



UNIVERSITAS INDONESIA

PENINGKATAN UMUR PAKAI *DRILL Ø5.5 CARBIDE D101048*
PADA MESIN CNC *FANUC TAPPING CENTER α-T14iC*
DENGAN METODE *DESIGN OF EXPERIMENT* UNTUK
PRODUKSI KOMPONEN *CRANK CASE* TIPE 125 DI PT X

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana teknik

AGUS SUPRIYONO
0806366610

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2011

i



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Agus Supriyono
NPM : 0806366610
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Peningkatan Umur Pakai *Drill O5.5 Carbide*
D101048 pada Mesin CNC *Fanuc Tapping Center*
 α -T141C dengan Metode *Design Of Experiment*
untuk Produksi Komponen *Crank Case* Tipe 125 di
PT X

Teah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Arian Dhini, ST, MT (.....)
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE (.....)
Penguji : Ir. Djoko Sihono Gabriel, MT (.....)
Penguji : Ir. Rahmat Nurcahyo, MEngSc. (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmatNya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Arian Dhini, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM selaku pembimbing akademis atas dukungannya selama masa kuliah.
3. Istri dan anak-anak tercinta saya di rumah yang telah memberikan dukungan doa dan memberi semangat yang sangat berarti dalam hidup saya.
4. Pihak Perusahaan khususnya seksi *Machining Crank Case Plant 1* yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan.
5. Teman-teman TIUI 08 Ekstensi Salemba atas waktunya dalam membantu dan memberikan semangat selama membuat skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap kepada Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan saudara-saudara semua. Dan semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

Penulis



ABSTRAK

Nama : Agus Supriyono
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Peningkatan Umur Pakai *Drill* Ø5.5 *Carbide* D101048 pada Mesin CNC *Fanuc Tapping Center α-T14iC* dengan Metode *Design Of Experiment* untuk Produksi Komponen *Crank Case* Tipe 125 di PT X

Untuk bertahan dalam persaingan dunia industri sepeda motor diperlukan kreativitas yang besar. Di dalam perusahaan setiap bagian harus melakukan evaluasi terhadap semua faktor yang memungkinkan untuk perbaikan. Salah satunya adalah *drill*, harus dilakukan evaluasi umur pakai *drill* yang mempengaruhi biaya. Upaya yang bisa dilakukan untuk melakukan perbaikan untuk mencapai sesuatu yang lebih baik pada ini bisa dilakukan dengan *Design of Experiment* (DOE). Dengan DOE faktor dalam proses yang sudah ada bisa dicari kondisi optimalnya. DOE yang digunakan diantaranya adalah 2^k *factorial design* dan *response surface*. Kondisi proses yang optimal yaitu umur pakai yang diatas standar (1 *drill* digunakan lebih dari 1500 unit) ini selanjutnya berpengaruh pada biaya yang akan optimal juga.

Kata kunci :

2^k *factorial design*, *response surface*, umur pakai *drill*

ABSTRACT

Name : Agus Supriyono
Major/Program : Industrial Engineering
Final Task Topic : Extending Tool Life of Drill Ø5.5 Carbide D101048 on CNC Tapping Center Machines Type Fanuc α -T14iC with Design Of Experiment Method to Produce Component Crank Case Type 125 in the X Company

To survive in the competitive world of motorcycle industry needed a big creativity. In the company of every department must conduct an evaluation of all factors that allow for improvement. One is a drill, should be evaluated tool life of drill which affects the cost. Efforts can be conducted to make improvements to achieve something better can be done with Design of Experiment (DOE). With DOE, the factors existing in the process can be found optimal conditions. DOE used include 2^k factorial design and response surface. Optimum process condition where is the tool life above the standard (a drill used more than 1500 units) was subsequently affects the costs to be optimal as well.

Keywords :

Factorial Design, Response Surface and Tool Life of Drill.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PENGESAHAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Diagram Keterkaitan	9
1.3 Perumusan Masalah.....	10
1.4 Tujuan Penelitian	10
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	10
1.6 Metodologi Penelitian	12
1.7 Sistematika Penulisan.....	14
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 <i>Design of Experiment (DOE)</i>	15
2.1.1 Pengertian <i>Design of Experiment (DOE)</i>	15
2.1.2 <i>Factorial Design</i>	18
2.1.2.1 Pengertian <i>Factorial Design</i>	18
2.1.2.2 Pengertian 2^k <i>Full Factorial Design</i>	19
2.1.2.3 <i>Blocking</i> dalam 2^k <i>Factorial Design</i>	21
2.1.3 <i>Response Surface</i> dengan <i>Central Composite Desig</i>	23
2.1.4 <i>Response Optimization</i>	28
2.1.5 Cara Mengenali Faktor Proses yang Signifikan dari Tabel ANOVA Minitab dengan <i>P Value</i> atau <i>F-Test</i>	29
2.1.6 Uji Kecukupan Data.....	30
2.1.7 ANOVA (<i>Analysis of Variance</i>)	31
2.1.7.1 <i>One Way ANOVA</i>	32
2.2 <i>Drilling</i>	33
2.3 Efek Parameter Proses pada Umur Alat Potong (<i>Cutting Tools</i>).....	35
BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	40
3.1 Gambaran Umum Perusahaan	40
3.1.1 Tipe Bebek.....	40
3.1.2 Tipe Otomatis/Skutik	41
3.1.3 Tipe <i>Sport</i>	41
3.2 Seksi <i>Machining Crank Case</i>	42
3.2.1 SIPOC Diagram	44

3.2.2 Stasiun OP3 (Operasi Ketiga) di <i>Machining Crank Case</i>	45
3.3 Desain dan Pelaksanaan Penelitian di Stasiun OP3	51
3.3.1 Pengambilan Data di Lapangan	55
3.3.1.1 Pengambilan Data DOE dengan <i>2k Factorial Design</i>	55
3.3.1.2 Pengambilan Data DOE dengan <i>Response Surface</i>	63
BAB 4 ANALISIS DATA	68
4.1 Analisis dengan <i>2^k full factorial</i>	68
4.1.1 <i>Plot</i> Pengaruh Faktor Terhadap Umur Tool <i>Drill</i>	71
4.1.2 Uji Kecukupan Data	74
4.2 <i>Response Surface</i> dengan <i>Central Composite Design</i> (RSM-CCD)	76
4.2.1 Analisis <i>Contour Plot</i>	77
4.3 ANOVA antara <i>Drill</i> Dengan Dipotong Pendek dengan <i>Drill</i> dari <i>Maker Drill</i> Sudah Dibuat Pendek untuk Mengetahui Efek Terhadap Umur Pakai <i>Drill</i>	80
4.4 Analisa Penerapan Hasil DOE untuk Aplikasi ke Lapangan (<i>Quality</i> , <i>Cost</i> , <i>Delivery</i>).....	82
4.4.1 Analisa dari Aspek <i>Quality</i> (Kualitas).....	82
4.4.2 Analisa dari Aspek <i>Cost</i> (Biaya)	82
4.4.3 Analisa dari Aspek <i>Delivery</i> (Kapasitas Produksi).....	84
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
5.1 <i>Kesimpulan</i>	87
5.2 <i>Saran</i>	88
DAFTAR REFERENSI	89
LAMPIRAN	90

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Komposisi Biaya Seksi <i>Machining Crank Case</i> Tahun 2009.....	2
Tabel 1.2	Lima Besar Penyumbang Biaya Terbesar Dari <i>Cutting Tool</i> Tahun 2009.....	3
Tabel 1.3	Konsumsi <i>Tool Drill</i> Ø5.5 Tungaloy D101048 Tahun 2008 s/d 2009.....	4
Tabel 2.1	Contoh Perhitungan untuk ANOVA 2^3 <i>Factorial Design</i>	20
Tabel 2.2	Tabel untuk Perhitungan untuk Tabel ANOVA 2^k <i>Factorial Design</i>	21
Tabel 2.3	Tabel untuk Perhitungan untuk Tabel ANOVA 2^k <i>factorial design</i> dengan <i>Block</i>	22
Tabel 2.4	Tabel Desain <i>Treatment</i> pada ANOVA.....	32
Tabel 2.5	Tabel Rumus Perhitungan pada Hasil ANOVA.....	33
Tabel 3.1	Spesifikasi Mesin yang Dipakai Percobaan.....	48
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Tool</i> yang Dipakai Percobaan.....	49
Tabel 3.3	Kandungan Kimia pada Aluminium ADC-12 (JIS).....	49
Tabel 3.4	Tabel Faktor dan Level yang dipakai untuk 2^4 <i>Factorial Design</i>	56
Tabel 3.5	Tabel <i>Run</i> Kombinasi Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 <i>Factorial</i> <i>Design</i>	57
Tabel 3.6	Tabel <i>Run</i> Kombinasi Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 <i>Factorial Design</i>	58
Tabel 3.7	Tabel Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 <i>Factorial Design</i>	58
Tabel 3.8	Tabel Percobaan yang Dipakai untuk CCD <i>Response Surface</i>	63
Tabel 3.9	Tabel <i>Run</i> Kombinasi Percobaan yang dipakai untuk <i>Response</i> <i>Surface Central Composite Design</i>	64
Tabel 3.10	Tabel Data Percobaan yang Dipakai untuk <i>Response Surface</i> <i>Central Composite Design</i>	65
Tabel 4.1	Tabel Data Lapangan Analisis <i>Drill</i> Panjang 85 mm Pemotongan dibandingkan dengan 85 mm <i>Original</i>	81
Tabel 4.2	Tabel Analisis Biaya Adanya Pemotongan pada <i>Drill</i>	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik Komposisi Biaya Seksi <i>Machining Crank Case</i> Tahun 2009	3
Gambar 1.2	Grafik Pareto 5 Besar <i>Tool</i> Berdasar Beban seksi <i>M/C Crank Case</i> Tahun 2009.....	3
Gambar 1.3	Contoh Komponen Jadi <i>Crank Case</i> dan 15 lubang Ø 5.5 Hasil Proses <i>Drill</i>	5
Gambar 1.4	Mesin CNC Fanuc <i>Tapping Center</i>	5
Gambar 1.5	Penempatan Benda Kerja <i>Crank Case</i> Unit pada mesin CNC Fanuc <i>Tapping Center</i>	6
Gambar 1.6	Bagian Dalam Mesin CNC Fanuc <i>Tapping Center</i> Tanpa Cover Mesin	6
Gambar 1.7	Bagian Luar Mesin CNC Fanuc <i>Tapping Center</i> Tampak Depan dan Belakang.....	7
Gambar 1.8	Diagram Keterkaitan Masalah.....	9
Gambar 1.9	Metodologi Penelitian.....	13
Gambar 2.1	Contoh Tampilan ANOVA dari hasil Minitab.....	19
Gambar 2.2	Contoh <i>Blocking</i> dalam 2^k <i>Factorial Design</i>	22
Gambar 2.3	Contoh CCD dengan 3 faktor.....	23
Gambar 2.4	Contoh <i>Cube Point</i> CCD.....	24
Gambar 2.5	Contoh <i>Axial Point</i> CCD.....	24
Gambar 2.6	Contoh <i>Center Point</i> CCD	25
Gambar 2.7	Contoh <i>Contour Plot</i>	26
Gambar 2.8	Contoh <i>Surface Plot</i>	26
Gambar 2.9	Contoh <i>Surface Plot</i> dan <i>Contour Plot</i>	27
Gambar 2.10	Gambar Hasil Minitab ANOVA 2^k <i>Factorial Design</i> untuk	27
Gambar 2.11	Gambar Tabel Rumus untuk Mencari Variabilitas pada ANOVA..	32
Gambar 2.12	Proses <i>Drilling</i>	34
Gambar 2.13	Gambar <i>Drill</i>	34
Gambar 2.14	Detail Bagian Pemotongan Pada Alat Potong	37
Gambar 2.15	<i>Nose Radius</i> pada Alat Ootong (bubut)	38
Gambar 3.1	Motor Bebek.....	40
Gambar 3.2	Motor Skutik.....	41
Gambar 3.3	Motor <i>Sport</i>	41
Gambar 3.4	<i>Flow Process</i> Pembuatan Sepeda Motor	42
Gambar 3.5	<i>Lay Out Line</i> 1 seksi <i>Machining Crank Case</i> Tipe Bebek 125 cc...43	
Gambar 3.6	<i>Lay Out Line</i> 2 seksi <i>Machining Crank Case</i> Tipe Bebek 125 cc...44	
Gambar 3.7	SIPOC Diagram	45
Gambar 3.8	Mesin CNC Fanuc <i>Tapping Center</i>	46
Gambar 3.9	Lokasi <i>Tool Drill</i> Ø5.5 D101048 di <i>Turret Magazine</i> pada Mesin CNC Fanuc <i>Tapping Center</i>	47
Gambar 3.10	<i>Tool Drill</i> Ø5.5 D101048.....	47
Gambar 3.11	<i>Tool Drill</i> Ø5.5 D101048 saat Terpasang pada <i>Holder</i>	48
Gambar 3.12	Contoh Komponen Jadi <i>Crank Case</i> kiri dan 15 Lubang Ø 5.5 Hasil Proses <i>Drill</i>	50

Gambar 3.13 Detail 15 Lubang Ø 5.5 Hasil Proses <i>Tool Drill</i>	50
Gambar 3.14 <i>Tool Drill</i> Ø5.5 D101048 Panjang 105 mm dan 85 mm.....	53
Gambar 3.15 Skala Pemeriksa Alat Ukur <i>Persentase Coolant</i> dalam air saat penunjukan maksimum (warna putih), Skala pemeriksa alat ukur persentase <i>coolant</i> dalam air saat penunjukan 0%. (warna biru).....	54
Gambar 3.16 Alat Pemeriksa Kualitas <i>Tool Drill (Tool Presetter)</i>	55
Gambar 3.17 Desain Komposisi 2^4 <i>Factorial Design</i>	56
Gambar 3.18 Desain komposisi <i>Response Surface Central Composite Design</i>	63
Gambar 4.1 Hasil Pengolahan Data 2^4 <i>Factorial Design</i>	69
Gambar 4.2 Faktor vs Efek Hasil Pengolahan Data 2^4 <i>Factorial Design</i>	70
Gambar 4.3 <i>Plot Rata-Rata Data</i> pada Pengaruh Utama	71
Gambar 4.4 <i>Plot Interaksi rata-rata data</i> pada pengaruh interaksi dua faktor....	72
Gambar 4.5 <i>Cube Plot Rata-Rata Data</i>	74
Gambar 4.6 Hasil <i>Power and Sample Size</i> dengan Minitab 14.....	75
Gambar 4.7 Hasil <i>Normality Test</i> dengan Minitab 14	75
Gambar 4.8 Hasil <i>Response Surface Central Composite Design</i> dengan Minitab 14.....	77
Gambar 4.9 Hasil <i>Contour Plot</i> dari RSM-CCD dengan Minitab 14.....	78
Gambar 4.10 Hasil <i>Contour Plot</i> Interaksi F dan n dari RSM-CCD dengan Minitab 14	78
Gambar 4.11 Hasil <i>Contour Plot</i> Interaksi L dan n dari RSM-CCD dengan Minitab 14.....	79
Gambar 4.12 Hasil <i>Contour Plot</i> Interaksi L dan F dari RSM-CCD dengan Minitab 14.....	79
Gambar 4.13 Hasil <i>Response Optimization</i> dari RSM-CCD dengan Minitab 14.....	80
Gambar 4.14 Foto <i>Tool Drill</i> 85 mm dari <i>Maker</i> (Tanpa Pemotongan Tambahan)	80
Gambar 4.15 Hasil ANOVA Analisis <i>Tool Drill</i> Panjang 85 mm Pemotongan Dibandingkan dengan 85 mm <i>Original</i>	81

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Pada saat ini persaingan industri sangatlah ketat sehingga sangat membutuhkan kreativitas maupun usaha yang besar untuk bisa bertahan dalam iklim usaha saat ini. Dari elemen-elemen biaya yang menyumbang biaya produksi suatu produk maupun jasa harus dievaluasi, hal ini karena biaya produksi rendah adalah salah satu kunci persaingan usaha. Salah satunya adalah industri sepeda motor, dimana perusahaan ini sebagai perusahaan pembuat sepeda motor terbesar di Indonesia harus memiliki usaha untuk memenangkan persaingan usaha tersebut, salah satunya adalah dari segi biaya. Salah satunya adalah pada bagian produksi, bagian ini harus melakukan usaha agar mendapatkan biaya yang sesuai dengan standar yang ditetapkan pada saat awal proyek. Di perusahaan ini setiap bulan bagian *budget control* (akunting) melakukan pengontrolan terhadap elemen biaya strategis yang bisa dilihat melalui komputer terintegrasi (SAP), sehingga setiap barang-barang atau biaya yang digunakan untuk biaya produksi untuk pembuatan sepeda motor dapat dimonitor. Untuk mengurangi biaya produksi agar didapatkan penghematan yang efektif dan efisien diperlukan suatu kejelian dari masing-masing seksi produksi, hal ini adalah tugas dari kepala seksi dari masing-masing seksi produksi yang dipimpinya. Di perusahaan ini elemen biaya yang dikontrol oleh budget control itu dibagi menjadi : *consumable, cutting tools, tool and equipment, fuel lubricant*.

Perusahaan ini membagi elemen biaya dari barang pendukung per seksinya menjadi : *consumable, cutting tools, tool and equipment, fuel lubricant*. Barang *consumable* adalah kriteria barang-barang untuk pendukung produksi yang tergolong masa pakainya pendek dan kebutuhan penggantinya sering, barang-barang ini diantaranya : sarung tangan operator, apron, majun, sarung tangan karet, *masker*, kertas *checksheet*, dan lain-lain. *Cutting Tools* adalah kategori

barang yang merupakan alat potong yang digunakan untuk produksi komponen sepeda motor di perusahaan, diantaranya : *drill, reamer, tap, insert milling*, mata gergaji dan lain-lain. *Tool and Equipment* adalah barang-barang yang dipakai sebagai elemen pendukung produksi yang berupa *impact, holder, collet*, palu, palu plastik, dan lain-lain. *Fuel Lubricant* adalah barang-barang yang dipakai sebagai elemen pendukung produksi yang berupa minyak pelumas diantaranya oli hidrolik, oli pelumas mesin, dan *cutting fluid*.

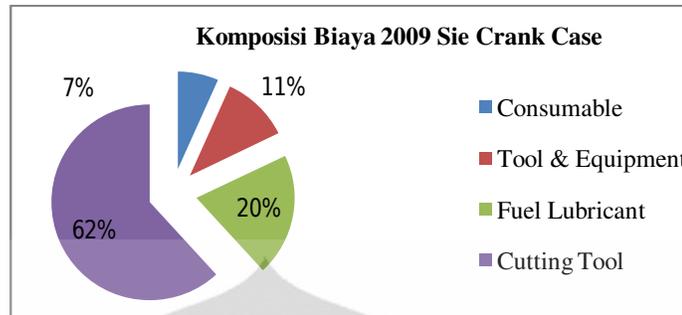
. Dalam penelitian ini dilakukan pada seksi *Machining Crank Case* tipe 125cc. Seksi *Machining Crank Case* ini memproduksi komponen bak mesin sepeda motor tipe bebek. *Line* produksi *machining crank case* ini terdiri dari 2 line dimana sebagian besar terdiri dari mesin-mesin *CNC Machining Center*. Seksi *machining crank case* mendapatkan input bahan mentah dari seksi *Die Casting* berupa *blank casting Crank Case R* dan *blank casting Crank Case L*. Bahan dari *blank casting crank case* ini adalah *aluminium alloy*.

Jeremy Laukkonen (2011) menjelaskan bahwa mesin *CNC (Computer Numerical Control)* adalah mesin manufaktur yang menggunakan komputer untuk mengotomatisasi berbagai peralatan mesin yang dapat digunakan untuk membuat spesifikasi bagian, komponen atau produk manufaktur lainnya.

Dari data di lapangan perusahaan berikut ini komposisi biaya dari keempat elemen biaya tersebut untuk seksi *Machining Crank Case* selama tahun 2009.

