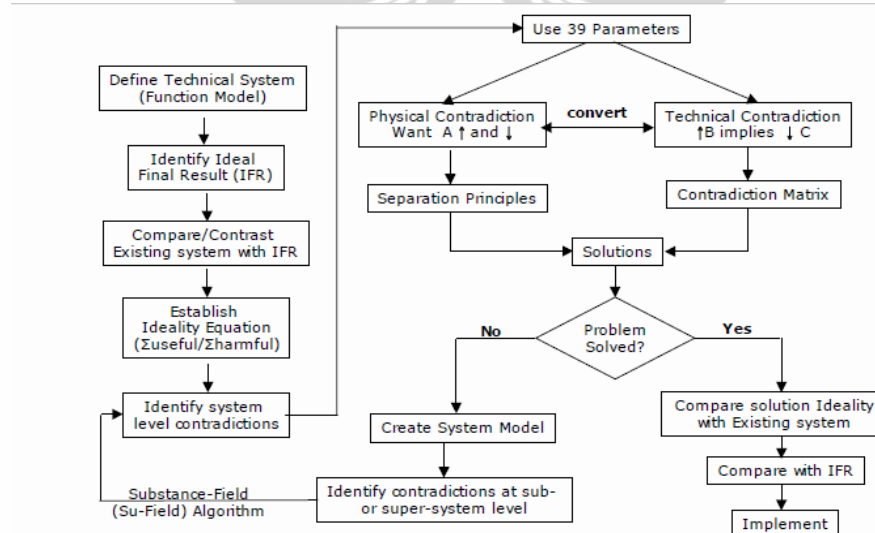
Aspek sistematis dalam TRIZ didefinisikan sebagai (Savransky,2000) :

1. Generik dan detail model dari sistem artifisial dan proses menjadi kerangka analisis TRIZ dan pengetahuan sistematis tentang proses dan sistem sangat penting.
2. Prosedur pemecahan masalah dan teknik heuristik terstruktur secara sistematis untuk mendapatkan aplikasi efektif dari pemecahan masalah baru.

Dari hasil penelitian Altshuller menemukan perbedaan sistem teknik dan teknologi proses dari ribuan paten di seluruh dunia ada kesamaan dalam evolusinya. Dari penelitian terhadap paten dapat disimpulkan bahwa permasalahan paling sedikit terdiri dari satu kontradiksi. Dalam TRIZ ada beberapa tools untuk menemukan solusi masalah, meliputi (Savransky, 2000):

1. Jika masalahnya berupa kontradiksi fisik gunakan 4 prinsip separasi dan 76 standar solusi.
2. Jika masalahnya berupa kontradiksi teknik gunakan 39 parameter engineering dan 40 prinsip *inventive*.
3. 8 pola evolusi untuk masalah tren teknologi.

Tahapan penerapan metode TRIZ untuk menyelesaikan permasalahan :



Gambar 9. Tahapan Metode TRIZ (B. Rozzi, 2005)

Yang paling sering dipakai adalah aplikasi dalam masalah teknik, digunakan 39 parameter teknik dan 40 prinsip *inventive*. Improvemen dapat dilakukan dengan menyusun parameter teknik dalam matrik kontradiksi. Sumbu X matrik berisi parameter yang perlu di improvemen sumbuY matrik berisi parameter yang dipertahankan. Solusi *inventive* adalah perpotongan dari kedua sumbu dalam matrik kontradiksi. Sebagai petunjuk pemecahan masalah terdapat 40 prinsip kreatif dalam TRIZ.

39 parameter teknik dalam TRIZ menurut Altshullers :

1. *Weight of moving object*
2. *Weight of binding object*
3. *Length of moving object*
4. *Length of binding object*
5. *Area of moving object*
6. *Area of binding object*
7. *Volume of moving object*
8. *Volume of binding object*
9. *Speed*
10. *Force*
11. *Tension pressure*
12. *Shape*
13. *Stability of object*
14. *Strength*
15. *Durability of moving object*
16. *Durability of binding object*
17. *Temperature*
18. *Brightness*
19. *Energy spent by moving object*
20. *Energy spent by binding object*
21. *Power*
22. *Waste of energy*
23. *Waste of substance*
24. *Loss of information*
25. *Waste of time*
26. *Amount of substance*
27. *Reliability*
28. *Accuracy of measurement*
29. *Accuracy of manufacturing*
30. *Harmful factors acting on object*
31. *Harmful side effects*
32. *Manufacturability*

33. *Convenience of use*
34. *Repairability*
35. *Adapability*
36. *Complexity of system*
37. *Complexity of control*
38. *Level of automation*
39. *Productivity*

Parameter teknik dalam TRIZ bisa dikelompokkan dalam kluster sejenis, yaitu:

1. Parameter fisik dan geometri (*mass, size, energy*, dll).
2. Parameter *technique-independent negative* (*waste of substance, loss information*).
3. Parameter *technique-independent positive* (*productivity, manufacturability*, dll).

Detail dari masing-masing kluster adalah sebagai berikut

Kluster 1 : parameter fisik dan geometri.

1 dan 2 – *weight* : massa dari sub sistem, elemen, atau teknik dalam area gravitasi. Gaya yang bekerja pada permukaan benda pada saat diam.

3 dan 4 – *length* : karakteristik geometris yang dapat diukur dengan dimensi linear.

5 dan 6 – *area* : karakteristik geometris yang diwakili oleh bidang datar yang dibatasi garis lurus terbatas yang dapat diukur dengan dimensi persegi.

7 dan 8 – *volume* : karakteristik geometris yang diwakili oleh ruangan yang dapat diukur dengan dimensi kubik.

9 – *speed* : tingkat kecepatan proses terhadap waktu yang dapat diukur dengan dimensi jarak dibagi waktu.

10 – *force* : interaksi yang mengubah kondisi subsistem.

11 - *stress or pressure* : tekanan di permukaan atau di dalam subsistem.

12 – *shape* : kontur luar, *boundaries* yang membatasi sub sistem terhadap lingkungan atau sub sistem lain.

17 – *temperature* : kondisi suhu sub sistem.

18 – *brightness* : *light flux* per unit area.

21- *power* : laju energi yang digunakan per satuan waktu dari sub sistem.

Kluster 2 : parameter *technique-independent negative*.

15 dan 16 – *duration of action* : waktu yang diperlukan sub sistem dapat beroperasi penuh.

19 dan 20 – *energy spent by the subsystem* : tenaga yang diperlukan sub sistem untuk beroperasi penuh.

22 - *waste of energy* : energi yang digunakan dan tidak memberikan kontribusi terhadap usaha.

23 – *waste of substance* : hilangnya material atau element sub sistem sebagian atau seluruhnya.

24 – *loss of information* : hilangnya data atau akses data sub sistem sebagian atau seluruhnya.

25 – *waste of time* : waktu yang terbuang di luar aktivitas.

26 – *amount of substance* : jumlah elemen atau material subsistem yang berubah sebagian atau seluruhnya permanen atau sementara.

30 – *harmful factors acting on subsystem* : kerentanan sub sistem terhadap bahaya luar.

31 – *harmful side effects* : bahaya yang disebabkan oleh operasi sub sistem dan dapat mengurangi efisiensi atau kualitas sub sistem

Cluster 3 : parameter *technique-independent positive*.

13 – *stability of sub system* : kemampuan sub sistem menjaga kestabilan.

14 - *strength* : kemampuan sub sistem melawan perubahan sebagai respon dari gaya yang bekerja.

27 – *reliability* : kemampuan unjuk kerja sub sistem sesuai kondisi dan fungsinya.

28 – *accuracy of measurement* : ketelitian ukuran aktual sub sistem terhadap parameter.

29 – *accuracy of manufacturing* : ketelitian karakteristik terhadap spesifikasi standard yang dapat dicapai dalam sistem produksi.

32 – *manufacturability* : derajat fasilitas, *comfort*, kemudahan pengerjaan dalam manufaktur atau fabrikasi sub sistem.

33 – *convenience of use* : kesederhanaan dan kemudahan operasi.

34 – *repairability* : karakteristik kualitas seperti *convenience*, *comfort*, kesederhanaan, waktu repair, kerusakan, atau cacat sub sistem

35 – *adapability* : kemampuan sub sistem merespon positif terhadap perubahan luar.

36 – *complexity* : keberagaman elemen dan *interrelationship* dengan sub sistem.

37 – *complexity of control* : monitoring sub sistem yang sulit, mahal biayanya, dan memerlukan banyak waktu dan tenaga untuk setting.

38 – *level of automation* : kemampuan sistem bekerja sesuai fungsinya tanpa interaksi manusia.

39 – *productivity* : jumlah operasi dan fungsi sub sistem per satuan waktu.

40 prinsip *inventive* dalam TRIZ menurut Altshullers :

Prinsip 1 (*segmentation*) :

- a. Bagi obyek dalam *independent part*.
- b. Buat obyek menjadi modular.
- c. Tingkatkan derajat segmentasi.

Prinsip 2 (*removal/extraction*) :

- a. Pisahkan part interferensi dari obyek atau part penting dari obyek.

Prinsip 3 (*local quality*) :

- a. Rubah struktur obyek dan lingkungan luar dari seragam menjadi tidak seragam.
- b. Buat setiap part dari obyek dalam kondisi siap beroperasi.
- c. Buat setiap part dari obyek terpenuhi fungsinya.

Prinsip 4 (*asymmetry*) :

- a. Ubah bentuk obyek dari simetri menjadi asimetri.
- b. Jika obyek asimetri tingkatkan derajat asimetri nya.

Prinsip 5 (*merging/joining*) :

- a. Gabungkan obyek yang identik, rakit similar part agar dapat beroperasi secara paralel.
- b. Buat operasi menjadi kontinyu atau paralel.

Prinsip 6 (*universality*) :

- a. Buat part atau obyek multifungsi.

Prinsip 7 (*nested structure*) :

- a. Tempatkan satu obyek ke obyek lainnya disamping atau di dalam.

- b. Buat satu part dapat melewati *cavity part* lainnya.

Prinsip 8 (*anti weight/counterweight*) :

- a. Untuk mengurangi berat obyek gabungkan dengan obyek lainnya yang dapat menghasilkan gaya angkat.
- b. Untuk mengkompensasi berat obyek buat interaksi dengan lingkungan (menggunakan gaya aerodinamis, hidrodinamis, gaya apung, dll).

Prinsip 9 (*preliminary anti-action /counter-action*) :

- a. Jika aksi berpotensi menimbulkan bahaya dapat diganti dengan anti aksi untuk mengontrol bahaya.
- b. Ciptakan tindakan terhadap obyek berlawanan dengan tindakan yang tidak diinginkan.

Prinsip 10 (*preliminary action*) :

- a. Lakukan tindakan awal sebelum diperlukan untuk mengubah obyek.
- b. Susun obyek sebelum beroperasi sehingga dapat bekerja dengan lingkungan nyaman tanpa kehilangan waktu *delivery*.

Prinsip 11 (*beforehead cushioning*) :

- a. Persiapkan *emergency* untuk mengkompensasi *reliability* yang rendah dari obyek.

Prinsip 12 (*equipotentially*) :

- a. Posisi perubahan yang terbatas (perubahan kondisi operasi untuk menghilangkan aktivitas tidak perlu).

Prinsip 13 (*reverse*) :

- a. Melakukan tindakan sebaliknya untuk memecahkan masalah.
- b. Disamping melakukan tindakan sesuai permintaan lakukan tindakan sebaliknya.
- c. Buat part bergerak atau lingkungan luar tetap dan buat tetap gerakan *part*.
- d. Gerakkan obyek atau proses naik turun.

Prinsip 14 (*Spheroidality*) :

- a. Gerakkan part dari permukaan rata ke lengkung, dari bentuk cekung ke bentuk bola.
- b. Gunakan *roller*, bola, spiral, dan kubah.
- c. Rubah gerakkan linear ke *rotary* menggunakan gaya sentrifugal.

Prinsip 15 (*Dynamism*) :

- a. Desain karakteristik obyek, lingkungan luar atau proses lebih optimal.
- b. Bagi obyek ke dalam *part* yang dapat bergerak relatif.
- c. Jika obyek atau proses *rigid* atau tidak fleksibel buat *movable* atau *adaptive*.

Prinsip 16 (*partial, satiated, or excessive action*) :

- a. Jika 100% obyek tidak dapat dipecahkan masalahnya gunakan metode sama dengan *slightly less* atau *slightly more*.

Prinsip 17 (*another dimension*) :

- a. Kesulitan menggerakkan atau merelokasi obyek sepanjang garis lurus dapat diatasi jika obyek memiliki kemampuan bergerak 2 dimensi.
- b. Gunakan susunan *multi-story* daripada *single-story*. Gunakan *multilayered assembly* daripada *singlelayer assembly*.
- c. Putar atau re orientasi obyek.
- d. Gunakan sisi lain dari area.
- e. Gunakan *optical lines* area.

Prinsip 18 (*mechanical vibration*) :

- a. Osilasi atau getarkan obyek.
- b. Jika terjadi osilasi tingkatkan frekuensi.
- c. Gunakan frekuensi resonansi obyek.
- d. Gunakan *piezoelectric vibrator* daripada *mechanical*.
- e. Gunakan kombinasi ultrasonik dan osilasi elektromagnetik .

Prinsip 19 (*periodic action*) :

- a. Disamping tindakan kontinyu gunakan tindakan periodik atau bergelombang.
- b. Jika tindakan periodik ubah frekuensi.

Prinsip 20 (*continuity of useful action*) :

- a. Kontinyu dalam tindakan, buat semua part dari obyek UF dan atau NF untuk beban penuh sepanjang waktu.
- b. Eliminasi *idle*.

Prinsip 21 (*skipping (rushing through)*) :

- a. Lakukan proses pada kecepatan tinggi.

Prinsip 22 (*convert harm into benefit*) :

- a. Gunakan *harmful factor* untuk mencapai efek positif.

- b. Eliminasi tindakan berbahaya dengan menambahkan tindakan untuk menyelesaikan masalah.
- c. Perkuat *harmfull factor* yang derajatnya tidak berbahaya.

Prinsip 23 (*feedback*) :

- a. *Introduce feedback* untuk improvemen proses.
- b. Jika *feedback* sudah digunakan ubah besarnya atau pengaruhnya.

Prinsip 24 (*intermediary*) :

- a. Gunakan *intermediary process*.
- b. Gabungkan sementara satu obyek dengan obyek lainnya.

Prinsip 25 (*self service*) :

- a. Buat obyek dapat melayani sendiri dengan bantuan fungsi tambahan.
- b. Obyek dapat mengatur dirinya sendiri.
- c. Gunakan sisa sumberdaya, energi, atau material.

Prinsip 26 (*copying*) :

- a. Daripada menggunakan obyek yang tidak tersedia, mahal, mudah pecah lebih baik menggunakan obyek sama yang sederhana dan murah.
- b. Ganti obyek atau proses dengan *optical copies*.
- c. Jika *visible optical copies* sudah digunakan ganti dengan inframerah atau *ultraviolet copies*.

Prinsip 27 (*inexpensive short-lived object*) :

- a. Ganti obyek mahal dengan obyek murah yang berkualitas.

Prinsip 28 (*mechanics substitution*) :

- a. Ganti *part* mekanik dengan sensor.
- b. Gunakan elektrik, magnetik, dan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan obyek.
- c. Ubah dari *static* menjadi *movable* dari *unstructured* menjadi *structured*.
- d. Gunakan *field conjunction* dengan *field-activated particles*.

Prinsip 29 (*pneumatics and hydraulics*) :

- a. Gunakan gas dan cairan daripada benda padat.
- b. Gunakan gaya archimedes untuk mengurangi berat obyek
- c. Gunakan tekanan atmosfer.
- d. Foam dapat digunakan sebagai kombinasi cairan dan gas dengan berat ringan.

Prinsip 30 (*flexible shells and thin films*) :

- a. Gunakan *flexible shells* dan lapisan film tipis daripada struktur 3 dimensi.
- b. Isolasi obyek dari lingkungan luar menggunakan *flexible shells* dan film tipis.

Prinsip 31 (*porous materials and membranes*) :

- a. Buat obyek berongga atau tambahkan elemen berongga.
- b. Jika obyek sudah berongga gunakan pori-pori sebagai substansi.

Prinsip 32 (*colour changes*) :

- a. Ubah warna obyek atau lingkungan luar.
- b. Ubah transparansi obyek atau lingkungan luar.
- c. Untuk mengamati obyek atau proses yang susah dilihat gunakan zat aditif warna.

Prinsip 33 (*homogeneity*) :

- a. Buat obyek berinteraksi dengan obyek yang materialnya sama.

Prinsip 34 (*discarding and recovering*) :

- a. Buang bagian obyek yang sudah terpenuhi atau modifikasi selama operasi.
- b. Sebaliknya kembalikan *consumable part* obyek langsung dalam operasi.

Prinsip 35 (*parameters and properties changes*) :

- a. Ubah kondisi fisik obyek menjadi gas, cair, atau padat.
- b. Ubah konsentrasi atau konsistensi.
- c. Ubah derajat kebebasan.
- d. Ubah temperatur.
- e. Ubah karakteristik atau teknik.

Prinsip 36 (*phase transition*) :

- a. Gunakan fenomena yang terjadi selama fase transisi (perubahan volume, penyerapan panas, dll).

Prinsip 37 (*thermal expansion*) :

- a. Gunakan ekspansi panas material.
- b. Jika ekspansi panas digunakan pakai material dengan koefisien ekspansi panas yang berbeda.

Prinsip 38 (*strong oxidants*) :

- a. Ganti udara dengan udara yang diperkaya oksigen.
- b. Ganti udara yang diperkaya dengan oksigen murni.

- c. Ekspose udara atau oksigen ke radiasi ion.
- d. Ganti *ionized* oksigen dengan ozon.

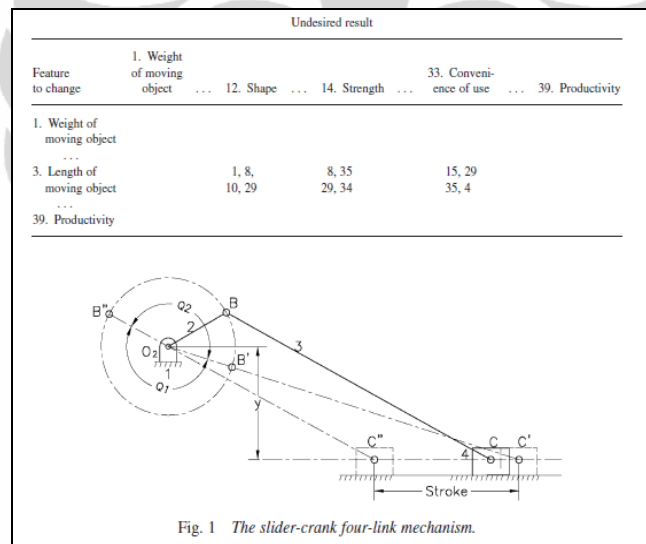
Prinsip 39 (*inert atmosphere*) :

- a. Ganti lingkungan normal dengan *inert*.
- b. Tambahkan *inert additives* ke obyek.

Prinsip 40 (*composite materials*) :

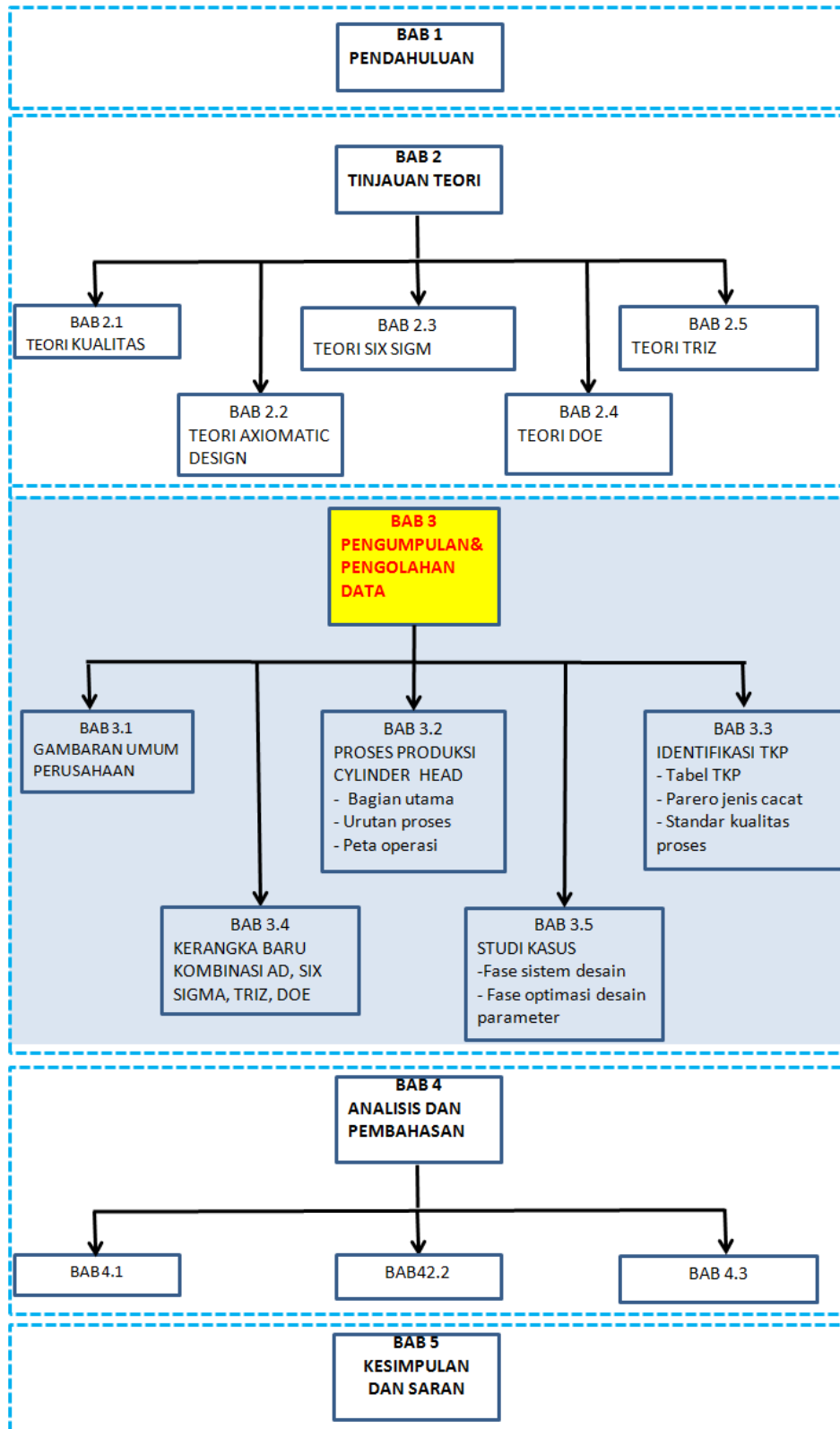
- a. Ubah dari *uniform* ke komposit material.

Aplikasi matrik kontradiksi untuk pemecahan masalah dapat dilihat dalam desain mekanisme *slider-crank*. Dalam mekanisme *slider-crank* terjadi perubahan dari gerak rotasi menjadi gerak linier berulang dengan tenaga input dari *crank shaft*. Mekanisme ini banyak dipakai dalam mesin perkakas, kompresor, mekanisme *mold casting*, dll. Dengan metode TRIZ diperoleh konsep desain mekanisme *slider-crank variable intermittent* dengan multifungsi yaitu gerakan lurus berulang, gerakan lurus berulang patah-patah, *step variable*, *variable stroke*, dan *mixed motion*.



Gambar 10. Matrik Kontradiksi Desain Mekanisme *Slider-Crank* (Yan, 2008)

BAB III



BAB III

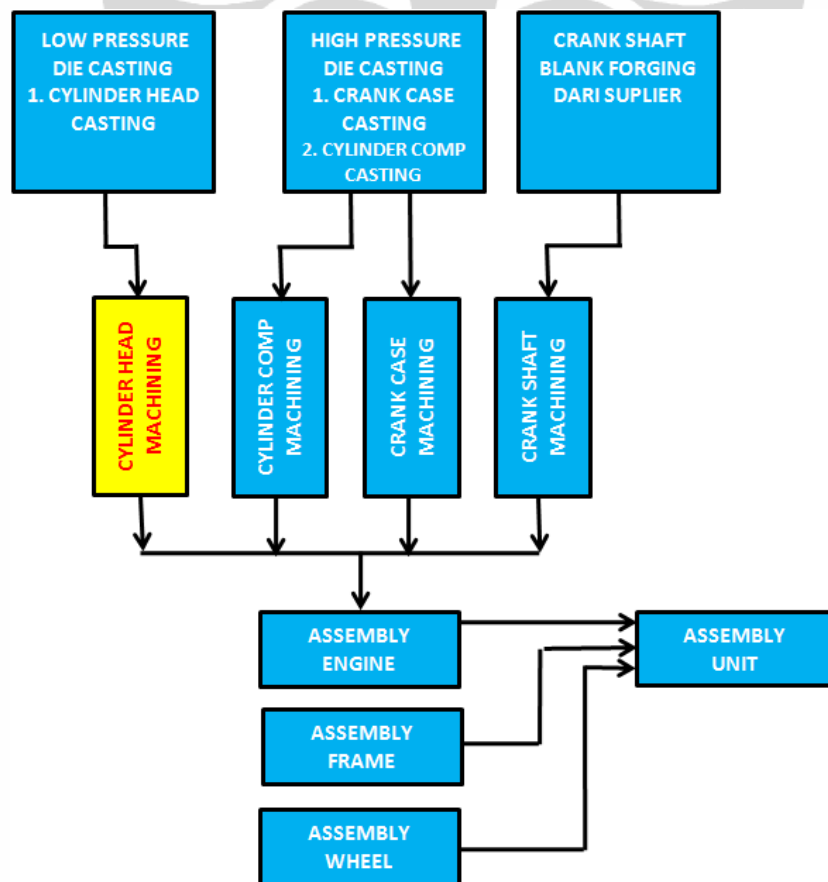
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai teknik pengumpulan data dan cara pengolahan dengan metodologi yang dipakai. Pengumpulan data dilakukan dengan data base dari bagian terkait (produksi, *quality*, *engineering*), observasi langsung di lapangan, penelusuran dokumen dari awal perencanaan proyek sampai produksi massal.

3.1 GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

Fasilitas produksi baru PT A di Plant Cibitung mulai produksi massal tanggal 12 juli 2011. Pabrik terdiri dari proses manufaktur sepeda motor 4 langkah dari hulu ke hilir dalam satu area terpadu. Terdiri dari area pengecoran, *machining*, pengelasan rangka, pengecatan *body*, perakitan *engine*, dan perakitan unit sepeda motor dengan kapasitas 2200 unit/hari.

Area machining terdiri dari *machining cylinder head*, *crank case*, *cylinder comp*, dan *crank shaft*.

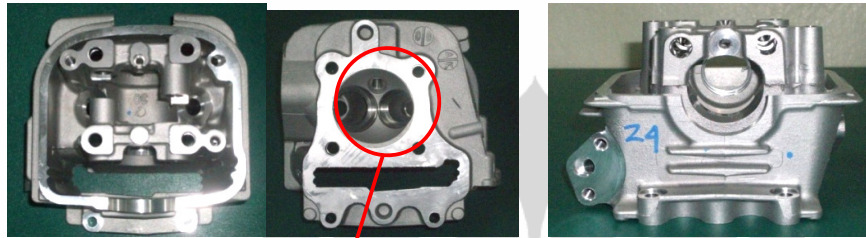


Gambar 11. Aliran Proses Produksi Sepeda Motor (PT A, 2011)

3.2 PROSES PRODUKSI CYLINDER HEAD

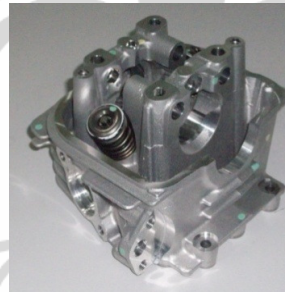
Cylinder head adalah bagian mesin sepeda motor yang berfungsi sebagai ruang pembakaran. Fungsi *cylinder head* sangat penting karena berpengaruh terhadap tenaga yang dihasilkan motor. Kualitas *cylinder head* ditentukan oleh proses manufaktur *cylinder head body* (*casting, machining*) dan perakitan sub komponen. Berikut ini adalah bagian bagian dari *cylinder head* :

1. *Cylinder head body*



Ruang bakar

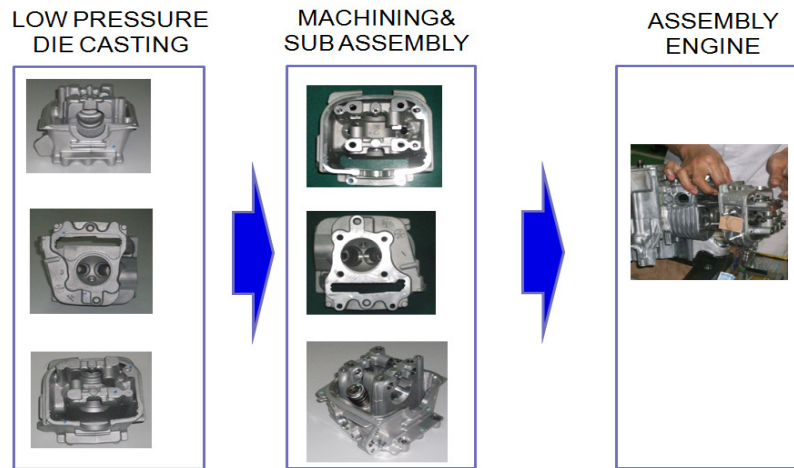
2. Komponen *cylinder head assy* :



- *Valve in* : mengatur masuknya bensin ke ruang bakar.
- *Valve ex* : mengatur pembuangan gas sisa pembakaran.
- *Seat ring* : dudukan *valve in* dan *valve ex*.
- *Guide valve* : dudukan batang *valve in* dan *valve ex*.
- *Spring valve* : mekanisme pembalik gaya tekan.
- *Cotter valve* : penyekat *guide valve*.

Gambar 12. Bagian *Cylinder Head*

Cylinder head sebelum dirakit dengan komponen mesin lainnya di lini perakitan mengalami proses pengecoran, *machining*, dan *sub assembly* komponen. Berikut ini adalah proses pengerjaan *cylinder head* dari pengecoran sampai perakitan mesin.



Gambar 13. Urutan Proses Pembuatan *Cylinder Head*

Proses produksi *cylinder head machining* meliputi proses *machining* dan proses sub assembling komponen yang dikerjakan dalam satu lini produksi.

Dalam tesis ini akan dianalisis lini produksi *cylinder head machining*. Lini produksi ini memproduksi *cylinder head* untuk sepeda motor 4 langkah 110 cc. Lokasi penelitian di PT A plant Cibitung. Detail dari lini produksi *cylinder head machining* adalah sebagai berikut :

Kapasitas terpasang : 2200 unit/hari.

Jumlah stasiun kerja : 14 .

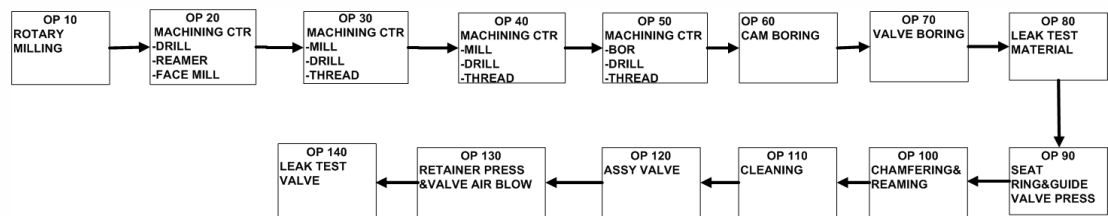
Jumlah mesin : 20 mesin.

Jumlah operator produksi : 14 orang/shift.

Investasi mesin : 32 miliar rupiah.

Mulai produksi massal : juli 2011.

Urutan proses *cylinder head machining* :

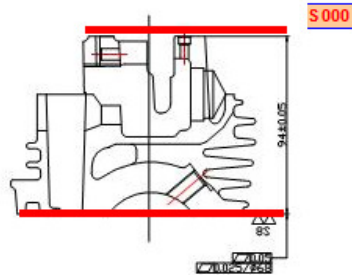


Gambar 14. Urutan Proses *Cylinder Head Machining* (PT A, 2011)

Proses 1 (OP10) :

Proses *milling* permukaan *cylinder head*.

Nama mesin : *rotary milling*.



Gambar 15. Proses OP 10 *Cylinder Head Machining*

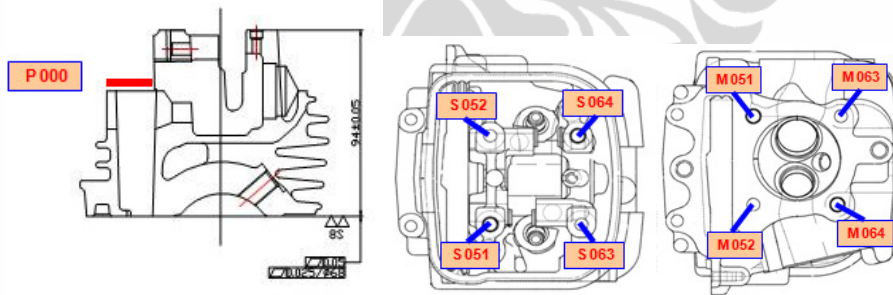
Jumlah mesin : 1.

Proses 2 (OP 20) :

Proses lubang *dowel* proses , *bolt stud* dan *milling* dudukan *cover cylinder head*.

Nama mesin : *machining center* OP 20.

- Jumlah mesin : 3.



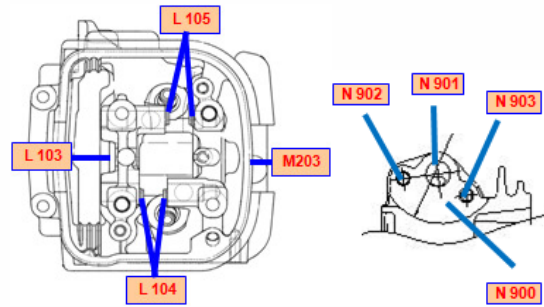
Gambar 16. Proses OP 20 *Cylinder Head Machining*

Proses 3 (OP 30) :

Proses pembuatan lubang busi dan celah *rocker arm*.

Nama mesin : *machining center* OP 30.

Jumlah mesin : 3.



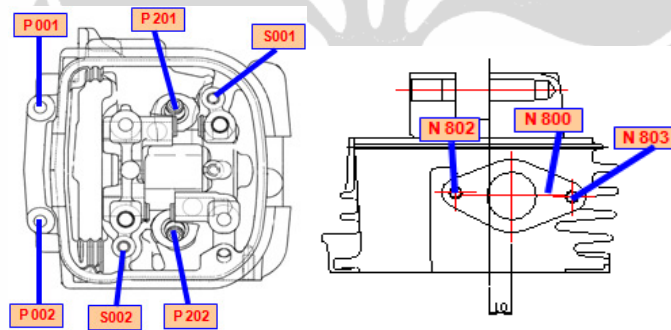
Gambar 17. Proses OP 30 *Cylinder Head Machining*

Proses 4 (OP 40) :

Nama mesin : *machining center* OP 40.

Proses pembuatan lubang pengikat *cover, spot face* dan lubang pengikat *cylinder comp.*

Jumlah mesin : 3



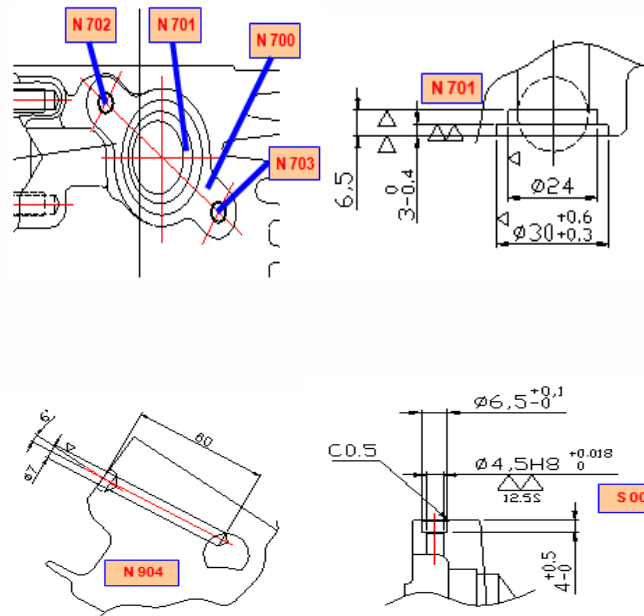
Gambar 18. Proses OP 40 *Cylinder Head Machining*

Proses 5 (OP 50) :

Proses pembuatan lubang sensor suhu.

Nama mesin : *machining center* OP 50.

Jumlah mesin : 2.



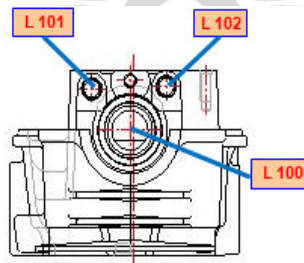
Gambar 19. Proses OP 50 *Cylinder Head Machining*

Proses 6 (OP 60) :

Proses pembuatan lubang *camshaft* dan lubang *shaft rocker arm*.

Nama mesin : *cam boring*.

Jumlah mesin : 1.



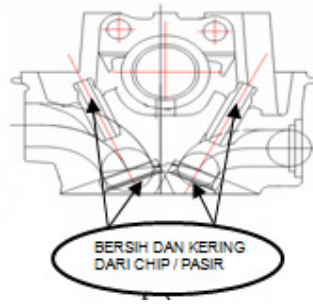
Gambar 20. Proses OP 60 *Cylinder Head Machining*

Proses 7 (OP 70) :

Proses pembuatan lubang *valve*.

Nama mesin : *valve boring*.

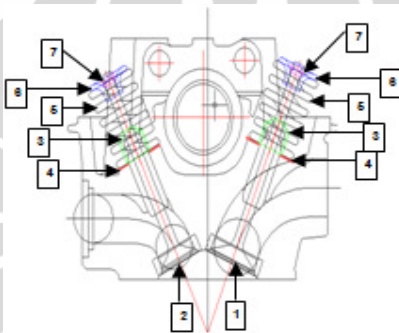
Jumlah mesin : 1.



Gambar 25. Proses OP 110 *Cylinder Head Machining*

Proses 12 (OP 120) :

Proses perakitan manual.



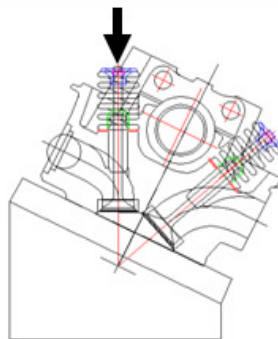
Gambar 26. Proses OP 120 *Cylinder Head Machining*

Proses 13 (OP 130) :

Proses pengepresan *retainer spring* dan pembersihan *valve* dengan udara bertekanan.

Nama mesin : *retainer press&valve air blow*.

Jumlah mesin : 1.



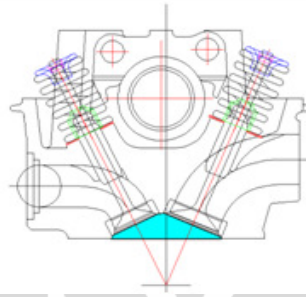
Gambar 27. Proses OP 130 *Cylinder Head Machining*

Proses 14 (OP 140) :

Proses pengetesan kebocoran *valve* setelah dirakit.

Nama mesin : *leak test valve*.

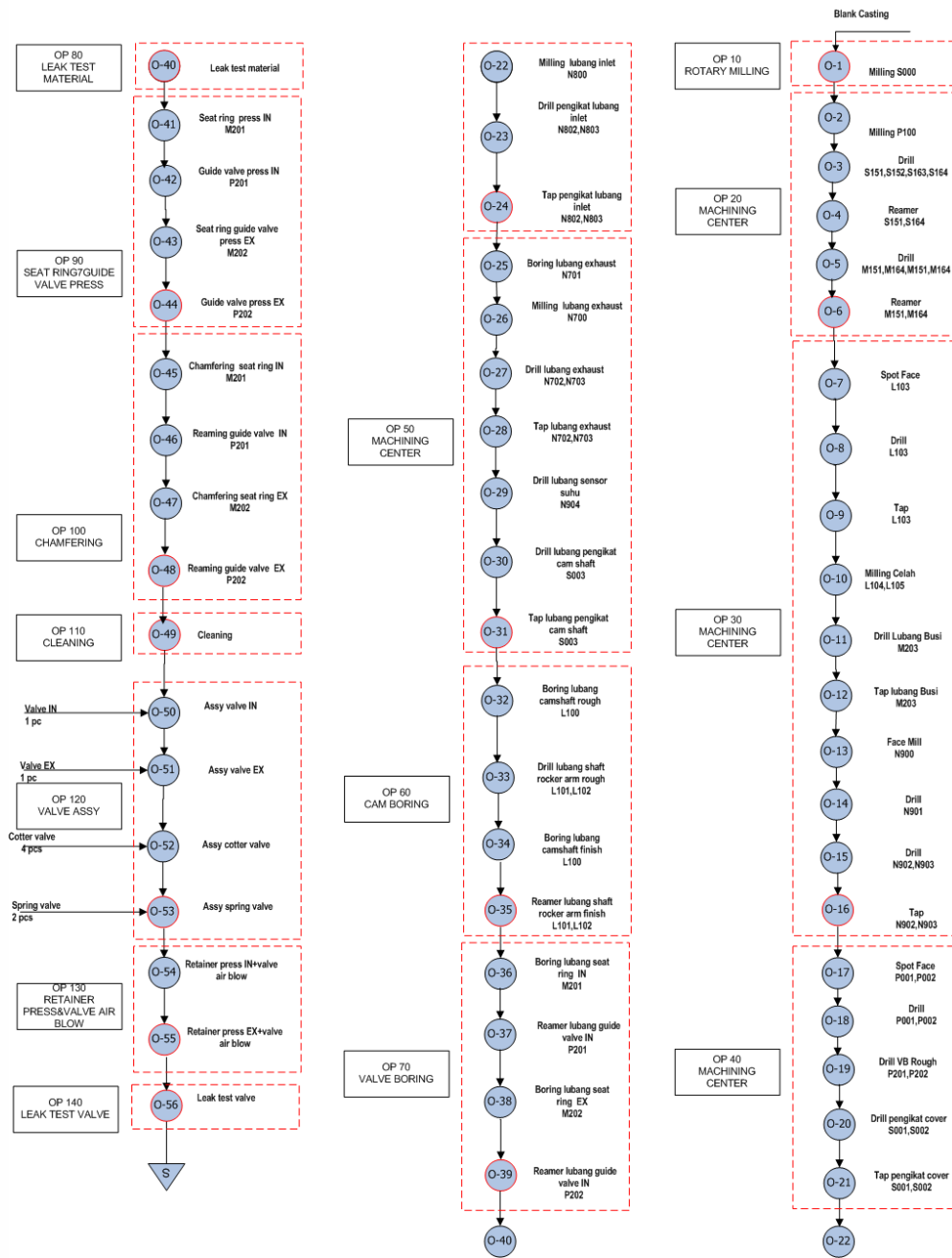
Jumlah mesin : 1.



Gambar 28. Proses OP 140 *Cylinder Head Machining*

Untuk mengetahui detail proses per stasiun kerja digunakan peta proses operasi. Meliputi proses per stasiun kerja dari awal sampai akhir dan nomor prosesnya.

PETA PROSES OPERASI CYLINDER HEAD MACHINING



Gambar 29. Peta Operasi Cylinder Head Machining (PT A, 2011)

3.3 IDENTIFIKASI TINGKAT KEBERHASILAN PROSES (TKP) LINI PRODUKSI *CYLINDER HEAD MACHINING*

Lini *cylinder head machining* menggunakan *product layout* yaitu sistem produksi dengan aliran material kontinu. *Product layout* sesuai untuk memproduksi part *customize* dengan kapasitas tinggi. Terdiri dari 14 stasiun kerja dengan masing masing stasiun kerja terdiri dari 1-3 mesin dengan proses sejenis.



Gambar 30. Tata Letak Lini Produksi *Cylinder Head Machining* (PT A, 2011)

Salah satu parameter produktifitas lini produksi adalah tingkat keberhasilan proses (TKP). Yang merupakan rasio antara jumlah produksi dan *finish good* yang dihasilkan. Pengukuran TKP lini produksi *cylinder head machining* dilakukan dari awal produksi 12 juli sampai akhir agustus 2011. Karena pada awal september 2011 ada penonaktifan mesin *cam boring* karena permasalahan kualitas dan sementara proses dialihkan ke mesin *machining center*. Produksi juli 2011 sebanyak 8689 unit karena awal produksi massal kapasitas belum penuh tetapi naik secara bertahap. Pada bulan agustus 2011 produksi 52578 unit dengan hari kerja 30 hari untuk menutupi minus produksi karena barang cacat dan *loss time* karena penyetingan mesin terutama *cam boring*.

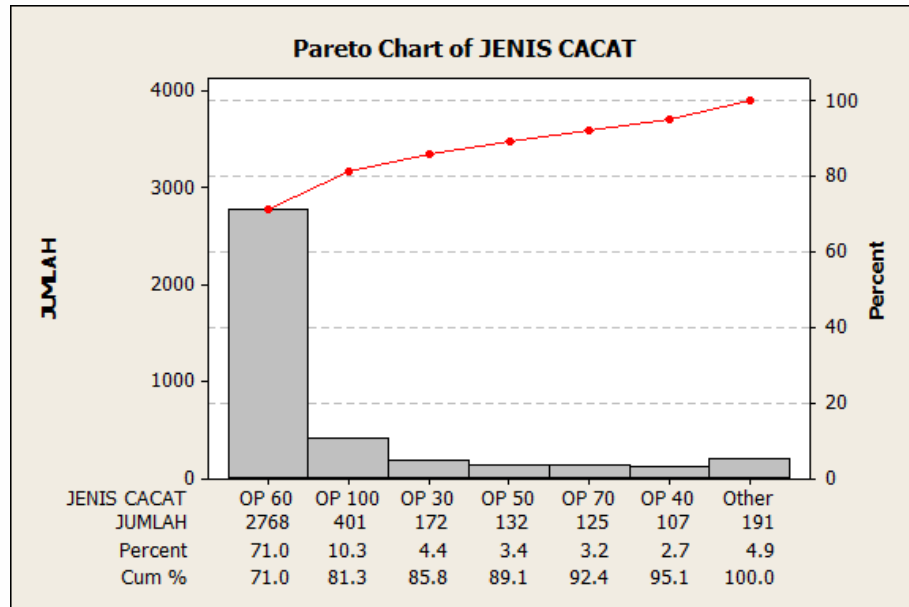
Tingkat keberhasilan proses (TKP) stasiun kerja di lini produksi *cylinder head machining* bisa dilihat di tabel 3 :

Tabel 3. Tingkat Keberhasilan Proses *Lini Cylinder Head Machining*

NO	PROSES	NO PROSES	CACAT	QUANTITY					
				JULI 2011	AGS 2011	TOTAL	%	% TOTAL	TKP
1	OP 10 Rotary Milling	O-1	Milling S000 baret/tidak rata	5	35	40	0.065%	0.065%	99.935%
2	OP 20 Machining Center	O-2	Milling baret	7	22	29	0.047%	0.155%	99.845%
		O3&O5	Lubang bolstud mis run	4	32	36	0.059%		
		O4&O6	Reamer blong/sempit	5	25	30	0.049%		
3	OP 30 Machining Center	O-7	Spot face sempit	0	26	26	0.042%	0.281%	99.719%
		O8&O9	Tap L103 dol	4	26	30	0.049%		
		O10	Celah L104&L105 blong/sempit	0	21	21	0.034%		
		O11&O12	Tap lubang busi dol	0	16	16	0.026%		
		O13	Milling N900 baret/tidak rata	6	22	28	0.046%		
		O14	N901 Ø blong/sempit/kuang dalam	5	21	26	0.042%		
		O15&O16	Tap N 902&903 dol	8	17	25	0.041%		
4	OP 40 Machining Center	O17	Spot face P001&P002 sempit	0	0	0	0.000%	0.175%	99.825%
		O18	Ø P001&P002 blong/sempit	0	15	15	0.024%		
		O19	Lubang VB rough Ø blong	0	20	20	0.033%		
			Lubang VB rough sudut NG	4	21	25	0.041%		
		O20&O21	Tap S001&S002 dol	4	16	20	0.033%		
		O22	Milling N800 baret/tdk rata	0	0	0	0.000%		
		O23&O24	Tap N802&N803 dol	7	20	27	0.044%		
5	OP 50 Machining Center	O25	Ø701 blong/sempit	5	17	22	0.036%	0.215%	99.785%
		O26	Milling N700 baret/tidak rata	5	26	31	0.051%		
		O27&O28	Tap N702&N703 dol	3	21	24	0.039%		
		O29	N904 Ø blong/sempit/kuang dalam	4	23	27	0.044%		
		O30&O31	Tap S003 dol	8	20	28	0.046%		
6	OP 60 Cam Boring	O32&O34	Posisi L100 NG	86	920	1006	1.642%	4.518%	95.482%
			Diameter L100 blong/sempit	8	32	40	0.065%		
		O33&O35	Posisi L101&L102 NG	135	1530	1665	2.718%		
			Diameter L101&L102 blong/sempit	12	45	57	0.093%		
7	OP 70 Valve Boring	O36&O38	M201&M202 Ø blong/sempit	7	34	41	0.067%	0.204%	99.796%
		O37&O39	P201&P202 Ø blong/sempit	4	23	27	0.044%		
			P201&P202 sudut NG	6	51	57	0.093%		
8	OP 80 Leak Test Material	O40	Bocor material	7	23	30	0.049%	0.049%	99.951%
9	OP 90 Seat Ring& valve air blow	O41&O43	Seat ring miring	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
		O42&O44	Guide valve miring	0	0	0	0.000%		
10	OP 100 Chamfering	O45&O47	Chamfer M201&M202 run out NG	32	310	342	0.558%	0.655%	99.345%
		O46&O48	P201&P202 Ø blong/sempit	8	51	59	0.096%		
11	OP 110 Cleaning	O49	Part kotor	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
12	OP 120 Valve Assy	O50&O51	Valve terbalik	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
		O52	Cotter valve terbalik	0	0	0	0.000%		
		O53	spring terbalik	0	0	0	0.000%		
13	OP 130 Retainer Press	O54&O55	Spring kendur	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
14	OP 140 Leak Test Valve	O56	Valve bocor	4	22	26	0.042%	0.042%	99.958%
TOTAL BARANG CACAT						3896 unit		6.359%	
PRODUKSI BULAN JULI						8689 unit/bulan			
PRODUKSI BULAN AGUSTUS						52578 unit/bulan			
TOTAL PRODUKSI 2 BULAN						61267 unit			

Dari data diatas diketahui stasiun kerja dengan TKP terendah adalah *cam boring* 95,482%.TKP terendah kedua adalah *chamfering* 99,345%. Stasiun kerja dengan TKP tertinggi adalah *seat valve&guide valve press, cleaning, valve assy, dan retainer press* 100%.

Untuk menganalisis cacat dominan di setiap stasiun kerja digunakan diagram pareto :



Gambar 31. Diagram Pareto Barang Cacat di Lini *Cylinder Head Machining*

Untuk menganalisis penyebab cacat di proses *camboring* akan dibahas detail proses di stasiun ini. Bagian *atas cylinder head* terdapat *cam shaft holder* yang menyatu dan merupakan kedudukan *rocker arm* yang berfungsi mengatur mekanisme buka tutup *valve inlet* dan *valve exhaust* selama proses pembakaran.

Proses *machining cam shaft holder* yang menyatu dengan *cylinder head* meliputi :

- Pembuatan lubang *shaft rocker arm exhaust* dan *inlet*.
- Pembuatan lubang *cam shaft*.

Standar kualitas proses *cam boring* yang disyaratkan di gambar spesifikasinya adalah :

1. Posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head* :

Jarak lubang *shaft rocker arm inlet* :

- Sumbu X : 21.29 ± 0.05 mm.
- Sumbu Y : 21.12 ± 0.050 mm.

Jarak lubang *shaft rocker arm EX* :

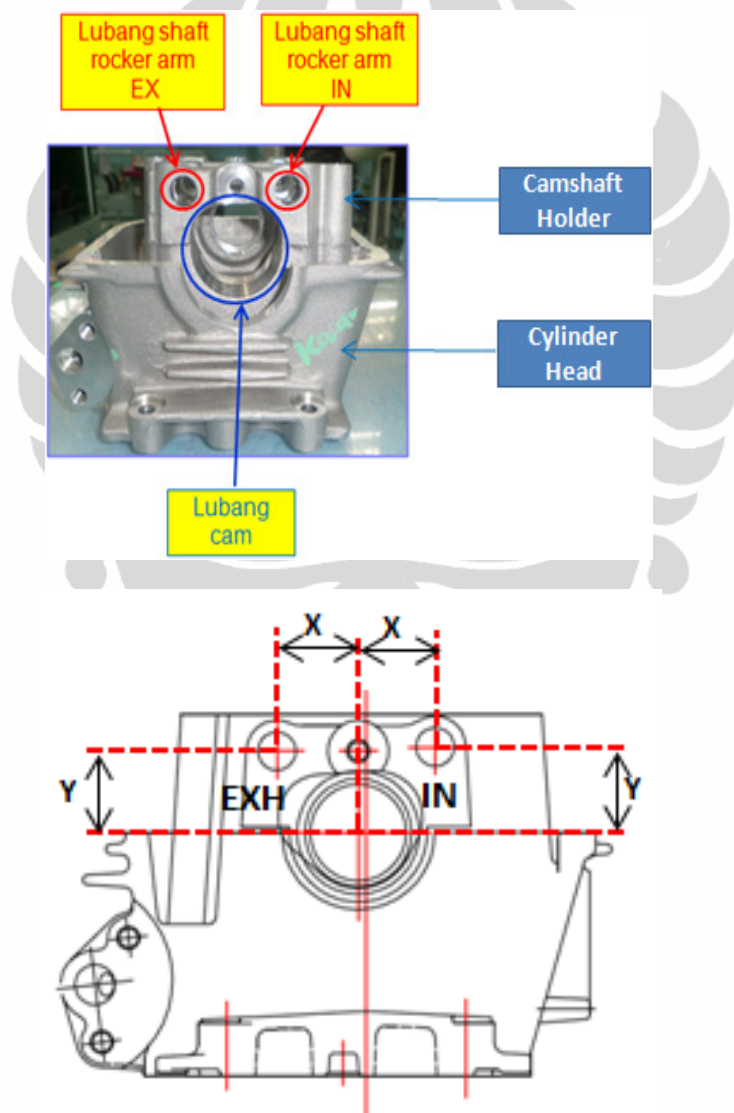
- Sumbu X : 20.15 ± 0.050 mm.
- Sumbu Y : 22.21 ± 0.050 mm.