Tabel 1.1 Komposisi Biaya Seksi *Machining Crank Case* Tahun 2009

Elemen Cost	Total Biaya (Rp)
Consumable	245,822,394.00
Tool & Equipment	405,648,536.00
Fuel Lubricant	739,638,075.00
Cutting Tool	2,257,649,915.00



Gambar 1.1 Grafik Komposisi Biaya Seksi *Machining Crank Case* Tahun 2009

Dari tabel maupun grafik di atas terlihat bahwa *cutting tool* adalah penyumbang terbesar dari biaya seksi dalam pembuatan dan operasional dalam komponen *crank case*. Dari data tersebut kemudian didetailkan lagi sehingga diperoleh *pareto 5* besar penyumbang biaya dari *cutting tool* ini, lihat grafik dan tabel.

Tabel 1.2 Lima Besar Penyumbang Biaya Terbesar dari *Cutting Tool* Tahun 2009

Nama Tool	Total Biaya (Rp)
D 101048S - DRILL DRILL D5.5	980,972,235.00
T 441004S-TAP M6X1.0 HSSE OSG	151,472,288.00
C 203037 -INSERT TNGK 0872FL DIJET	104,242,419.00
T 441003S-TAP M6X1.0 LT-B-NRT 14933 OSG	103,324,952.00
C 3012S- INSERT TPGT090204L- W15	83,885,687.00

Gambar 1.2 Grafik Pareto 5 Besar *Tool* Berdasarkan Beban Seksi *M/C Crank Case* Tahun 2009

Dari data diatas penulis dapat menyimpulkan bahwa *drill* Ø 5.5 D101048 adalah penyumbang terbesar komponen biaya dari *cutting tool*, sehingga akan dilakukan analisis lebih lanjut terhadap konsumsi *tool* ini terhadap standar penggunaannya. Dari data SAP dapat diambil data sebagai berikut :

Tabel 1.3 Konsumsi *Drill* Ø5.5 Tungaloy D101048 Tahun 2008 sampai 2009

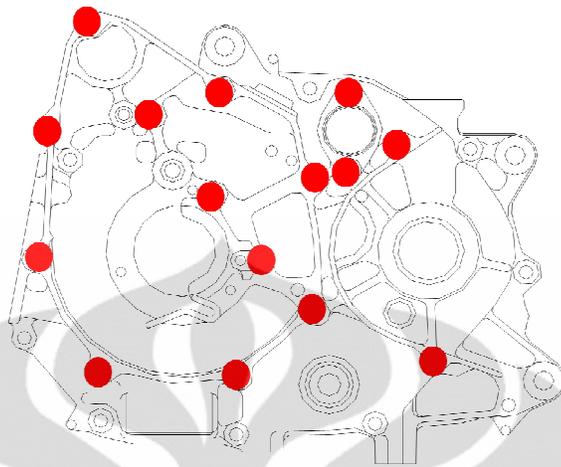
	keterangan	tahun 2008	tahun 2009
Produksi (unit)	= produksi unit seksi	464,421	564,311
pengambilan tool aktual (pcs)	=pengambilan sesuai SPB-	515	400
Standard Pengambilan Tool	=produksi/life time standar	309.6	376.2
life time std (set)	=300*5 kali pakai	1500	1500
life time actual (set)	=produksi/tool SPB-	901.79	1410.8
	Keterangan	Boros	Boros

Keterangan :

Boros = pengambilan *tool* melebihi kuota standar karena *tool* tidak mencapai umur (*life time* standar)

Dari tabel di atas disimpulkan bahwa konsumsi *drill* tersebut memang melebihi target, hal ini terlihat dari pengambilan *tool* tiap tahun yang selalu jauh melebihi standar pengambilan yang ditentukan. Oleh karena itu penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian dengan menggunakan *Design Of Experiment (DOE)* pada *drill* tersebut untuk mendapatkan umur pakai *drill* yang panjang dan kemudian diharapkan akan menurunkan biaya dari produksi sepeda motor bebek yang dihasilkan oleh perusahaan ini.

Drill Ø5.5 *Carbide* D101048 ini digunakan dalam mesin CNC seksi *Machining Crank Case* tipe 125cc pada stasiun OP3 (proses ke tiga di dalam *line* produksi). *Drill* ini digunakan untuk memproses 15 lubang pada *Crank Case L* (*left* atau kiri). Untuk melihat benda kerja yang diproses bisa dilihat pada gambar 1.3 berikut.



Gambar 1.3 Contoh Komponen Jadi *Crank Case* dan 15 Lubang $\text{Ø} 5.5$ Hasil Proses *Drill*

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin *CNC Tapping Center*, adapun gambarnya adalah seperti dibawah ini pada gambar 1.4.

Gambar 1.4 Mesin *CNC Fanuc Tapping Center*

Sumber : kkpcnc.com

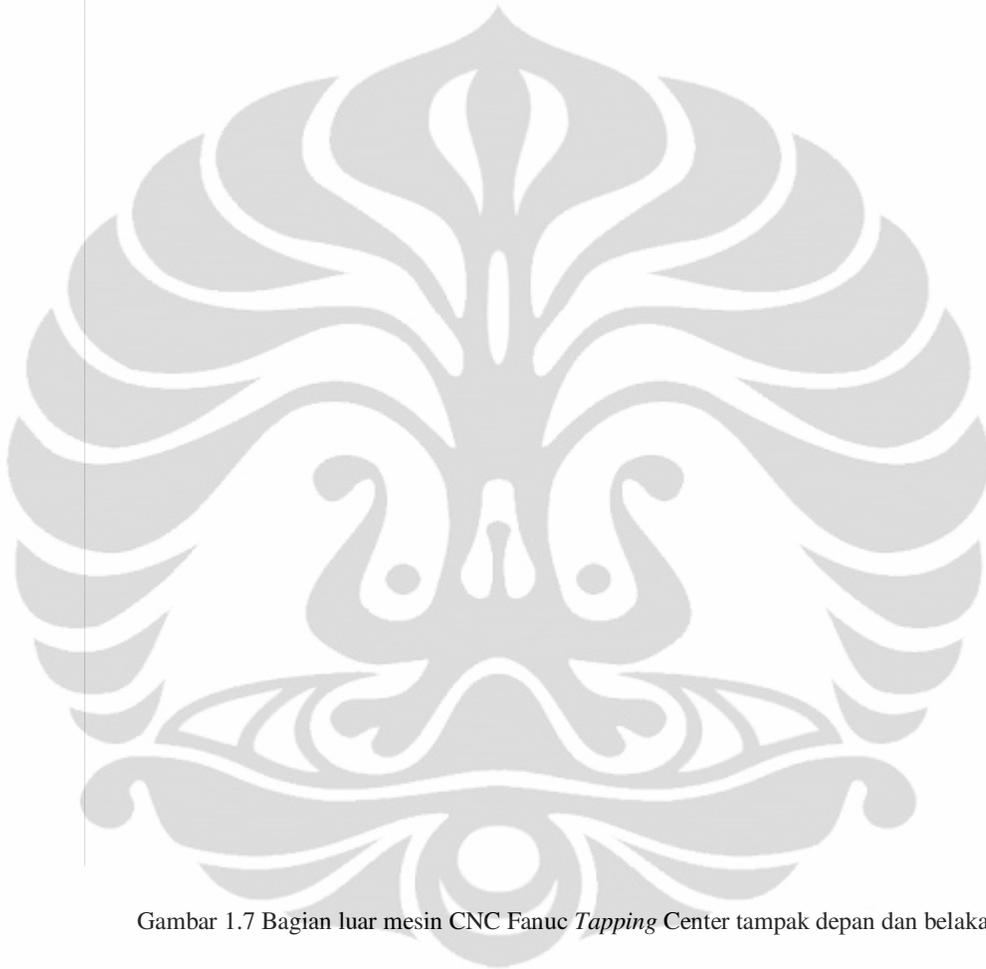
Untuk penempatan benda kerja di dalam mesin bisa dilihat pada gambar 1.5 berikut.



Gambar 1.5 Penempatan Benda Kerja *Crank Case Unit* pada mesin CNC Fanuc *Tapping Center*
Sedang detail bagian-bagian mesin bisa dilihat pada gambar 1.6 dan gambar 1.7.

Gambar 1.6 Bagian dalam mesin CNC Fanuc *Tapping Center* tanpa *cover* mesin

Sumber : Fanuc Manual Hand Book



Gambar 1.7 Bagian luar mesin CNC Fanuc *Tapping Center* tampak depan dan belakang

Sumber : Fanuc Manual Hand Book

Adapun mesin yang menggunakan *drill Ø5.5 D101048* ini adalah mesin CNC dengan spesifikasi teknis seputar penelitian yang digunakan :

Tipe Mesin : CNC Fanuc *Tapping Center a-T14iC*

Cairan Pendingin : *waterbase HOCUT 795*

Nama *Tool* : *Drill Ø 5.5 Tungaloy D101048*

Material *drill* : *carbide* tanpa *coating*
Material yang diproses : *Aluminium Alloy ADC-12, Crank Case R dan L*
dengan total 15 lubang

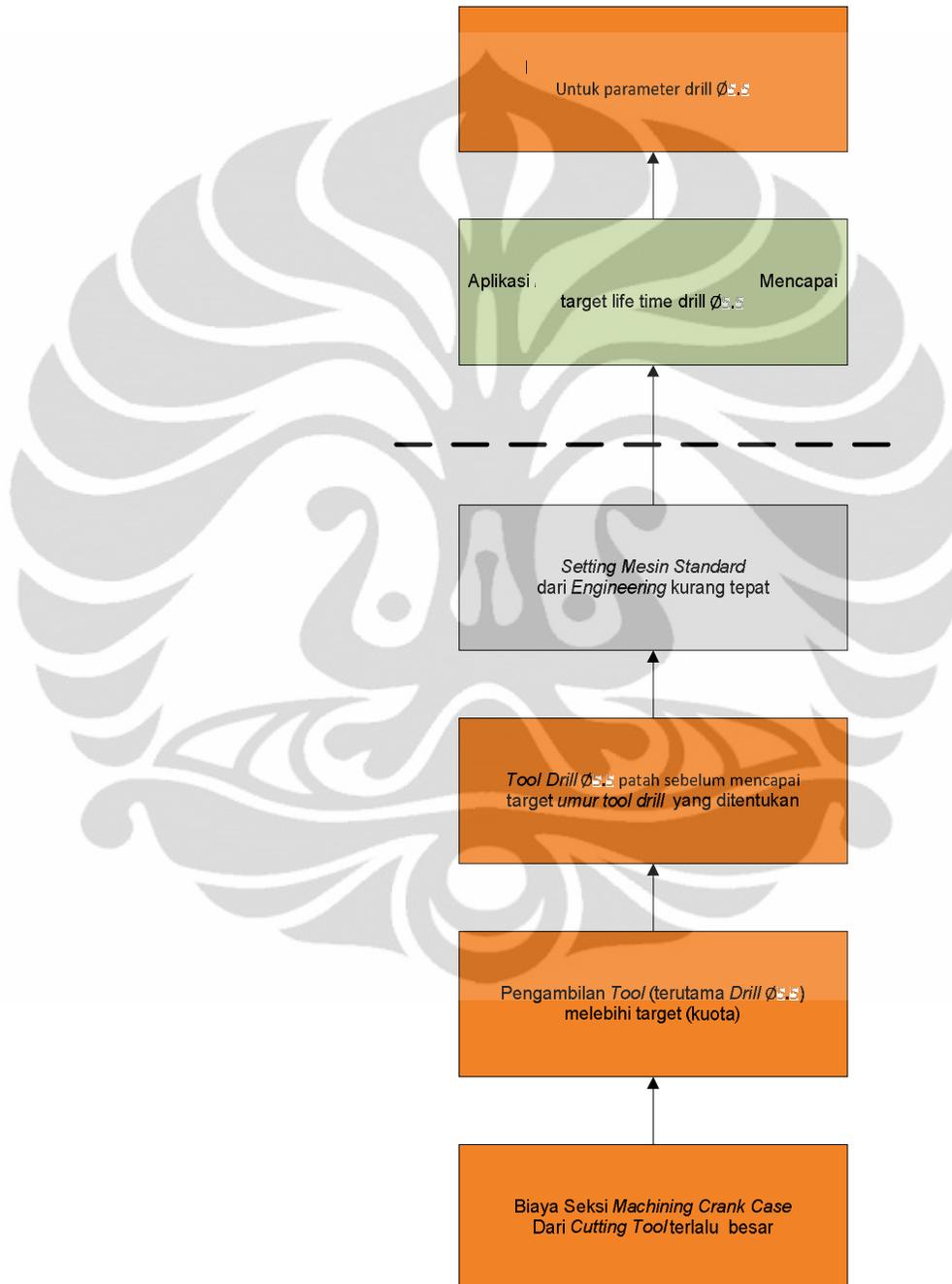
Menurut Juneja, B.L dan GS Sekhon Nitin Seth (2003), faktor-faktor yang mempengaruhi umur *tool* adalah sebagai berikut :

1. *Tool Material Property*
2. *Coating of Tool*
3. *Work Material*
4. *Speed, Feed and Depth of Cut*
5. *Tool Geometry*
6. *Cutting Fluid*
7. *Vibration Behavior of the Machine-Tool Work system*
8. *Interuption in the Cut*
9. *Built Up Edge*

Untuk itu maka akan dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh faktor-faktor yang mempengaruhi umur pakai *drill* tersebut sehingga akan didapatkan umur pakai *drill* terpanjang sehingga hal ini akan berpengaruh pada biaya produksi yang tentunya akan semakin rendah.

1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH

Masalah-masalah dalam penelitian ini digambarkan pada diagram keterkaitan masalah, yang ditampilkan pada gambar 1.3 berikut ini :



Gambar 1.8 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini ditujukan karena dari data lapangan diperoleh data bahwa biaya dari elemen *cutting tool* di seksi *Machining Crank Case* adalah yang terbesar. Setelah dilakukan analisa lebih lanjut diperoleh fakta bahwa *drill* Ø 5.5 D101048 menduduki urutan pertama penyumbang biaya. Hal ini dikarenakan pengambilan *drill* yang selalu melebihi kuota yang ditentukan/standar yang disebabkan *tool* patah sebelum mencapai umurnya. Umur *pakai drill* ini tidak pernah mencapai standar umur yang ditentukan oleh bagian *engineering*. Yang menjadi pertanyaan adalah apakah Standar Seting Mesin yang diberikan oleh pihak *engineering* sudah tepat.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi umur pakai *drill* Ø 5.5 *carbide* D101048 untuk pembuatan komponen *Crank Case* sepeda motor tipe 125 pada mesin CNC *Fanuc Tapping Center α-T14iC* di seksi *Machining Crank Case* pada perusahaan produsen sepeda motor, dan selanjutnya akan dilakukan perbaikan sehingga nantinya akan didapatkan umur pakai *drill* yang lebih panjang. Umur pakai *drill* yang lebih panjang ini selanjutnya akan menyebabkan pengambilan bulanan *drill* yang lebih sedikit yang pada akhirnya nanti akan mengurangi biaya operasional atau produksi dari seksi *Machining Crank Case*.

1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup pada penelitian ini, penulis mengambil studi kasus pada area seksi *Machining Crank Case* pada perusahaan produsen sepeda motor yang berlokasi di Jakarta, dan data yang digunakan adalah data yang ada pada bagian tersebut. Penelitian ini difokuskan pada area seksi *Machining Crank Case* dimana pekerjaan itu meliputi proses pemesinan dengan menggunakan mesin *Fanuc Tapping Center α-T14iC* pada stasion OP3 yaitu proses pembuatan lubang dan salah satunya terdapat proses pembuatan lubang Ø 5.5 untuk awalan proses *TAP* M6x1 di stasiun selanjutnya. Proses pelubangan Ø 5.5 di stasiun ini terdiri dari 15 lubang untuk tiap unit komponen *crank case* ini.

Dari faktor-faktor yang mempengaruhi umur *tool* di bagian latar belakang masalah di bab ini, hanya diambil faktor seperti di bawah ini:

1. *Speed, Feed and Depth of Cut*, dalam program *G Code* CNC ditunjukkan dengan :

a. $S = n$ (rpm) dan

b. F (*Feed Rate*) dengan satuan mm/menit (millimeter per menit)

2. *Tool Geometry*, dalam penelitian ini penulis mengambil pengaruh faktor panjang *tool*, panjang *tool* ini dalam satuan mm (millimeter).

3. *Cutting Fluid*, dalam penelitian ini penulis meneliti pengaruh persentase *coolant* dalam air, di mesin yang akan dilakukan penelitian ini menggunakan *waterbase coolant* sebagai pendingin dalam *tool* (*through coolant*).

Untuk faktor *tool material* tidak digunakan sebagai faktor dalam analisis ini karena analisis ini bertujuan untuk mendapatkan parameter yang lebih baik dari *drill* yang telah ada karena umur pakai *drill* saat ini yang tidak pernah mencapai standar yaitu 1500 unit, sehingga alternatif penggunaan *material tool* yang lain tidak diperlukan. Untuk faktor *coating of tool* tidak digunakan sebagai faktor dalam analisis ini karena *drill* yang dipakai yaitu *drill Ø 5.5 carbide D101048* tidak menggunakan lapisan *coating*. Untuk faktor *work material* tidak digunakan sebagai faktor dalam analisis ini karena material yang dipakai pada benda kerja menggunakan sesuai produk komponen sesuai standar yang dipakai untuk produksi massal yang ada saat ini yaitu Aluminium Alloy ADC-12. *Vibration Machine Tool System* juga tidak disertakan dalam perhitungan ini karena pihak *Engineering* telah memasukkannya dalam *preventive maintenance sheet* mereka. Untuk *interruption in the cut* tidak dipakai dalam proses ini karena proses ini menggunakan *drilling* dan yang biasanya menggunakan system ini adalah proses bubut, oleh karena itu faktor ini tidak dipakai sehingga diabaikan. *Built Up Edge* yaitu proses penempelan material pada alat potong yang selanjutnya akan menjadi mata potong palsu pada proses pemotongan tidak diperhitungkan karena dalam pemeriksaan 100% dalam 300 *counter* (tiap penajaman) tidak ditemukan adanya

built up edge pada *drill* ini. Untuk faktor berpotensi yang lain seperti alat ukur saat penajaman *drill* tidak diperhitungkan karena alat ukur yang dipakai hanya satu buah. *Drill* yang digunakan setiap 300 *counter* selalu diproses penajaman dengan menggunakan mesin CNC *Grinding* secara otomatis. Setiap *tool* yang datang dari *supplier tool* atau setelah diproses penajaman selalu diperiksa 100% dengan alat ukur *Tool Preseter*. Proses penajaman ini dilakukan oleh bagian *Tool Center*. Untuk faktor manusia sudah dimasukkan dalam *blocking* dalam analisa *factorial design* dimana manusia sebagai bagian dari *blocking* mesin tersebut. Hal ini karena mesin tersebut dioperasikan oleh orang yang berbeda.

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

- Mengidentifikasi Masalah

Bagaimana meningkatkan umur pakai *drill* Ø 5.5 D101048 pada seksi *Machining Crank Case* pada perusahaan produsen sepeda motor yang berlokasi di Jakarta, sehingga didapat umur yang lebih panjang sehingga pengambilan bulanan *drill* menjadi lebih sedikit yang pada akhirnya akan didapat keuntungan lebih besar bagi perusahaan.

- Melakukan Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar saat penelitian menggunakan metode yang benar dan menggunakan faktor-faktor yang tepat. Metode yang akan digunakan adalah *Design Of Experiment dengan menggunakan 2k full factorial design* serta buku-buku yang berkaitan dengan *cutting tool*.

- Menentukan objek penelitian

Menentukan hal-hal yang akan diteliti sesuai literatur yang dipakai.

- Melakukan Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk memahami dan mengetahui kondisi nyata proses di lapangan yang selanjutnya akan ditentukan desain DOE yang akan dipakai pada penelitian.

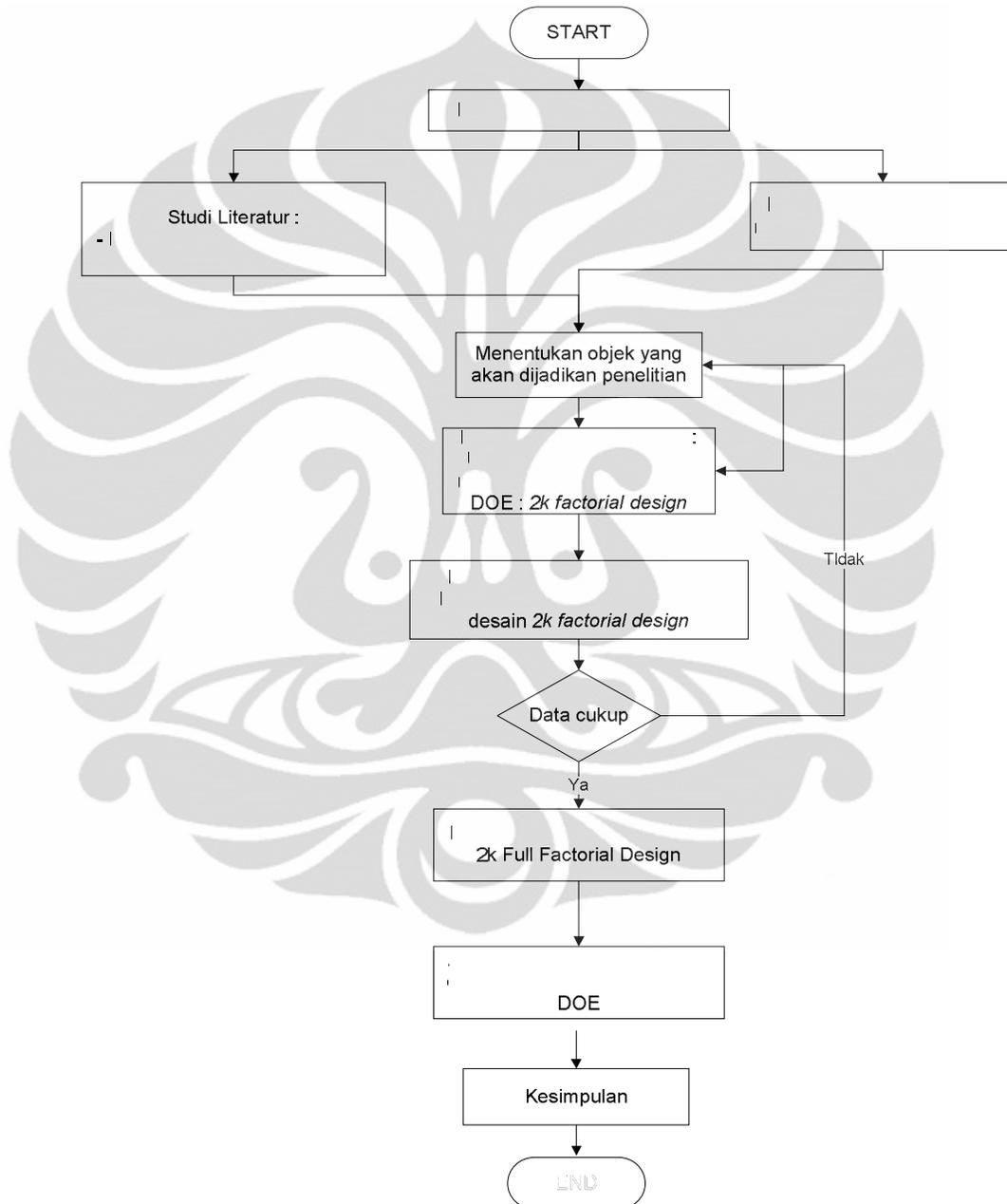
- Melakukan Pengumpulan Data

Melakukan pengambilan data dari lapangan sesuai desain DOE yang telah ditentukan.

- Analisa Data

Data yang sudah terkumpul akan diolah dan dianalisa, untuk mengetahui bagaimana kondisi aktual dan untuk menentukan kondisi selanjutnya.

- Kesimpulan



Gambar 1.9 Metodologi Penelitian

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Pembahasan penelitian ini terbagi atas beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut :

Diawali dengan bab 1 yaitu pendahuluan yang merupakan pengantar penelitian. Pada bagian ini akan dijelaskan latar belakang penelitian, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Penjelasan mengenai alasan digunakannya pendekatan *Design of Experiment* dengan *2k full factorial design* dan metode penerapannya dalam upaya meningkatkan umur pakai *drill* ini akan dijelaskan pada bab 2 yaitu Dasar Teori.

Bab selanjutnya yaitu bab 3, Pengumpulan dan Pengolahan Data, pada bab ini akan diperlihatkan setiap tahapan yang dilalui selama proses, metode apa saja yang akan digunakan sehingga memberikan gambaran kondisi aktual.

Bab selanjutnya yaitu bab 4, akan menjelaskan bagaimana data dianalisis sampai dengan pembuatan rencana implementasi dan mengambil kesimpulan dari kondisi aktual yang sudah dijelaskan pada bab 3. Sedangkan Bab terakhir yaitu bab 5 akan menyimpulkan hasil yang didapat dari penelitian di lapangan serta menyampaikan hambatan-hambatan dan keterbatasan yang terjadi saat penelitian, sehingga harapannya bisa digunakan untuk acuan penelitian selanjutnya.

BAB 2

TEORI PENUNJANG

2.1 *Design of Experiment (DOE)*

2.1.1 Pengertian *Design of Experiment (DOE)*

Stagliano, Agustine A. (2004) mengatakan bahwa DOE (*design of experiment*) adalah metodologi terstruktur yang memberi kita mekanisme untuk mengamati bagaimana *output* sebuah proses dipengaruhi oleh perubahan tertentu yang kita ciptakan dalam pengaturan *input* proses.

Menurut Montgomery, Douglas C. (2005) dalam melaksanakan *Design of Experiment* menggunakan urutan sebagai berikut ini yaitu:

1. Pernyataan Masalah

Hal ini kelihatannya adalah hal yang mudah, akan tetapi dalam kenyataannya terjadi kesulitan untuk mengetahui bahwa apakah sebuah masalah itu memerlukan eksperimen. Untuk itu diperlukan beberapa masukan tentang tujuan dari eksperimen ini. Bahkan terkadang penting untuk mengumpulkan masukan dari bagian yang terkait seperti *engineering, quality assurance, manufacturing, marketing, manajemen, customer* dan orang yang terlibat langsung (orang yang biasanya banyak wawasan akan tetapi sering diabaikan). Karena alasan tersebut maka membuat desain eksperimen direkomendasikan dalam bentuk kelompok.

2. Pemilihan Variabel Respon

Dalam memilih variabel respon, *experimenter* seharusnya yakin bahwa variabel ini benar-benar memberikan informasi yang berguna tentang proses yang dipelajari. Paling sering adalah data rata-rata standar deviasi dan karakteristik yang akan dijadikan variabel respon.

3. Pemilihan faktor, level dan *range* (urutan 2-3 bisa dilakukan serentak atau terbalik)

Saat mempertimbangkan bahwa faktor mempengaruhi proses atau sistem, *experimenter* biasanya mengetahui bahwa faktor tersebut akan dapat diklasifikasikan menjadi faktor yang potensial untuk penelitian atau pengganggu (*nuisance*). Faktor yang potensial terhadap penelitian adalah faktor-faktor yang menurut *experimenter* bisa berpengaruh dalam eksperimen.

4. Memilih Desain Ekperimen

Pilihan desain terdiri dari jumlah sampel (jumlah replikasi dalam penelitian), pemilihan *run order* yang tersedia untuk percobaan eksperimen, menentukan adakah *blocking* atau tidak dalam eksperimen. Banyak sekali tipe desain eksperimen yang tersedia untuk desain eksperimen ini. Terdapat beberapa *software* statistik interaktif yang mendukung untuk langkah ini.

5. Melakukan Ekperimen

Dalam tahap ini kita melakukan eksperimen, pada tahap ini penting untuk memonitor proses dengan hati-hati untuk memastikan bahwa penelitian ini sesuai dengan rencana. Kesalahan dalam prosedur dalam langkah ini akan merusak validitas dari penelitian ini. Coleman dan Montgomery (1993) menyarankan untuk mengadakan sedikit percobaan trial atau *pilot* percobaan yang mungkin akan membantu percobaan. Percobaan trial ini memberikan informasi tentang konsistensi material yang diekperimen, sebuah pemeriksaan sistem pengukuran, perkiraan kasar tentang ekperimental error, dan kesempatan untuk berlatih teknik eksperimental keseluruhan. Hal ini juga memberikan kesempatan untuk meninjau ulang keputusan yang telah dibuat pada langkah 1 sampai 4.

6. Melakukan Analisa Statistik terhadap Data Hasil Ekperimen

Metode statistik harus digunakan untuk menganalisa data sehingga hasil dan kesimpulannya lebih obyektif daripada pengambilan keputusan biasa. Seandainya percobaan didesain dari awal dengan

benar dan seandainya dilakukan menurut desain tersebut, maka metode statistik tidaklah sulit. Terdapat beberapa paket *software* yang sangat baik untuk analisa data, dan program tersebut digunakan juga dalam tahap 4 yaitu memilih desain eksperimen yang akan kita pakai sehingga lebih mudah dan akan langsung dilanjutkan dengan analisis statistik, selain menghasilkan *graphical method* juga dihasilkan *empirical method*. Selain itu juga terdapat analisa *residual* dan uji kecukupan data yang juga merupakan teknik penting. Perlu diingat bahwa metode statistik tidak dapat membuktikan bahwa faktor mempunyai efek tertentu. Mereka hanya memberikan pedoman mengenai reliabilitas dan validitas hasil. Keuntungan tambahan dari metode statistik ini adalah lebih obyektif. Teknik statistik digabung dengan teknik atau pengetahuan proses lain dan pengalaman akan membantu dalam mengambil kesimpulan.

7. Pengambilan Kesimpulan dan Rekomendasi

Setelah dilakukan analisis data maka peneliti harus mengambil kesimpulan untuk langkah lanjutan.

2.1.2 Factorial Design

2.1.2.1 Pengertian Factorial Design

Menurut Montgomery, Douglas C.(2005) banyak eksperimen yang mempelajari pengaruh dari dua atau lebih faktor. Secara umum, *factorial design* paling efisien untuk eksperimen khususnya *Design of Experiment*. Dengan *factorial design* penyelesaian percobaan atau replikasi dari semua percobaan pada semua kombinasi yang mungkin sesuai yang kita maksud dapat diinvestigasi pada semua level.

Kita sering menggunakan rancangan faktorial (*factorial design*) untuk menentukan pengaruh yang dialami oleh dua faktor atau lebih dalam suatu proses. Semua interaksi yang mungkin terjadi antara faktor dan level faktor berpengaruh dalam eksperimen dan memungkinkan kita untuk menilai, baik pengaruh utama maupun pengaruh interaksi. Pengaruh utama adalah pengaruh kepada variabel respon yang dihasilkan karena mengubah pengaturan sebuah variabel *input*. Pengaruh interaksi adalah pengaruh pada variabel respon yang dihasilkan karena kombinasi dua variabel *input* atau lebih. Contoh-contoh variabel proses *input* (faktor) adalah tekanan, temperatur, jenis bahan, kecepatan, lokasi, kelembaban dan sebagainya. Contoh-contoh variabel *output* (respon) adalah persen hasil, berat, ketebalan, panjang, siklus waktu proses dan sebagainya.

Stagliano, Augustine A. (2004) mengatakan bahwa dalam DOE digunakan istilah sebagai berikut :

- a. Respon adalah variabel output yang sedang diteliti.
- b. Faktor adalah variabel input yang sedang dikontrol dan dipercaya memiliki pengaruh yang dapat diukur pada respon.
- c. Level adalah besarnya sebuah faktor kuantitatif (misal 25°C versus 50°C) atau atribut faktor kualitatif (misalnya kertas dibandingkan dengan plastik). Level disebut juga *setting* (pengaturan).
- d. Perlakuan (*runs*) adalah kombinasi yang nyata antara faktor dan level.

- e. Replikasi adalah pengulangan sebuah perlakuan ekperimental. Replikasi harus independen dan harus diproduksi dalam keadaan yang mirip dengan perlakuan yang sebenarnya.

2.1.1.2 Pengertian 2^k Full Factorial Design

Menurut Montgomery, Douglas C (2005) salah satu yang dipakai dalam *factorial design* adalah 2^k full factorial design. Dalam 2^k full factorial design yang terpenting adalah adanya k factor dengan hanya masing-masing dua level. Sebuah desain membutuhkan $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observasi yang disebut 2^k factorial design. Karena hanya menggunakan dua level pada tiap-tiap faktor, maka kita beranggapan bahwa respon atau pengaruh kira-kira membentuk garis lurus diantara level dari faktor yang kita pilih. Setelah keluar hasil asumsi tadi, selanjutnya kita harus melanjutkan dengan metode untuk menguji asumsi tersebut yaitu salah satunya dengan *response surface model*.

Dalam 2^k full factorial design, setiap faktor eksperimental hanya memiliki dua tingkat. Eksperimen dilakukan mencakup semua kombinasi level faktor. Meskipun desain faktorial dua tingkat tidak dapat menjelajahi sepenuhnya suatu daerah *range* faktor, mereka memberikan data informasi yang lebih fokus per faktor. Karena 2^k full factorial design dapat menunjukkan pengaruh utama, kita dapat menggunakannya untuk bahan acuan untuk eksperimen yang lebih lanjut. Menurut Montgomery, Douglas C (2005) ketika kita perlu untuk lebih menjelajahi wilayah dimana kita yakin setelan optimal mungkin muncul, kita dapat meningkatkan analisa 2^k factorial design untuk membentuk *Central Composite Design (Response Surface Methode)*.

Hasil analisa 2^k full factorial design menghasilkan keluaran berupa tabel ANOVA dan *plot* yaitu *plot main effect* dan *plot* interaksi diantara faktor dan level. Pada tabel berikut disampaikan contoh perhitungan untuk perhitungan ANOVA pada 2^3 full factorial design.

Tabel 2.1 Perhitungan untuk Tabel ANOVA 2^3 Factorial Design

Sumber : Design and Analysis of Experiment 6th Edition

Untuk contoh hasil tampilan hasil ANOVA adalah bisa dilihat pada gambar 2.1 berikut ini.

Analysis of Variance for Days					
Source	DF	SS	MS	F	P
Temp	1	66.667	66.667	60.00	0.000
Surgproc	2	256.000	128.000	115.20	0.000
Temp*Surgproc	2	5.333	2.667	2.40	0.119
Error	18	20.000	1.111		
Total	23	348.000			

Gambar 2.1 Contoh Tampilan ANOVA

Sedangkan untuk 2^k full factorial design dapat mengacu pada tabel 2.2 berikut ini.

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom
<i>k</i> main effects		
<i>A</i>	SS_A	1
<i>B</i>	SS_B	1
⋮	⋮	⋮
<i>K</i>	SS_K	1
$\binom{k}{2}$ two-factor interactions		
<i>AB</i>	SS_{AB}	1
<i>AC</i>	SS_{AC}	1
⋮	⋮	⋮
<i>JK</i>	SS_{JK}	1
$\binom{k}{3}$ three-factor interactions		
<i>ABC</i>	SS_{ABC}	1
<i>ABD</i>	SS_{ABD}	1
⋮	⋮	⋮
<i>IJK</i>	SS_{IJK}	1
⋮	⋮	⋮
$\binom{k}{k}$ <i>k</i> -factor interaction		
<i>ABC ⋯ K</i>	$SS_{ABC \cdots K}$	1
Error	SS_E	$2^k(n - 1)$
Total	SS_T	$n2^k - 1$

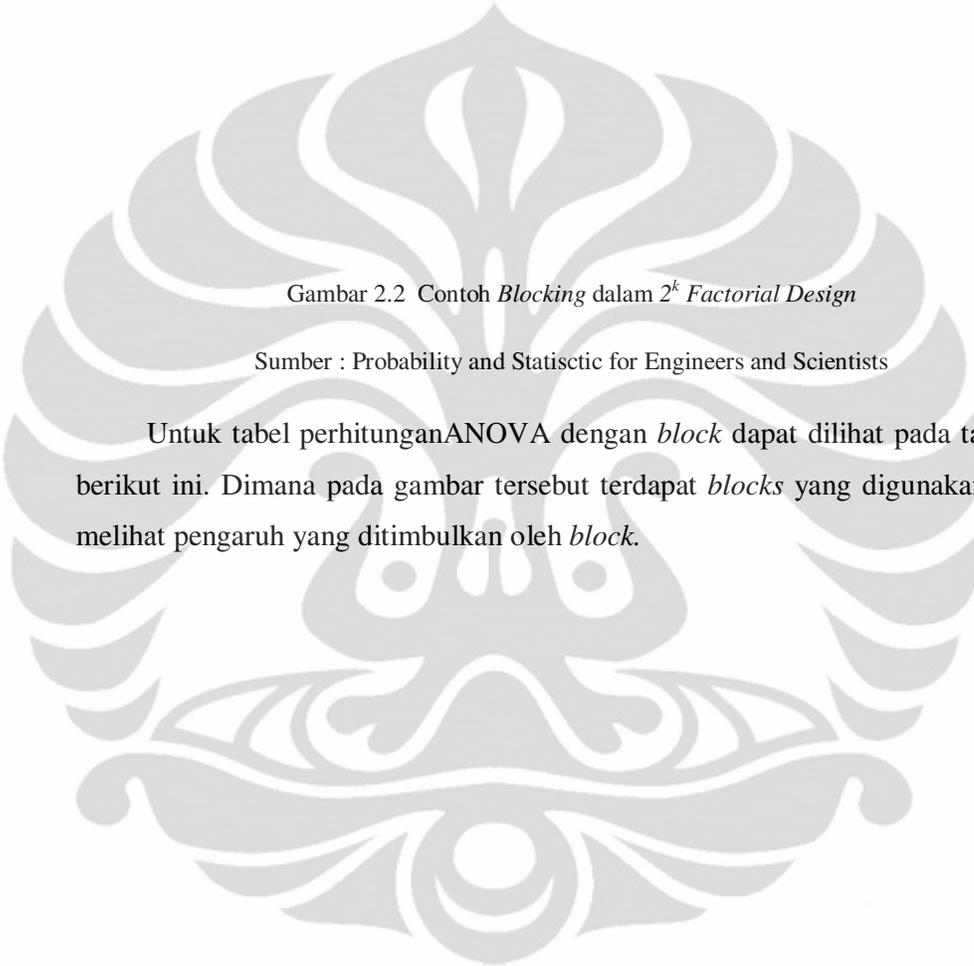
Tabel 2.2 Tabel untuk Perhitungan untuk Tabel ANOVA 2^k Factorial Design

Sumber : Design and Analysis of Experiment 6th Edition

2.1.2.3 Blocking dalam 2^k Factorial Design

Dalam banyak situasi adalah tidak mungkin untuk menjalankan semua *run* percobaan pada 2^k factorial design dalam kondisi yang *homogen*. Desain pada kondisi ini adalah disebut dengan *blocking*. *Blocking* dapat mengurangi pengaruh faktor pengganggu yang ada pada eksperimen yang kita lakukan, dan seharusnya *experimenter* harus selalu mempertimbangkan pengaruh faktor pengganggu yang potensial, dan jika ada keraguan maka harus dilakukan *blocking* dalam eksperimen. Gambar 2.2 dibawah ini contoh perlakuan *blocking* dalam percobaan eksperimen

yang dilakukan dalam tiga *block*, dimana *block* tersebut menunjukkan *batch raw material*.



Gambar 2.2 Contoh *Blocking* dalam 2^k *Factorial Design*

Sumber : Probability and Statistic for Engineers and Scientists

Untuk tabel perhitungan ANOVA dengan *block* dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut ini. Dimana pada gambar tersebut terdapat *blocks* yang digunakan untuk melihat pengaruh yang ditimbulkan oleh *block*.