Penyimpangan posisi lubang *cam shaft holder* terhadap titik pusat *cylinder head* menyebabkan *cam shaft* tidak center sehingga mempengaruhi mekanisme buka tutup *valve* saat proses pembakaran.

2. Posisi lubang *cam shaft* terhadap titik pusat *cylinder head* :

- Sumbu X : 2.12 ± 0.05 mm.
- Sumbu Y : 63.30 ± 0.050 mm

Penyimpangan ekstrim posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head* menyebabkan *shaft rocker arm* miring dan seret saat pemasangan karena menabrak *boltstud*. Hal ini menyebabkan mesin sepeda motor *noise* saat beroperasi.



Gambar 32. Proses *Cam boring*



Gambar 33. *Shaft Rocker Arm*

Berikut adalah spesifikasi mesin cam boring :

Pembuat : *Kens Corporation.*

Negara asal : Jepang.

Tahun pembuatan : 2011.

Type : *rotary index* dengan arah putaran searah jarum jam.

Jumlah *jig fixture* : 5 pcs.

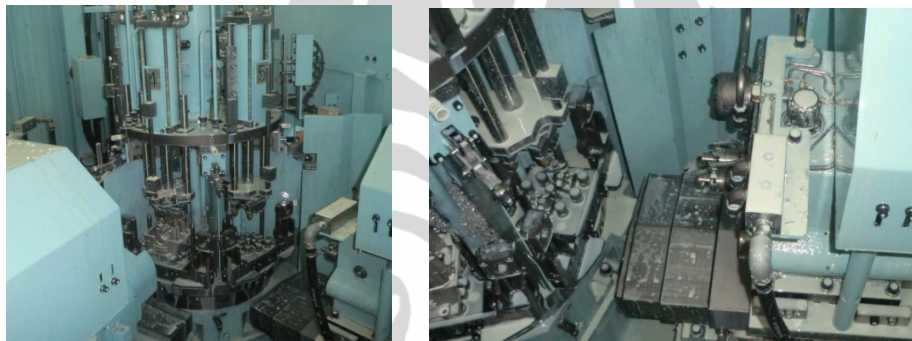
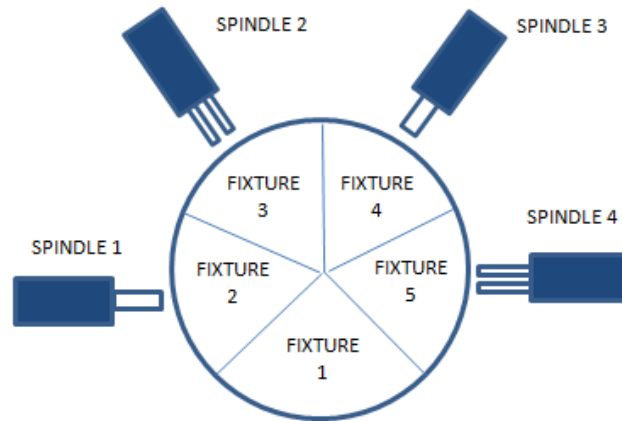
Tipe *fixture* : *sub plate.*

Clamping force : *hydraulic.*

Jumlah *spindle* 4 terdiri dari :

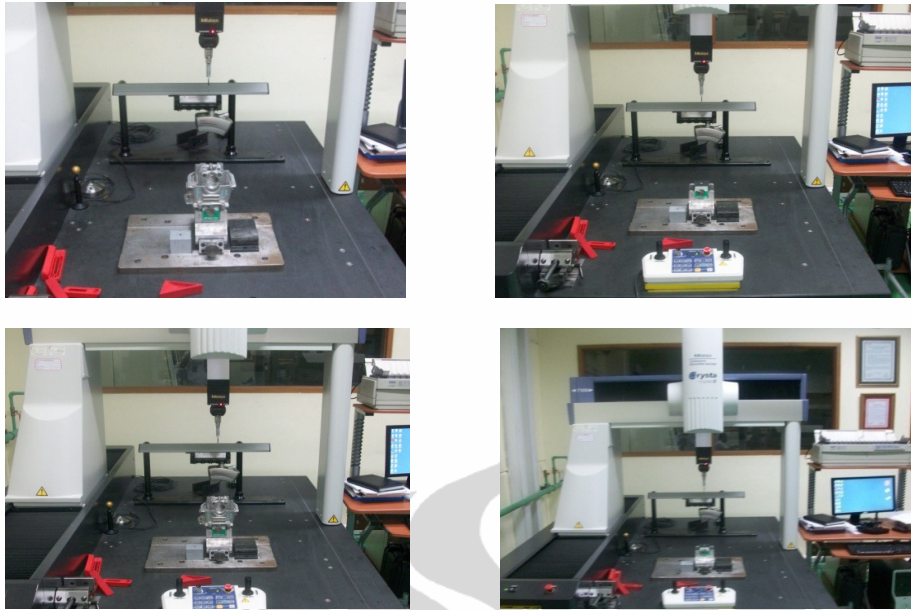
- *spindle 1* : proses *drill* lubang *shaft rocker arm.*
- *spindle 2* : proses bor lubang cam *shaft holder rough.*
- *spindle 3* : proses *reamer* lubang *shaft rocker arm.*
- *spindle 4* : proses bor lubang cam *shaft holder finish.*

Susunan *jig&fixture* dan *spindle* mesin *cam boring* kens.



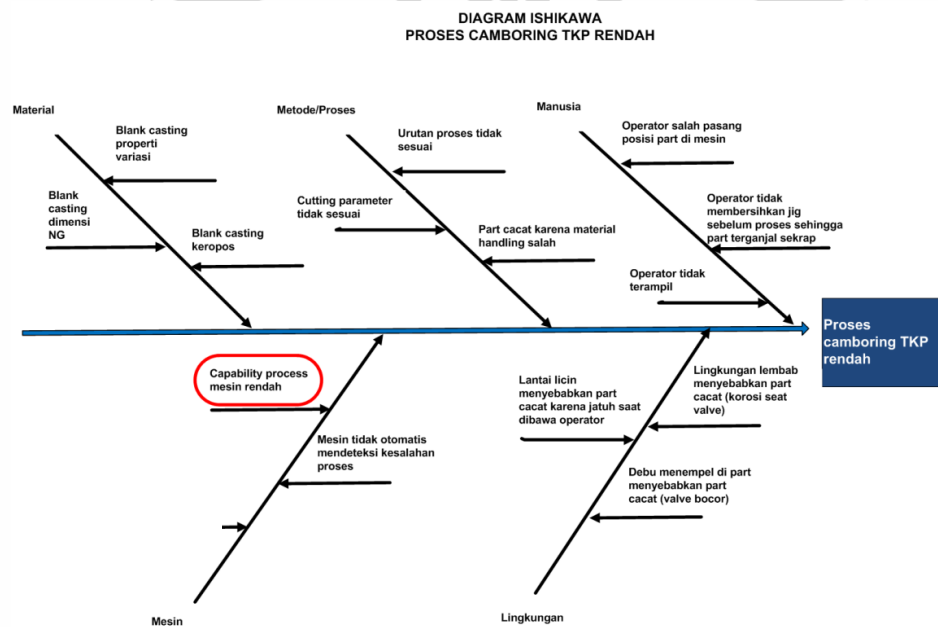
Gambar 34. Lay Out Mesin *Cam boring* (PT A, 2011)

Pengukuran kapabilitas proses dilakukan pada saat mesin baru . Proses *cam boring* sebanyak 6 pcs untuk masing-masing *fixture* jadi total ada 30 pcs. Proses dilakukan dengan kondisi *jig&fixture* dan *spindle* di setting dalam akurasi sesuai standar, *cutting tools* baru, konsentrasi *cutting fluid* 8 (diukur dengan spektrometer), dilakukan oleh operator terlatih, *cylinder head* dengan *dies* sama, proses dilakukan secara kontinyu. Setelah dilakukan proses kemudian *cylinder head* diukur dengan CMM yang dilakukan dalam temperatur ruangan 18°C.



Gambar 35. *Coordinat Measurement Machine (CMM) Mitutoyo*

Untuk menganalisis penyebab utama TKP proses *camboring* rendah digunakan diagram ishikawa :



Gambar 36. Diagram Ishikawa Proses *Camboring* TKP rendah

3.4 KERANGKA BARU KOMBINASI AD, SIX SIGMA, TRIZ, dan DOE

Dari studi literatur diketahui terdapat berbagai metodologi problem solving. Masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Untuk mendapatkan hasil optimal digunakan kombinasi metodologi untuk saling melengkapi. Penelitian yang membahas kombinasi AD dan TRIZ sudah banyak dilakukan. Dan beberapa menggabungkan dengan metodologi lainnya. Misalnya metode taguchi, *six sigma*, FTA, FMEA, *value analysis* dan *value engineering*, dll. Berdasarkan penelitian Shirwaker, Okudan (2008) *tools* mengenai *problem solving* dapat dikelompokkan sesuai karakteristiknya yaitu :

1. *Tools* analisis masalah :

- *Axiomatic Design* (AD).
- *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA).
- *Value Engineering* (VE).
- *Total Quality Management* (TQM).

2. *Tools* pembangkitan ide :

- *Heuristics*.
- *Brainstorming*.
- *Theory of Inventive thinking* (TRIZ)

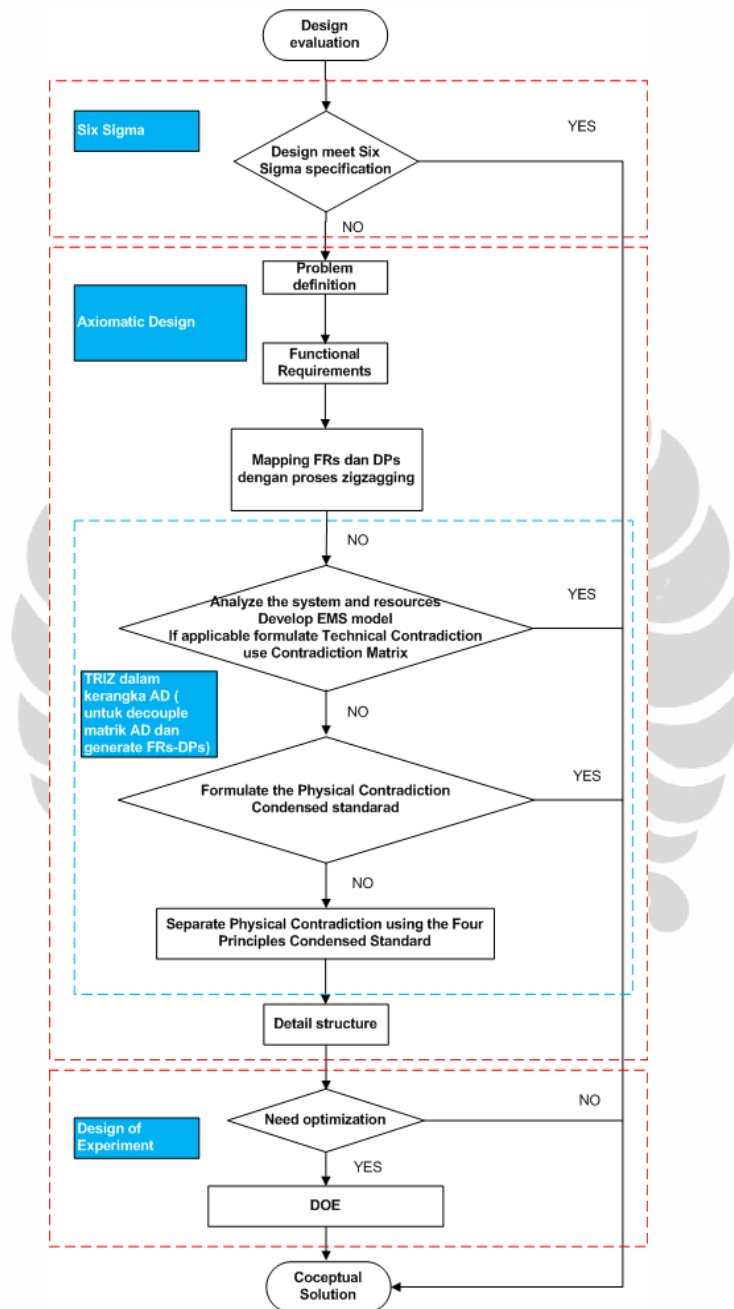
Berikut adalah penelitian yang membahas sinergi aplikasi AD ,TRIZ, dan metodologi lainnya :

Tabel 4. Penelitian Sinergi *Six Sigma*-AD-TRIZ-Metode Taguchi dan Metode Lainnya

NO	METODOLOGY	AUTHOR/TAHUN	KETERANGAN
1	AD dan TRIZ	Mann (1999)	Ide aplikasi kombinasi AD dan TRIZ
2	AD,TRIZ, dan Tagguchi methods	Hu, Yang (2000)	Aplikasi AD dan TRIZ dalam kerangka Taguchi
3	AD dan TRIZ	Kim&Cochran (2000)	Aplikasi konsep TRIZ (kontradiksi dan <i>su-field modelling</i>) dalam kerangka AD
4	AD dan TRIZ	Ruihong, Runhua, Guozhong (2004)	Aplikasi TRIZ untuk proses <i>decoupling</i> dalam <i>frame work AD case study paper machine</i>
5	Ad dan TRIZ	Kan (2004)	Aplikasi tool TRIZ (kontradiksi teknik dan fisik) untuk proses <i>de coupling</i> AD
6	QFD,AD,TRIZ, Six Sigma, Taguchi Methods	El Haik (2005)	Aplikasi metodologi desain dan engineering quality secara sistematis untuk memetakan keinginan konsumen ke dalam desain produk. TRIZ digunakan untuk <i>decouple</i> AD dalam kerangka AD
7	AD dan TRIZ	Shirwaiker,Okudan (2008)	Aplikasi TRIZ untuk proses <i>decoupling</i> , <i>mapping</i> dan <i>zigzagging</i> antara FRs dan DPs dalam kerangka AD
8	AD, TRIZ, dan FTA	Ahmed, Koo, Jeong, Heo (2010)	Aplikasi AD,TRIZ, dan FTA untuk desain sistem <i>safety</i> TRIZ digunakan untuk <i>decouple</i> AD dalam kerangka AD
9	AD dan TRIZ	Ogot (2011)	Aplikasi AD dalam kerangka TRIZ
10	AD dan TRIZ	Shirwaiker,Okudan (2011)	Aplikasi TRIZ dalam kerangka AD untuk desain <i>lean production</i>
11	AD dan TRIZ	Duflou, Dewulf (2011)	Aplikasi TRIZ untuk proses <i>decoupling</i> AD case study <i>heavy duty laser cutting with gas support</i>

Axiomatic quality dikembangkan oleh El Haik (2005) merupakan kombinasi konsep antara sistem desain dan optimasi parameter desain. Menggabungkan metodologi *six sigma*-AD-TRIZ-Taguchi. Menurut penelitian El Haik TRIZ hanya digunakan untuk proses *decoupling* matrik AD dalam kerangka AD. Pada tesis ini akan dipakai kerangka baru yang merupakan kombinasi dari sistem desain dengan metodologi AD-TRIZ-*sig sigma*-DOE dengan aplikasi TRIZ tidak hanya digunakan untuk men *decouple* AD tetapi juga untuk membangkitkan FRs dan DPs sesuai penelitian Shirwaker dan Okudan (2008). Dari literatur diketahui metodologi AD-TRIZ-*sig sigma* sangat sistematis dalam mengembangkan sistem desain. *Six Sigma* dapat digunakan untuk mengetahui kapabilitas proses yang dapat mendeskripsikan *rate* cacat per sejuta produk. AD digunakan untuk mendefinisikan masalah dan mengurai masalah ke dalam sub sistem yang lebih detail. Tetapi kelemahan AD adalah tidak bisa menemukan solusi masalah. Sedangkan TRIZ sangat kuat di *generate* ide kreatif untuk menyelesaikan masalah. TRIZ mempunyai *tools* yang dapat diaplikasikan dalam persoalan teknik maupun non teknik. *Tools* sangat detail menganalisis masalah dan juga menyediakan seperangkat solusi kreatif atas masalah itu. Kelemahan TRIZ adalah sangat spesifik dan tidak bisa menghubungkan dengan kebutuhan konsumen. Dengan sinergi keduanya akan diperoleh analisis masalah secara menyeluruh dan solusi kreatifnya. Metodologi *six sigma*-AD-TRIZ dapat digunakan untuk menyusun sistem desain tetapi tidak dapat digunakan untuk menentukan

parameter desain. Untuk itu *six sigma*-TRIZ-AD dikombinasikan dengan metode DOE yang bisa digunakan untuk menentukan parameter desain. Berikut adalah kerangka baru yang merupakan kombinasi *six Sigma*-AD-TRIZ dan metode DOE yang dipakai di tesis ini :



Gambar 37. Kerangka Sinergi *Sig Sigma*-AD-TRIZ- DOE

3.5 STUDI KASUS : PENINGKATAN TKP LINI *CYLINDER HEAD MACHINING* DENGAN METODE *AXIOMATIC DESIGN*, *SIX SIGMA*, *TRIZ*, DAN *DOE*

Dari diagram ishikawa diketahui penyebab TKP mesin *cam boring* rendah adalah *capability process* mesin rendah. Untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah digunakan *axiomatic design* dan *TRIZ*. Metode *axiomatic design* digunakan untuk mendekomposisi masalah utama. Sedangkan *TRIZ* digunakan untuk menemukan solusi inovatif.

Langkah langkah untuk menganalisis masalah dan menemukan solusi inovatif dengan metode *axiomatic design* dan *TRIZ* adalah sebagai berikut :

Fase sistem desain :

1. Evaluasi desain.
2. Pengukuran kapabilitas proses dengan Cp dan Cpk.
3. Definisikan masalah utama.
4. Tentukan *functional requirement* (FRs).
5. Petakan Frs dan DPs dengan proses *zigzagging*.
6. Formulasikan DPs dengan metode *TRIZ* :
 - petakan sistem dengan model EMS.
 - jika masalahnya berupa kontradiksi teknik formulasikan matrik kontradiksi yang terdiri dari 39 parameter teknik dan 40 solusi kreatif.
 - jika masalahnya berupa kontradiksi fisik formulasikan 76 standard yang telah diringkas menjadi *condensed standard* (Ogot 2005).
 - jika solusi belum di dapat gunakan prinsip separasi terhadap kontradiksi fisik dan formulasikan 76 standard yang telah diringkas menjadi *condensed standard* (Ogot 2005).
7. Detail matrik AD setelah proses *decoupling* dengan *TRIZ*.

Fase optimasi desain parameter :

8. Optimasi desain parameter dengan metode *DOE*.
9. Tentukan konsep desain paling optimal.

Analisis masalah dan solusi penyelesaian fase sistem desain menggunakan urutan sesuai kerangka diatas sebagai berikut :

1. Evaluasi desain :

Pada tesis ini akan dievaluasi desain dari proses *cam boring* yang mempengaruhi tingkat keberhasilan proses. Meliputi desain *jig&fixture* dan parameter pemotongan. Sehingga dapat dianalisis kelemahan desain dan solusi perbaikannya.

2. Formula perhitungan cp dan Cpk adalah sebagai berikut :

$$C_p = \frac{USL - LSL}{3\sigma} \quad (3.1)$$

$$C_{pk} = \frac{X - LSL}{3\sigma} \text{ atau } \frac{USL - X}{3\sigma} \quad (3.2)$$

Dari data pengukuran cp dan cpk proses *cam boring* diperoleh hasil sebagai berikut (perhitungan lengkap lihat dilampiran) :

Posisi lubang *shaft rocker arm inlet* sumbu X:

- Cp : 0,65
- Cpk : 0,63

Posisi lubang *shaft rocker arm inlet* sumbu Y:

- Cp : 1,90
- Cpk : 1,54

Posisi lubang *shaft rocker arm exhaust* sumbu X:

- Cp : 0,52
- Cpk : 0,51

Posisi lubang *shaft rocker arm exhaust* sumbu Y:

- Cp : 2,22
- Cpk : 1,83

Posisi lubang *cam shaft holder* sumbu X :

- Cp : 0,72
- Cpk : 0,64

Posisi lubang *cam shaft holder* sumbu Y :

- Cp : 2,88
- Cpk : 2,07

3. Mendefinisikan masalah utama :

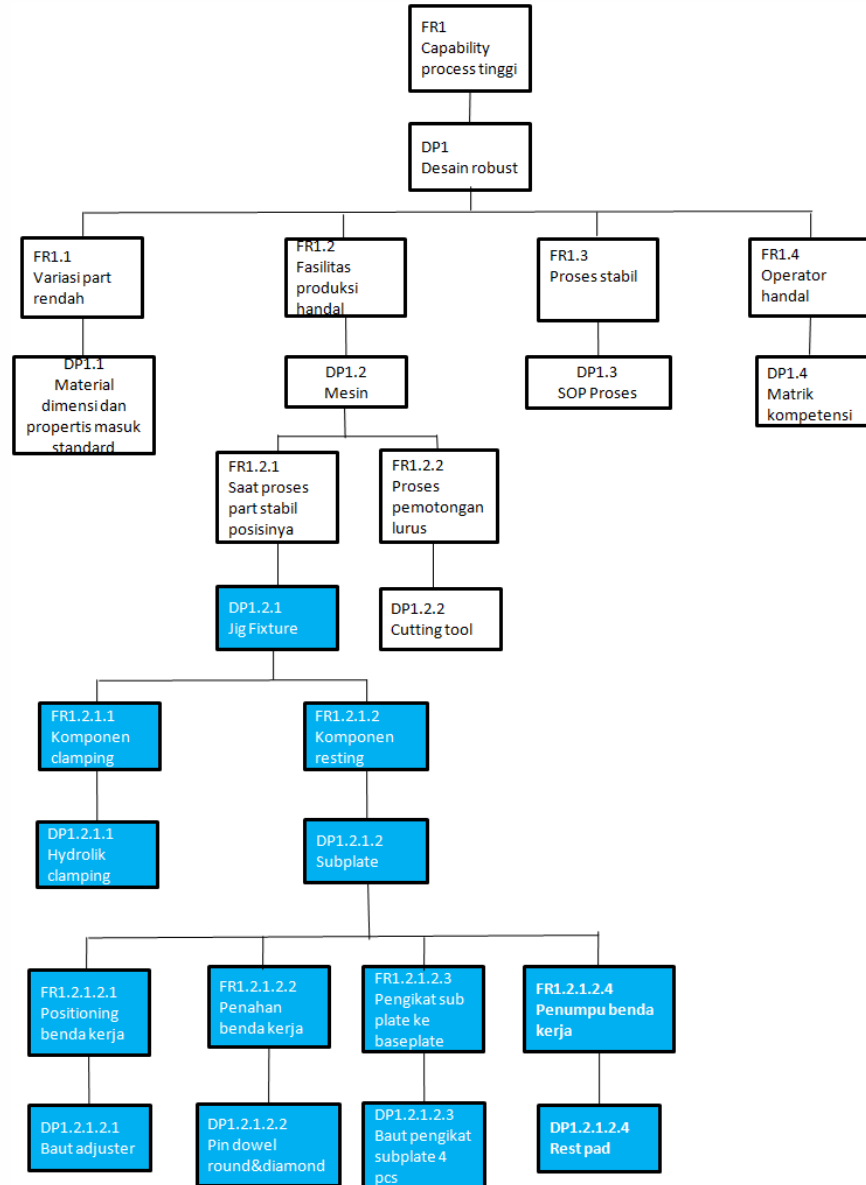
Cp dan cpk proses *cam boring* dibawah standar *six sigma* menyebabkan tingkat keberhasilan proses *cam boring cylinder head machining* rendah. Standard manufaktur otomotif Cp 1,67 dan Cpk 1,33 (Senvar, Tozan, 2009).

4. Petakan FRs dan DPs dengan proses *zigzagging* :

Menentukan functional requirement (FRs) :

FRs : *capability process* tinggi.

5. Petakan FRs dan DPs dengan proses *zigzagging* :



Gambar 38. Hierarki FRs dan DPs Desain Awal Mesin *Cambering* untuk DPs *Jig & Fixture*

Buat hierarki Frs dan DPs :

Level 1 :

Fungsional requirement:

FR1 : *capability process tinggi.*

Design parameter:

DP1 : *desain robust.*

Level 2 :

Fungsional requirement :

FR1.1 : *variasi part rendah.*

FR1.2 : fasilitas produksi handal.

FR1.3 : proses stabil.

FR1.4 : operator handal.

Design parameter :

DP1.1 : material dimensi dan propertis masuk standard.

DP1.2 : mesin.

DP1.3 : SOP proses.

DP1.4 : matrik kompetensi operator.

Level 3 :

Fungsional requirement :

FR1.2.1 : saat proses part stabil posisinya.

FR1.2.2 : proses pemotongan lurus.

Design parameter :

DP1.2.1 : *jig & fixture*.

DP1.2.2 : *cutting tools*.

Level 4 :

Fungsional requirement :

FR1.2.1.1 : komponen *clamping*.

FR1.2.1.2 : komponen *resting*.

Design parameter :

DP1.2.1.1 : *hidrolik clamping*.

DP1.2.1.2 : *subplate*.

Level 5 :

Fungsional requirement :

FR1.2.1.2.1 : *positioning* benda kerja.

FR1.2.1.2.2 : penahan benda kerja.

FR1.2.1.2.3 : pengikat *subplate* ke *baseplate* mesin.

FR1.2.1.2.4 : penumpu benda kerja.

Design parameter :

DP1.2.1.2.1 : baut *adjuster*.

DP1.2.1.2.2 : *pin dowel round&diamond*.

DP1.2.1.2.3 : baut pengikat *subplate 4 pcs*.

DP1.2.1.2.4 : *rest pad*.

Formulasikan matrik untuk tiap level Frs dan DPs :

Level 1 :

$$[\text{FR}] = [\text{A}] [\text{DP}] \quad (3.1)$$

$$[\text{FR1}] = [\text{X}] [\text{DP1}]$$

Matrik *uncoupled*.

Level 2 :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.1} \\ \text{FR1.2} \\ \text{FR1.3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.1} \\ \text{DP1.2} \\ \text{DP1.3} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Matrik *uncoupled*.

Level 3 :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.1.1} \\ \text{FR1.2.1} \\ \text{FR1.2.2} \\ \text{FR1.3.1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.1.1} \\ \text{DP1.2.1} \\ \text{DP1.2.2} \\ \text{DP1.3.1} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Matrik *uncoupled*.

Level 4 :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.2.1.1} \\ \text{FR1.2.1.2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 \\ 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.2.1.1} \\ \text{DP1.2.1.2} \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Matrik *uncoupled*.

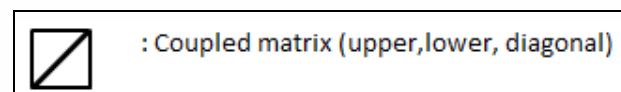
Level 5 :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.2.1.2.1} \\ \text{FR1.2.1.2.2} \\ \text{FR1.2.1.2.3} \\ \text{FR1.2.1.2.4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & \text{X} & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.2.1.2.1} \\ \text{DP1.2.1.2.2} \\ \text{DP1.2.1.2.3} \\ \text{DP1.2.1.2.4} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

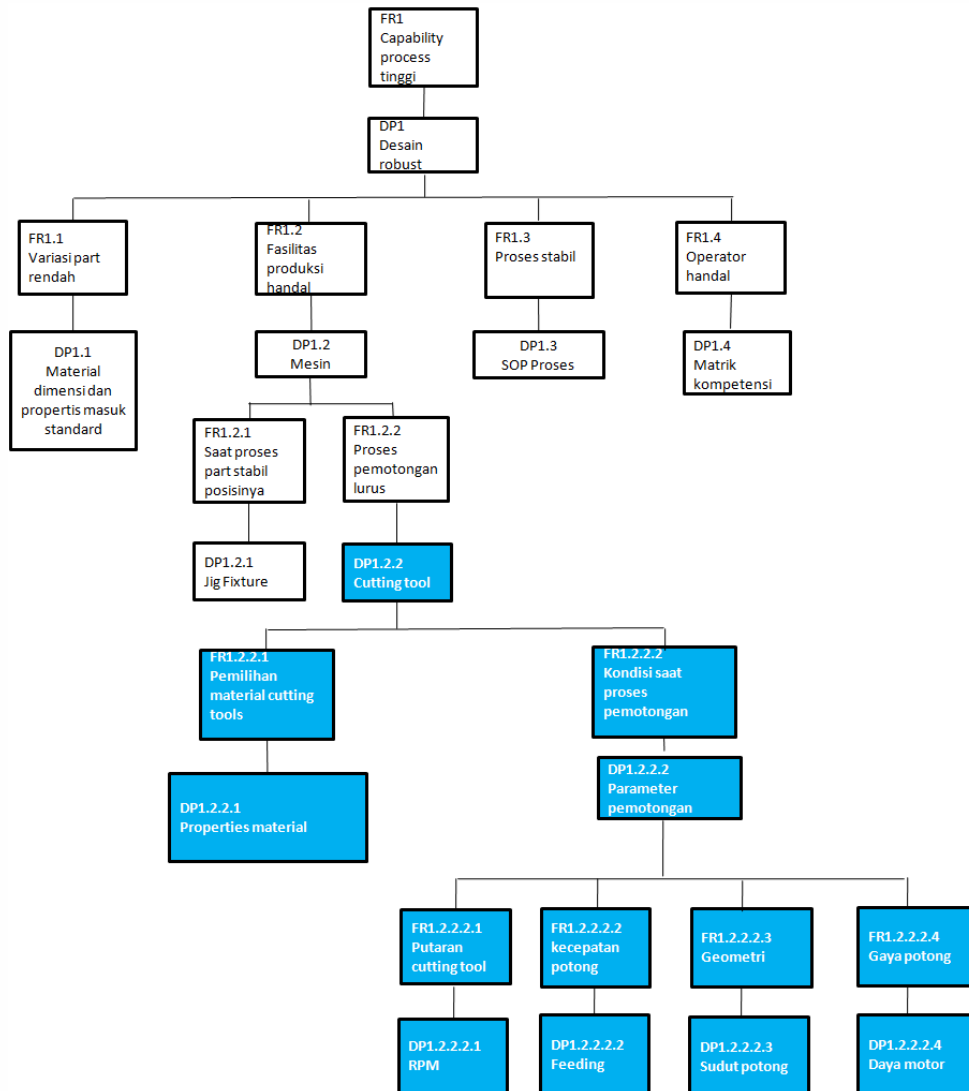
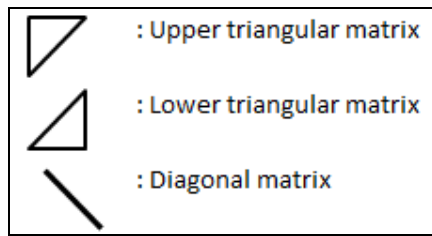
Matrik *coupled*.

Pastikan semua matrik Frs dan DPs *uncoupled* atau jika *coupled* lakukan proses *decoupled* untuk menentukan solusi DPs yang memenuhi persyaratan FRs sesuai dengan aturan AD.

Matrik level 5 diketahui *coupled* artinya masih ada irisan DPs untuk memenuhi persyaratan FRs sehingga tidak memenuhi aturan aksioma independen. Ciri matrik *coupled* adalah :



Supaya aturan aksioma dalam AD terpenuhi pastikan semua matrik Frs dan DPs *uncoupled* atau jika *coupled* lakukan proses *decoupled* untuk menentukan solusi DPs yang memenuhi persyaratan FRs sesuai dengan aturan AD. Syarat desain *uncoupled* adalah matrik berupa :



Gambar 39. Hierarki FRs dan DPs Desain Awal Mesin *Cambering* untuk DPs *Cutting Tools*

Buat hierarki Frs dan DPs :

Untuk level 1 sampai level 3 sama dengan *jig & fixture* sedangkan level 4 dan 5 adalah sebagai berikut.

Level 4 :

Fungsional requirement :

FR1.2.2.1 : pemilihan material *cutting tools*.

FR1.2.2.2 : kondisi saat proses pemotongan.

Design parameter:

DP1.2.2.1 : *properties material*.

DP1.2.2.2 : parameter pemotongan.

Level 5 :

Fungsional requirement :

FR1.2.2.2.1 : putaran *cutting tools*.

FR1.2.2.2.2 : kecepatan potong.

FR1.2.2.2.3 : geometri.

FR1.2.2.2.4 : gaya potong.

Design parameter :

DP1.2.2.2.1 : rpm.

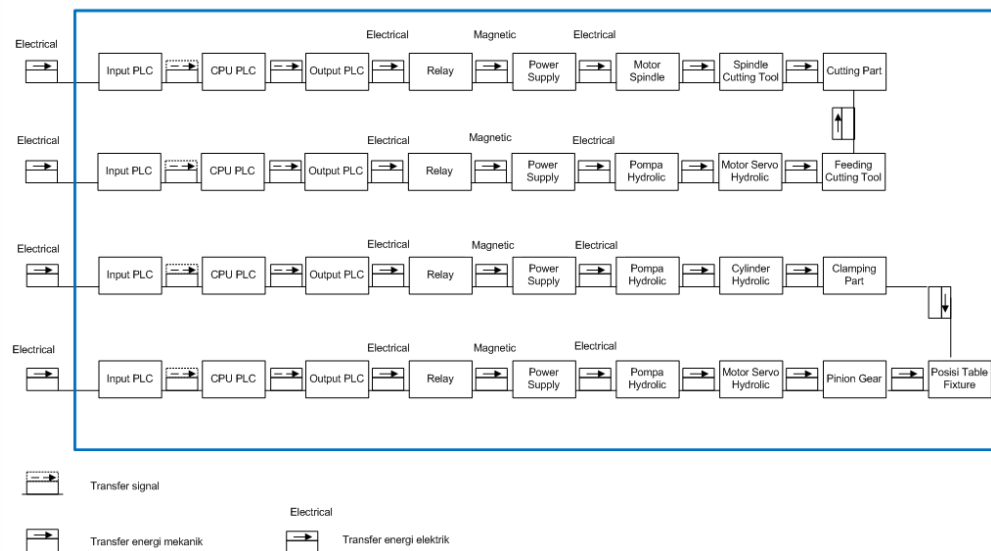
DP1.2.2.2.2 : *feeding*.

DP1.2.2.2.3 : sudut potong.

DP1.2.2.2.4 : daya motor.

6. Formulasikan DPs dengan metode TRIZ :
-petakan sistem dengan model EMS .

MODEL ENERGI-MATERIAL-SIGNAL (EMS) PROSES CAMBORING



Gambar 40. Model EMS Mesin *Cam boring*

-jika masalahnya berupa kontradiksi teknik formulasikan matrik kontradiksi yang terdiri di dari 39 paramater teknik dan 40 solusi kreatif. Dengan metode AD dapat didekomposisi permasalahan utama yang menyebabkan capability proses *cam boring* rendah yaitu desain *jig fixture* dan parameter pemotongan. Pada bagian ini akan digunakan metode TRIZ untuk membangkitkan solusi kreatifnya. Untuk desain *jig&fixture* digunakan *tools* TRIZ yaitu kontradiksi teknik dengan matrik kontradiksi. Dilakukan kombinasi antara metode *axiomatic design* dan TRIZ. Dengan metode TRIZ akan ditentukan *physical domain* yang memenuhi *functional domain*.

Aplikasi TRIZ membangkitkan solusi *inventive* DPs yang memenuhi FRs

Untuk memperoleh ide *design parameter* (DPs) yang memenuhi *functional requirement* (FRs) maka digunakan metode TRIZ dengan cara :

- Tentukan permasalahan berupa kontradiksi teknik atau fisik.
- Jika berupa kontradiksi fisik gunakan prinsip 4 prinsip separasi.
- Jika berupa kontradiksi teknik susun matrik kontradiksi yang meliputi parameter yang akan diubah dan parameter yang dipertahankan.
- Dari matrik kontradiksi akan diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang merupakan solusi permasalahan.

Berikut adalah aplikasi TRIZ untuk membangkitkan DPs yang memenuhi FRs :

FR1.2.1 : saat proses part stabil posisinya.

Jenis : kontradiksi teknik.

Parameter diubah : *strength*.

Parameter dipertahankan : *stability of object, reliability, accuracy of measurement, accuracy of manufacturing, productivity*.

Tabel 5. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1

Feature not to change	13.Stability of object	27.Reliability	28.Accuracy of measurement	29.Accuracy of manufacturing	39.Productivity
14.Strength	13.Reverse 17.Another dimension 35.Parameter change 40.Composite material	3.Local quality 11.Beforehand cushioning	3.Local quality 16.Partial/excessive action 27.Cheap short-living	3.Local quality 27.Cheap short-living	10.Preliminary action 14.Spheroidality 29.Pneumatics&hydraulics 35. Parameter change

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *local quality* dan *reverse*.

Local quality : *make each part of an object fulfill a different and useful function*.

Reverse :make movable parts or the external environment fixed, and fixed part movable.

Untuk permasalahan FR1.2.1 : saat proses part stabil posisinya diperoleh solusi *inventive* yaitu alat bantu menempatkan benda kerja dan menahan benda kerja dari gaya potong saat proses. Solusi nya adalah DP1.2.1 : *jig&fixture*. Yaitu alat bantu yang dapat memegang, menempatkan, menyangga benda kerja, dan menjamin *part* tetap stabil pada posisinya saat proses permesinan.

FR1.2.1.1 : komponen *clamping*.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *force*.

Parameter dipertahankan : *stability of object, reliability, accuracy of measurement, accuracy of manufacturing.*

Tabel 6. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.1

Feature to change	Feature not to change	13.Stability of object	28.Accuracy of measurement	29.Accuracy of manufacturing
10.Force		10.Preliminary action 21.Skipping 35.Parameter change	10.Preliminary action 23.Feedback 24.Intermediary 35.Parameter change	28.Mechanics substitution 29.Pneumatics&hydraulics 36.Phase transition 37.Thermal ekspansian

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *parameter change* dan *pneumatics&hydraulics*.

Untuk permasalahan FR1.2.1.1 : komponen *clamping* diperoleh solusi *inventive* yaitu penggunaan tekanan *hydraulic* pada komponen *clamping* untuk menahan benda kerja saat proses. Solusinya adalah DP1.2.1.1 : *hydraulic clamping*.

FR1.2.1.2 : komponen *resting*.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *stability of object, accuracy of measurement, accuracy of manufacturing.*

Tabel 7. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2

Feature not to change / Feature to change	13.Stability of object	28.Accuracy of measurement	29.Accuracy of manufacturing
12.Shape	1.Segmentation 4.Assimetry 18.Mechanical vibration 35.Parameter&properties change	1.Segmentation 28.Mechanics substitution 32.Color change	30.Flexible sheel&thin films 32.Color change 40.Composite material

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *segmentation*. Komponen *segmentation* yang dipakai dalam desain adalah *make an object modular*. Yaitu komponen *jig&fixture* yang mudah untuk dilepas dan dipasang terhadap mesin. Untuk permasalahan FR1.2.1.2 : komponen *resting* diperoleh solusi *inventive* yaitu desain *resting* yang menjamin kontak dengan benda kerja seminimal mungkin terdiri dari komponen independen terhadap *baseplate* mesin. Solusinya adalah DPI.2.1.2 : *subplate*.

FR1.2.1.2.1 : setting posisi *subplate*.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *accuracy of measurement* dan *convenience of use*.

Tabel 8. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.1

Feature not to change / Feature to change	28.Accuracy of measurement	33.Covenience of use
12.Shape	1.Segmentation 28.Mechanics substitution 32.Color change	15. Dynamism 26.Copying 32. Color change

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *segmentation* dan *dynamism*. Komponen *segmentation* adalah *increase the degree of fragmentation* dan faktor *dynamism* adalah *divide an object into part capable of movement to each other*. Untuk permasalahan FR1.2.1.2.1 : *setting* posisi *subplate* diperoleh solusi *inventive* yaitu desain komponen yang dapat digunakan untuk mengatur posisi *subplate* terhadap *base plate* mesin. Solusinya adalah DPI.2.1.2.1 : baut *adjuster*.

FR1.2.1.2.2 : *positioning* benda kerja .

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *force* dan *stability of object*.

Tabel 9. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.2

Feature to change	Feature not to change	10. Force	13. Stability of object
12. Shape		10. Preliminary action 35. Parameter change 37. Thermal ekspansi 40. Komposite material	1. Segmentation 4. Assymetry 18. Mechanical vibration 33. Homogenity

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *parameter change* dan *assymetry*. Komponen *parameter change* yang dipakai adalah *change the degree of flexibility*. Untuk permasalahan FR1.2.1.2.2 : *positioning* benda kerja diperoleh solusi *inventive* yaitu desain komponen *jig&fixture* yang menjaga posisi benda kerja tetap akurat dan stabil terhadap momen akibat gaya potong saat proses. Digunakan desain sesuai prinsip kesetimbangan statika struktur yang terdiri dari penumpu rol yang bisa menahan gaya vertikal dan penumpu sendi yang mampu menahan gaya vertikal, horisontal, dan momen. Jadi desain terdiri dari komponen *positioning* benda kerja yaitu 2 pin yang *assymetry*. Pin dowel *round* sebagai rol dan pin dowel *diamond* sebagai sendi seperti prinsip statika. Solusinya adalah DP1.2.1.2.2 : pin dowel *round&diamond*.

FR1.2.1.2.3 : pengikat *sub plate* ke *base plate* .

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *stability of object*, *accuracy of measurement*, dan *accuracy of manufacturing*.

Tabel 10. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.3

Feature not to change Feature to change	13.Stability of object	28.Accuracy of measurement	29.Accuracy of manufacturing
12.Shape	1.Segmentation 4.Assimetry 18.Mechanical vibration 35.Parameter&properties change	1.Segmentation 28.Mechanics substitution 32.Color change	30.Flexible sheel&thin films 32.Color change 40.Composite material

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *segmentation*. Komponen *segmentation* yang dipakai adalah *make an object modular*. Untuk permasalahan FR1.2.1.2.3 : pengikat *subplate* ke *baseplate* diperoleh solusi *inventive* yaitu desain komponen untuk mengikat *jig fixture* ke mesin. Solusinya adalah DP1.2.1.2.3 : baut pengikat *subplate* 4 pcs.

FR1.2.1.2.4 : penumpu benda kerja.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *stability of object* dan *accuracy of measurement*.

Tabel 11. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.1.2.4

Feature not to change Feature to change	13.Stability of object	28.Accuracy of measurement
12.Shape	1.Segmentation 4.Assimetry 18.Mechanical vibration 35.Parameter&properties change	1.Segmentation 28.Mechanics substitution 32.Color change

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *segmentation*. Untuk permasalahan FR1.2.1.2.4 : penumpu benda kerja diperoleh solusi *inventive* yaitu desain komponen *jig&fixture* untuk dudukan penumpu benda kerja saat proses.. Solusinya adalah DP1.2.1.2.4 : *rest pad*.

FR1.2.2.2.1 : putaran *cutting tool*.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *force*.

Parameter dipertahankan : *power, accuracy of measurement, productivity.*

Tabel 12. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.2.2.1

Feature not to change / Feature to change	21.Power	28.Accuracy of measurement	39.Productivity
10.Force	18. Mechanical vibration 19.Periodic action 35.Parameter&property change 37.Thermal expansion	10. preliminary action 23. Feedback 24. Intermediary 35.Parameter&property change	3. Local quality 28. Mechanic substitution 35.Parameter&property change 37.Thermal expansion

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *parameter&property*.

Untuk permasalahan FR1.2.2.2.1 : putaran *cutting tool* diperoleh solusi *inventive* yaitu perubahan parameter putaran supaya hasil proses stabil. Solusinya adalah DP1.2.2.2.1 : rpm.

FR1.2.2.2.2 : kecepatan potong.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *speed*.

Parameter dipertahankan : *durability of moving object, power, reliability.*

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *parameter&property*.

Tabel 13. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.2.2.2

Feature not to change / Feature to change	15.Durability of moving object	21. Power	27. Reliability
9.Speed	3. Local quality 5. Merging 19.Periodic action 35.Parameter&property change	2.Removal 19.Periodic action 35.Parameter&property change 38. Strong oxidants	11.Beforehand cushioning 27.Inexpensive short-lived 28. Mechanic substitution 35.Parameter&property change

Untuk permasalahan FR1.2.2.2.2 : kecepatan potong diperoleh solusi *inventive* yaitu perubahan parameter kecepatan potong supaya hasil proses stabil. Solusinya adalah DP1.2.2.2.2 : *feed*.

FR1.2.2.2.3 : geometri.

Jenis : kontradiksi fisik.

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *manufacturability, accuracy of manufacturing,* dan *productivity*.

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *parameter&property*.

Tabel 14. Matrik Kontradiksi Untuk Memenuhi FR1.2.2.2.3

Feature not to change / Feature to change	32. Manufacturability	29. Accuracy of manufacturing	39. Productivity
12. Shape	1. Segmentation 17. Another dimension 28. Mechanic substitution 32. Color changes	30. Flexible shells and thin films 32. Color changes 40. Composite material	10. Preliminary action 17. Another dimension 26. Copying 34. Discarding

Untuk permasalahan FR1.2.2.2.3 : geometri diperoleh solusi *inventive* yaitu perubahan parameter sudut potong supaya hasil proses stabil. Solusinya adalah DP1.2.2.2.3 : sudut potong.

Aplikasi TRIZ untuk proses *decoupled* FRs dan DPs

Metode TRIZ selain digunakan untuk menemukan solusi kreatif untuk memenuhi FRs juga digunakan untuk *decoupled* matrik AD yang *coupled*. Dari desain matrik AD diketahui level 5 matrik *coupled* artinya desain tidak memenuhi aksioma 1. Sehingga perlu dilakukan proses *decoupled* dengan metode TRIZ menggunakan matriks kontradiksi.

Level 5 :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.2.1.2.1} \\ \text{FR1.2.1.2.2} \\ \text{FR1.2.1.2.3} \\ \text{FR1.2.1.2.4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & \text{X} & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.2.1.2.1} \\ \text{DP1.2.1.2.2} \\ \text{DP1.2.1.2.3} \\ \text{DP1.2.1.2.4} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Dari matrik diketahui DP1.2.1.2.3 mempengaruhi FR1.2.1.2.1 dan FR1.2.1.2.3 dan matrik menjadi *coupled*. Ilustrasinya adalah baut 4 pcs digunakan untuk setting posisi *subplate* dan pengikat *subplate*. Ini harus diubah karena desain menjadi tidak *rigid*. Digunakan matrik kontradiksi TRIZ.

Tabel 15. Matrik Kontradiksi Proses *Decoupling*

Feature not to change Feature to change	13.Stability of object	28.Accuracy of measurement
12.Shape	1.Segmentation 4.Assimetry 18.Mechanical vibration 35.Parameter&properties change	1.Segmentation 28.Mechanics substitution 32.Color change

Parameter diubah : *shape*.

Parameter dipertahankan : *stability of object* dan *accuracy of measurement*.

Dari tabel matrik kontradiksi diperoleh kombinasi prinsip *inventive* yang mengarah ke solusi permasalahan adalah *segmentation*. Komponen *segmentation* yang dipakai adalah *divide an object into independent part*. Artinya setiap komponen *fixture* mempunyai fungsi independen sehingga diperoleh desain *fixture* yang bisa menjaga kestabilan benda kerja saat proses pemotongan. Dari prinsip *inventive* dapat diperoleh solusi kreatif untuk proses *decoupled* level 5 ditambahkan komponen baru yaitu FR1.2.1.2.5 : komponen pengunci posisi *subplate* dan DP1.2.1.2.4 : *knock pin 2 pcs*.

Supaya matrik di level 5 menjadi *uncoupled* maka dilakukan *decoupled*. Proses *decoupled* dilakukan dengan menambah DPs untuk memenuhi FRs baru tanpa mempengaruhi FRs yang lainnya.

7. Detail matrik AD setelah proses *decoupling* dengan TRIZ

Matrik level 5 menjadi :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.2.1.2.1} \\ \text{FR1.2.1.2.2} \\ \text{FR1.2.1.2.3} \\ \text{FR1.2.1.2.4} \\ \text{FR1.2.1.2.5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{X} & \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.2.1.2.1} \\ \text{DP1.2.1.2.2} \\ \text{DP1.2.1.2.3} \\ \text{DP1.2.1.2.4} \\ \text{DP1.2.1.2.5} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Functional requirement :

FR1.2.1.2.1 : *positioning* benda kerja.

FR1.2.1.2.2 : penahan benda kerja.

FR1.2.1.2.3 : pengikat *subplate* saat pemasangan *knock pin*.

FR1.2.1.2.4 : penumpu benda kerja.

FR1.2.1.2.5 : pengikat *subplate*.

Design parameter:

DP1.2.1.2.1 : baut *adjuster*.

DP1.2.1.2.1 : pin dowel *round&diamond*.

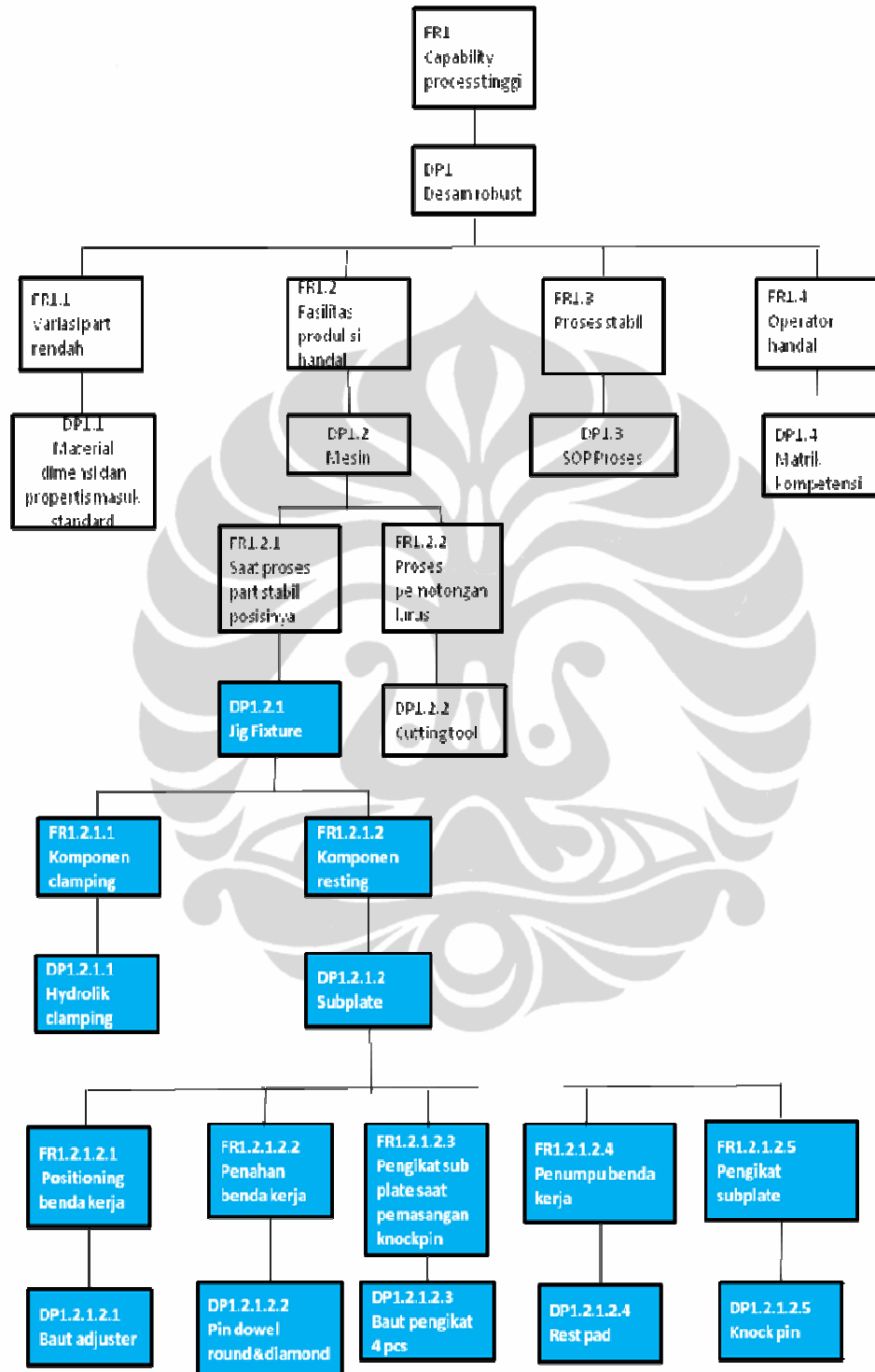
DP1.2.1.2.3 : baut pengikat 4 pcs.

DP1.2.1.2.4 : *rest pad*.

DP1.2.1.2.5 : *knock pin*.



Perubahan matrik *axiomatic design* (AD) komponen *jig&fixture* setelah proses *decoupling* dapat dilihat pada proses *zigzagging* FRs dan DPs sebagai berikut :



Gambar 41. Hierarki FRs dan DPs *Jig & Fixture* Setelah Improvemen

8. Optimasi desain parameter

Optimasi parameter desain adalah fase setelah desain sistem dengan metode *axiomatic design* dan TRIZ. Optimasi menggunakan metode *design of experiment* (DOE). Dari analisis diketahui salah satu penyebab cacat proses *cam boring* adalah *cutting tools*. Berdasarkan hierarki AD *cutting tools* agar diperoleh proses yang stabil harus memenuhi 2 syarat yaitu

1. FR1.2.2.1 : pemilihan material .

Dipenuhi oleh parameter desain sebagai berikut :

DP1.2.2.1 : *properties* material *cutting tools*.