Tabel 2.3 Tabel untuk Perhitungan untuk Tabel ANOVA 2^k *Factorial Design* dengan *Block*

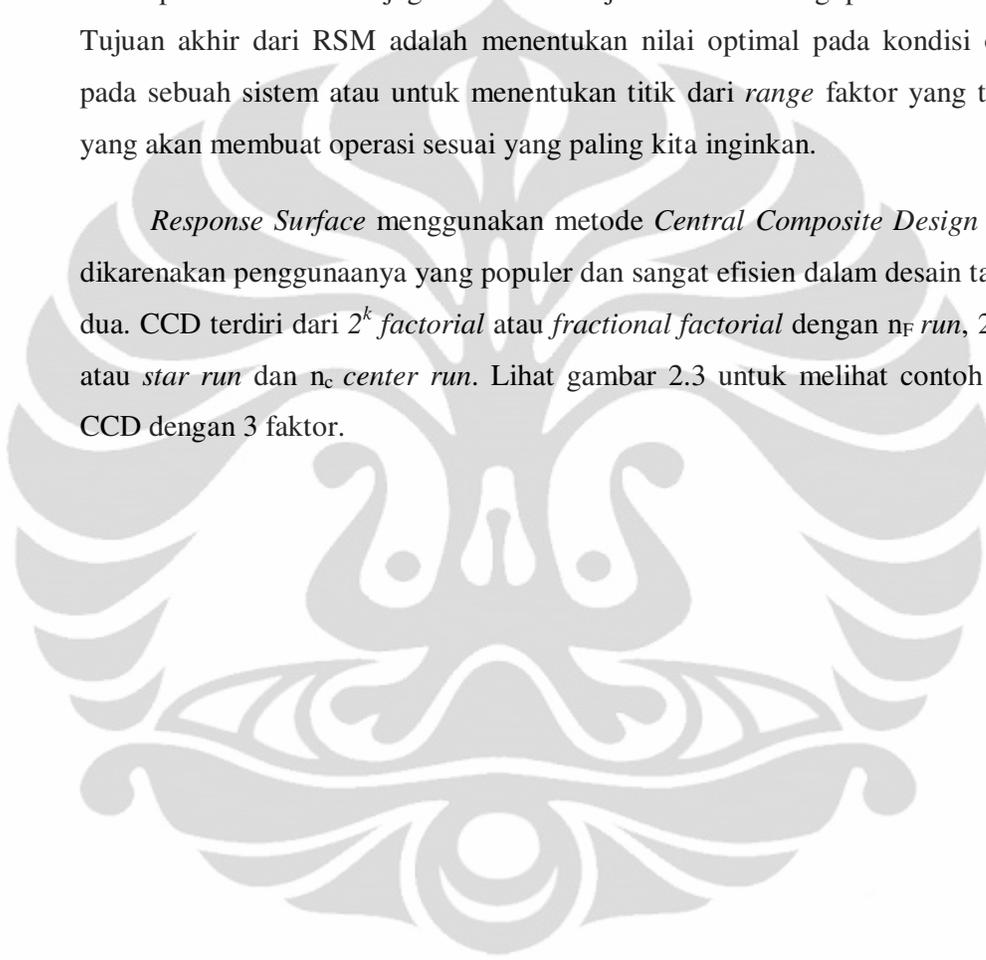
Sumber : Design and Analysis of Experiment 6th Edition

Analisa *Blocking* dalam 2^k *factorial design* juga menggunakan *software* dan hasilnya juga ditunjukkan dengan tabel ANOVA.

2.1.3 Response Surface dengan Central Composite Design

Menurut Montgomery, Douglas C. (2005) *Response Surface Methode* (RSM) adalah kumpulan teknik matematika dan statistik yang sangat berguna untuk *modeling* dan analisa masalah dimana sebuah respon dipengaruhi oleh beberapa variabel dan juga memiliki tujuan untuk mengoptimalkan respon. Tujuan akhir dari RSM adalah menentukan nilai optimal pada kondisi operasi pada sebuah sistem atau untuk menentukan titik dari *range* faktor yang tersedia yang akan membuat operasi sesuai yang paling kita inginkan.

Response Surface menggunakan metode *Central Composite Design (CCD)* dikarenakan penggunaannya yang populer dan sangat efisien dalam desain tahap ke dua. CCD terdiri dari 2^k *factorial* atau *fractional factorial* dengan n_F *run*, 2^k *axial* atau *star run* dan n_c *center run*. Lihat gambar 2.3 untuk melihat contoh desain CCD dengan 3 faktor.



Gambar 2.3 Contoh CCD dengan 3 Faktor

Sumber : www.fhwa.dot.gov

Anda dapat membuat CCD dengan *block* atau tanpa *block*. *Central Composite Design (CCD)* terdiri dari :

- 2^k atau 2^{k-1} digunakan untuk menentukan model awal *point faktorial* (juga disebut *cube point*), dimana k adalah jumlah faktor yang digunakan dalam analisa. Lihat gambar berikut yaitu gambar 2.4.



Gambar 2.4 Contoh *cube point* CCD

Sumber : Minitab14 Help, 2003

- *axial point* (juga disebut *star point*)

Gambar 2.5 Contoh *axial point* CCD

Sumber : Minitab14 Help, 2003

- *center point*

Gambar 2.6 Contoh *center point* CCD

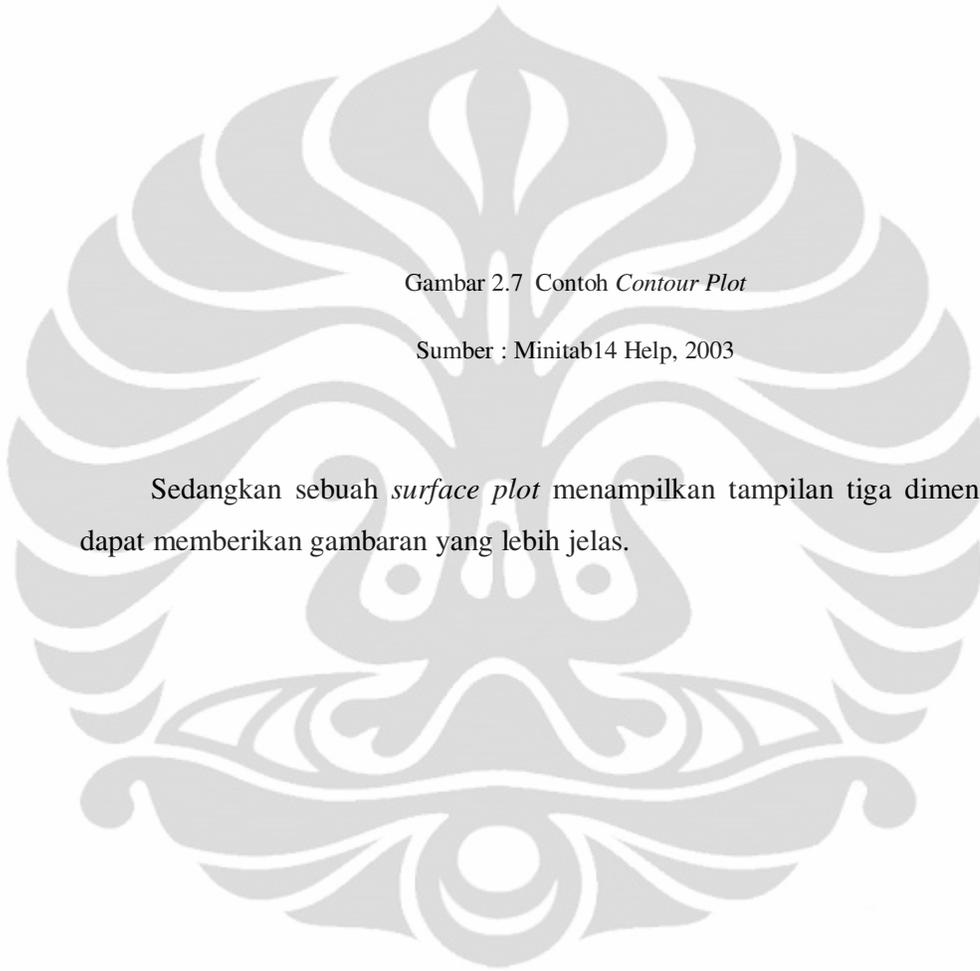
Sumber : Minitab14 Help, 2003

Ada dua parameter yang harus ditentukan pada CCD ini yaitu nilai α dan jumlah *center point* (n_c). Nilai α tergantung pada jumlah titik percobaan pada *factorial design*. Menurut Montgomery, Douglas C. (2005, p. 430) untuk menentukan nilai α ini diperoleh dari rumus :

$$\alpha = (n_F)^{1/4} \quad (2.1)$$

n_F = jumlah titik percobaan yang digunakan dalam *factorial design*

Hasil dari *response surface* ini salah satunya berupa *Contour Plot* dan *Surface Plot*. *Contour Plot* dan *Surface Plot* berguna untuk menentukan nilai-nilai respon yang diinginkan dalam proses. Dalam *contour plot*, *response surface* dipandang sebagai bidang dua dimensi dimana semua poin memiliki respon yang sama tersambung menghasilkan garis kontur yang konstan.



Gambar 2.7 Contoh *Contour Plot*

Sumber : Minitab14 Help, 2003

Sedangkan sebuah *surface plot* menampilkan tampilan tiga dimensi yang dapat memberikan gambaran yang lebih jelas.

Gambar 2.8 Contoh *Surface Plot*

Sumber : Minitab14 Help, 2003

Analisis *Response Surface* dengan *Central Composite Design* menggunakan *software* dengan perhitungan ANOVA. Data yang dihasilkan selain muncul data gambar juga muncul tabel ANOVA. Di bawah ini contoh gambar analisis RSM

yang muncul tabel ANOVA sekaligus muncul juga analisis *surface plot* dan *contour plot* yang bisa dilihat pada contoh berikut .



Gambar 2.9 Contoh *Surface Plot* dan *Contour Plot*

Sumber : Design and Analysis of Experiment 6th Edition

2.10 Gambar Hasil ANOVA 2^k Factorial Design dengan Software

Sumber : Design and Analysis of Experiment 6th Edition

2.1.4 Response Optimization

Banyak percobaan yang didesain untuk menentukan kondisi yang optimal untuk mencari nilai respon terbaik. *Response Optimization* bisa membuat faktor yang kita lakukan penelitian akan menjadi lebih optimal. *Response Optimization* adalah metode yang memungkinkan untuk berkompromi di antara berbagai respon. Menurut Montgomery, Douglas C. (2005, p. 413) persamaan yang ingin dicapai pada *response optimizer* ini adalah :

(2.2)

Tujuan untuk memaksimalkan *response surface* ini adalah menemukan level x_1, x_2, \dots, x_k yang hasilnya diperoleh respon yang paling optimal. Titik dimana diperoleh titik yang paling optimal ini disebut *stationary point*. Terdapat tiga cara *stationary point* diperoleh yaitu dengan memaksimalkan respon, meminimalkan respon dan *saddle point*. Menurut Montgomery, Douglas C. (2005, p. 415) Persamaan yang diharapkan dalam *stationary point* ini adalah :

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x'b + x'Bx \tag{2.3}$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad \text{dan}$$

$$B = \begin{bmatrix} \beta_{11}, \beta_{12}/2, \dots, \beta_{1k}/2 \\ \beta_{22}/2, \dots, \beta_{2k}/2 \\ \text{sym} & & \beta_{kk} \end{bmatrix}$$

Untuk memudahkan perhitungan *response optimizer* ini bisa dicari dengan bantuan *software*.

2.1.5 Cara Mengenali Faktor Proses yang Signifikan dari tabel ANOVA Minitab dengan *P Value* atau *F-Test*

Kita dapat mengetahui faktor yang secara statistik mempunyai pengaruh signifikan terhadap respon dengan melihat output dari *software*. Menurut Stagliano, Agustine A (2004) pengaruh utama dan interaksi dengan nilai *P Value* yang lebih kecil dari 0.05 (α), secara statistik mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon. Atau dengan kata lain hasilnya cukup signifikan berbeda. Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, L.S dan Ye, Keying (2007) menjelaskan tentang Hipotesa :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

H_1 : paling tidak ada salah satu nilai rata-rata (*mean*) yang tidak sama pada pengujian F-Test dimana jika :

$$f > f_{\alpha}[k - 1, k(n - 1)] \quad (2.4)$$

maka hipotesa H_0 harus ditolak.

Jika menggunakan pendekatan *P-Value*, maka menggunakan :

$$P = P f[k - 1, k(n - 1)] > f \quad (2.5)$$

Menurut Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, L.S dan Ye, Keying (2007) nilai α (*level significance*) yang disarankan untuk percobaan analisis statistik adalah 0.05 atau 0.01. Nilai *P Value* yang rendah dengan jelas menolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa rata-rata populasi berbeda dengan sangat signifikan.

2.1.6 Uji Kecukupan Data

Menurut Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, L.S dan Ye, Keying (2007) dalam *design of experiment*, keputusan yang paling penting adalah memilih ukuran jumlah *sample* percobaan yang artinya menunjukkan jumlah *replicate* (pengulangan) saat percobaan. Jika *experimenter* ingin mengetahui efek yang kecil maka diperlukan data yang lebih besar dalam *replicate* dari pada saat *experimenter* ingin mengetahui pengaruh efek yang besar.

Operating Characteristic Curves (OC) *curve* adalah *plot probability type II error* yang merupakan alat tes statistic untuk menentukan *sample size* dibandingkan dengan parameter yang meneunjukkan bahwa H_0 adalah salah.

Kita ketahui bahwa *probability type II error* mengatakan bahwa

$$\begin{aligned}\beta &= 1 - P\{\text{Reject } H_0 \mid H_0 \text{ adalah salah}\} \\ &= 1 - P\{F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a} \mid H_0 \text{ adalah salah}\} \quad (2.6)\end{aligned}$$

Untuk mengetahui jumlah *sample* (*Power Sample Size*) menurut Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, L.S dan Ye, Keying (2007, p. 103) diperoleh dari rumus seperti ini :

$$\Phi^2 = \frac{n \cdot D^2}{2 \cdot a \cdot \sigma^2} \quad (2.7)$$

D = perbedaan di antara dua perlakuan atau besar efek

n = jumlah *replicate* (pengulangan) pada eksperimen data

a = faktor dalam ekperimen

σ = standar deviasi, diperoleh dari pengalaman, atau perkiraan.

Menurut Mason, Robert L., Gunst, Richard R. dan Hess, James L. (2003) untuk estimasi σ (standar deviasi) digunakan akar kuadrat dari *mean square error* (*MS Error*).

Untuk selanjutnya jumlah sample untuk eksperimen bisa dilihat pada tabel *OC Curve*. Analisis uji kecukupan data bisa dilakukan dengan bantuan *Power and Sample Size* menggunakan software. Hal ini akan memudahkan *experimenter* dalam menentukan bahwa hasil analisisnya memenuhi kecukupan data atau tidak.

2.1.7 ANOVA (*Analysis of Variance*)

ANOVA menurut Stagliano, Agustine A. (2004) adalah sebuah alat multiguna yang memungkinkan kita untuk :

1. Melakukan pengujian hipotesis terhadap lebih dari dua rata-rata populasi. Contohnya kita ingin membandingkan kinerja beberapa prosesm mesin atau orang. ANOVA memberikan cara yang mudah untuk melakukan tanpa mengharuskan kita melakukan *multiple t-test*.
2. Memahami hubungan yang kompleks antara variabel (misalnya variabel-variabel yang berhubungan hanya pada bagian atau tingkat yang diteliti, yaitu interaksi antar variabel) atau mengevaluasi pengaruh variabel kualitatif terhadap sebuah respon (misalnya merek pasta gigi yang digunakan dengan jumlah lubang gigi yang diteliti).

Ada beberapa metode ANOVA yang sering digunakan yaitu *One Way ANOVA* dan *Two Way ANOVA*.

2.1.7.1 One Way ANOVA

One way ANOVA digunakan untuk membandingkan rata-rata beberapa populasi atau proses yang menggunakan satu faktor perbandingan, misalnya lokasi geografis atau warna kemasan produk.

Bentuk umum pengujian hipotesis ANOVA adalah :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

H_a : paling tidak ada salah satu nilai rata-rata (*mean*) yang tidak sama

Tabel berikut menunjukkan contoh desain *treatment* pada ANOVA :

Treatment:	1	2	...	<i>i</i>	...	<i>k</i>	
	y_{11}	y_{21}	...	y_{i1}	...	y_{k1}	
	y_{12}	y_{22}	...	y_{i2}	...	y_{k2}	
	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	
	y_{1n}	y_{2n}	...	y_{in}	...	y_{kn}	
Total	$Y_{1.}$	$Y_{2.}$	...	$Y_{i.}$	...	$Y_{k.}$	$Y_{..}$
Mean	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$	...	$\bar{y}_{i.}$	...	$\bar{y}_{k.}$	$\bar{y}_{..}$

Tabel 2.4 Tabel Desain *Treatment* pada ANOVA

Sumber : Probability and Statistic for Engineers and Scientists

Tiga pengukuran penting variabilitas pada ANOVA bisa dilihat pada gambar 2.11 berikut ini.

Gambar 2.11 Gambar Rumus Untuk Mencari Variabilitas pada ANOVA

Sumber : Probability and Statistic for Engineers and Scientists

Sedangkan perhitungan untuk ANOVA terangkum pada tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5 Tabel Rumus Perhitungan pada hasil ANOVA

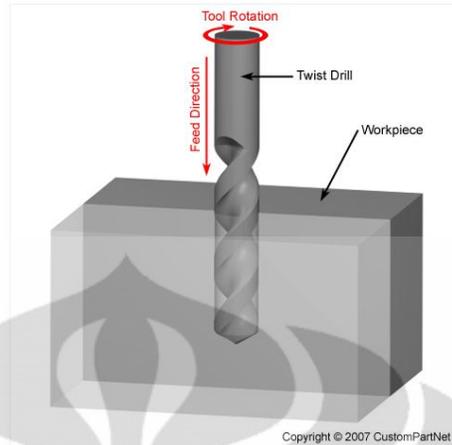
Sumber : Probability and Statistic for Engineers and Scientists

Untuk menyimpulkan hasil ANOVA menurut Stagliano, Augustine A. (2004) adalah sebagai berikut :

Jika $p \text{ value} < \alpha$, dimana $\alpha = 0.05$ maka kita tolak H_0 , sehingga paling tidak ada salah satu nilai rata-rata (*mean*) yang tidak sama. Analisa data menggunakan ANOVA ini menggunakan bantuan *software*. Pada saat kita menggunakan analisa pada 2^k *factorial design* atau *Response Surface Methode* juga muncul analisa ANOVA nya.

2.2 *Drilling*

Berdasarkan halaman web custompartnet.com, *drilling* adalah suatu operasi dimana *drill* alat potong berbentuk silinder memasuki benda yang dikerjakan secara aksial dan memotong lubang dengan diameter sama dengan alat tersebut. Untuk mengetahui lebih jelas, lihat gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Proses *Drilling*

Untuk bagian-bagian *drill* bisa dilihat pada gambar 2.13 berikut.

Gambar 2.13 Gambar *Drill*

sumber :<http://www.mmsonline.com>

Menurut Rajput, R.K (2007, p. 502) untuk menentukan parameter putaran spindel mesin pada proses *drilling* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{1000.V_c}{\Pi.D}$$

(2.8)

S= n = putaran spindel mesin (*rotary per minute*)

V_c = *cutting speed* (meter/minute), diperoleh dari katalog alat potong

π = 3,14

D = diameter alat potong (milimeter)

Untuk parameter pemotongan *Feeding* dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F = f \cdot n \quad (2.9)$$

F = *Feeding* (mm/minute)

f = *feed per revolution*(mm/rev), diperoleh dari katalog alat potong

n = putaran spindel mesin (*rotary per minute*)

2.3 Efek Parameter Proses pada Umur Alat Potong (*Cutting Tools*)

Menurut Juneja, B.L dan GS Sekhon Nitin Seth (2003), berikut ini beberapa parameter *machining* yang mempengaruhi umur alat potong, yaitu:

1. *Material Tool*

Sifat material alat potong/*tool* akan mempengaruhi umur alat potong tersebut, sifat material tersebut adalah :

- a. Kekerasan material untuk meningkatkan ketahanan terhadap *deformasi*, *adhesi*, dan *abrasi* pada saat proses pemotongan dengan temperature tinggi yang terjadi pada *rake* dan *flank faces* pada saat kecepatan potong yang tinggi
- b. *Toughness*, untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban yang tiba-tiba mengganggu saat proses pemotongan dan juga pada saat beban pemotongan berat pada saat proses pemakanan yang berat terjadi.
- c. *Wear resistance* atau ketahanan aus.
- d. Kurangnya hubungan kimia dengan benda kerja.