2. FR1.2.2.2 : kondisi saat proses pemotongan

Dipenuhi oleh parameter desain sebagai berikut :

DP1.2.2.2 : parameter pemotongan.

Parameter pemotongan terdiri dari

FR1.2.2.2.1 : putaran.

FR1.2.2.2.2 : kecepatan potong.

FR1.2.2.2.3 : geometri.

FR1.2.2.2.4 : gaya potong.

Dipenuhi dengan parameter desain sebagai berikut :

DP1.2.2.2.1 : rpm.

DP1.2.2.2.2 : *feed*.

DP1.2.2.2.3 : sudut potong.

DP1.2.2.2.4 : daya motor.

Pada tesis ini akan dilakukan optimasi untuk parameter rpm, *feed*, dan sudut potong. Sedangkan perhitungan untuk *properties* material *cutting tool* dan daya motor tidak dilakukan dengan pertimbangan tidak memungkinkan untuk melakukan perubahan jenis material *cutting tools* dan daya motor dalam penelitian ini walaupun keduanya mempengaruhi desain *cutting tools*.

Akan dilakukan optimasi untuk parameter pemotongan yang terdiri dari rpm, *feed*, dan sudut potong.

Rancangan Desain Eksperimen :

Variabel respon : jarak lubang *shaft rocker arm inlet* dan *shaft rocker arm exhaust* terhadap titik pusat lubang *cam shaft holder*.

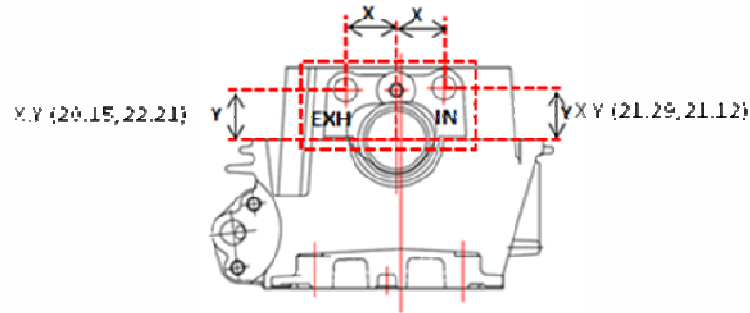
Jarak lubang *shaft rocker arm inlet* :

- Sumbu X : 21.29 ± 0.05 mm.
- Sumbu Y : 21.12 ± 0.050 mm.

Jarak lubang *shaft rocker arm EX* :

- Sumbu X : 20.15 ± 0.050 mm.
- Sumbu Y : 22.21 ± 0.050 mm.

Pengukuran dilakukan dengan *coordinat measurement machine* (CMM) Mitutoyo dengan ketelitian pengukuran sampai 0,001 mm.



Gambar 42. Jarak Lubang *Shaft Rocker Arm Inlet* dan *Exhaust* Terhadap Titik Pusat *Cylinder Head*
Variabel bebas atau faktor : rpm, *feed*, dan sudut potong.

Rancangan eksperimen terdiri dari faktor rpm (3 level), *feed* (2 level), dan *cutting angle* (2 level) dengan 3 replikasi (n=3).

Tabel 16. Faktor dan Level Rancangan Eksperimen

FAKTOR	LEVEL	1	2	3
A	SPINDLE ROTATION (RPM)	3722	3600	3400
B	FEED (mm/rev)	0.1	0.2	
C	CUTTING TOOL ANGLE (°)	125	130	

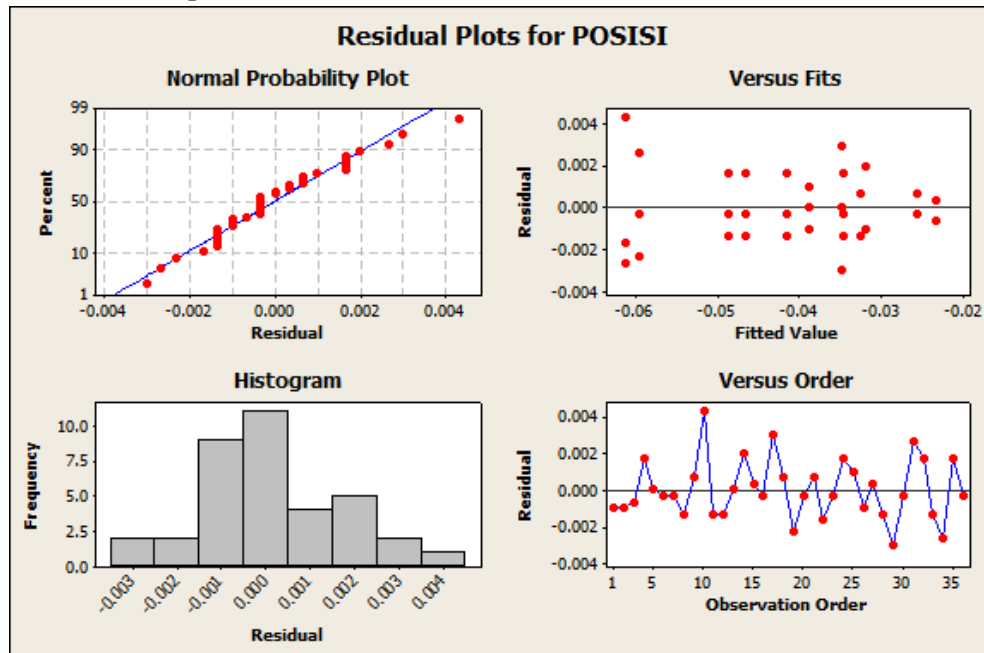
Dilakukan eksperimen sebanyak 12 variasi dengan replikasi data masing masing 3 kali. Pengukuran dilakukan untuk posisi lubang *shaft rocker arm* sumbu X dan sumbu Y *inlet* dan sumbu X dan sumbu Y *exhaust*. Untuk selanjutnya masing- masing data yang meliputi posisi lubang *shaft rocker arm inlet* dan *exhaust* terhadap titik pusat lubang *camshaft holder* dianalisa dengan program minitab 16.1.

Sumbu X *Inlet*

Tabel 17. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu X *Inlet* Dalam mm

		FEED 0.1		FEED 0.2	
		125°	130°	125°	130°
1	3800 RPM	-0.04	-0.04	-0.060	-0.057
		-0.039	-0.042	-0.062	-0.063
		-0.038	-0.043	-0.057	-0.064
2	3722 RPM	-0.033	-0.035	-0.048	-0.050
		-0.030	-0.032	-0.047	-0.049
		-0.033	-0.038	-0.045	-0.047
3	3600 RPM	-0.024	-0.026	-0.032	-0.036
		-0.023	-0.025	-0.032	-0.033
		-0.023	-0.026	-0.034	-0.035

Dari pengolahan data posisi lubang *shaft rocker arm* sumbu X *Inlet* dengan minitab 16.1 diperoleh :



Gambar 43. Grafik Untuk Posisi Lubang *Shaft Rocker Arm* Sumbu X *Inlet*

Normal probability plot : dari gambar terlihat data eksperimen yang diperoleh cenderung linear disekitar garis normal.

Versus Fit: dari gambar *scatter plot* data tidak membentuk pola tersebar acak. Sehingga pengambilan data diambil secara acak.

Histogram : data *bell shaped* cenderung *right skewed* yang berarti data memiliki sebaran normal.

Versus Order : sebaran data tidak membentuk pola tertentu berarti data tidak terlalu berpengaruh pada waktu pengambilan data.

Dari analisis *normal probability plot*, *histogram*, *versus fit*, dan *versus order* diketahui distribusi data normal dan diambil secara acak.

Jadi data dapat diolah dengan asumsi distribusi normal.

Perhitungan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan program 16.1 hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 18. ANOVA Sumbu X *Inlet*

General Linear Model: POSISI versus RPM, FEED, ANGLE

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	3	3600, 3722, 3800
FEED	fixed	2	0.1, 0.2
ANGLE	fixed	2	125, 130

Analysis of Variance for POSISI, using Adjusted SS for Tests

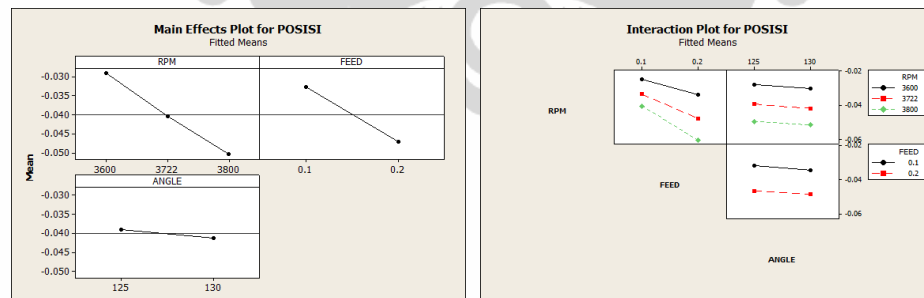
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
RPM	2	0.0027362	0.0027362	0.0013681	364.83	0.000
FEED	1	0.0018923	0.0018923	0.0018923	504.60	0.000
ANGLE	1	0.0000467	0.0000467	0.0000467	12.45	0.002
RPM*FEED	2	0.0001820	0.0001820	0.0000910	24.27	0.000
RPM*ANGLE	2	0.0000002	0.0000002	0.0000001	0.03	0.971
FEED*ANGLE	1	0.0000014	0.0000014	0.0000014	0.36	0.553
RPM*FEED*ANGLE	2	0.0000002	0.0000002	0.0000001	0.03	0.971
Error	24	0.0000900	0.0000900	0.0000038		
Total	35	0.0049490				

S = 0.00193649 R-Sq = 98.18% R-Sq(adj) = 97.35%

Unusual Observations for POSISI

Obs	POSISI	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
10	-0.057000	-0.061333	0.001118	0.004333	2.74 R

Analisis efek dan interaksi antar faktor dapat dilihat dari grafik berikut :



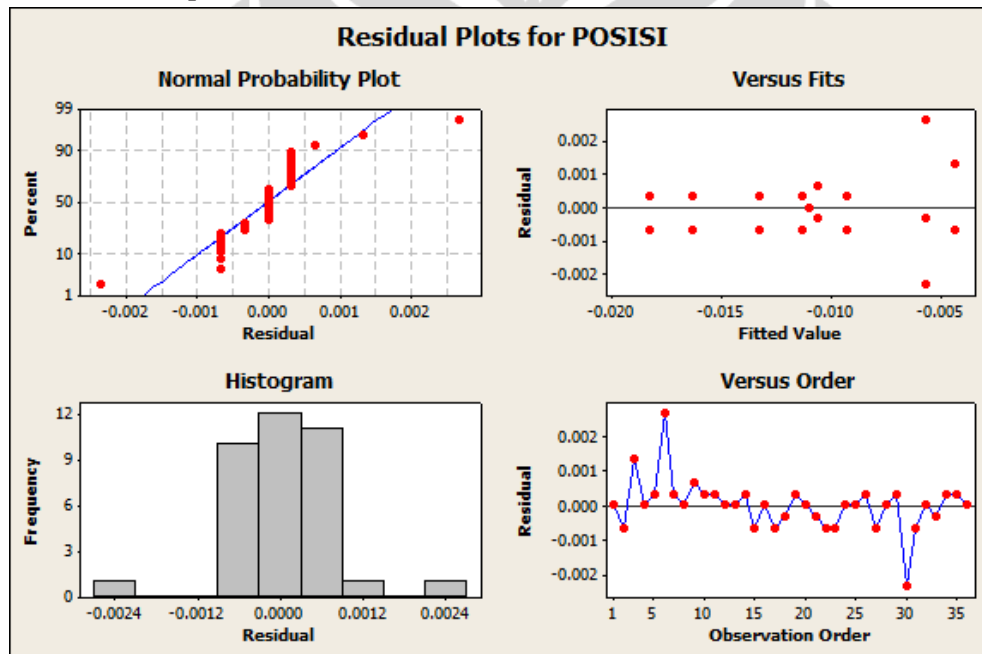
Gambar 44. Grafik *Main Effect* dan Interaksi Sumbu X *Inlet*

Sumbu Y Inlet

Tabel 19. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu Y *Inlet* Dalam mm

		FEED 0.1		FEED 0.2	
		125°	130°	125°	130°
1	3800 RPM	-0.011	-0.011	-0.016	-0.018
		-0.011	-0.011	-0.016	-0.019
		-0.011	-0.011	-0.017	-0.018
2	3722 RPM	-0.010	-0.011	-0.011	-0.013
		-0.009	-0.012	-0.011	-0.014
		-0.009	-0.011	-0.011	-0.013
3	3600 RPM	-0.003	-0.003	-0.01	-0.011
		-0.005	-0.006	-0.011	-0.011
		-0.005	-0.008	-0.011	-0.011

Dari pengolahan data posisi lubang *shaft rocker arm* sumbu Y *inlet* dengan minitab 16.1 diperoleh :



Gambar 45. Grafik Untuk Posisi Lubang *Shaft Rocker Arm* Sumbu Y *Inlet*

Normal probability plot : dari gambar terlihat data eksperimen yang diperoleh cenderung linear disekitar garis normal.

Versus Fit: dari gambar 1 *scatter plot* data tidak membentuk pola tersebar acak. Sehingga pengambilan data diambil secara acak.

Histogram : data *bell shaped* yang berarti data memiliki sebaran normal

Versus Order : sebaran data tidak membentuk pola tertentu berarti data tidak terlalu berpengaruh pada waktu pengambilan data.

Dari analisis *normal probability plot*, histogram, *versus fit*, dan *versus order* diketahui distribusi data normal dan diambil secara acak.

Jadi data dapat diolah dengan asumsi distribusi normal.

Perhitungan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan program minitab 16.1 hasilnya adalah sebagai berikut.

Tabel 20. ANOVA Sumbu Y IN

General Linear Model: POSISI versus RPM, FEED, ANGLE

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	3	3600, 3722, 3800
FEED	fixed	2	0.1, 0.2
ANGLE	fixed	2	125, 130

Analysis of Variance for POSISI, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
RPM	2	0.0002347	0.0002347	0.0001174	145.69	0.000
FEED	1	0.0001960	0.0001960	0.0001960	243.31	0.000
ANGLE	1	0.0000160	0.0000160	0.0000160	19.86	0.000
RPM*FEED	2	0.0000365	0.0000365	0.0000182	22.66	0.000
RPM*ANGLE	2	0.0000032	0.0000032	0.0000016	1.97	0.162
FEED*ANGLE	1	0.0000004	0.0000004	0.0000004	0.55	0.465
RPM*FEED*ANGLE	2	0.0000034	0.0000034	0.0000017	2.10	0.144
Error	24	0.0000193	0.0000193	0.0000008		
Total	35	0.0005096				

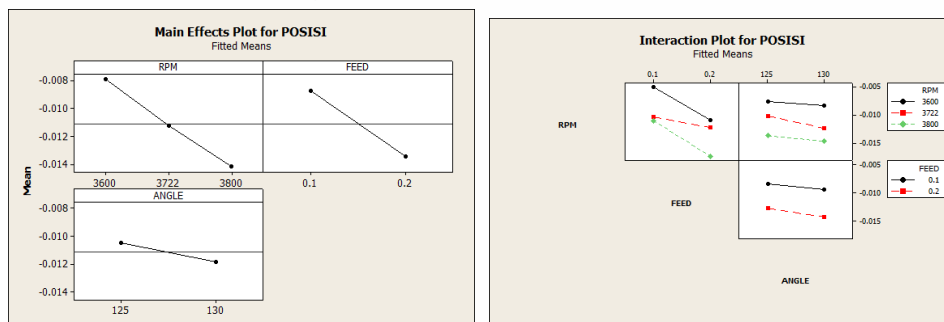
S = 0.000897527 R-Sq = 96.21% R-Sq(adj) = 94.47%

Unusual Observations for POSISI

Obs	POSISI	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	-0.003000	-0.005667	0.000518	0.002667	3.64 R
30	-0.008000	-0.005667	0.000518	-0.002333	-3.18 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Analisis efek dan interaksi antar faktor dapat dilihat dari grafik berikut :



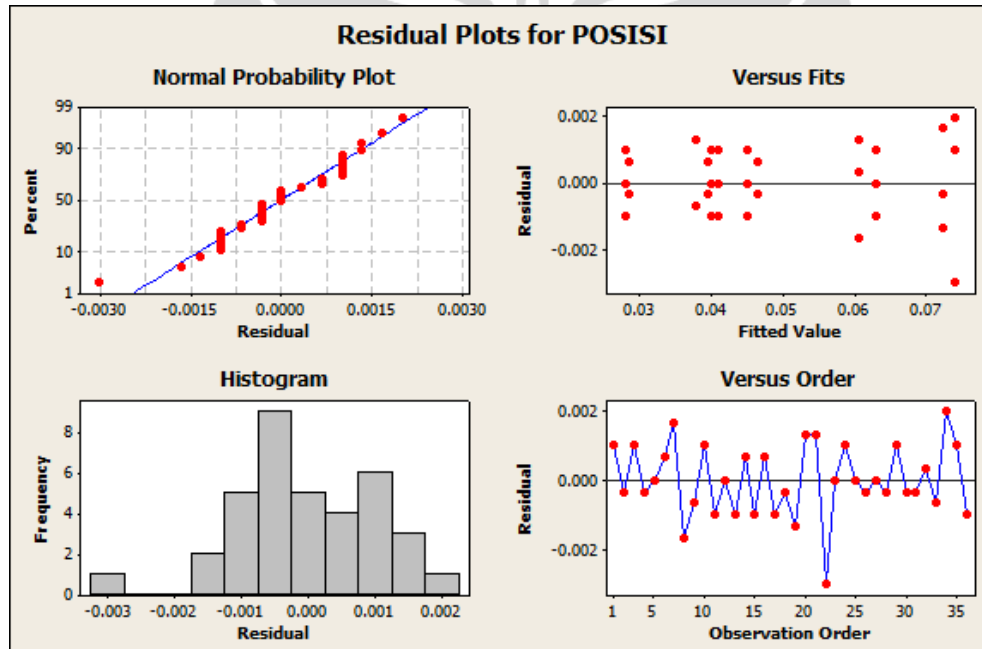
Gambar 46. Grafik *Main Effect* dan Interaksi Sumbu Y Inlet

Sumbu X Exhaust

Tabel 21. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu X Exhaust Dalam mm

		FEED 0.1		FEED 0.2	
		125°	130°	125°	130°
1	3800 RPM	0.046	0.046	0.074	0.075
		0.044	0.047	0.071	0.071
		0.045	0.046	0.072	0.076
2	3722 RPM	0.039	0.041	0.059	0.062
		0.040	0.040	0.062	0.063
		0.039	0.042	0.061	0.064
3	3600 RPM	0.029	0.029	0.037	0.04
		0.027	0.028	0.039	0.041
		0.028	0.028	0.037	0.039

Dari pengolahan data posisi lubang *shaft rocker arm* sumbu X *exhaust* dengan minitab 16.1 diperoleh :



Gambar 47. Grafik Untuk Posisi Lubang *Shaft Rocker Arm* Sumbu X *Exhaust*

Normal probability plot : dari gambar terlihat data eksperimen yang diperoleh cenderung linear disekitar garis normal.

Versus Fit: dari gambar *scatter plot* data tidak membentuk pola tersebar acak. Sehingga pengambilan data diambil secara acak.

Histogram : data *bell shaped* cenderung *left skewed* yang berarti data memiliki sebaran normal.

Versus Order : sebaran data tidak membentuk pola tertentu berarti data tidak terlalu berpengaruh pada waktu pengambilan data.

Dari analisis *normal probability plot*, histogram, *versus fit*, dan *versus order* diketahui distribusi data normal dan diambil secara acak.

Jadi data dapat diolah dengan asumsi distribusi normal.

Perhitungan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan program minitab 16.1 hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 22. ANOVA Sumbu X *Exhaust*

General Linear Model: POSISI versus RPM, FEED, ANGLE

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	3	3600, 3722, 3800
FEED	fixed	2	0.1, 0.2
ANGLE	fixed	2	125, 130

Analysis of Variance for POSISI, using Adjusted SS for Tests

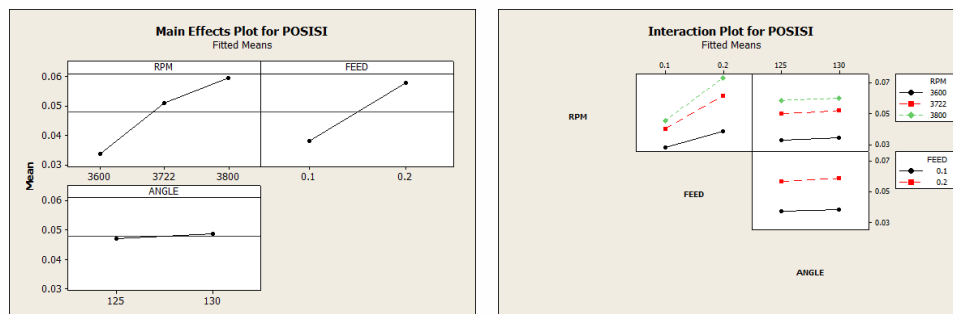
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
RPM	2	0.0041951	0.0041951	0.0020975	1324.75	0.000
FEED	1	0.0035800	0.0035800	0.0035800	2261.07	0.000
ANGLE	1	0.0000234	0.0000234	0.0000234	14.75	0.001
RPM*FEED	2	0.0004384	0.0004384	0.0002192	138.44	0.000
RPM*ANGLE	2	0.0000007	0.0000007	0.0000004	0.23	0.798
FEED*ANGLE	1	0.0000022	0.0000022	0.0000022	1.42	0.245
RPM*FEED*ANGLE	2	0.0000012	0.0000012	0.0000006	0.37	0.696
Error	24	0.0000380	0.0000380	0.0000016		
Total	35	0.0082790				

S = 0.00125831 R-Sq = 99.54% R-Sq(adj) = 99.33%

Unusual Observations for POSISI

Obs	POSISI	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	0.071000	0.074000	0.000726	-0.003000	-2.92 R

Analisis efek dan interaksi antar faktor dapat dilihat dari grafik berikut :



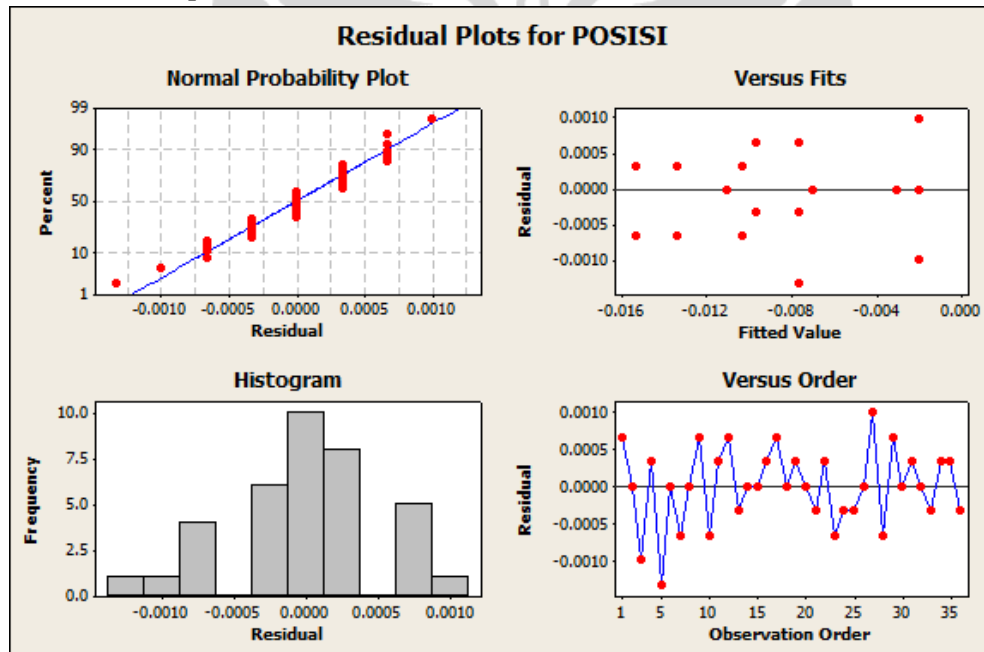
Gambar 48. Grafik *Main Effect* dan Interaksi Sumbu X *Exhaust*

Sumbu Y Exhaust

Tabel 23. Hasil Eksperimen Posisi Sumbu Y Exhaust Dalam mm

		FEED 0.1		FEED 0.2	
		125°	130°	125°	130°
1	3800 RPM	-0.007	-0.01	-0.014	-0.016
		-0.008	-0.01	-0.013	-0.015
		-0.008	-0.011	-0.013	-0.015
2	3722 RPM	-0.007	-0.009	-0.011	-0.013
		-0.007	-0.007	-0.011	-0.014
		-0.007	-0.007	-0.011	-0.013
3	3600 RPM	-0.003	-0.003	-0.007	-0.009
		-0.002	-0.003	-0.008	-0.01
		-0.001	-0.003	-0.008	-0.01

Dari pengolahan data posisi lubang *shaft rocker arm sumbu Y exhaust* dengan minitab 16.1 diperoleh :



Gambar 49. Grafik Untuk Posisi Lubang *Shaft Rocker Arm Sumbu Y Exhaust*

Normal probability plot : dari gambar terlihat data eksperimen yang diperoleh cenderung linear disekitar garis normal.

Versus Fit: dari gambar *scatter plot* data tidak membentuk pola tersebar acak. Sehingga pengambilan data diambil secara acak.

Histogram : data *bell shaped* yang berarti data memiliki sebaran normal.

Versus Order : sebaran data tidak membentuk pola tertentu berarti data tidak terlalu berpengaruh pada waktu pengambilan data.

Dari analisis *normal probability plot*, histogram, *versus fit*, dan *versus order* diketahui distribusi data normal dan diambil secara acak.

Jadi data dapat diolah dengan asumsi distribusi normal.