- e. Konduktifitas termal yang tinggi dan panas khusus (dikombinasikan dengan koefisien ekspansi panas yang rendah) untuk meminimalisir *thermal stress* dan *thermal shock*.

2. *Coating* pada Alat Potong

Saat ini sudah diketahui bahwa *coating* pada alat potong akan meningkatkan umur dari alat potong. Alat potong HSS di *coating* dengan *titanium nitride* sedangkan *tungsten* dilakukan *coating* dengan menggunakan material seperti TiC, Al₂O₃, dan TiN dalam satu lapis atau dalam berbagai lapis. Dalam dua lapisan biasanya dikombinasikan *coating* antara TiC+TiN, TiC+Al₂O₃ atau yang lainnya. Karapentev sudah melakukan penelitian untuk mengetahui umur alat potong *carbide* dengan dilakukan beberapa alternatif *coating*.

3. Material Benda Kerja

Sifat material benda kerja akan menambah umur alat potong jika :

- a. *Low Strength* dan *Low Hardness*, untuk mengurangi gaya pemotongan, temperatur saat proses pemotongan dan juga keausan .
- b. Tidak adanya sesuatu yang menaikkan konstanta gesekan diantaranya skala kekasaran permukaan, pasir dan masuknya pengotor (*slag*).
- c. Tidak adanya pengerasan material sehingga akan mengurangi gaya pemotongan, temperatur akibat pemotongan dan juga keausan pada alat potong.
- d. Terjadinya mikrostruktur yang menguntungkan dalam material benda kerja yang mempengaruhi umur alat potong.

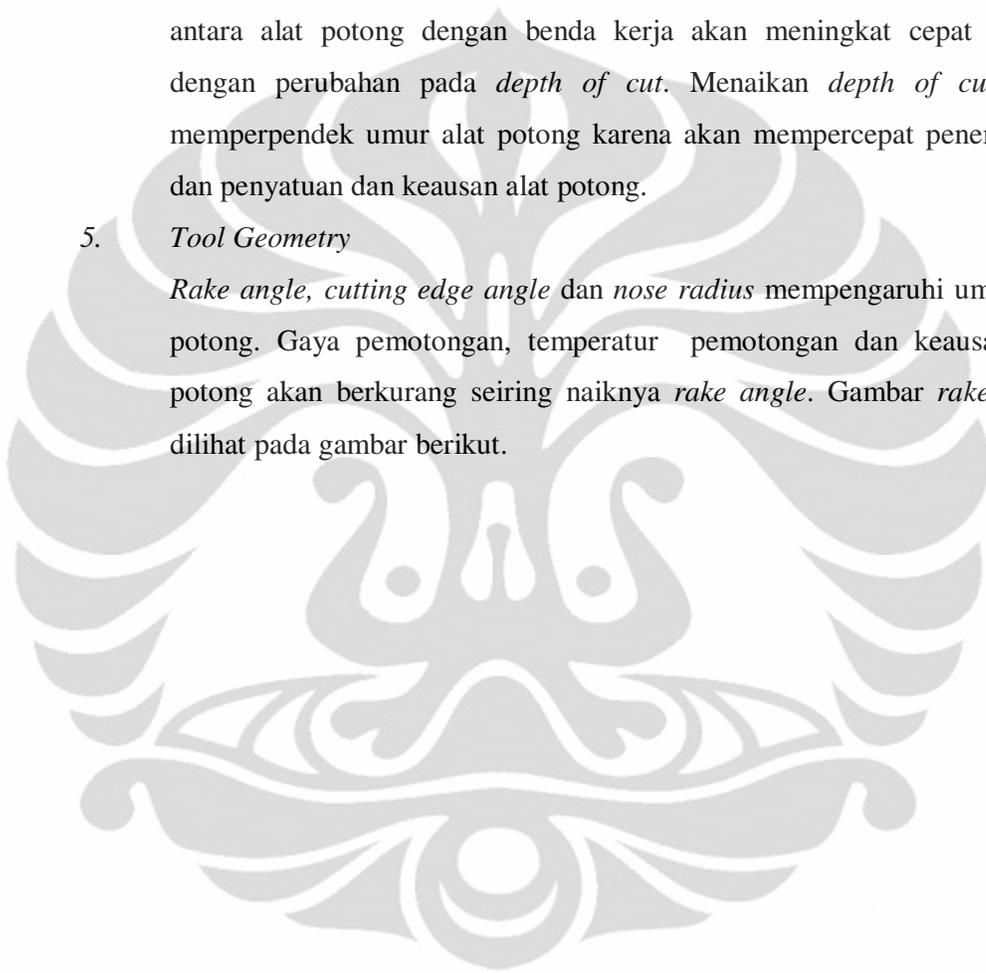
4. *Speed, Feed* dan *Depth of Cut*

Cutting speed yang lebih tinggi akan menaikkan temperatur alat potong dan melunakan material alat potong. Sehingga hal itu menyebabkan pengikisan, penempelan dan penyatuan. Selanjutnya hal tersebut akan menyebabkan penurunan eksponensial pada umur alat potong seperti yang dijelaskan pada persamaan Taylor. *Feeding* yang lebih besar akan menyebabkan gaya pemotongan yang lebih besar pada per satuan luas dari

permukaan kontak antara *tool* dengan benda kerja pada sudut potong dan juga sudut bebas alat potong. Temperatur pemotongan dan bahkan tingkat keausan akan meningkat. Kenaikan gaya pemotongan akibat dari *feeding* yang lebih besar kemungkinan akan menambah pecahan pada sisi potong akibat beban kejut. *Depth of Cut* yang semakin besar, luas area kontak antara alat potong dengan benda kerja akan meningkat cepat seiring dengan perubahan pada *depth of cut*. Menaikan *depth of cut* akan memperpendek umur alat potong karena akan mempercepat penempelan dan penyatuan dan keausan alat potong.

5. *Tool Geometry*

Rake angle, *cutting edge angle* dan *nose radius* mempengaruhi umur alat potong. Gaya pemotongan, temperatur pemotongan dan keausan alat potong akan berkurang seiring naiknya *rake angle*. Gambar *rake angle* dilihat pada gambar berikut.

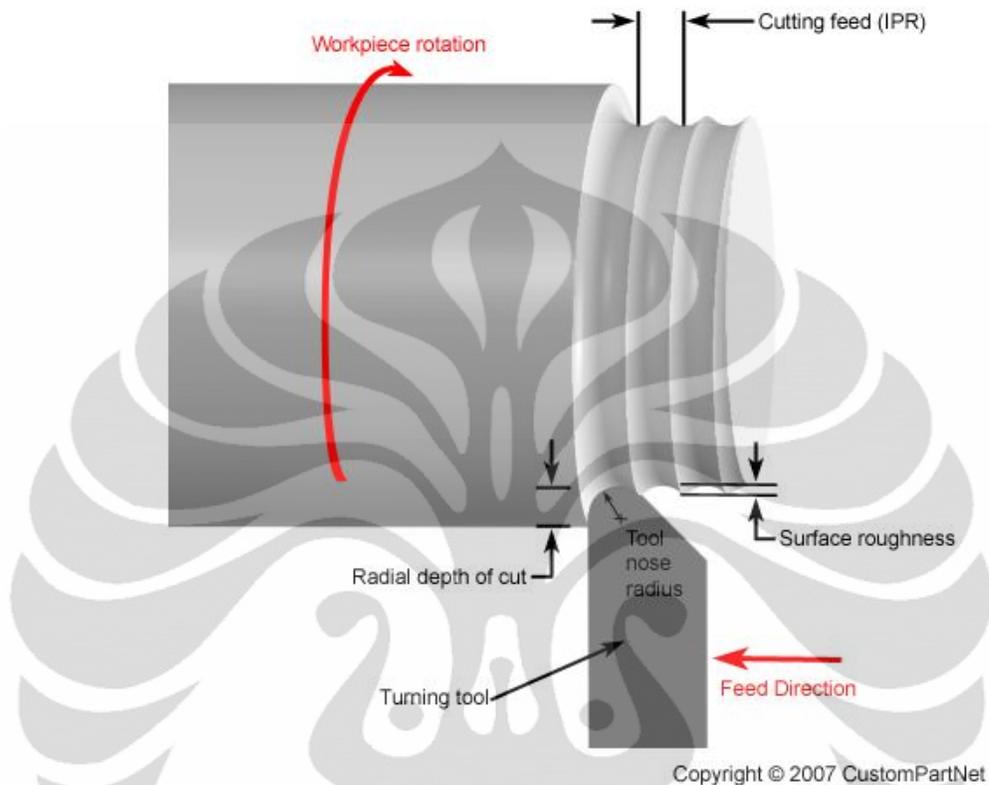


Gambar 2.14 Detail Bagian Pemotongan Pada Alat Potong

sumber :<http://www.mmsonline.com>

Ketika *cutting edge angle* ditambah maka umur alat potong juga akan bertambah. *Cutting edge angle* bisa dilihat pada gambar diatas. Menaikan

nose radius juga akan meningkatkan umur dari alat potong. Gambar *nose radius* bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.15 *Nose Radius* Pada Alat Potong (bubut)

6. *Cutting Fluid*

Cutting fluid mendinginkan beram dan benda kerja dan juga mengurangi tegangan karena gesekan kontak antara beram benda kerja dan alat potong. Sehingga hal tersebut akan membuat temperature pada saat proses berkurang. Pada alat potong yang memiliki kekerasan rendah seperti *carbon steel* dan HSS penggunaan *cutting fluid* ini akan berpengaruh. Akan tetapi pada alat potong berbahan *carbide* atau *oxide* yang memiliki nilai kekerasan tinggi pengaruh dari *cutting fluid* ini bisa diabaikan.

7. *Vibration of The Machine-Tool Work System*

Getaran pada sistem pemesinan akan menimbulkan *chatter* yang hal ini akan menyebabkan *fatigue* pada alat potong.

8. *Interruption in the Cut*

Terkadang alat potong harus keluar masuk saat melakukan pemotongan. Saat keluar masuk berarti hal tersebut adalah beban kejut pada sisi potong dan hal tersebut akan mengurangi umur alat potong, terutama pada alat potong yang keras dan getas.

9. *Built Up Edge*

Dalam kondisi pemotongan yang menguntungkan, *built-up edge* kadang-kadang terbentuk dalam kasus pasangan alat potong dengan benda kerja. *Built up edge* menempel pada sudut potong yang sebenarnya dan menjadi keras sendiri dan mulai menjadi sisi potong. *Built up edge* menambah *rake angle* yang efektif dari alat potong dan mengurangi gaya pemotongan, temperatur alat potong dan keausan alat potong. Akan tetapi *built up edge* memiliki kecenderungan untuk bertambah ukurannya dan menjadi tidak stabil dan pada akhirnya patah. Efek lainnya adalah memberi efek kasar pada permukaan benda kerja yang dilakukan pengerjaan

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Gambaran Umum Perusahaan

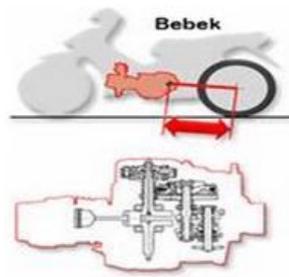
Perusahaan tempat dilakukan penelitian ini adalah perusahaan pembuat sepeda motor di Indonesia yang beralamat di Jakarta. Perusahaan ini telah berdiri selama 40 tahun dan telah memproduksi sepeda motor dengan total lebih dari 30.000.000 unit dalam rentang 40 tahun sampai dengan tahun 2011 yang terjual ke seluruh Indonesia dan beberapa untuk ekspor.

Perusahaan pembuat sepeda motor ini memproduksi berbagai tipe kendaraan sepeda motor, diantaranya adalah :

- Tipe bebek
- Tipe skutik
- Tipe *sport*

3.1.1 Tipe Bebek

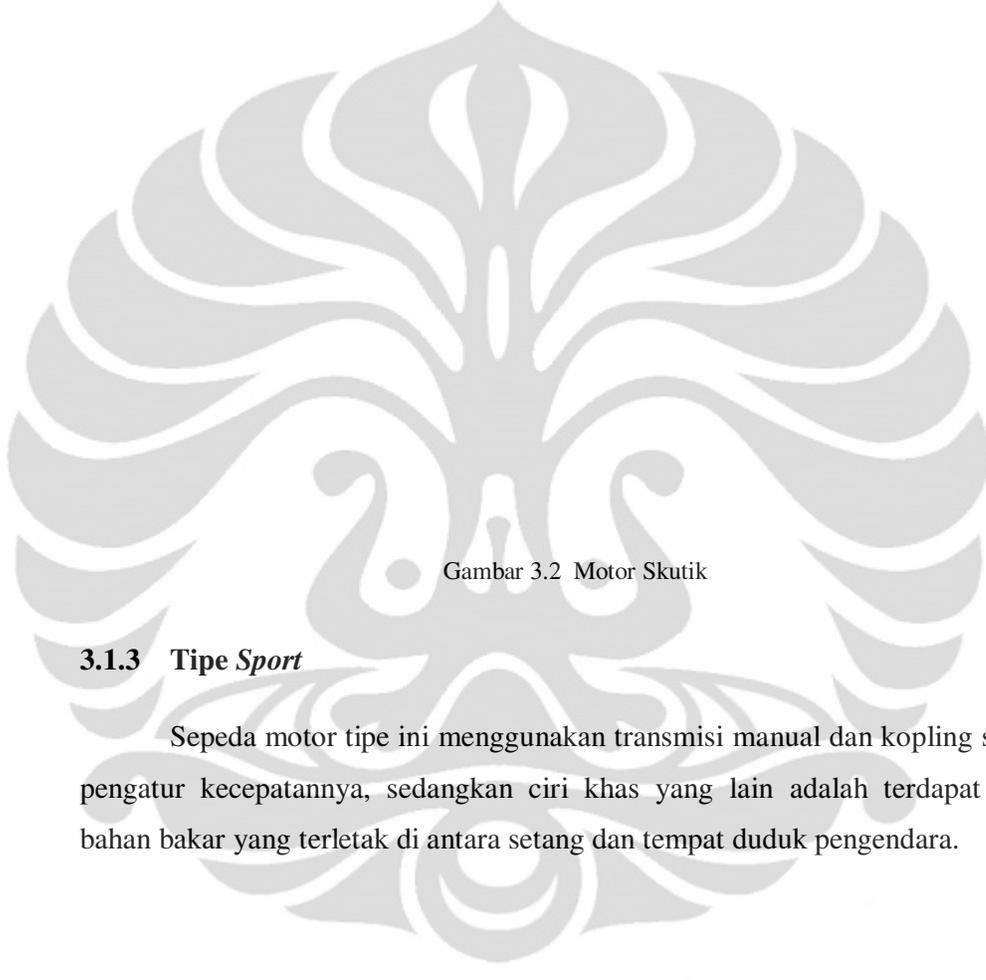
Sepeda motor tipe bebek adalah kendaraan serba guna yang dirancang agar mudah dipakai oleh laki-laki atau perempuan, hal ini karena antara setang dan tempat duduk pengendara terdapat ruang gerak untuk naik turun pengendara. Transmisi yang digunakan adalah semi otomatis/*dual clutch*. Rangka sepeda motor ini menggunakan tipe tulang punggung (*under bone*).



Gambar 3. 1 Motor Bebek

3.1.2 Tipe Otomatis/Skutik

Sepeda motor ini tidak menggunakan *gear* transmisi sebagai pengatur kecepatan akan tetapi menggunakan CVT (*Continous Variabel Transmision*) dan *belt*.



Gambar 3.2 Motor Skutik

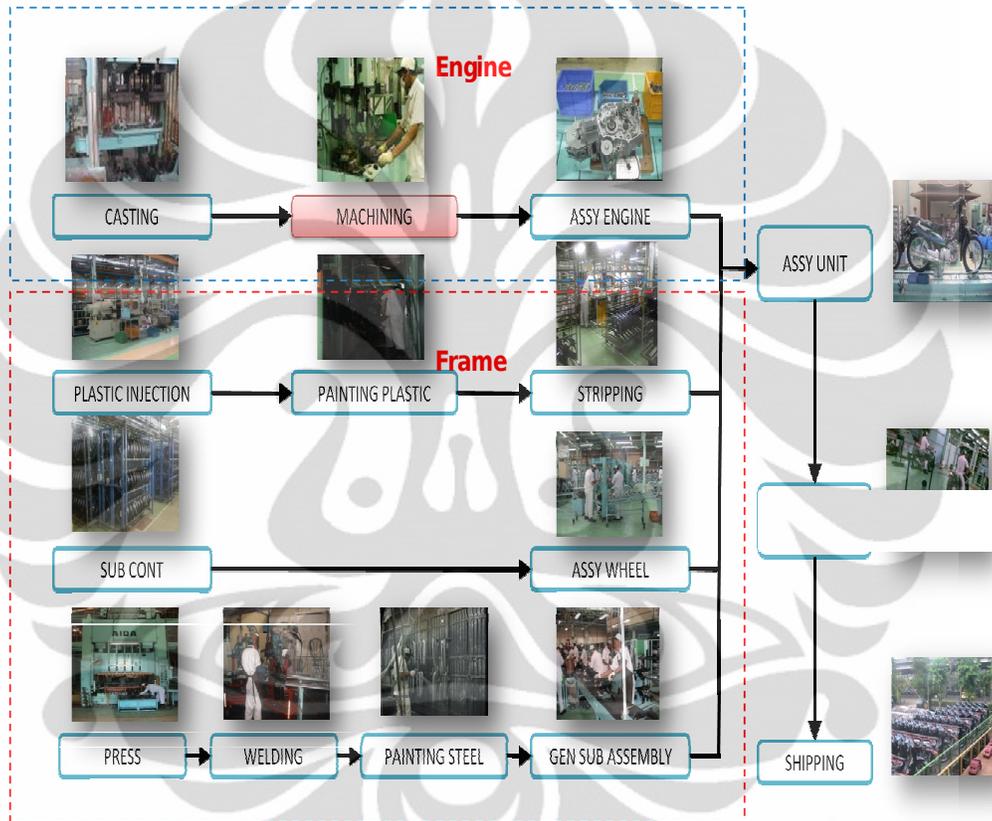
3.1.3 Tipe Sport

Sepeda motor tipe ini menggunakan transmisi manual dan kopling sebagai pengatur kecepatannya, sedangkan ciri khas yang lain adalah terdapat tangki bahan bakar yang terletak di antara setang dan tempat duduk pengendara.

Gambar 3.3 Motor Sport

3.2 Seksi *Machining Crank Case*

Di Perusahaan pembuat sepeda motor ini, pembuatan sepeda motor dibagi menjadi bagian *Engine* dan bagian *Frame*. Dan dalam perusahaan ini seksi *Machining Crank Case* masuk dalam bagian *Engine*. Untuk lebih mengetahui posisi dan peran seksi *Machining Crank Case* pada perusahaan ini lihat gambar di bawah.