Perhitungan *analysis of variance* (ANOVA) menggunakan program minitab 16.1 hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 24. ANOVA Sumbu Y *EX*

General Linear Model: POSISI versus RPM, FEED, ANGLE

Factor	Type	Levels	Values
RPM	fixed	3	3600, 3722, 3800
FEED	fixed	2	0.1, 0.2
ANGLE	fixed	2	125, 130

Analysis of Variance for POSISI, using Adjusted SS for Tests

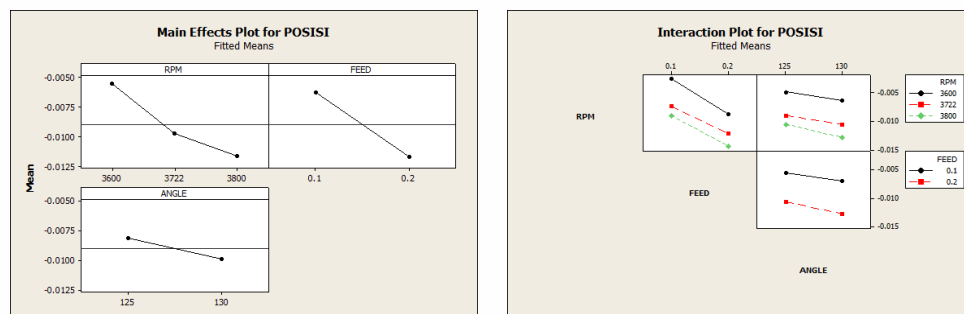
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
RPM	2	0.0002322	0.0002322	0.0001161	298.50	0.000
FEED	1	0.0002668	0.0002668	0.0002668	686.00	0.000
ANGLE	1	0.0000284	0.0000284	0.0000284	73.14	0.000
RPM*FEED	2	0.0000027	0.0000027	0.0000014	3.50	0.046
RPM*ANGLE	2	0.0000014	0.0000014	0.0000007	1.79	0.189
FEED*ANGLE	1	0.0000010	0.0000010	0.0000010	2.57	0.122
RPM*FEED*ANGLE	2	0.0000022	0.0000022	0.0000011	2.79	0.082
Error	24	0.0000093	0.0000093	0.0000004		
Total	35	0.0005440				

S = 0.000623610 R-Sq = 98.28% R-Sq(adj) = 97.50%

Unusual Observations for POSISI

Obs	POSISI	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	-0.009000	-0.007667	0.000360	-0.001333	-2.62 R

Analisis efek dan interaksi antar faktor dapat dilihat dari grafik berikut :



Gambar 50. Grafik *Main Effect* dan Interaksi Sumbu Y *Exhaust*

9. Tentukan konsep desain paling optimal :

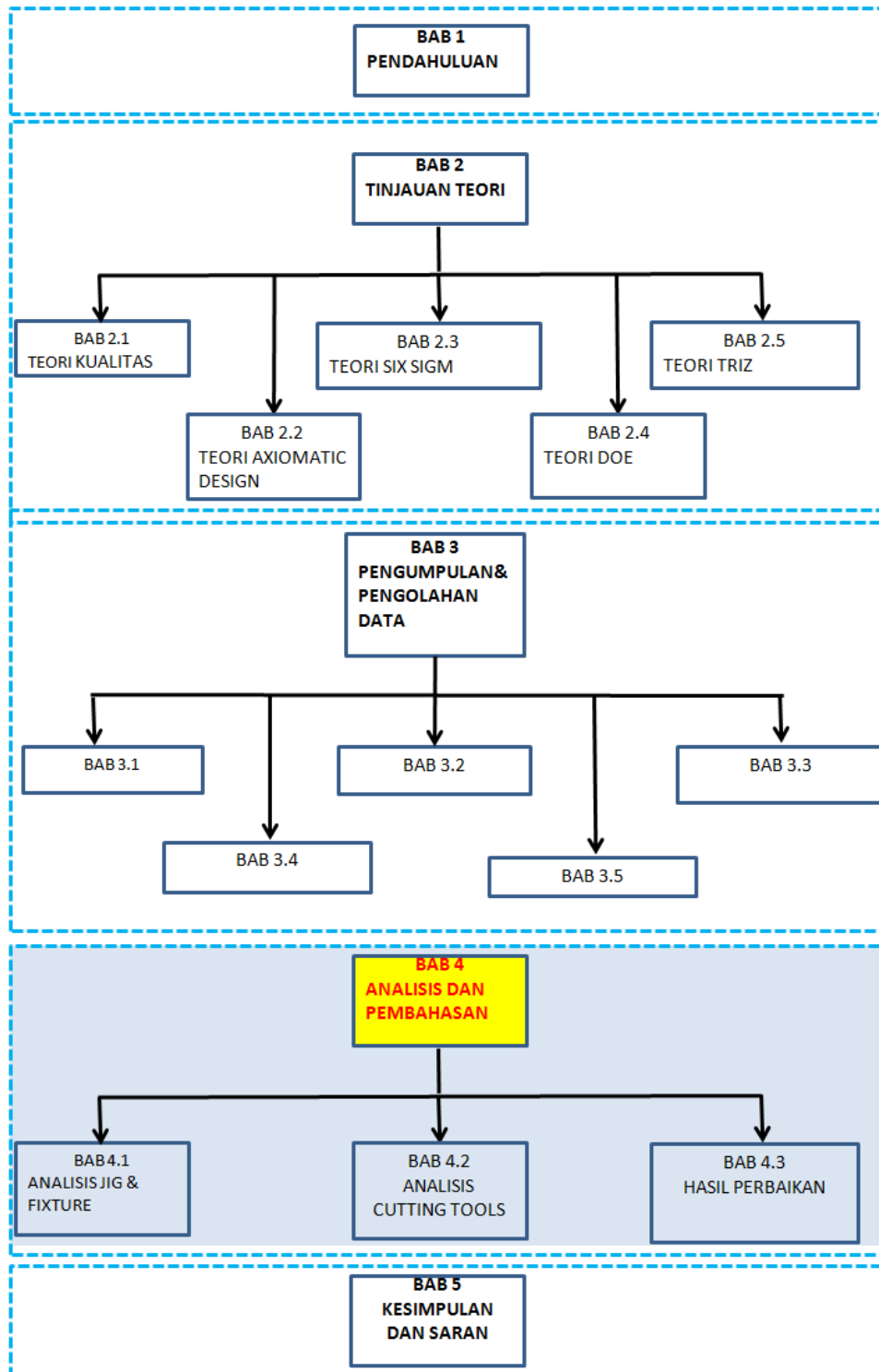
Desain Jig&Fixture

Untuk desain *jig fixture* dilakukan modifikasi dengan penambahan *knock pin* yang berfungsi sebagai pengganti baut pengikat *subplate* terhadap *base plate* mesin. *Knock pin* berfungsi sebagai penahan posisi *subplate* terhadap *base plate* mesin tetap stabil selama proses pemotongan.

Desain Cutting Tools

Untuk desain *cutting tools* parameter pemotongan yang optimal adalah rpm 3600, *feed* 0,1, dan sudut potong 125°.



BAB IV

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis *Jig & Fixture*

Dari analisis dengan metode AD diketahui salah satu penyebab cacat proses *cam boring* adalah kestabilan *jig&fixture*. Fungsi *jig&fixture* adalah pemegang dan pengarah benda kerja. Sebagai pemegang *jig&fixture* menahan posisi benda kerja tetap stabil selama proses pemotongan. Pada saat proses pemotongan terjadi interaksi gaya dan momen yang diakibatkan gaya potong *cutting tools*. Gaya potong yang terjadi cukup besar sehingga dapat menggeser kedudukan benda kerja dari posisinya. Sebagai pengarah *jig&fixture* digunakan untuk memposisikan benda kerja agar saat proses pemotongan posisinya tepat sasaran. Komponen pemegang benda kerja adalah *clamping* dan pin dowel *round&diamond*. Sedangkan komponen pengarah benda kerja adalah baut *adjuster* dan baut pengikat *subplate*. Kelemahan desain awal *jig&fixture cam boring* adalah terjadi *coupled design*.

Matrik desain sebelum modifikasi *jig fixture* :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.2.1.2.1} \\ \text{FR1.2.1.2.2} \\ \text{FR1.2.1.2.3} \\ \text{FR1.2.1.2.4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & \text{X} & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.2.1.2.1} \\ \text{DP1.2.1.2.2} \\ \text{DP1.2.1.2.3} \\ \text{DP1.2.1.2.4} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Fungsional requirement :

FR1.2.1.2.1 : *positioning* benda kerja.

FR.1.2.1.2.2 : penahan benda kerja.

FR1.2.1.2.3 : pengikat *sub plate* ke *baseplate* mesin.

FR1.2.1.2.4 : penumpu benda kerja.

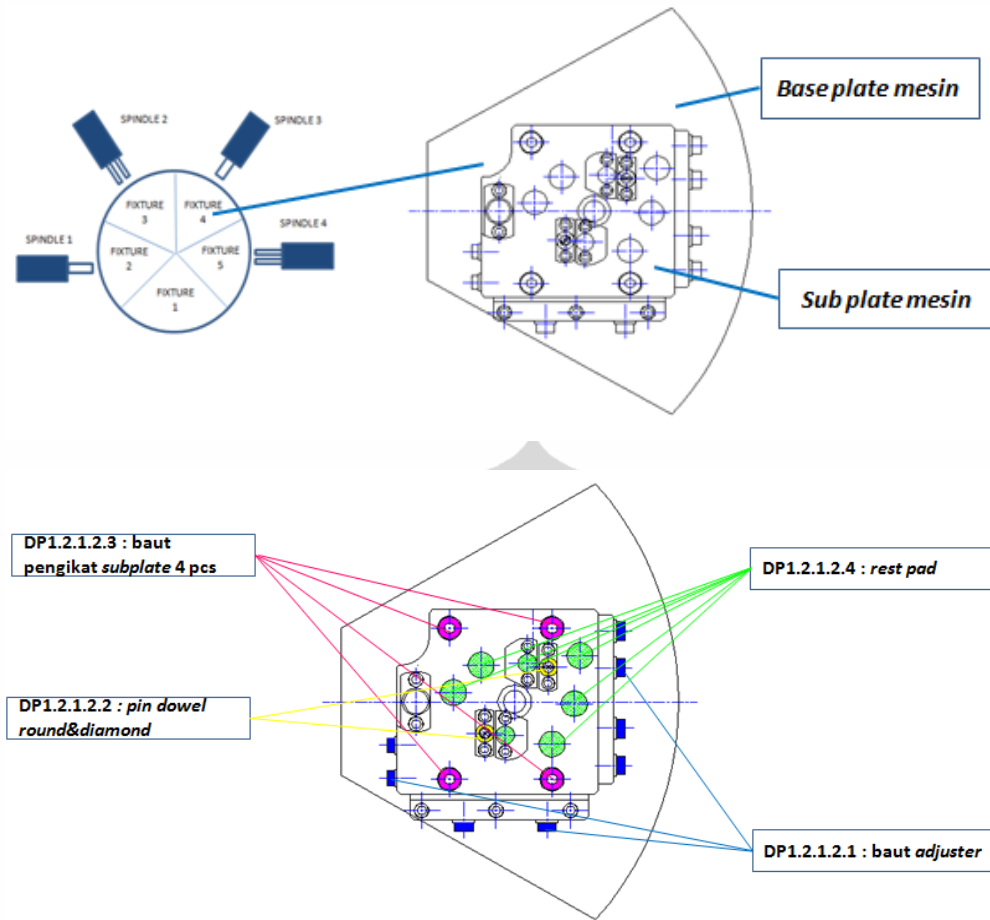
Design parameter :

DP1.2.1.2.1 : baut *adjuster*.

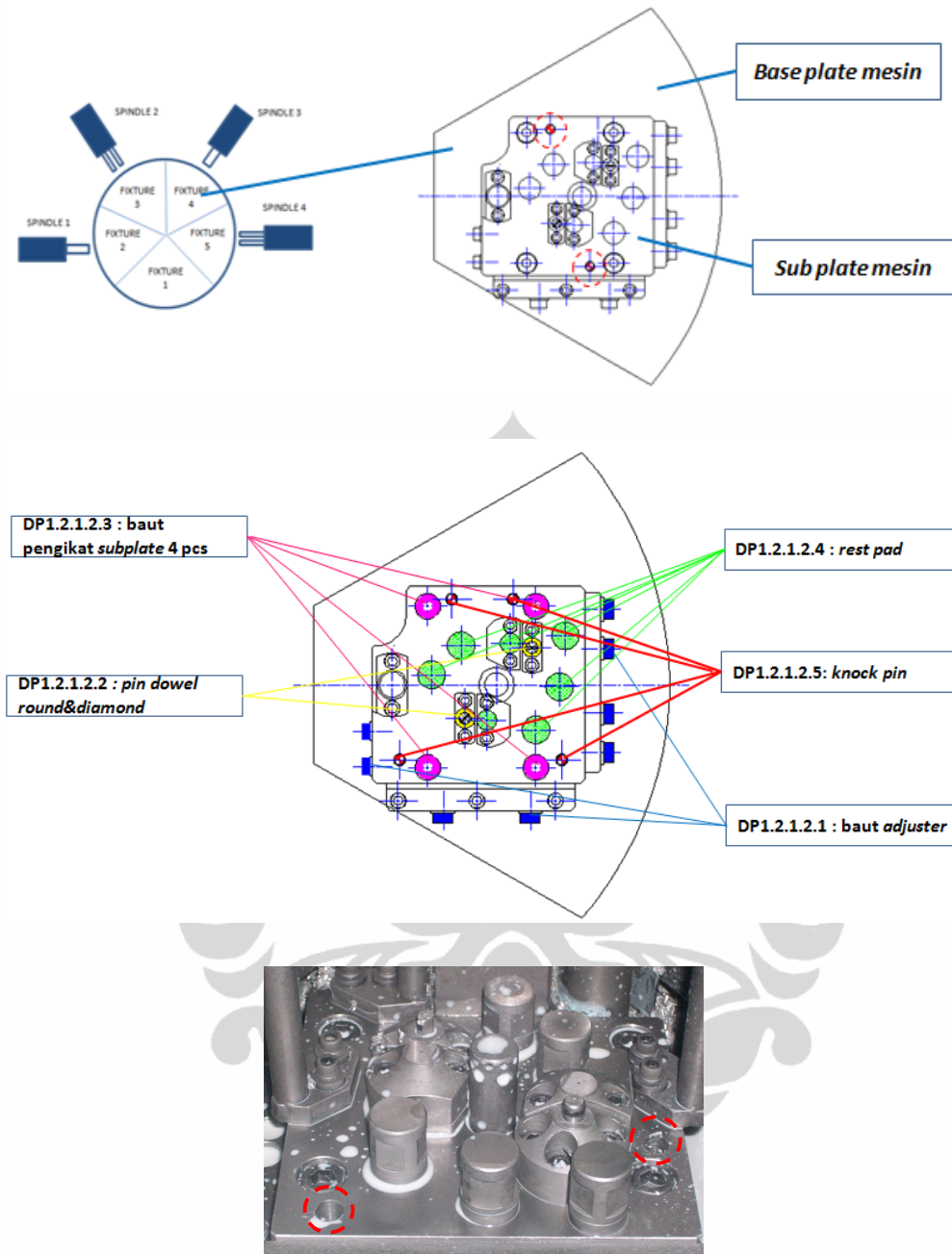
DP1.2.1.2.2 : pin dowel *round&diamond*.

DP1.2.1.2.3 : baut pengikat *subplate* 4 pcs.

DP1.2.1.2.4 : *rest pad*.



Gambar 51. Desain *Jig&Fixture* Sebelum Proses *Decoupling*



Gambar 52. Perubahan Desain Jig&Fixture Setelah Proses Decoupling

Dari gambar sebelum modifikasi terjadi *coupled design* yaitu DP1.2.1.2.3 : baut *adjuster* dipakai untuk memenuhi FR1.2.1.2.1 : *positioning* benda kerja dan FR.1.2.1.2.2 : penahan benda kerja, detailnya adalah sebagai berikut.

1.FR1.2.1.2.1 dipengaruhi oleh DP1.2.1.2.1 dan DP1.2.1.2.3.

Penjelasannya adalah komponen *positioning* benda kerja terdiri oleh baut *adjuster* dan baut pengikat *subplate*. Deskripsinya setting posisi benda kerja dilakukan dengan baut *adjuster* yang dapat disetting kanan, kiri dan atas bawah. Jika sudah

ketemu ukuran yang tepat *subplate* dikencangkan dengan baut pengikat 4 pcs tetapi toleransi *clearance* baut pengikat besar antara 0,1-0,2 mm padahal toleransi posisi benda kerja hanya 0,05mm. Sehingga pada saat pengencangan dengan baut pengikat ada kemungkinan terjadi pergeseran posisi benda kerja karena toleransi baut pengikat yang besar. Setelah pengencangan masih bisa terjadi pergeseran benda kerja karena ada *clearance* cukup besar pada 4 baut pengikat. Gaya potong akan mendorong posisi *subplate* saat proses sehingga terjadi perubahan positioning benda kerja dari pada saat di setting awal.

2.FR1.2.1.2.2 dipengaruhi oleh DP1.2.1.2.2, dan DP1.2.1.2.3.

Penjelasannya adalah komponen penahan benda kerja terdiri dari pin dowel *round& diamond* dan baut pengikat 4 pcs. Desain pin dowel *round&diamond* sudah sesuai dengan prinsip statika struktur yaitu penumpu sendi dan rol untuk menahan benda kerja baik terhadap gaya vertikal, horisontal dan momen. Tetapi posisi benda kerja juga dipengaruhi oleh posisi *subplate*. Sedangkan yang menjamin posisi *subplate* tetap stabil pada *baseplate* mesin adalah baut pengikat 4 pcs yang mempunyai *clearance* 0,1-0,2 mm. Jadi ada 3 potensi penyumbang *error* posisi yaitu.

-benda kerja terhadap pin dowel : untuk benda terhadap pin dowel pergeseran kecil karena toleransi pin dowel 0,02 mm dan secara konstruksi kombinasi pin dowel *round&diamond* mampu menahan gaya vertikal, horisontal, dan momen.

-pin dowel terhadap *subplate* : pin dowel diikat diatas *subplate* dengan pin dan dikencangkan dengan baut. Toleransi pin 0,01 mm.

-*subplate* terhadap mesin : untuk desain lama pengikat *subplate* ke *base plate* mesin adalah baut 4 pcs yang mempunyai *clearance* 0,1-0,2 mm.

Diketahui penyumbang *error* posisi benda kerja saat proses terbesar adalah baut pengikat *subplate* terhadap *baseplate* mesin. Dengan TRIZ dilakukan *uncoupled* matrik desain dan modifikasi desain *jig&fixture* baru. Sehingga matrik desain menjadi *uncoupled* dan desain memenuhi aksioma.

Matrik desain setelah modifikasi *jig&fixture* :

$$\begin{pmatrix} \text{FR1.2.1.2.1} \\ \text{FR1.2.1.2.2} \\ \text{FR1.2.1.2.3} \\ \text{FR1.2.1.2.4} \\ \text{FR1.2.1.2.5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{X} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \text{X} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{X} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{X} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{X} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{DP1.2.1.2.1} \\ \text{DP1.2.1.2.2} \\ \text{DP1.2.1.2.3} \\ \text{DP1.2.1.2.4} \\ \text{DP1.2.1.2.5} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Terjadi penambahan komponen baru dan perubahan fungsi komponen *jig&fixture*

Functional requirement :

FR1.2.1.2.1 : *positioning* benda kerja.

FR.1.2.1.2.2 : penahan benda kerja.

FR1.2.1.2.3 : pengikat *sub plate* ke *baseplate* mesin saat pembuatan pin.

FR1.2.1.2.4 : penumpu benda kerja.

FR1.2.1.2.5 : pengikat *subplate* ke *base plate* mesin.

Design parameter :

DP1.2.1.2.1 : baut *adjuster*.

DP1.2.1.2.2 : pin dowel *round&diamond*.

DP1.2.1.2.3 : baut pengikat 4 pcs.

DP1.2.1.2.4 : *rest pad*.

DP1.2.1.2.5 : *knock pin*.

Pada desain *jig&fixture* baru komponen pengikat *subplate* ke *baseplate* mesin adalah *knock pin* dengan suaian sesak. Sehingga tidak ada pergeseran relatif antara *subplate* dan *baseplate*. Penyetingan hanya dilakukan pada awal jika sudah ketemu ukuran yang tepat dilakukan pengeboran lubang *knock pin* di *subplate* langsung di atas *baseplate* mesin dan pemasangan *knock pin*. Selanjutnya *jig&fixture* dibuat *fixed* dan penyetingan posisi hanya dilakukan pada *spindle cutting tools*.

4.2 Analisis *Cutting Tools*

Dari analisis diketahui salah satu penyebab cacat proses *cam boring* yaitu posisi lubang *shaft rocker arm* menyimpang adalah *cutting tools*. Berikut ini adalah *cutting tool* mesin *cam boring* untuk proses lubang *shaft rocker arm cylinder head*.



Gambar 53. *Drill Shaft Rocker Arm*

Elemen utama desain *cutting tools* adalah pemilihan material *cutting tools* dan parameter pemotongan. Untuk pemilihan material *cutting tools* walaupun mempengaruhi desain tidak dibahas dalam tesis ini karena tidak memungkinkan melakukan penelitian material. Sedangkan untuk parameter pemotongan terdiri dari rpm, *feed*, sudut potong dan daya motor. Untuk daya motor diasumsikan tetap karena tidak dilakukan perubahan daya motor dalam penelitian. Berikut adalah analisis penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* yang dipengaruhi oleh parameter pemotongan untuk masing-masing sumbu :

Analisis Sumbu X *Inlet* :

Dari pengolahan data dengan minitab 16.1 diperoleh hasil sebaran data normal dan cenderung *right skewed*.

Untuk menganalisis hipotesis ditentukan dahulu daerah kritis menggunakan tabel, dengan asumsi :

Confidence level ($\alpha = 0.05$)

Degree of freedom $rpm*feed*angle = 1$

Degree of freedom error = 24

$F(v_1, v_2) = F(1, 24)$, $\alpha = 0.05 = 4.26$

Dari perhitungan minitab minitab 16.1 diperoleh harga F dan hasilnya dibandingkan dengan Ftabel, sehingga bisa diketahui hipotesis H_0 ditolak atau diterima.

Tabel 26. Perbandingan Nilai F-hitung Dengan F-tabel Sumbu X *Inlet*

Faktor	F	P	Ftable(0.05;1;24)	Keputusan Ho
<i>Rpm</i>	364,83	0,000	4,26	Tolak
<i>Feed</i>	504,60	0,000	4,26	Tolak
<i>Angle</i>	12,45	0,002	4,26	Tolak
<i>Rpm*Feed</i>	24,27	0,000	4,26	Tolak
<i>Rpm*Angle</i>	0,03	0,971	4,26	Terima
<i>Feed*Angle</i>	0,36	0,553	4,26	Terima
<i>Rpm * Feed*Angle</i>	0,03	0,971	4,26	Terima

Dari ANOVA diketahui faktor *rpm*, *feed*, *angle*, dan interaksi *rpm*feed* nilai $F > F_{table}$ sehingga H_0 ditolak. Disimpulkan faktor faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap terhadap posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Faktor *feed* mempunyai nilai F 364,83 dan *angle* mempunyai nilai F 12,45. Jadi faktor yang paling dominan pengaruhnya adalah kecepatan *feed*. Dan yang paling kecil pengaruhnya adalah sudut potong. Untuk mengetahui variabilitas *respon* disebabkan faktor faktor dalam eksperimen baik *main effect* maupun *interraction effect* dilakukan perhitungan koefisien determinasi (R^2)

$$\begin{aligned} SS_{model} &= SS_{rpm} + SS_{feed} + SS_{angle} + SS_{rpm*angle} & (4.1) \\ &= 0,0027362 + 0,0018923 + 0,0000467 + 0,0001820 \\ &= 0,0048572. \end{aligned}$$

$$R^2 = SS_{model} / SS_t = 98\%. \quad (4.2)$$

Dari perhitungan disimpulkan 98% dari variabilitas posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head* dipengaruhi faktor *rpm*, *feed*, *angle*, dan interaksi *rpm*angle*.

Dari grafik *main effect* diketahui kenaikan *rpm*, *feed*, dan sudut potong berbanding lurus dengan penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Penyimpangan sumbu X *inlet* arahnya *minus*.

Analisis Sumbu Y *Inlet* :

Dari pengolahan data dengan minitab 16.1 diperoleh hasil sebaran data normal dan grafik cenderung *right skewed*.

Dari perhitungan minitab minitab 16 diperoleh harga F dan hasilnya dibandingkan dengan Ftabel, sehingga bisa diketahui hipotesa H_0 ditolak atau diterima

Tabel 27. Perbandingan Nilai F-hitung Dengan F-tabel Sumbu Y *Inlet*

Faktor	F	P	Ftable(0.05;1;24)	Keputusan Ho
<i>Rpm</i>	145,69	0,000	4,26	Tolak
<i>Feed</i>	234,31	0,000	4,26	Tolak
<i>Angle</i>	19,86	0,000	4,26	Tolak
<i>Rpm*Feed</i>	22,66	0,000	4,26	Tolak
<i>Rpm*Angle</i>	1,97	0,162	4,26	Terima
<i>Feed*Angle</i>	0,55	0,465	4,26	Terima
<i>Rpm * Feed*Angle</i>	2,10	0,144	4,26	Terima

Dari ANOVA diketahui faktor *rpm*, *feed*, *angle*, dan interaksi *rpm*feed* nilai $F > F_{table}$ sehingga H_0 ditolak. Disimpulkan faktor faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap terhadap posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Faktor *feed* mempunyai nilai F 2261,07 dan *angle* mempunyai nilai F 14,75. Jadi faktor yang paling dominan pengaruhnya adalah kecepatan *feed*. Dan yang paling kecil pengaruhnya adalah sudut potong. Untuk mengetahui variabilitas respon disebabkan faktor faktor dalam eksperimen baik *main effect* maupun *interraction effect* dilakukan perhitungan koefisien determinasi (R^2).

$$\begin{aligned} SS_{model} &= SS_{rpm} + SS_{feed} + SS_{angle} + SS_{rpm*feed}. & (4.3) \\ &= 0,0002347 + 0,0001960 + 0,0000160 + 0,0000365 \\ &= 0,0004832. \end{aligned}$$

$$R^2 = SS_{model} / SS_t = 94,5\%. \quad (4.4)$$

Dari perhitungan disimpulkan 99,5% dari variabilitas posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head* dipengaruhi faktor *rpm*, *feed*, *angle*, dan interaksi *rpm*angle*.

Dari grafik *main effect* diketahui kenaikan *rpm*, *feed*, dan sudut potong berbanding lurus dengan penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Penyimpangan pada sumbu Y inlet nilainya *minus*.

Analisis Sumbu X *Exhaust* :

Dari pengolahan data dengan minitab 16.1 diperoleh hasil sebaran data normal dan grafik cenderung *left skewed*.

Dari perhitungan minitab 16.1 diperoleh harga F dan hasilnya dibandingkan dengan F_{table} , sehingga bisa diketahui hipotesa H_0 ditolak atau diterima.

Tabel 28. Perbandingan Nilai F-hitung Dengan F-tabel Sumbu X *Exhaust*

Faktor	F	P	Ftable(0.05;1;24)	Keputusan Ho
<i>Rpm</i>	1324,75	0.000	4,26	Tolak
<i>Feed</i>	2261,07	0.000	4,26	Tolak
<i>Angle</i>	14,75	0.001	4,26	Tolak
<i>Rpm*Feed</i>	138,44	0.000	4,26	Tolak
<i>Rpm*Angle</i>	0,23	0.798	4,26	Terima
<i>Feed*Angle</i>	1,42	0.245	4,26	Terima
<i>Rpm * Feed*Angle</i>	0,37	0.696	4,26	Terima

Dari ANOVA diketahui faktor *rpm*, *feed*, *angle*, dan interaksi *rpm*feed* nilai $F > F_{table}$ sehingga H_0 ditolak. Disimpulkan faktor faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap terhadap posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Faktor *feed* mempunyai nilai F 1324,75 dan *angle* mempunyai nilai F 14,75. Jadi faktor yang paling dominan pengaruhnya adalah kecepatan *feed*. Dan yang paling kecil pengaruhnya adalah sudut potong. Untuk mengetahui variabilitas respon disebabkan faktor faktor dalam eksperimen baik *main effect* maupun *interraction effect* dilakukan perhitungan koefisien determinasi (R^2)

$$SS_{model} = SS_{rpm} + SS_{feed} + SS_{angle} + SS_{rpm*feed}. \quad (4.5)$$

$$= 0,0041951 + 0,0035800 + 0,0000234 + 0,0004384$$

$$= 82369.$$

$$R^2 = SS_{model} / SS_t = 99,4\%. \quad (4.6)$$

Dari perhitungan disimpulkan 99,4% dari variabilitas posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head* dipengaruhi faktor *rpm*, *feed*, dan *angle*. Dari grafik *main effect* diketahui kenaikan *rpm*, *feed*, dan sudut potong berbanding lurus dengan penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Penyimpangan pada sumbu X *exhaust* nilainya *plus*.

Analisis Sumbu Y *Exhaust* :

Dari pengolahan data dengan minitab 16.1 diperoleh hasil sebaran data normal dan grafik cenderung *right skewed*.

Dari perhitungan minitab 16 diperoleh harga F dan hasilnya dibandingkan dengan F_{table} , sehingga bisa diketahui hipotesa H_0 ditolak atau diterima.

Tabel 29. Perbandingan Nilai F-hitung Dengan F-tabel Sumbu Y *Exhaust*

Faktor	F	P	Ftable(0.05;1;24)	Keputusan Ho
<i>Rpm</i>	298,50	0.000	4,26	Tolak
<i>Feed</i>	686	0.000	4,26	Tolak
<i>Angle</i>	73,14	0.000	4,26	Tolak
<i>Rpm*Feed</i>	3,50	0.046	4,26	Terima
<i>Rpm*Angle</i>	1,79	0.189	4,26	Terima
<i>Feed*Angle</i>	2,57	0.122	4,26	Terima
<i>Rpm * Feed*Angle</i>	2,79	0.082	4,26	Terima

Dari ANOVA diketahui faktor rpm, *feed*, *angle*, dan interaksi rpm**feed* nilai $F > F_{tabel}$ sehingga H_0 ditolak. Disimpulkan faktor faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap terhadap posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Faktor *feed* mempunyai nilai F 298,50 dan *angle* mempunyai nilai F 73,14. Jadi faktor yang paling dominan pengaruhnya adalah kecepatan *feed*. Dan yang paling kecil pengaruhnya adalah sudut potong. Untuk mengetahui variabilitas respon disebabkan faktor faktor dalam eksperimen baik *main effect* maupun *interraction effect* dilakukan perhitungan koefisien determinasi (R^2)

$$\begin{aligned} SS_{model} &= SS_{rpm} + SS_{feed} + SS_{angle}. \\ &= 0,0002322 + 0,0002668 + 0,0000284 \\ &= 0,0005274. \end{aligned} \quad (4.7)$$

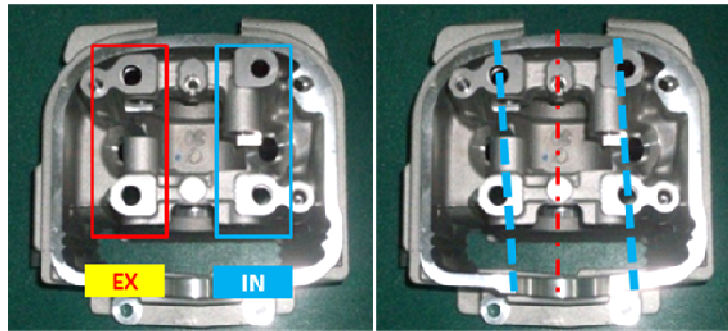
$$R^2 = SS_{model} / SS_t = 97\%. \quad (4.8)$$

Dari perhitungan disimpulkan 97% dari variabilitas posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head* dipengaruhi faktor rpm, *feed*, *angle*, dan interaksi rpm**feed*.

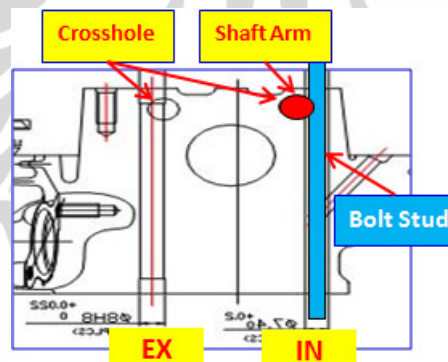
Dari grafik *main effect* diketahui kenaikan rpm, *feed*, dan sudut potong berbanding lurus dengan penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Rpm semakin tinggi penyimpangan semakin besar karena rpm tinggi menyebabkan torsi kecil. Gerak pemakanan / *feed* tinggi penyimpangan semakin besar karena pada *feed* yang tinggi terjadi vibrasi yang tinggi sehingga menyebabkan *drill* berbelok saat proses pemotongan. Perubahan sudut potong tidak terlalu signifikan terhadap penyimpangan posisi. Walaupun diindikasikan untuk sudut potong semakin besar penyimpangan posisi semakin besar juga. Hal ini dikarenakan untuk material benda kerja lunak seperti *aluminium alloy* sudut potong yang kecil menyebabkan tekanan *drill* ke benda kerja tinggi sehingga lebih mudah pada saat proses pemotongan. Tetapi resikoanya *drill* lebih cepat tumpul.

Dari data pengukuran diketahui orientasi posisi menyimpang pada sumbu Y *inlet* dan sumbu Y *exhaust* keduanya *minus*. Artinya penyimpangan sumbu Y nilainya dibawah jarak titik pusat lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Hal ini disebabkan kontruksi *spindle* yang horisontal sehingga ada kecenderungan saat proses pemotongan ada pengaruh gaya gravitasi karena berat *holder* dan *tool* ke arah bawah.

Pada sumbu X *inlet* orientasi penyimpangan *minus* dan pada sumbu X *exhaust plus*. Artinya proses pemotongan pada arah sumbu X miring ke kiri.

Gambar 54. Area Proses *Drill*

gambar terlihat pada saat *drill exhaust* masih memotong benda *drill inlet* ketemu lubang. Penggerak *drill inlet* dan *exhaust* berasal dari satu motor artinya daya motor dan gaya potong sama. Sehingga pada saat posisi gerak *feed drill exhaust* masih memotong dan *drill inlet* ketemu lubang kecenderungannya *drill inlet* berbelok ke arah *minus* dan *drill exhaust* ke arah *plus*. Posisi penyimpangan pada sumbu X lebih besar daripada sumbu Y. Penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* pada sumbu X *exhaust* lebih besar daripada sumbu X *inlet* karena terdapat pertemuan lubang (*crosshole*). Pada posisi *exhaust* area *crosshole* antara lubang *shaft rocker arm* dan lubang *boltstud* lebih besar daripada pada area *inlet*. *Crosshole* menyebabkan arah *drill* membelok saat proses pemotongan.

Gambar 55. *Crosshole* Lubang *Shaft Rocker Arm* dan Lubang *Boltstud*

Penyimpangan pada sumbu Y *inlet* dan *exhaust* relatif hampir sama artinya penyimpangan *drill* saat proses pemotongan pada sumbu Y relatif kecil. Untuk optimalisasi parameter pemotongan proses *cam boring* hasil perbaikan tidak sempat dilakukan monitoring pengaruhnya terhadap perbaikan TKP. Pengukuran dilakukan dengan cp dan cpk.

4.3 Hasil Perbaikan

Dari diagram pareto diketahui stasiun kerja dengan TKP terendah adalah proses *cam boring* 95,48% dan *chamfering* 99,35% dengan total akumulasi 81,3% dari total *part* cacat. Perbaikan akan difokuskan di proses *cam boring*. Dari data diketahui TKP terendah proses *cam boring* adalah proses O33&O35 posisi L101&L102 (lubang *shaft rocker arm*) TKP 97,28% dan proses O32&O34 posisi L100 (lubang *cam shaft holder*) TKP 98,36%. Kedua proses inilah yang akan diperbaiki TKP nya. Perbaikan meliputi modifikasi desain *jig & fixture* dan optimalisasi parameter pemotongan. Tahap awal perbaikan adalah modifikasi desain *jig & fixture* mesin *camboring* tanpa optimasi parameter pemotongan. Untuk mengetahui pengaruhnya dilakukan perbandingan TKP mesin *camboring* sebelum modifikasi (data juli&agustus 2011/awal produksi massal) dan setelah modifikasi desain *jig & fixture* (data maret&april 2012).

Tabel 25. Perbandingan TKP Sebelum&Sesudah Modifikasi *Jig & Fixture*

NO	PROSES	NO PROSES	CACAT	SEBELUM			SESUDAH		
				CACAT	% TKP	TKP	CACAT	% TKP	TKP
6	Cam Boring	O32&O34	Posisi L100 NG	1.64%	98.36%	95.48%	0.03%	99.97%	97.53%
			Diameter L100 blong/sempit	0.07%	99.93%		0.03%	99.97%	
		O33&O35	Posisi L101&L102 NG	2.72%	97.28%		2.34%	97.66%	
			Diameter L101&L102 blong/sempit	0.09%	99.91%		0.06%	99.94%	

Dari data diketahui tingkat keberhasilan proses (TKP) proses *cam boring* terdiri dari :

Sub proses O32 : *boring* lubang *camshaft holder rough*

Sub proses O33 : *drilling* lubang *shaft rocker IN* dan *EX*

Sub proses O 34 : *fine boring* lubang *camshaft*

Sub proses O35 : *reamer* lubang *shaft rocker IN* dan *EX*

Jenis cacat pada proses O32&O34 adalah penyimpangan posisi lubang *camshaft* terhadap titik pusat *cylinder head*. Sedangkan jenis cacat proses O33&O35 adalah penyimpangan posisi lubang *shaft rocker arm* terhadap titik pusat *cylinder head*. Proses *boring* dan *drilling* adalah proses pembuatan lubang dari benda kerja pejal. Sedangkan proses *fine boring* dan *reamer* adalah proses pembesaran lubang untuk mendapatkan diameter sesuai toleransi yang diinginkan. Jadi proses *boring* dan *drilling* adalah proses *rough* dan proses *fine boring* dan *reamer* adalah proses *finish*. Pemakanan pada proses *finish* sangat kecil antara 0,02-0,05 mm. Sehingga penyimpangan posisi lubang sangat ditentukan pada saat proses *rough*. Dari analisis diketahui penyimpangan posisi dominan disebabkan oleh proses *rough* karena pemakanan lebih tebal. Dalam tesis ini TKP proses O33&O35 posisi L101&L102 dan proses O32&O34 posisi L100 diasumsikan cacat disebabkan oleh proses *rough* karena identifikasi cacat di oleh bagian *quality control* tidak didetailkan lagi disebabkan proses *rough* atau *finish*.

Dari metode *axiomatic design* dapat dianalisis bahwa penyebab cacat proses O32&O34 adalah desain *jig&fixture* dan O33&O35 adalah desain *cutting tools* yang tidak stabil. Desain *jig&fixture* terdiri dari desain *subplate*, *clamping*, komponen *positioning*, komponen penumpu, dan komponen pengikat *jig&fixture* ke *base plate* mesin. Desain *cutting tools* terdiri dari parameter pemotongan dan pemilihan material. Parameter pemotongan terdiri dari rpm, *feed*, sudut potong, dan daya motor. Dalam tesis ini parameter pemotongan dibatasi hanya rpm, *feed*, dan sudut potong.

Dari data hasil perbaikan diketahui modifikasi *jig&fixture* bisa menaikkan TKP proses O32&O34 cam boring sebesar 1,61%% dari 98,36% menjadi 99,97%. Jadi penyebab dominan TKP camboring rendah proses O32&O34 adalah ketidakstabilan *jig&fixture* saat proses pemotongan. Ketidakstabilan disebabkan desain pengikat *subplate* terhadap *baseplate* mesin yang menggunakan baut yang mempunyai toleransi *clearance* (0,1-0,2 mm) di atas toleransi benda kerja (0,05 mm). Hasil pengukuran cp dan cpk proses O32&O34 setelah dilakukan modifikasi desain *jig & fixture* :

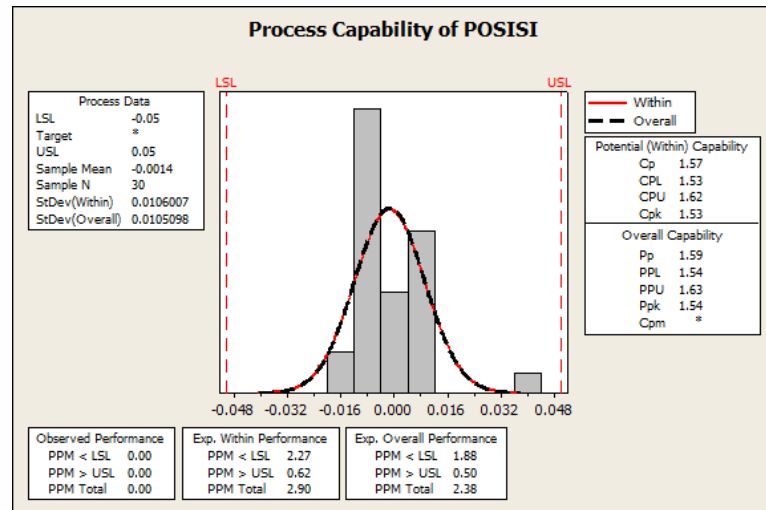
Posisi lubang *cam shaft holder* sumbu X :

- Cp : 1,57
- Cpk : 1,53

Posisi lubang *cam shaft holder* sumbu Y :

- Cp : 2,78
- Cpk : 2,19

Untuk posisi sumbu Y cp dan cpk sebelum dan sesudah modifikasi *jig & fixture* sudah masuk standar *six sigma*. Sedangkan posisi sumbu X sebelum dan sesudah modifikasi desain *jig & fixture* cp dan cpk masuk standar *six sigma*. Sedangkan posisi sumbu X ada kenaikan nilai cp dan cpk dibandingkan sebelum dilakukan modifikasi *jig & fixture* walaupun belum masuk standar *six sigma*.



Gambar 56. Cp dan Cpk Posisi Sumbu X Lubang *Cam Shaft*

Berikut adalah kenaikan nilai cp dan cpk sebelum dan sesudah modifikasi *jig & fixture* :

- Cp naik dari 0,72 menjadi 1,57
- Cpk naik dari 0,64 menjadi 1,53

Kenaikan cp dari 0,72 menjadi 1,57 sangat signifikan karena menunjukkan perbaikan kemampuan proses. Cp 1,57 artinya cacat proses 7 pcs per sejuta produk (Montgomery, 2009). Dari data ukur juga diketahui sebelum perbaikan posisi penyimpangan sumbu X untuk tiap *jig & fixture* berbeda beda arahnya. Setelah perbaikan penyimpangan searah. Terlihat *fixture* 2 dan 3 arah penyimpangan plus dan *fixture* 1, 2, dan 3 arah penyimpangan minus. Hal ini akibat pengaruh posisi *jig & fixture* yang *fixed* sehingga penyetingan posisi hanya dilakukan pada *spindle tools*.

Modifikasi *jig & fixture* hanya berpengaruh sedikit terhadap peningkatan TKP proses O33&O35 *cam boring* sebesar 0,38% dari 97,28% menjadi 97,66% Jadi penyebab dominan TKP rendah untuk proses O33&O35 *cam boring* adalah parameter pemotongan yang tidak optimal. Pada tesis ini optimalisasi hanya dilakukan pada parameter rpm, *feed*, dan sudut potong. Monitoring *part* cacat setelah optimasi parameter pemotongan tidak dilakukan karena keterbatasan waktu penelitian. Untuk mengetahui pengaruhnya dilakukan pengukuran cp dan cpk setelah perbaikan untuk proses O33&O35 :

Posisi lubang *shaft rocker arm inlet* sumbu X:

- Cp : 0,83
- Cpk : 0,68

Posisi lubang *shaft rocker arm inlet* sumbu Y:

- Cp : 3,59
- Cpk : 2,46

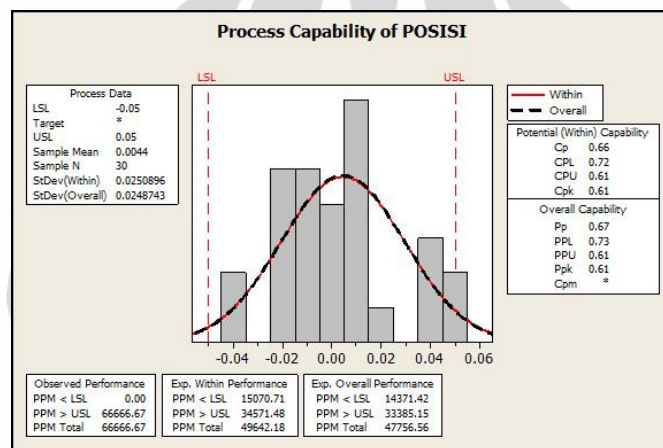
Posisi lubang *shaft rocker arm exhaust* sumbu X:

- Cp : 0,67
- Cpk : 0,61

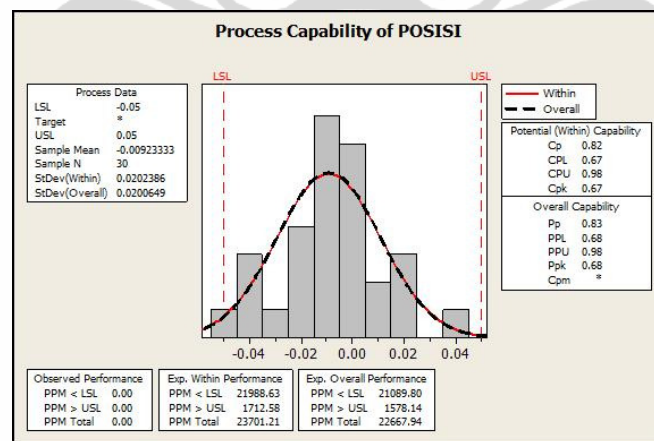
Posisi lubang *shaft rocker arm exhaust* sumbu Y:

- Cp : 3,10
- Cpk : 3,32

Dari data pengukuran diketahui posisi sumbu Y sebelum dan sesudah optimasi parameter pemotongan nilai sudah masuk standar *six sigma*. Sedangkan posisi sumbu X *inlet* dan *exhaust* untuk proses lubang *shaft rocker arm* nilai cp dan cpk sebelum optimasi parameter pemotongan nilainya di bawah standar *six sigma*.



Gambar 57. Cp dan Cpk Posisi Sumbu X Lubang *Shaft Rocker Arm Exhaust*



Gambar 58. Cp dan Cpk Posisi Sumbu X Lubang *Shaft Rocker Arm Inlet*

Cp dan cpk untuk posisi sumbu X baik *inlet* maupun *exhaust* nilainya di bawah 1. Dari grafik gambar 55 dan 56 terlihat ada data ukur yang keluar daerah toleransi.

Setelah optimasi parameter pemotongan cp dan cpk posisi sumbu X *inlet* dan *exhaust* naik tetapi masih dibawah standar six sigma, yaitu :

- Sumbu X inlet : cp 0,65 menjadi 0,83
- Sumbu X inlet : cpk 0,64 menjadi 0,68
- Sumbu X exhaust : cp 0,52 menjadi 0,67
- Sumbu X exhaust : cpk 0,51 menjadi 0,61

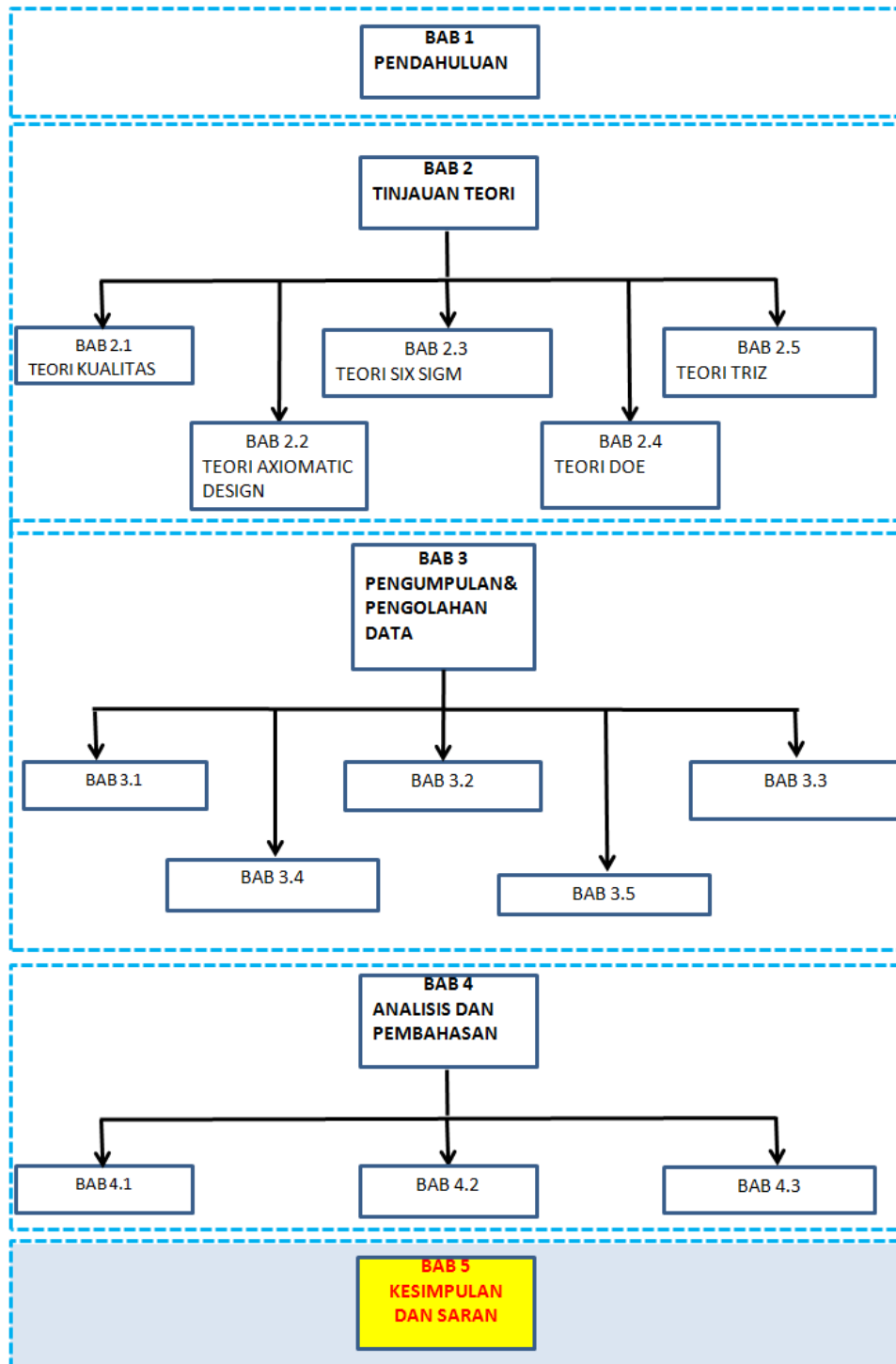
Walaupun sudah dilakukan optimasi parameter sehingga cp dan cpk proses O33&O35 naik tetapi masih di bawah standar *six sigma*. Artinya proses O33&O35 masih labil. Hal ini dikarenakan ada parameter dominan lain yang tidak masuk dalam penelitian yaitu *properties material cutting tools* dan perubahan daya motor.

Pengatasan masalah itu dilakukan dengan pengetatan frekuensi inspeksi proses O33&O35 untuk mencegah *part* cacat terkirim ke stasiun kerja selanjutnya meliputi :

- Pengukuran CMM tetap 1 *shift* produksi sekali
- Pengukuran dengan *inspection jig* dari frekuensi 1/100 menjadi 1/50
- Inspeksi 100% operator di lini produksi dengan alat *pokayoke* yang terdiri dari *shaft rocker arm* dan *boltstud* seperti simulasi di lini assembling (metode ini kurang teliti tetapi bisa digunakan untuk mencegah penyimpangan posisi *shaft rocker arm* yang ekstrim)



Gambar 59. Inspeksi 100% Pemasangan *Shaft Rocker Arm* dan *Boltstud*

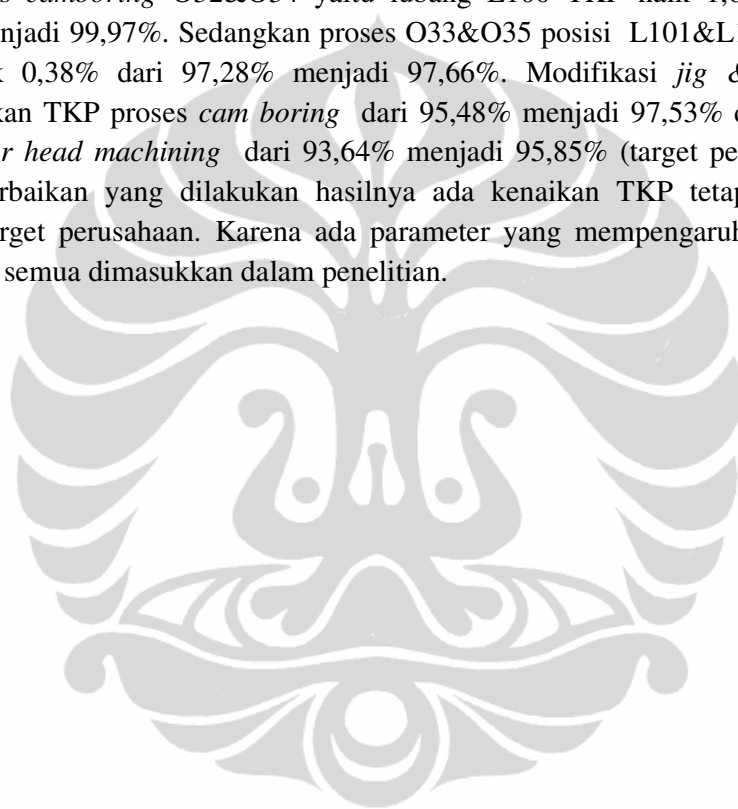
BAB V

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Penyebab utama proses *camboring* TKP rendah adalah *jig & fixture* tidak stabil dan parameter pemotongan tidak optimal. Parameter pemotongan optimal dari hasil perhitungan DOE yaitu putaran dari 3600 rpm, *feed* 0,1 mm/rev, dan sudut potong 125°. Perubahan desain *jig & fixture* dengan *knock pin* menaikkan TKP proses *camboring* O32&O34 yaitu lubang L100 TKP naik 1,61% dari 98,36% menjadi 99,97%. Sedangkan proses O33&O35 posisi L101&L102 TKP hanya naik 0,38% dari 97,28% menjadi 97,66%. Modifikasi *jig & fixture* meningkatkan TKP proses *cam boring* dari 95,48% menjadi 97,53% dan TKP lini *cylinder head machining* dari 93,64% menjadi 95,85% (target perusahaan 98%) . Perbaikan yang dilakukan hasilnya ada kenaikan TKP tetapi masih dibawah target perusahaan. Karena ada parameter yang mempengaruhi desain tetapi tidak semua dimasukkan dalam penelitian.