Gambar 3.4 *Flow Process* Pembuatan Sepeda Motor

Seksi *Machining Crank Case* masuk dalam area Sub Departemen *Machining* dalam Departemen *Engine*, dimana Sub Departemen *Machining* ini terdiri dari seksi-seksi yang tugasnya membuat komponen mesin untuk tipe motor bebek 125. Yang termasuk dalam area *engine* adalah :

- a. Seksi *Machining Crank Case*
- b. Seksi *Machining Cylinder Comp*

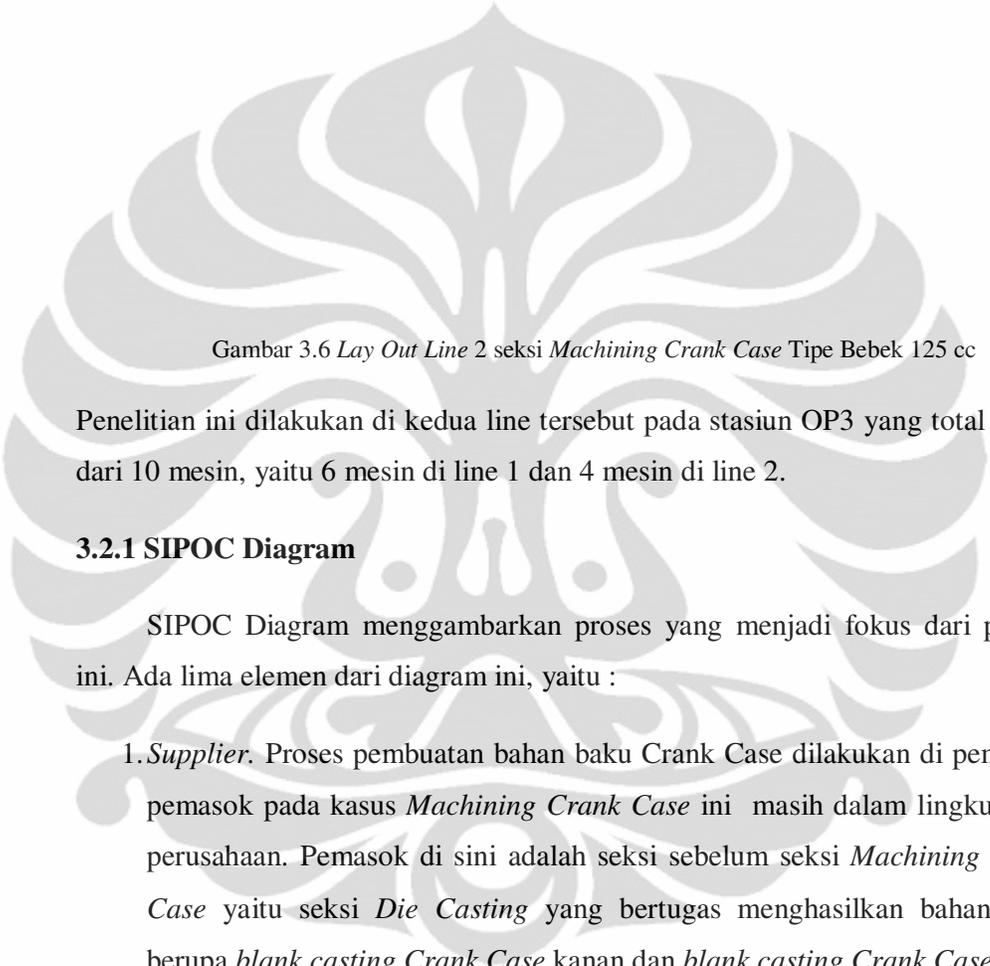
- c. Seksi *Machining Cylinder Head*
- d. Seksi *Machining Crank Shaft*

Tugas dari seksi *Machining Crank Case* ini adalah menyediakan komponen bak mesin siap rakit untuk tipe bebek 125 cc. Pada seksi ini dilakukan proses pemesinan dimana dilakukan proses *milling, drill, tap, reamer, boring*, pengetesan kebocoran yang pada akhirnya menjadi barang jadi *Crank Case* kanan dan *Crank Case* kiri. Barang jadi tersebut selanjutnya dikirimkan ke seksi setelahnya yaitu seksi *Assy Engine*, yang selanjutnya akan melewati proses perakitan dengan komponen lain sehingga menjadi unit engine. Unit engine ini selanjutnya akan dikirimkan ke *Assy Unit* untuk dirakit dengan komponen rangka menjadi unit sepeda motor. Seksi *Machining Crank Case* memperoleh bahan mentah dari seksi sebelumnya yaitu seksi *Die Casting* berupa *blank casting Crank Case* kanan dan *blank casting Crank Case* kiri.

Seksi *Machining Crank Case* memiliki 2 line produksi yaitu *line 1* dan *line 2* yang terdiri dari mesin *special purpose machine* dan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*). Adapun gambar *lay out* nya bisa dilihat pada gambar 3.5 dan gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.5 *Lay Out Line 1* Seksi *Machining Crank Case* Tipe Bebek 125 cc



Gambar 3.6 Lay Out Line 2 seksi *Machining Crank Case* Tipe bebek 125 cc

Penelitian ini dilakukan di kedua line tersebut pada stasiun OP3 yang total terdiri dari 10 mesin, yaitu 6 mesin di line 1 dan 4 mesin di line 2.

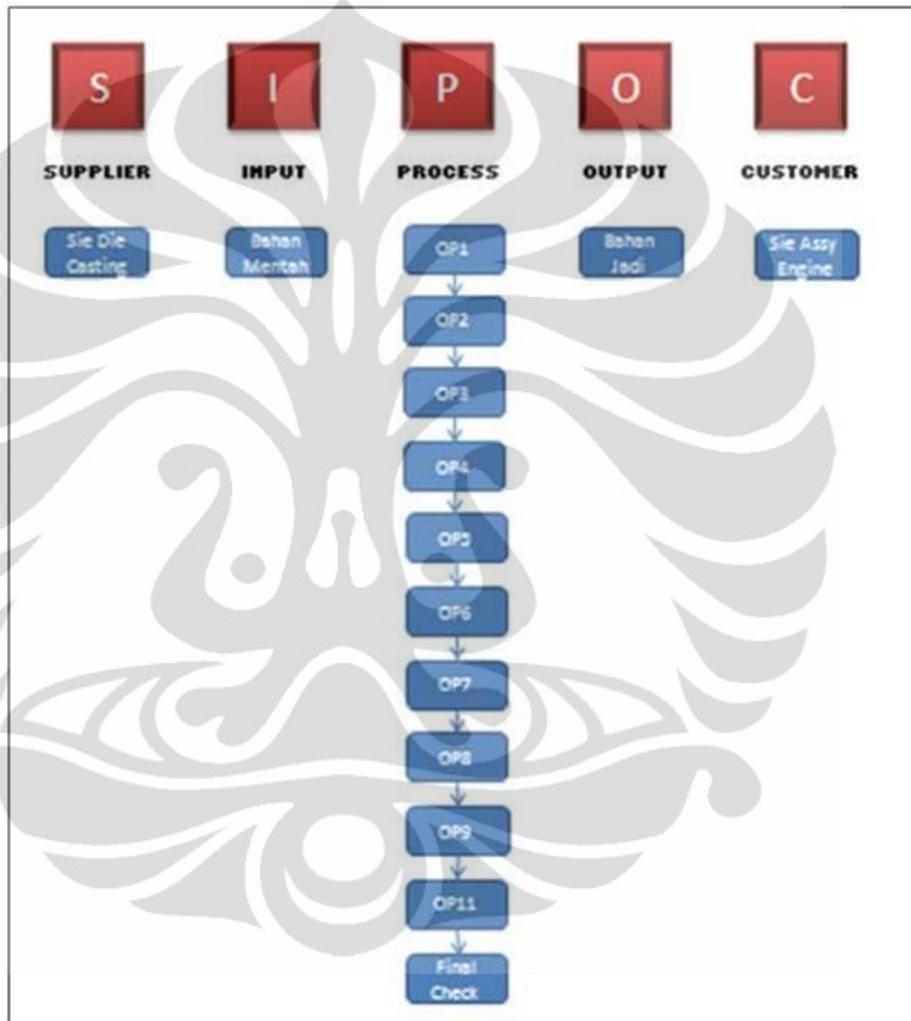
3.2.1 SIPOC Diagram

SIPOC Diagram menggambarkan proses yang menjadi fokus dari proyek ini. Ada lima elemen dari diagram ini, yaitu :

1. *Supplier*. Proses pembuatan bahan baku Crank Case dilakukan di pemasok, pemasok pada kasus *Machining Crank Case* ini masih dalam lingkup satu perusahaan. Pemasok di sini adalah seksi sebelum seksi *Machining Crank Case* yaitu seksi *Die Casting* yang bertugas menghasilkan bahan baku berupa *blank casting Crank Case* kanan dan *blank casting Crank Case* kiri.
2. *Input*. Item – item yang men *input* dalam proses ini adalah material atau alat. Salah satu yang di *input* adalah *blank casting Crank Case* kanan dan *blank casting Crank Case* kiri
3. *Process*. Proses dari tahapan ini adalah serangkaian proses dari ujung depan (OP1) sampai ujung belakang (Leak Tester dan Final Check). *Output* dari proses ini berupa komponen siap rakit *Crank Case* kanan dan *Crank Case* kiri jadi siap *assy* untuk selanjutnya dikirimkan ke *Assy Engine*.

4. *Customer*. Penerima dari hasil proses kita adalah seksi setelah kita yaitu seksi *Assy Engine*.

Gambar 3.7 berikut menunjukkan urutan dari SIPOC diagram, dimana pada tahap *process* merupakan proses pemesinan yang ada di seksi *Machining Crank Case*.

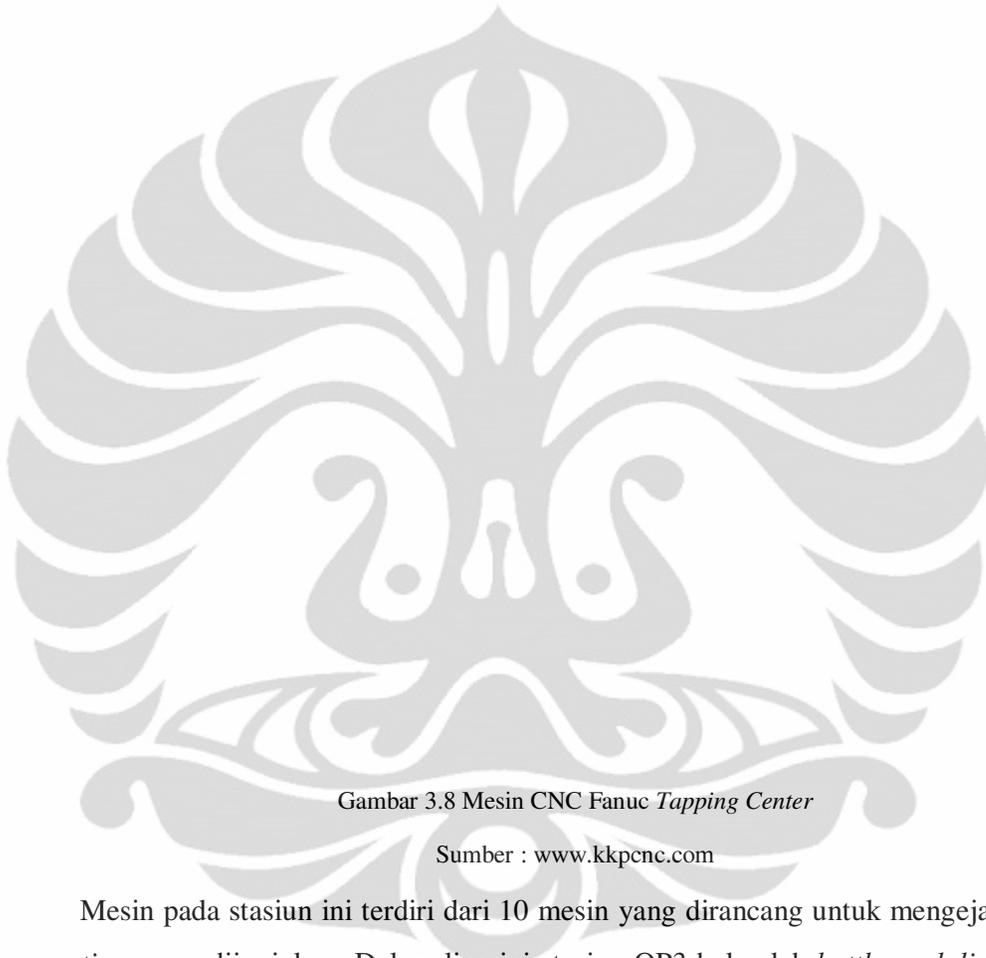


Gambar 3.7 SIPOC Diagram

3.2.2 Stasiun OP3 (Operasi ketiga) di *Machining Crank Case*

Mesin pada stasiun OP3 seksi *Machining Crank Case* ini adalah urutan ke tiga dari dari serangkaian urutan proses di line produksi komponen bak mesin sepeda motor tipe bebek 125cc. Mesin ini menggunakan mesin CNC (*Computerized Numerical Control*) *Tapping Center* yang melakukan proses :

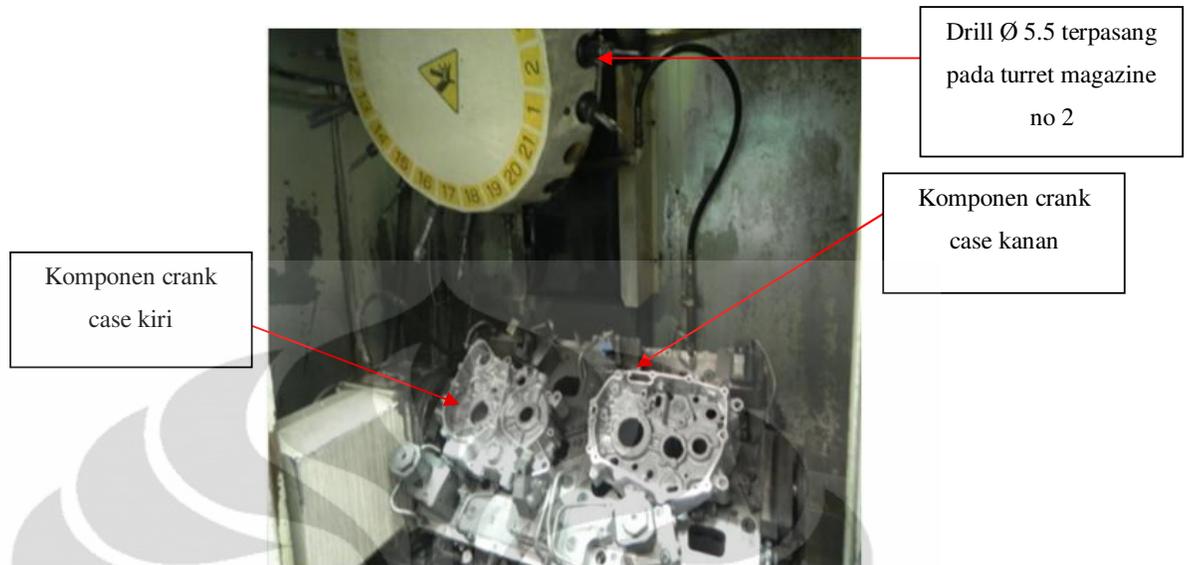
drill, tap, dan face milling. Mesin ini dijalankan dengan program komputer sehingga waktu prosesnya/*cycle time* bisa kita ketahui dari monitor. *Cycle Time* mesin pada stasiun ini adalah 169 detik untuk mesin dan 10 detik untuk *loading* dan *unloading*. Mesin CNC bisa dilihat pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Mesin CNC Fanuc *Tapping Center*

Sumber : www.kkpnc.com

Mesin pada stasiun ini terdiri dari 10 mesin yang dirancang untuk mengejar *cycle time* yang diinginkan. Dalam line ini stasiun OP3 bukanlah *bottle neck line* akan tetapi terdapat OP2 di *line 1* dan OP7 di *line 2*.



Gambar 3.9 Posisi *Tool Drill* Ø5.5 D101048 di *Turret Magazine* pada Mesin CNC Fanuc *Tapping Center*

Salah satu alat potong yang digunakan untuk proses dalam OP3 ini adalah *drill* Ø5.5 D101048, tool ini digunakan untuk membuat lubang diameter 5.5 yang selanjutnya akan dilakukan proses *tap* (pembuatan ulir) pada stasiun OP8 (*multi tapping*). *Drill* ini terdapat pada *magazine turret* no 2. Pada stasiun OP3 ini yang dilakukan proses *drilling* dengan *drill* Ø5.5 D101048 adalah *Crank Case* kiri dengan jumlah lubang sebanyak 15 lubang setiap kali proses.



Gambar 3.10 *Tool Drill* Ø5.5 D101048

Drill tersebut terpasang pada *holder*, dan panjang minimal *drill* yang diharapkan adalah lebih besar dari 72 mm karena jika lebih rendah dari itu akan beresiko menabrak *clamp* saat proses.

Gambar 3.11 *Tool Drill Ø5.5 D101048 Saat Terpasang Pada Holder*

Spesifikasi mesin yang digunakan adalah :

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin yang dipakai percobaan

Tipe Mesin	CNC Fanuc <i>Tapping Center α-T14iC</i>
<i>Spindle speed range</i>	<i>max 9000 rpm</i>
<i>Cutting feed rate</i>	<i>1 ~ 15000 mm/menit</i>
<i>Spindle drive motor</i>	<i>MOTOR AC SPINDLE MOTOR 5.5 (10 min rating)/3.7 kW (continuous rating)</i>
<i>Feed motor</i>	<i>FANUC AC SERVO MOTOR MODEL αM8i X, Y, Z axis</i>
Cairan Pendingin	<i>waterbase HOCUT 795</i>

Spesifikasi tool yang digunakan :

Tabel 3.2 Spesifikasi *tool* yang dipakai percobaan

Nama Tool	<i>Drill</i> Ø 5.5 Tungaloy D101048
Material <i>drill</i>	<i>carbide</i> tanpa <i>coating</i>
Pembuat	Tungaloy, Jepang
<i>vc (cutting speed) untuk Al Alloy</i>	100~140 mm/min [dari <i>maker</i>]
<i>Feed per rev (mm/rev) untuk Al Alloy</i>	0.1~0.25 mm/rev [dari <i>maker</i>]
<i>Holder</i>	BT30-YCH10-90 Nikken

Spesifikasi material bahan mentah *Crank Case* kanan dan kiri yang diproses adalah *Aluminium Alloy* ADC-12, *Crank Case* L (kiri) dengan total 15 lubang.

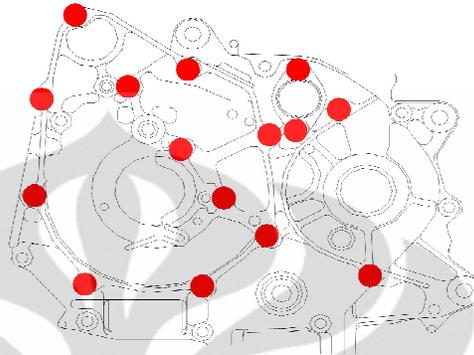
Untuk tabel kandungan kimia ADC-12 (JIS) lihat tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Kandungan Kimia pada Aluminium ADC-12 (JIS)

Sumber : HES

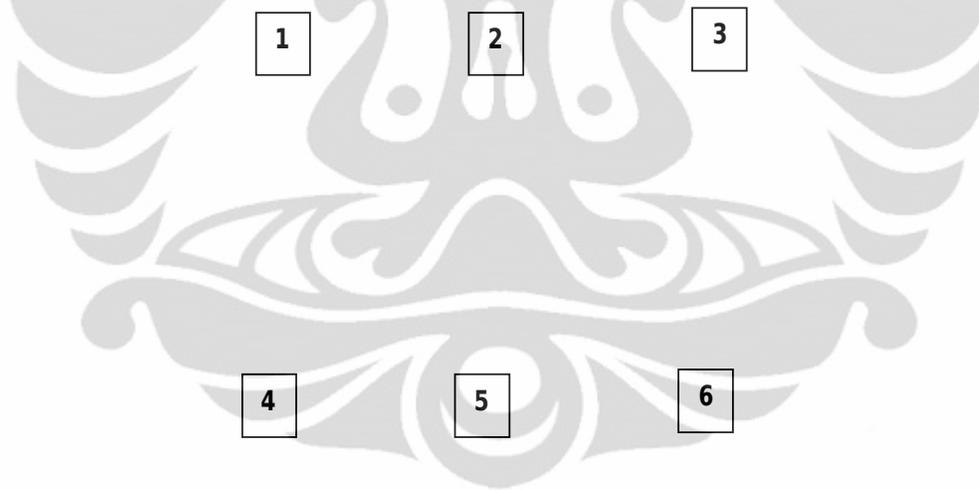
Unsur	Chemical Componet (wt%)
Si	9 – 12
Cu	1.5 – 4
Mg	0.05~0.35 max
Fe	1.1 max
Mn	0.5 max
Ni	0.5 max
Sn	0.35 max
Zn	2.5 max
Pb	0.2 max

Lubang yang diproses pada Stasiun OP3 yang menggunakan *drill* Ø5.5 D101048 ini terdiri dari 15 lubang, detailnya bisa dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Contoh Komponen Jadi *Crank Case* Kiri dan 15 ILubang Ø 5.5 Hasil Proses *Drill*

Adapun detail dari lubang yang diproses dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut ini.



Gambar 3.13 Detail 15 lubang Ø 5.5 hasil proses *drill*

3.3 Desain dan Pelaksanaan Penelitian di Stasiun OP3

Dari faktor-faktor yang mempengaruhi umur pakai *tool* menurut B.L Juneja and G.S Sekhon Nitin Seth terdapat 9 faktor yang berpengaruh, yaitu:

1. *Tool Material Property*
2. *Coating of Tool*
3. *Work Material*
4. *Speed, Feed and Depth of Cut*
5. *Tool Geometry*
6. *Cutting Fluid*
7. *Vibration Behaviour of the Machine-Tool Work system*
8. *Interuption in the Cut*
9. *Built Up Edge*

Dari faktor-faktor yang mempengaruhi umur *tool* di atas, hanya diambil faktor seperti di bawah ini:

- *Speed, Feed dan depth of cut* dalam program *G Code* CNC ditunjukan dengan lambang S atau n (dengan satuan rpm) untuk putaran spindel mesin. Putaran motor spindel dari tiap proses tergantung pada diameter *drill* dan bahan yang diproses. Diketahui untuk D (diameter *drill*) yang digunakan adalah 5.5 mm, sesuai dengan diameter drill Ø5.5 yang diteliti. V_c dari catalog pembuat tool adalah 100~140 m/min (V_c (*cutting speed*) untuk *Al Alloy*). Sebelumnya parameter dari S yang terprogram dari *Engineering* di mesin adalah 8000 rpm.

Dengan rumus diperoleh V_c dari perhitungan berikut :

$$n = 1000 \times V_c / 3.14 \times D$$

$$8000 = 1000 \times V_c / 3.14 \times 5.5$$

$$V_c = 138.16 \text{ m/menit}$$

Untuk setting S = 8000 rpm ini pihak *Engineering* menggunakan $V_c = 138.16$ m/min dan memang masuk dalam *range* atas V_c dari katalog *maker*

Tungaloy. Dan dalam penelitian ini ditentukan sebagai level atas dari faktor yang akan diteliti. Untuk level bawahnya dipilih V_c yang mendekati V_c terendah yaitu 103.62 m/min, sehingga dari persamaan diperoleh putaran spindel mesin 6000 rpm. Lihat perhitungan berikut ini.

$$n = 1000 \times V_c / 3.14 \times D$$

$$n = 1000 \times 103.62 / 3.14 \times 5.5$$

$$n = 6000 \text{ rpm}$$

Selanjutnya F untuk menunjukkan *feeding (Feed Rate)* dengan satuan mm/menit (millimeter per menit). *Feeding* adalah pergerakan pemakanan *drill* saat proses. Pergerakan pemakanan *drill* tergantung pada besar pemakanan setiap satu putaran dan besarnya putaran spindel yang dipakai. *Feed per revolution (mm/rev)* untuk Aluminium Alloy sesuai katalog *maker tool Tungaloy* adalah 0.1~0.25 mm/rev. Sebelumnya parameter dari F yang terprogram dari *Engineering* di mesin adalah 1600 mm/menit, $S = 8000$ rpm. Dengan rumus maka diperoleh hasil sebagai berikut.

$$\text{Feed Rate (mm/min)} = n \text{ (rev/min)} \cdot \text{feed (mm/rev)}$$

$$1600 = 1800 \times \text{feed per rev}$$

$$\text{Feed per rev} = 0.2 \text{ mm/rev}$$

Dari hasil perhitungan diatas untuk setting $F = 1600$ mm/menit ini menggunakan *feed per revolution* = 0.2 mm/rev dan memang masuk dalam range atas *feed* dari catalog yaitu 0.25 mm/rev. Dan 0.2 ini selanjutnya ditentukan sebagai level atas dari faktor yang akan diteliti. Untuk level bawahnya dipilih *feed* yang mendekati v_c terendah 0.1 yaitu 0.13 mm/rev, sehingga dari persamaan diperoleh F (feed rate) mesin 1000 mm/min. Untuk lebih jelasnya lihat perhitungan yang diperoleh hasil sebagai berikut.

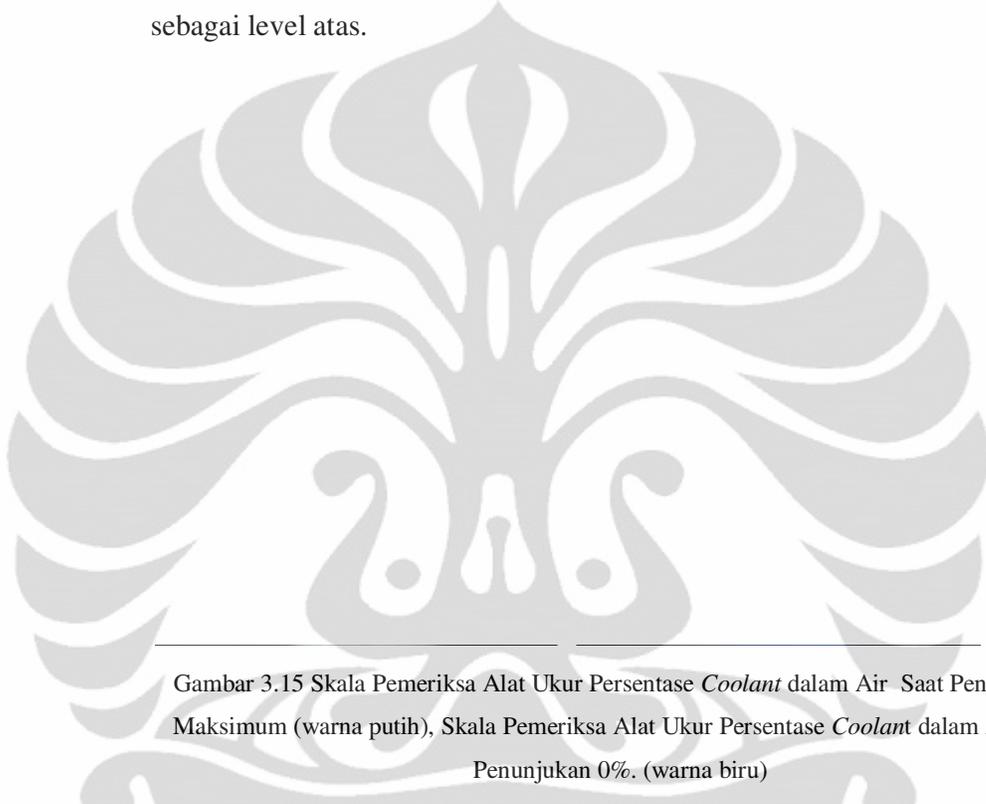
$$\text{Feed Rate (mm/min)} = n \text{ (rev/min)} \cdot \text{feed (mm/rev)}$$

$$1000 = 8000 \times \text{feed per rev}$$
$$\text{Feed per rev} = 0.3 \text{ mm/rev}$$

- *Tool Geometry*, dalam penelitian ini diambil pengaruh faktor panjang *drill*, panjang *drill* ini dalam satuan mm (millimeter). Panjang *drill* standar dari pembuat *drill* ini adalah 105 mm, karena dalam keadaan standar umur *drill* ini tidak tercapai maka yang akan di analisa hanya panjang *drill* saja. Untuk sudut pada *drill* tidak dilakukan perubahan dengan alasan dengan *drill* yang ada saat ini saja umur *drill* standar tidak tercapai. Panjang *drill* 105 mm ini selanjutnya digunakan untuk level atas dari faktor panjang *drill*. Untuk level bawah digunakan panjang 85 mm karena ada rencana untuk *improvement* di waktu yang datang untuk menggunakan *drill* pendek yang memiliki harga lebih murah langsung dari *maker* yang sama untuk program CRP (*cost reduction program*) pada tahap selanjutnya. Terdapat perbedaan harga antara panjang tool 105 mm dan 85 mm, harga tool panjang Rp 2.317.658,00 sedangkan harga tool pendek Rp 1.735.500,00. Untuk penelitian ini untuk mendapatkan panjang 85 mm tool dilakukan pemotongan dengan menggunakan mesin CNC *grinding* yang dimensi pemotongannya disamakan dengan dimensi asalnya.

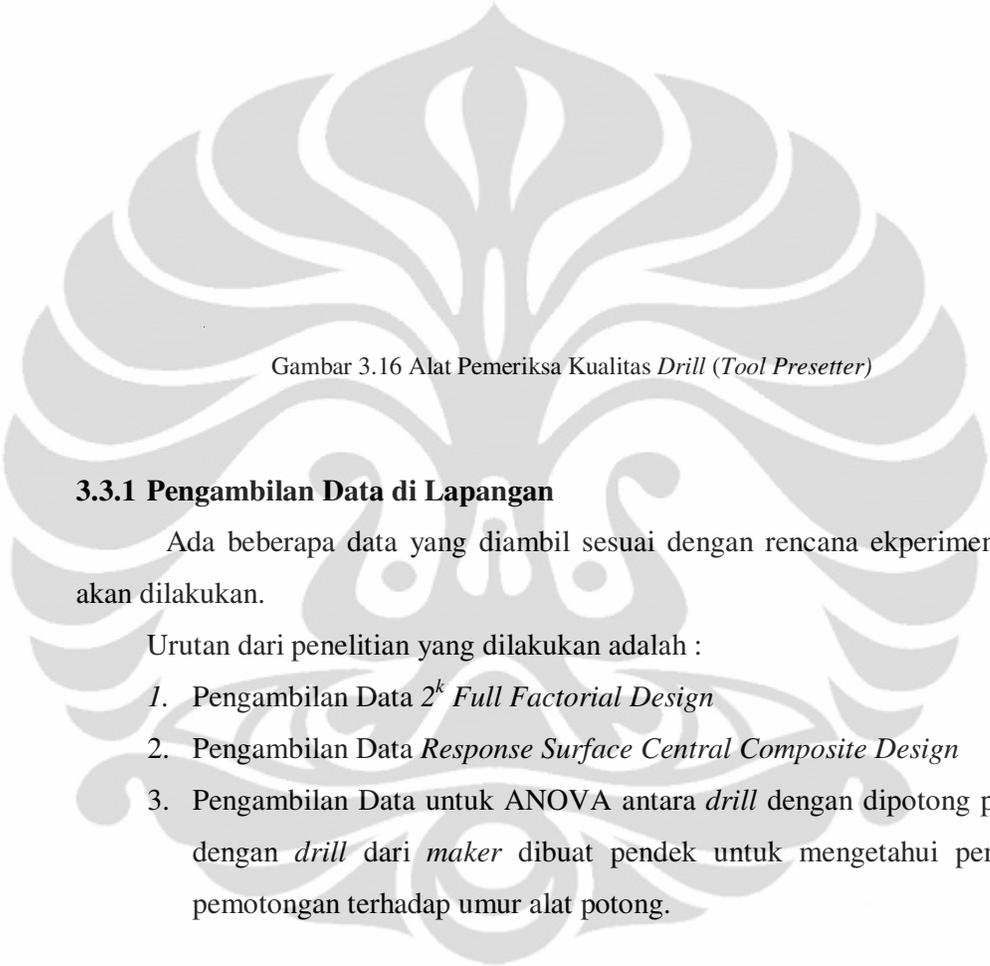
Gambar 3.14 *Drill* Ø5.5 D101048 Panjang 105 mm dan 85 mm

- *Cutting Fluid*, dalam penelitian ini penulis meneliti pengaruh persentase *coolant* dalam air, di mesin yang akan dilakukan penelitian ini menggunakan *waterbase coolant* sebagai pendingin dalam *tool* (*trough coolant*). Standar % *coolant* dalam air dari Engineering adalah 4%~8%. Untuk itu maka dipakai batas bawah 4% sebagai level bawah dan 8% sebagai level atas.



Gambar 3.15 Skala Pemeriksa Alat Ukur Persentase *Coolant* dalam Air Saat Penunjukan Maksimum (warna putih), Skala Pemeriksa Alat Ukur Persentase *Coolant* dalam Air Saat Penunjukan 0%. (warna biru)

Dalam penelitian ini *tool* yang digunakan setiap 300 *counter* selalu diproses penajaman dengan menggunakan mesin CNC *Grinding* secara otomatis. Setiap *tool* yang datang dari *supplier tool* atau setelah diproses penajaman selalu diperiksa 100% dengan alat ukur *Tool Preseter*. Proses penajaman ini dilakukan oleh bagian *Tool Center*.



Gambar 3.16 Alat Pemeriksa Kualitas *Drill* (*Tool Presetter*)

3.3.1 Pengambilan Data di Lapangan

Ada beberapa data yang diambil sesuai dengan rencana eksperimen yang akan dilakukan.

Urutan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Pengambilan Data 2^k *Full Factorial Design*
2. Pengambilan Data *Response Surface Central Composite Design*
3. Pengambilan Data untuk ANOVA antara *drill* dengan dipotong pendek dengan *drill* dari *maker* dibuat pendek untuk mengetahui pengaruh pemotongan terhadap umur alat potong.

3.3.1.1 Pengambilan Data DOE dengan $2k$ *Factorial Design*

Faktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4 faktor yang terdiri dari:

- S yaitu putaran spindle mesin yaitu (-)6000 rpm dan (+)8000 rpm.
- F yaitu kecepatan pemakanan yaitu (-)1000mm/menit dan (+)1600 mm/menit

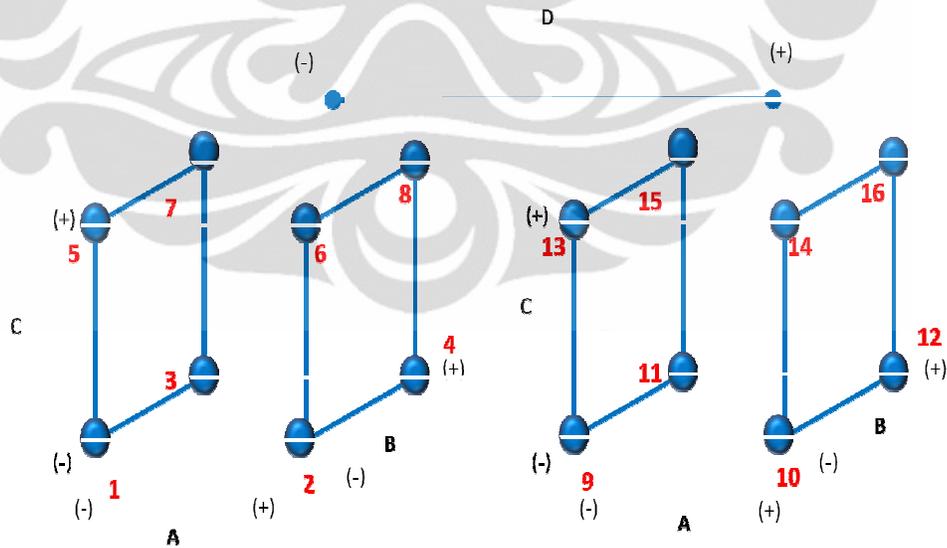
- L yaitu panjang tool yaitu (-)85 mm dan (-)105 mm
- Coolant Percentage yaitu konsentrasi coolant (-)4% dan (-)8%.

Untuk melihat faktor dan level pada 2^k factorial design ini maka lihat tabel di berikut ini.

Tabel 3.4 Tabel Faktor dan Level yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design

Faktor		Level	
		Rendah	Tinggi
		-	+
A	n, S, putaran spindel (rpm)	6000	8000
B	F, Feeding (mm/menit)	1000	1600
C	L, Panjang Tool (mm)	85	105
D	coolant percentage(%)	4	8

Untuk memudahkan desain 4^k factorial design maka dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.17 Desain komposisi 2^4 Factorial Design

Dari desain gambar komposisi 2^4 factorial design diatas, maka percobaan tersebut memiliki 16 kombinasi. Percobaan yang akan dilakukan menggunakan replikasi/pengulangan sebanyak 10 kali sehingga total akan dilakukan percobaan sebanyak 16×10 pengulangan = 160 pengulangan.

Tabel 3.5 Tabel Run Kombinasi Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design

No	Faktor				Run Label
	A	B	C	D	
1	-	-	-	-	(1)
2	+	-	-	-	a
3	-	+	-	-	b
4	+	+	-	-	ab
5	-	-	+	-	c
6	+	-	+	-	ac
7	-	+	+	-	bc
8	+	+	+	-	abc
9	-	-	-	+	d
10	+	-	-	+	ad
11	-	+	-	+	bd
12	+	+	-	+	abd
13	-	-	+	+	cd
14	+	-	+	+	acd
15	-	+	+	+	bcd
16	+	+	+	+	abcd

Penelitian dengan 2^4 Full factorial Design tersebut dibuat dengan replikasi/pengulangan sebanyak 10 kali, dengan tiap-tiap dua pengambilan data dilakukan pada satu mesin. Total yang dipakai dalam percobaan tahap ini adalah 5 mesin, sehingga terdapat blocking pada percobaan ini yaitu mesin. Untuk blocking yang dipakai adalah sebagai berikut ini pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Tabel *Run* Kombinasi Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design

Block	No mesin	Kode
1	Mesin 1	OP3A
2	Mesin 2	OP3B
3	Mesin 3	OP3C
4	Mesin 4	OP3D
5	Mesin 5	OP3E

Dari desain di atas dapat dilakukan pengambilan data di lapangan sesuai desain DOE 2^4 factorial design dan diperoleh tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Tabel Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design

No	Coding Level				Blocks	n(rpm)	F(mm/m)	L(mm)	% Coolant(%)	Tool Counter
	A	B	C	D						
1	-	-	-	-	1	6000	1000	85	4	4684
2	+	-	-	-	1	8000	1000	85	4	5423
3	-	+	-	-	1	6000	1600	85	4	705
4	+	+	-	-	1	8000	1600	85	4	2865
5	-	-	+	-	1	6000	1000	105	4	4118
6	+	-	+	-	1	8000	1000	105	4	4407
7	-	+	+	-	1	6000	1600	105	4	181
8	+	+	+	-	1	8000	1600	105	4	1394
9	-	-	-	+	1	6000	1000	85	8	4740
10	+	-	-	+	1	8000	1000	85	8	5505
11	-	+	-	+	1	6000	1600	85	8	793
12	+	+	-	+	1	8000	1600	85	8	2732
13	-	-	+	+	1	6000	1000	105	8	4204
14	+	-	+	+	1	8000	1000	105	8	4525
15	-	+	+	+	1	6000	1600	105	8	194
16	+	+	+	+	1	8000	1600	105	8	1404
17	-	-	-	-	1	6000	1000	85	4	4678
18	+	-	-	-	1	8000	1000	85	4	5309

Tabel 3.7 Tabel Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design (sambungan)