5.2 SARAN

Parameter properties material dan daya motor pemotongan belum dimasukkan dalam perhitungan optimasi parameter pemotongan padahal parameter ini berpengaruh besar terhadap hasil proses.



DAFTAR PUSTAKA

1. Cochran, D.S., Dobbs, D.C., *Evaluating Manufacturing System Design and Performance Using the Manufacturing System Design Decomposition Approach*, *Journal of Manufacturing Systems*, Proquest, Vol.20, No.6, pp. 390, 2002.
2. Ogot, M., *Conceptual Design Using Axiomatic Design in a TRIZ Framework*, *Procedia Engineering* 9, Elsevier, pp.736-744, 2011.
3. Duflou, R.D., Dewulf, Wim, *On the Complementarity of TRIZ and Axiomatic Design : From Decoupling Objective to Contradiction Identification*, *Procedia Engineering* 9, Elsevier, pp.633-639, 2011.
4. Shirwaiker, R.A, Okudan, G.E, *Contribution of TRIZ and Axiomatic Design to Leanness in Design : an investigation*, *Procedia Engineering* 9, Elsevier, pp.730-735, 2011.
5. Heo, G., Jeong, Y.H., Koo, J.M., Ahmed, R., *Design of safety-critical systems using the complementarities of success and failure domain with a case study*, *Reliability Engineering and System Safety* 96, Elsevier, 2011.
6. Kahraman, Cengiz, Cebi, Selcuk, Kulak, Osman, *Application of axiomatic design principles : A literature review*, *Expert Systems with Application* 37, Elsevier, 2010.
7. Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiment*, John Willey&Sons, 2009.
8. Shirwaiker, R.A, Okudan, G.E, *Triz and Axiomatic Design : A Review of Case-Studies and A Proposed Synergistic Use*, *Journal of Intelligence Manufacturing*, Vol.19, pp.33-47, 2008.
9. Yan, H.T, *Innovative Design of A Variable Intermittent Slider Crank Mechanism*, *International Journal of Mechanical Engineering Education*, Vol.34,No.4, 2008.
10. Walpole, Myers, *Probability&Statistics for Engineers&Scientists*, Prentice Hall, 2007.
11. El Haik, B.S., *Axiomatic Quality : Integrating Axiomatic Design With Six Sigma, Reliability, and Quality Engineering*, John Willey&Sons, 2005.

12. Montgomery, Douglas C., *Introduction to Statistical Quality Control*, John Willey&Sons, 2005.
13. Cochran, D.S., Arinez, J.F., Duda, J.W., Linck, J, A *Decomposition Approach for Manufacturing Systems Design*, *Journal of Manufacturing Systems*, Proquest, Vol 20, No 6, pp.37, 2002.
14. Savransky, Semyon D., *Engineering of Creativity : Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*, CRC Press, 2000.
15. Cochran, D.S., Linck, J, Won, Jey, *Manufacturing System Design of Automotive Bumper Manufacturing*, *Journal of Manufacturing Systems*, 2001.
16. Cochran, D.S., Arinez, J.F., *Application of a Production System Design Framework to Equipment Design*, *CIRP Journal of Manufacturing Systems*, Vol.30, No.2, 2000.
17. Chin, K.S, Chan. A, Yang, J.B, *Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System*, *International Journal Adv Manufacturing Technology*, Vol.36, pp.633-649, 2008.
18. Senvar, O., Tozan, H., *Process Capability and Six Sigma Methodology Including Fuzzy and Lean Approaches*, 2009.

LAMPIRAN 1

TINGKAT KEBERHASILAN PROSES LINI PRODUKSI CYLINDER HEAD MACHINING

NO	PROSES	NO PROSES	CACAT	QUANTITY					
				JULI 2011	AGS 2011	TOTAL	%	% TOTAL	TKP
1	OP 10 Rotary Milling	O-1	Milling S000 baret/tidak rata	5	35	40	0.065%	0.065%	99.935%
2	OP 20 Machining Center	O-2	Milling baret	7	22	29	0.047%	0.155%	99.845%
		O3&O5	Lubang bolstid mis run	4	32	36	0.059%		
		O4&O6	Reamer blong/sempit	5	25	30	0.049%		
3	OP 30 Machining Center	O-7	Spot face sempit	0	26	26	0.042%	0.281%	99.719%
		O8&O9	Tap L103 dol	4	26	30	0.049%		
		O10	Celah L104&L105 blong/sempit	0	21	21	0.034%		
		O11&O12	Tap lubang busi dol	0	16	16	0.026%		
		O13	Milling N900 baret/tidak rata	6	22	28	0.046%		
		O14	N901 Ø blong/sempit/kurang dalam	5	21	26	0.042%		
		O15&O16	Tap N 902&903 dol	8	17	25	0.041%		
4	OP 40 Machining Center	O17	Spot face P001&P002 sempit	0	0	0	0.000%	0.175%	99.825%
		O18	Ø P001&P002 blong/sempit	0	15	15	0.024%		
		O19	Lubang VB rough Ø blong	0	20	20	0.033%		
			Lubang VB rough sudut NG	4	21	25	0.041%		
		O20&O21	Tap S001&S002 dol	4	16	20	0.033%		
		O22	Milling N800 baret/tdk rata	0	0	0	0.000%		
		O23&O24	Tap N802&N803 dol	7	20	27	0.044%		
5	OP 50 Machining Center	O25	Ø701 blong/sempit	5	17	22	0.036%	0.215%	99.785%
		O26	Milling N700 baret/tidak rata	5	26	31	0.051%		
		O27&O28	Tap N702&N703 dol	3	21	24	0.039%		
		O29	N904 Ø blong/sempit/kurang dalam	4	23	27	0.044%		
		O30&O31	TapS003 dol	8	20	28	0.046%		
6	OP 60 Cam Boring	O32&O34	Posisi L100 NG	86	920	1006	1.642%	4.518%	95.482%
			Diameter L100 blong/sempit	8	32	40	0.065%		
		O33&O35	Posisi L101&L102 NG	135	1530	1665	2.718%		
			Diameter L101&L102 blong/sempit	12	45	57	0.093%		
7	OP 70 Valve Boring	O36&O38	M201&M202 Ø blong/sempit	7	34	41	0.067%	0.204%	99.796%
		O37&O39	P201&P202 Ø blong/sempit	4	23	27	0.044%		
			P201&P202 sudut NG	6	51	57	0.093%		
8	OP 80 Leak Test Material	O40	Bocor material	7	23	30	0.049%	0.049%	99.951%
9	OP 90 Seat Ring& valve air blow	O41&O43	Seat ring miring	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
		O42&O44	Guide valve miring	0	0	0	0.000%		
10	OP 100 Chamfering	O45&O47	Chamfer M201&M202 run out NG	32	310	342	0.558%	0.655%	99.345%
		O46&O48	P201&P202 Ø blong/sempit	8	51	59	0.096%		
11	OP 110 Cleaning	O49	Part kotor	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
12	OP 120 Valve Assy	O50&O51	Valve terbalik	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
		O52	Cotter valve terbalik	0	0	0	0.000%		
		O53	spring terbalik	0	0	0	0.000%		
13	OP 130 Retainer Press	O54&O55	Spring kendur	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
14	OP 140 Leak Test Valve	O56	Valve bocor	4	22	26	0.042%	0.042%	99.958%
TOTAL BARANG CACAT						3896 unit		6.359%	93.641%
PRODUKSI BULAN JULI						8689 unit/bulan			
PRODUKSI BULAN AGUSTUS						52578 unit/bulan			
TOTAL PRODUKSI 2 BULAN						61267 unit			



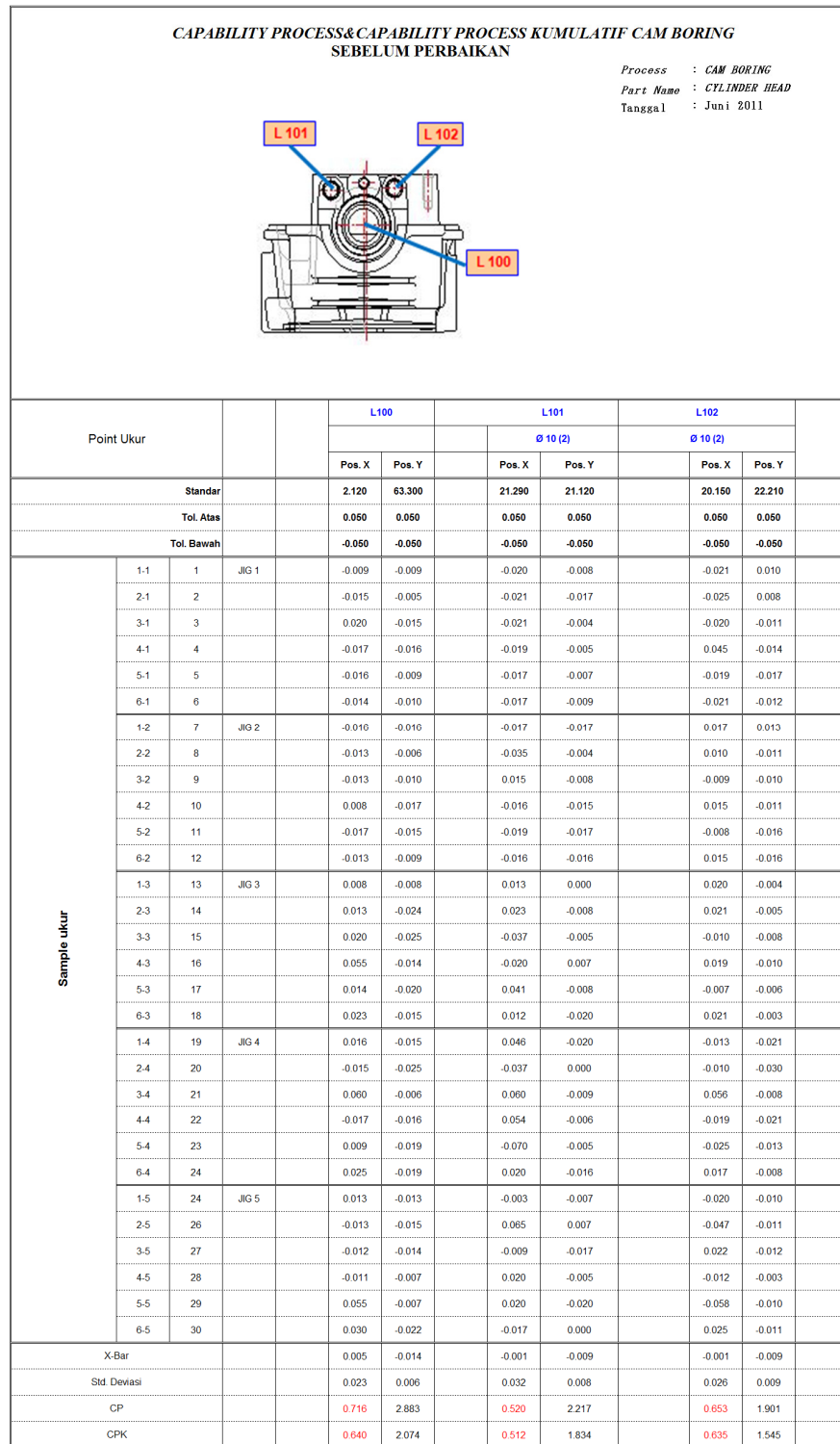
LAMPIRAN 2

TINGKAT KEBERHASILAN PROSES LINI PRODUKSI CYLINDER HEAD MACHINING

NO	PROSES	NO PROSES	CACAT	QUANTITY					
				MAR 2012	APR 2012	TOTAL	%	% TOTAL	TKP
1	OP 10 Rotary Milling	O-1	Milling S000 baret/tidak rata	24	30	54	0.050%	0.050%	99.950%
2	OP 20 Machining	O-2	Milling baret	22	21	43	0.040%	0.123%	99.877%
		O3&O5	Lubang bolstud mis run	10	30	40	0.037%		
		O4&O6	Reamer blong/sempt	30	21	51	0.047%		
3	OP 30 Machining	O-7	Spot face sempt	15	34	49	0.045%	0.286%	99.714%
		O8&O9	Tap L103 dol	21	25	46	0.042%		
		O10	Celah L104&L105 blong/sempt	0	0	0	0.000%		
		O11&O12	Tap lbang busi dol	25	30	55	0.051%		
		O13	Milling N900 baret/tidak rata	12	21	33	0.030%		
		O14	N901 Ø blong/sempt/kurang dalam	45	37	82	0.075%		
		O15&O16	TapN 902&903 dol	15	31	46	0.042%		
4	OP 40 Machining	O17	Spot face P001&P002 sempt	10	18	28	0.026%	0.155%	99.845%
		O18	Ø P001&P002 blong/sempt	16	22	38	0.035%		
		O19	Lubang VB rough sudut NG	5	17	22	0.020%		
		O20&O21	Tap S001&S002 dol	4	16	20	0.018%		
		O22	Milling N800 baret/tdk rata	7	14	21	0.019%		
		O23&O24	Tap N802&N803 dol	6	1	7	0.006%		
5	OP 50 Machining	O25	Ø701 blong/sempt	15	21	36	0.033%	0.126%	99.874%
		O26	Milling N700 baret/tidak rata	6	14	20	0.018%		
		O27&O28	Tap N702&N703 dol	8	15	23	0.021%		
		O29	N904 Ø blong/sempt/kurang dalam	12	18	30	0.028%		
		O30&O31	TapS003 dol	7	21	28	0.026%		
6	OP 60 Cam Boring	O32&O34	Posisi L100 NG	15	22	37	0.034%	2.466%	97.534%
			Diameter L100 blong/sempt	15	21	36	0.033%		
		O33&O35	Posisi L101&L102 NG	1320	1225	2545	2.339%		
			Diameter L101&L102 blong/sempt	30	35	65	0.060%		
7	OP 70 Valve Boring	O36&O38	M201&M202 Ø blong/sempt	25	37	62	0.057%	0.178%	99.822%
		O37&O39	P201&P202 Ø blong/sempt	16	11	27	0.025%		
			P201&P202 sudut NG	45	60	105	0.097%		
8	OP 80 Leak Test	O40	Bocor material	31	16	47	0.043%	0.043%	99.957%
9	OP 90 Seat Ring&	O41&O43	Seat ring miring	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
		O42&O44	Guide valve miring	0	0	0	0.000%		
10	OP 100 Chamfering	O45&O47	Chamfer M201&M202 run out NG	350	317	667	0.613%	0.665%	99.335%
		O46&O48	P201&P202 Ø blong/sempt	35	21	56	0.051%		
11	OP 110 Clearing	O49	Part kotor	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
12	OP 120 Valve Assy	O50&O51	Valve terbalik	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
		O52	Cotter valve terbalik	0	0	0	0.000%		
		O53	spring terbalik	0	0	0	0.000%		
13	OP 130 Retainer Pin	O54&O55	Spring kendur	0	0	0	0.000%	0.000%	100.000%
14	OP 140 Leak Test	O56	Valve bocor	34	29	63	0.058%	0.058%	99.942%
TOTAL BARANG CACAT						4515 unit		4.150%	95.850%
PRODUKSI BULAN MARET						55660 unit/bulan			
PRODUKSI BULAN APRIL						53130 unit/bulan			
TOTAL PRODUKSI 2 BULAN						108790 unit			



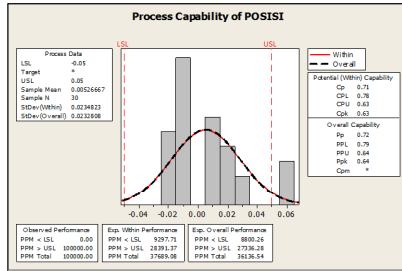
LAMPIRAN 3



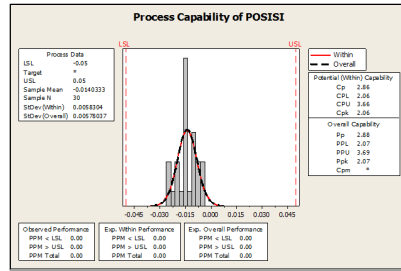
LAMPIRAN 4

GRAFIK CAPABILITY PROCESS & CAPABILITY PROCESS KUMULATIF CAM BORING SEBELUM PERBAIKAN

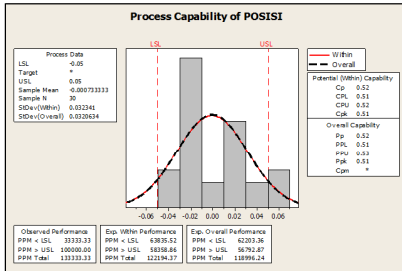
L 100 SUMBU X



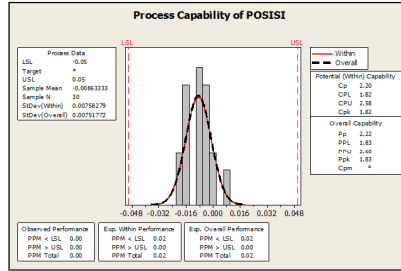
L 100 SUMBU Y



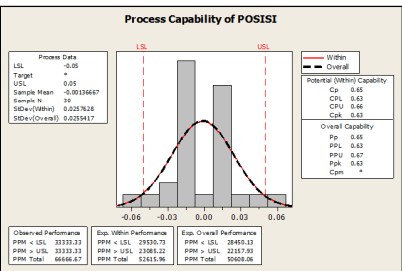
L 101 SUMBU X



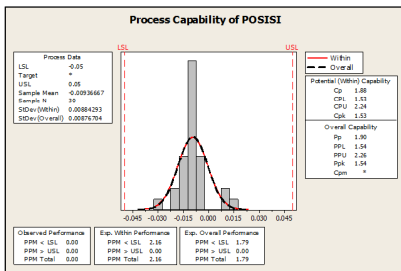
L 101 SUMBU Y



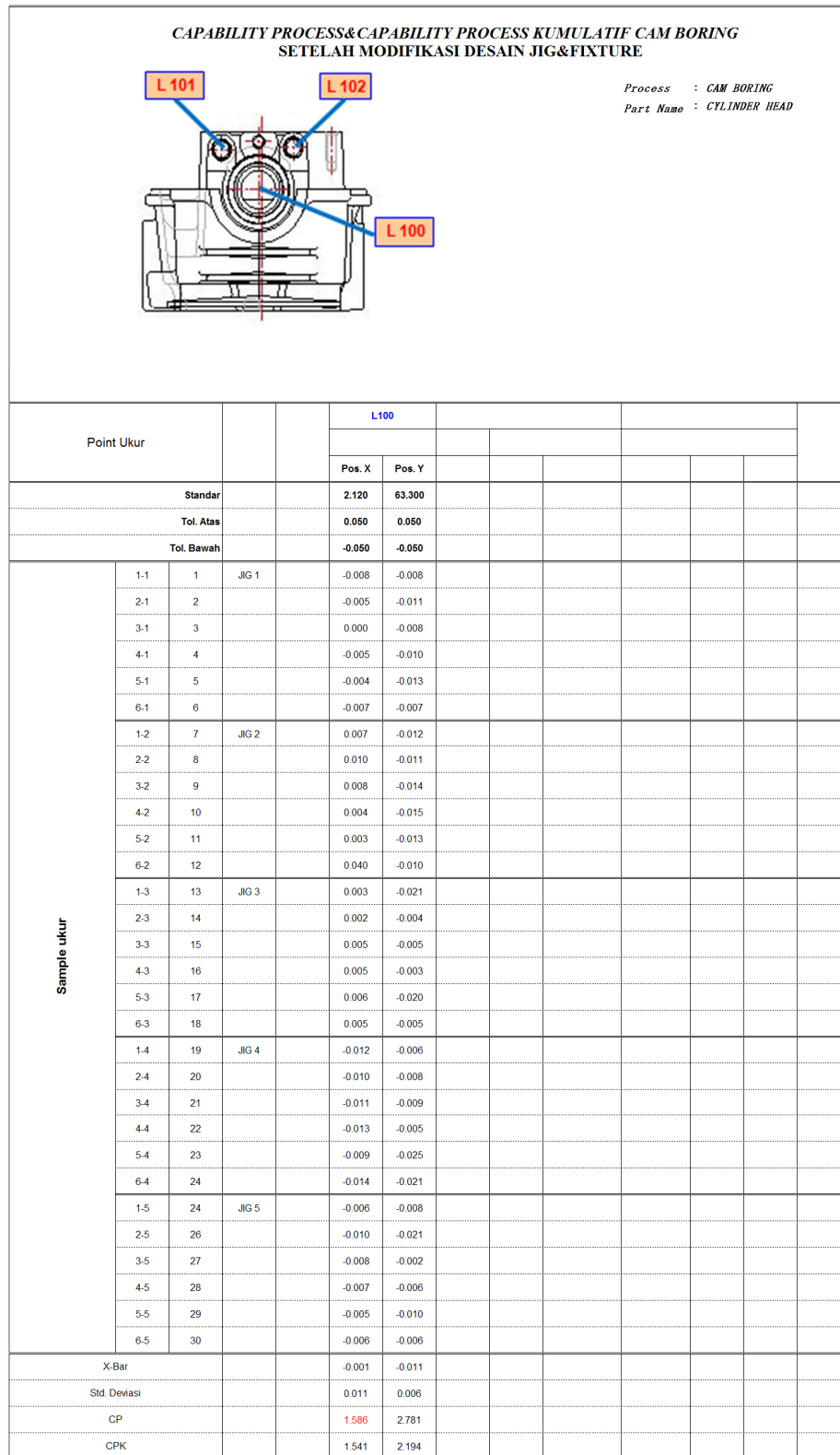
L 102 SUMBU X



L 102 SUMBU Y



LAMPIRAN 5



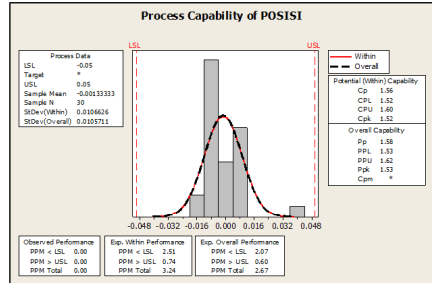
LAMPIRAN 6

Point Ukur				L101		L102	
				Ø 10 (2)		Ø 10 (2)	
				Pos. X	Pos. Y	Pos. X	Pos. Y
Standar				21.290	21.120	20.160	22.210
Tol. Atas				0.050	0.050	0.050	0.050
Tol. Bawah				-0.050	-0.050	-0.050	-0.050
Sample ukur	1-1	1	JIG 1	-0.004	-0.023	-0.009	-0.011
	2-1	2		-0.015	-0.021	-0.015	-0.013
	3-1	3		-0.009	-0.017	-0.020	-0.013
	4-1	4		0.042	-0.025	0.013	-0.013
	5-1	5		-0.017	-0.004	-0.019	-0.015
	6-1	6		-0.017	-0.010	-0.021	-0.010
	1-2	7	JIG 2	-0.014	-0.011	0.017	-0.012
	2-2	8		-0.016	-0.012	0.010	-0.014
	3-2	9		0.015	-0.021	-0.009	-0.012
	4-2	10		-0.016	-0.015	0.015	-0.013
	5-2	11		-0.013	-0.017	-0.008	-0.015
	6-2	12		-0.016	-0.016	0.015	-0.016
	1-3	13	JIG 3	0.040	-0.011	-0.007	-0.027
	2-3	14		0.009	-0.005	-0.038	-0.025
	3-3	15		-0.037	-0.012	-0.047	-0.010
	4-3	16		0.047	-0.008	-0.003	-0.011
	5-3	17		0.006	-0.006	-0.007	-0.016
	6-3	18		0.040	-0.011	-0.005	-0.012
	1-4	19	JIG 4	0.004	-0.008	-0.005	-0.012
	2-4	20		0.053	-0.011	-0.043	-0.013
	3-4	21		0.055	-0.010	-0.045	-0.015
	4-4	22		-0.037	-0.011	-0.004	-0.018
	5-4	23		0.006	-0.012	-0.003	-0.026
	6-4	24		0.007	-0.011	-0.023	-0.018
	1-5	24	JIG 5	0.009	-0.020	-0.003	-0.021
	2-5	26		0.009	-0.011	-0.008	-0.022
	3-5	27		-0.005	-0.009	-0.004	-0.017
	4-5	28		-0.006	-0.013	-0.032	-0.016
	5-5	29		0.004	-0.005	-0.014	-0.020
	6-5	30		0.008	-0.011	0.045	-0.014
X-Bar				0.004	-0.013	-0.009	-0.016
Std. Deviasi				0.025	0.005	0.020	0.005
CP				0.670	3.102	0.831	3.585
CPK				0.611	2.322	0.677	2.462

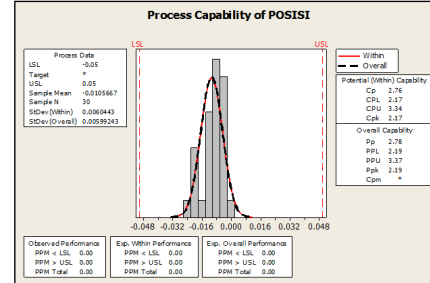
LAMPIRAN 7

GRAFIK CAPABILITY PROCESS & CAPABILITY PROCESS KUMULATIF CAM BORING SETELAH MODIFIKASI DESAIN JIG & FIXTURE

L 100 SUMBU X

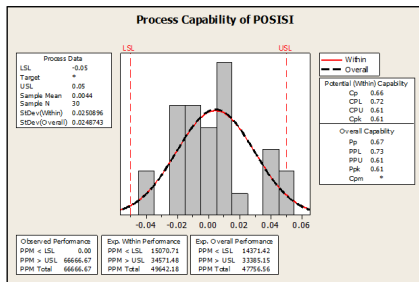


L 100 SUMBU Y

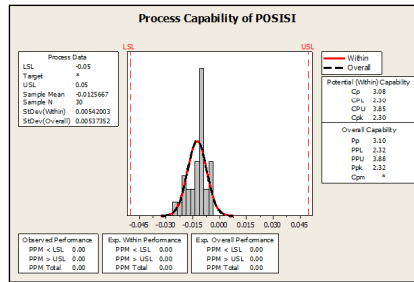


GRAFIK CAPABILITY PROCESS & CAPABILITY PROCESS KUMULATIF CAM BORING SETELAH OPTIMASI PARAMETER PEMOTONGAN

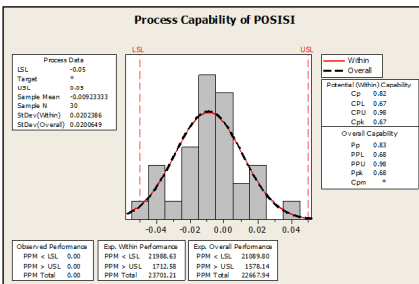
L 101 SUMBU X



L 101 SUMBU Y



L 102 SUMBU X



L 102 SUMBU Y