No	Coding Level				Blocs	n(rpm)	F(mm/m)	L(mm)	% Coolant (%)	Tool Counter
	A	B	C	D						
19	-	+	-	-	1	6000	1600	85	4	616
20	+	+	-	-	1	8000	1600	85	4	2897
21	-	-	+	-	1	6000	1000	105	4	4139
22	+	-	+	-	1	8000	1000	105	4	4506
23	-	+	+	-	1	6000	1600	105	4	194
24	+	+	+	-	1	8000	1600	105	4	1427
25	-	-	-	+	1	6000	1000	85	8	4796
26	+	-	-	+	1	8000	1000	85	8	5589
27	-	+	-	+	1	6000	1600	85	8	838
28	+	+	-	+	1	8000	1600	85	8	2904
29	-	-	+	+	1	6000	1000	105	8	4130
30	+	-	+	+	1	8000	1000	105	8	4635
31	-	+	+	+	1	6000	1600	105	8	287
32	+	+	+	+	1	8000	1600	105	8	1527
33	-	-	-	-	2	6000	1000	85	4	4802
34	+	-	-	-	2	8000	1000	85	4	5412
35	-	+	-	-	2	6000	1600	85	4	696
36	+	+	-	-	2	8000	1600	85	4	2806
37	-	-	+	-	2	6000	1000	105	4	4137
38	+	-	+	-	2	8000	1000	105	4	4621
39	-	+	+	-	2	6000	1600	105	4	195
40	+	+	+	-	2	8000	1600	105	4	1406
41	-	-	-	+	2	6000	1000	85	8	4803
42	+	-	-	+	2	8000	1000	85	8	5543
43	-	+	-	+	2	6000	1600	85	8	734
44	+	+	-	+	2	8000	1600	85	8	2923
45	-	-	+	+	2	6000	1000	105	8	4056
46	+	-	+	+	2	8000	1000	105	8	4604
47	-	+	+	+	2	6000	1600	105	8	205
48	+	+	+	+	2	8000	1600	105	8	1488
49	-	-	-	-	2	6000	1000	85	4	4629
50	+	-	-	-	2	8000	1000	85	4	5599
51	-	+	-	-	2	6000	1600	85	4	693
52	+	+	-	-	2	8000	1600	85	4	2843
53	-	-	+	-	2	6000	1000	105	4	3945
54	+	-	+	-	2	8000	1000	105	4	4552

Tabel 3.7 Tabel Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design (sambungan)

No	Coding Level				Block s	n(rpm)	F(mm/m)	L(mm)	% Coolant (%)	Tool Counter
	A	B	C	D						
55	-	+	+	-	2	6000	1600	105	4	305
56	+	+	+	-	2	8000	1600	105	4	1305
57	-	-	-	+	2	6000	1000	85	8	4705
58	+	-	-	+	2	8000	1000	85	8	5686
59	-	+	-	+	2	6000	1600	85	8	693
60	+	+	-	+	2	8000	1600	85	8	2934
61	-	-	+	+	2	6000	1000	105	8	4089
62	+	-	+	+	2	8000	1000	105	8	4582
63	-	+	+	+	2	6000	1600	105	8	277
64	+	+	+	+	2	8000	1600	105	8	1607
65	-	-	-	-	3	6000	1000	85	4	4743
66	+	-	-	-	3	8000	1000	85	4	5416
67	-	+	-	-	3	6000	1600	85	4	734
68	+	+	-	-	3	8000	1600	85	4	2785
69	-	-	+	-	3	6000	1000	105	4	4007
70	+	-	+	-	3	8000	1000	105	4	4507
71	-	+	+	-	3	6000	1600	105	4	239
72	+	+	+	-	3	8000	1600	105	4	1497
73	-	-	-	+	3	6000	1000	85	8	4710
74	+	-	-	+	3	8000	1000	85	8	5476
75	-	+	-	+	3	6000	1600	85	8	788
76	+	+	-	+	3	8000	1600	85	8	2856
77	-	-	+	+	3	6000	1000	105	8	4173
78	+	-	+	+	3	8000	1000	105	8	4507
79	-	+	+	+	3	6000	1600	105	8	192
80	+	+	+	+	3	8000	1600	105	8	1527
81	-	-	-	-	3	6000	1000	85	4	4772
82	+	-	-	-	3	8000	1000	85	4	5552
83	-	+	-	-	3	6000	1600	85	4	696
84	+	+	-	-	3	8000	1600	85	4	2806
85	-	-	+	-	3	6000	1000	105	4	4037
86	+	-	+	-	3	8000	1000	105	4	4594
87	-	+	+	-	3	6000	1600	105	4	217
88	+	+	+	-	3	8000	1600	105	4	1436
89	-	-	-	+	3	6000	1000	85	8	4773
90	+	-	-	+	3	8000	1000	85	8	5447

Tabel 3.7 Tabel Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design (sambungan)

No	Coding Level				Blocs	n(rpm)	F(mm/m)	L(mm)	% Coolant(%)	Tool Counter
	A	B	C	D						
91	-	+	-	+	3	6000	1600	85	8	714
92	+	+	-	+	3	8000	1600	85	8	2843
93	-	-	+	+	3	6000	1000	105	8	4087
94	+	-	+	+	3	8000	1000	105	8	4511
95	-	+	+	+	3	6000	1600	105	8	271
96	+	+	+	+	3	8000	1600	105	8	1406
97	-	-	-	-	4	6000	1000	85	4	4745
98	+	-	-	-	4	8000	1000	85	4	5474
99	-	+	-	-	4	6000	1600	85	4	691
100	+	+	-	-	4	8000	1600	85	4	2811
101	-	-	+	-	4	6000	1000	105	4	4117
102	+	-	+	-	4	8000	1000	105	4	4554
103	-	+	+	-	4	6000	1600	105	4	227
104	+	+	+	-	4	8000	1600	105	4	1367
105	-	-	-	+	4	6000	1000	85	8	4732
106	+	-	-	+	4	8000	1000	85	8	5510
107	-	+	-	+	4	6000	1600	85	8	827
108	+	+	-	+	4	8000	1600	85	8	2834
109	-	-	+	+	4	6000	1000	105	8	4227
110	+	-	+	+	4	8000	1000	105	8	4663
111	-	+	+	+	4	6000	1600	105	8	273
112	+	+	+	+	4	8000	1600	105	8	1601
113	-	-	-	-	4	6000	1000	85	4	4621
114	+	-	-	-	4	8000	1000	85	4	5328
115	-	+	-	-	4	6000	1600	85	4	747
116	+	+	-	-	4	8000	1600	85	4	2781
117	-	-	+	-	4	6000	1000	105	4	4089
118	+	-	+	-	4	8000	1000	105	4	4510
119	-	+	+	-	4	6000	1600	105	4	179
120	+	+	+	-	4	8000	1600	105	4	1402
121	-	-	-	+	4	6000	1000	85	8	4743
122	+	-	-	+	4	8000	1000	85	8	5575
123	-	+	-	+	4	6000	1600	85	8	747
124	+	+	-	+	4	8000	1600	85	8	2759
125	-	-	+	+	4	6000	1000	105	8	3985
126	+	-	+	+	4	8000	1000	105	8	4503

Tabel 3.7 Tabel Percobaan yang Dipakai untuk 2^4 Factorial Design (sambungan)

No	Coding Level				Blocks	n(rpm)	F(mm/m)	L(m m)	% Coolan t(%)	Tool Counter
	A	B	C	D						
127	-	+	+	+	4	6000	1600	105	8	249
128	+	+	+	+	4	8000	1600	105	8	1542
129	-	-	-	-	5	6000	1000	85	4	4643
130	+	-	-	-	5	8000	1000	85	4	5501
131	-	+	-	-	5	6000	1600	85	4	801
132	+	+	-	-	5	8000	1600	85	4	2845
133	-	-	+	-	5	6000	1000	105	4	3892
134	+	-	+	-	5	8000	1000	105	4	4428
135	-	+	+	-	5	6000	1600	105	4	296
136	+	+	+	-	5	8000	1600	105	4	1429
137	-	-	-	+	5	6000	1000	85	8	4697
138	+	-	-	+	5	8000	1000	85	8	5602
139	-	+	-	+	5	6000	1600	85	8	804
140	+	+	-	+	5	8000	1600	85	8	2803
141	-	-	+	+	5	6000	1000	105	8	4056
142	+	-	+	+	5	8000	1000	105	8	4562
143	-	+	+	+	5	6000	1600	105	8	254
144	+	+	+	+	5	8000	1600	105	8	1474
145	-	-	-	-	5	6000	1000	85	4	4714
146	+	-	-	-	5	8000	1000	85	4	5489
147	-	+	-	-	5	6000	1600	85	4	774
148	+	+	-	-	5	8000	1600	85	4	2811
149	-	-	+	-	5	6000	1000	105	4	3947
150	+	-	+	-	5	8000	1000	105	4	4572
151	-	+	+	-	5	6000	1600	105	4	206
152	+	+	+	-	5	8000	1600	105	4	1309
153	-	-	-	+	5	6000	1000	85	8	4783
154	+	-	-	+	5	8000	1000	85	8	5389
155	-	+	-	+	5	6000	1600	85	8	779
156	+	+	-	+	5	8000	1600	85	8	2809
157	-	-	+	+	5	6000	1000	105	8	4179
158	+	-	+	+	5	8000	1000	105	8	4603
159	-	+	+	+	5	6000	1600	105	8	246
160	+	+	+	+	5	8000	1600	105	8	1396

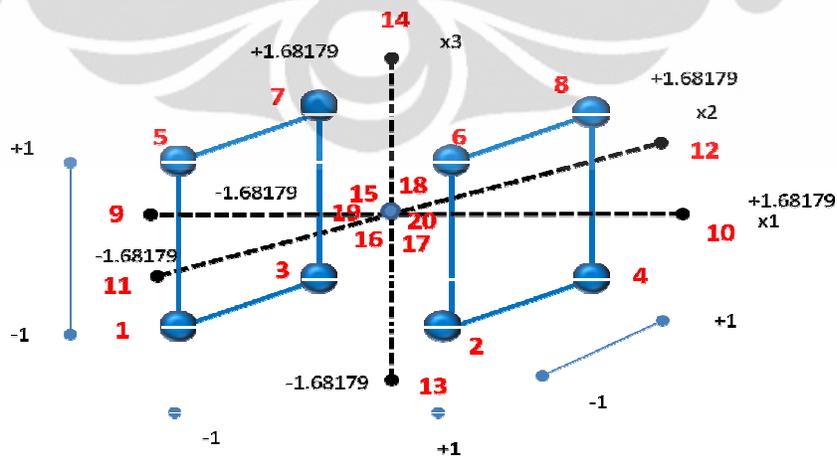
3.3.1.2 Pengambilan Data DOE dengan *Response Surface*

Response Surface menggunakan metode *Central Composite Design* (CCD). Pemilihan CCD ini dikarenakan penggunaannya yang terkenal dan sangat efisien dalam desain tahap ke dua. Pada percobaan tahap ke dua ini, karena *Coolant Percentage* tidak berpengaruh pada umur *drill* sesuai hasil pengolahan data pada percobaan DOE 2^4 factorial design, maka pada tahap *response surface* faktor tersebut dihilangkan dan hanya menggunakan 3 faktor saja yaitu bisa dilihat pada tabel 3.8. Nilai α didapat dari $\alpha = (n_F)^{1/4}$, sehingga $\alpha = 8^{1/4}$. Dari perhitungan ini $\alpha = 1,68179$.

Tabel 3.8 Tabel Percobaan yang Dipakai untuk CCD *Response Surface*

Level	Paling Rendah	Rendah	Pusat	Tinggi	Paling Tinggi
Coding	-1.68179	-1	0	1	1.68179
x1, n, putaran spindel (rpm)	5318.2	6000	7000	8000	8681.8
x2, F, kecepatan pemakanan (mm/menit)	795.46	1000	1300	1600	1804.54
x3, L, panjang tool (mm)	78.2	85	95	105	111.8

Untuk memudahkan pemahaman maka lihat gambar 3.10 yang menjelaskan desain *Central Composite Design* berikut.



Gambar 3.18 Desain komposisi *Response Surface Central Composite Design*

Dari desain gambar komposisi *Response Surface Central Composite Design* pada gambar 3.18, maka percobaan tersebut memiliki 20 kombinasi. Percobaan yang akan dilakukan menggunakan replikasi/pengulangan sebanyak 4 kali sehingga total akan dilakukan percobaan sebanyak 20 x 4 pengulangan = 80 pengulangan. Untuk run kombinasi yang dilakukan bisa dilihat pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 Tabel *Run* Kombinasi Percobaan yang dipakai untuk *Response Surface Central Composite Design*

No	Coding Level			n	F	L
	X1	X2	X3			
1	-1	-1	-1	6000	1000	85
2	1	-1	-1	8000	1000	85
3	-1	1	-1	6000	1600	85
4	1	1	-1	8000	1600	85
5	-1	-1	1	6000	1000	105
6	1	-1	1	8000	1000	105
7	-1	1	1	6000	1600	105
8	1	1	1	8000	1600	105
9	-1.68179	0	0	5318.2	1300	95
10	1.68179	0	0	8681.8	1300	95
11	0	-1.68179	0	7000	795.5	95
12	0	1.68179	0	7000	1804.5	95
13	0	0	-1.68179	7000	1300	78.2
14	0	0	1.68179	7000	1300	111.8
15	0	0	0	7000	1300	95
16	0	0	0	7000	1300	95
17	0	0	0	7000	1300	95
18	0	0	0	7000	1300	95
19	0	0	0	7000	1300	95
20	0	0	0	7000	1300	95

Untuk selanjutnya dilakukan pengambilan data di lapangan dan diperoleh data yang disampaikan pada tabel. Tabel pengambilan data dari Response Surface pada drill Ø 5.5 D101048 tersebut bisa dilihat pada tabel berikut, lihat tabel 3.10.

Tabel 3.10 Tabel Data Percobaan yang dipakai untuk *Response Surface Central Composite Design*

No	Coding Level			n	F	L	Umur Tool
	X1	X2	X3				
1	-1	-1	-1	6000	1000	85	4684
2	1	-1	-1	8000	1000	85	5423
3	-1	1	-1	6000	1600	85	705
4	1	1	-1	8000	1600	85	2865
5	-1	-1	1	6000	1000	105	4118
6	1	-1	1	8000	1000	105	4407
7	-1	1	1	6000	1600	105	181
8	1	1	1	8000	1600	105	1394
9	-1.68179	0	0	5318.2	1300	95	818
10	1.68179	0	0	8681.8	1300	95	3518
11	0	-1.68179	0	7000	795.5	95	4917
12	0	1.68179	0	7000	1804.5	95	1236
13	0	0	-1.68179	7000	1300	78.2	4125
14	0	0	1.68179	7000	1300	111.8	1243
15	0	0	0	7000	1300	95	1645
16	0	0	0	7000	1300	95	1734
17	0	0	0	7000	1300	95	1725
18	0	0	0	7000	1300	95	1834
19	0	0	0	7000	1300	95	1743
20	0	0	0	7000	1300	95	1742
21	-1	-1	-1	6000	1000	85	4678
22	1	-1	-1	8000	1000	85	5309
23	-1	1	-1	6000	1600	85	616
24	1	1	-1	8000	1600	85	2897
25	-1	-1	1	6000	1000	105	4139
26	1	-1	1	8000	1000	105	4506
27	-1	1	1	6000	1600	105	194
28	1	1	1	8000	1600	105	1427
29	-1.68179	0	0	5318.2	1300	95	912
30	1.68179	0	0	8681.8	1300	95	3413

Tabel 3.10 Tabel Data Percobaan yang dipakai untuk *Response Surface Central Composite Design* (sambungan)

No	Coding Level			n	F	L	Umur Tool
	X1	X2	X3				
31	0	-1.68179	0	7000	795.5	95	4810
32	0	1.68179	0	7000	1804.5	95	1327
33	0	0	-1.68179	7000	1300	78.2	4201
34	0	0	1.68179	7000	1300	111.8	1272
35	0	0	0	7000	1300	95	1543
36	0	0	0	7000	1300	95	1795
37	0	0	0	7000	1300	95	1731
38	0	0	0	7000	1300	95	1765
39	0	0	0	7000	1300	95	1814
40	0	0	0	7000	1300	95	1784
41	-1	-1	-1	6000	1000	85	4802
42	1	-1	-1	8000	1000	85	5412
43	-1	1	-1	6000	1600	85	696
44	1	1	-1	8000	1600	85	2806
45	-1	-1	1	6000	1000	105	4137
46	1	-1	1	8000	1000	105	4621
47	-1	1	1	6000	1600	105	195
48	1	1	1	8000	1600	105	1406
49	-1.68179	0	0	5318.2	1300	95	712
50	1.68179	0	0	8681.8	1300	95	3571
51	0	-1.68179	0	7000	795.5	95	5024
52	0	1.68179	0	7000	1804.5	95	1342
53	0	0	-1.68179	7000	1300	78.2	4212
54	0	0	1.68179	7000	1300	111.8	1286
55	0	0	0	7000	1300	95	1659
56	0	0	0	7000	1300	95	1756
57	0	0	0	7000	1300	95	1825
58	0	0	0	7000	1300	95	1743
59	0	0	0	7000	1300	95	1881
60	0	0	0	7000	1300	95	1832

Tabel 3.10 Tabel Data Percobaan yang dipakai untuk *Response Surface Central Composite Design* (sambungan)

No	Coding Level			n	F	L	Umur Tool
	X1	X2	X3				
61	-1	-1	-1	6000	1000	85	4629
62	1	-1	-1	8000	1000	85	5599
63	-1	1	-1	6000	1600	85	693
64	1	1	-1	8000	1600	85	2843
65	-1	-1	1	6000	1000	105	3945
66	1	-1	1	8000	1000	105	4552
67	-1	1	1	6000	1600	105	305
68	1	1	1	8000	1600	105	1305
69	-1.68179	0	0	5318.2	1300	95	853
70	1.68179	0	0	8681.8	1300	95	3561
71	0	-1.68179	0	7000	795.5	95	4883
72	0	1.68179	0	7000	1804.5	95	1194
73	0	0	-1.68179	7000	1300	78.2	4093
74	0	0	1.68179	7000	1300	111.8	1232
75	0	0	0	7000	1300	95	1592
76	0	0	0	7000	1300	95	1824
77	0	0	0	7000	1300	95	1753
78	0	0	0	7000	1300	95	1827
79	0	0	0	7000	1300	95	1741
80	0	0	0	7000	1300	95	1772

BAB 4

ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dijelaskan analisis dari data yang sudah terkumpul dan diolah. Untuk mempermudah pemahaman maka penjelasan pada bab ini diurutkan sebagai berikut :

1. Analisis dengan 2^k *Full Factorial Design*.
2. Analisis dengan *Response Surface Central Composite Design*.
3. ANOVA antara *drill* dengan dipotong pendek dengan *drill* dari *maker drill* sudah dibuat pendek untuk mengetahui efek terhadap umur pakai *drill*.
4. Analisis penerapan hasil DOE untuk aplikasi ke lapangan (*Quality, Cost, Delivery*).

Penjelasan tentang analisis data dan pengambilan kesimpulan tentang kondisi penelitian berdasarkan urutan akan dijelaskan pada sub bab masing-masing di bab ini.

4.1 Analisis dengan 2^k *Full Factorial Design*

Dari pengambilan data di lapangan yang dijelaskan pada bab III diperoleh data dari lapangan dan lihat pada tabel 3.5 di bab 3. Selanjutnya data tersebut akan diolah menggunakan Minitab 14 untuk analisis dengan metoda 2^k *full factorial design*.

Hasil dari Minitab 14 adalah dapat dilihat pada gambar 4.1.

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Runs: 160 Replicates: 10
Blocks: 5 Center pts (total): 0

Block Generators: replicates

Factorial Fit: Tool Counter versus Block, n, F, L, % Coolant

Estimated Effects and Coefficients for Tool Counter (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3013	5.133	586.97	0.000
Block 1		-2	10.266	-0.19	0.848
Block 2		15	10.266	1.42	0.158
Block 3		-3	10.266	-0.27	0.784
Block 4		0	10.266	0.01	0.991
n	1133	567	5.133	110.41	0.000
F	-3397	-1698	5.133	-330.90	0.000
L	-871	-435	5.133	-84.83	0.000
% Coolant	55	27	5.133	5.35	0.000
n*F	517	259	5.133	50.40	0.000
n*L	-294	-147	5.133	-28.61	0.000
n*% Coolant	5	3	5.133	0.52	0.603
F*L	-76	-38	5.133	-7.44	0.000
F*% Coolant	-7	-3	5.133	-0.67	0.503
L*% Coolant	5	3	5.133	0.52	0.601
n*F*L	-144	-72	5.133	-14.05	0.000
n*F*% Coolant	4	2	5.133	0.39	0.697
n*L*% Coolant	7	3	5.133	0.64	0.523
F*L*% Coolant	7	4	5.133	0.69	0.492
n*F*L*% Coolant	24	12	5.133	2.30	0.023

S = 64.9255 R-Sq = 99.89% R-Sq(adj) = 99.88%

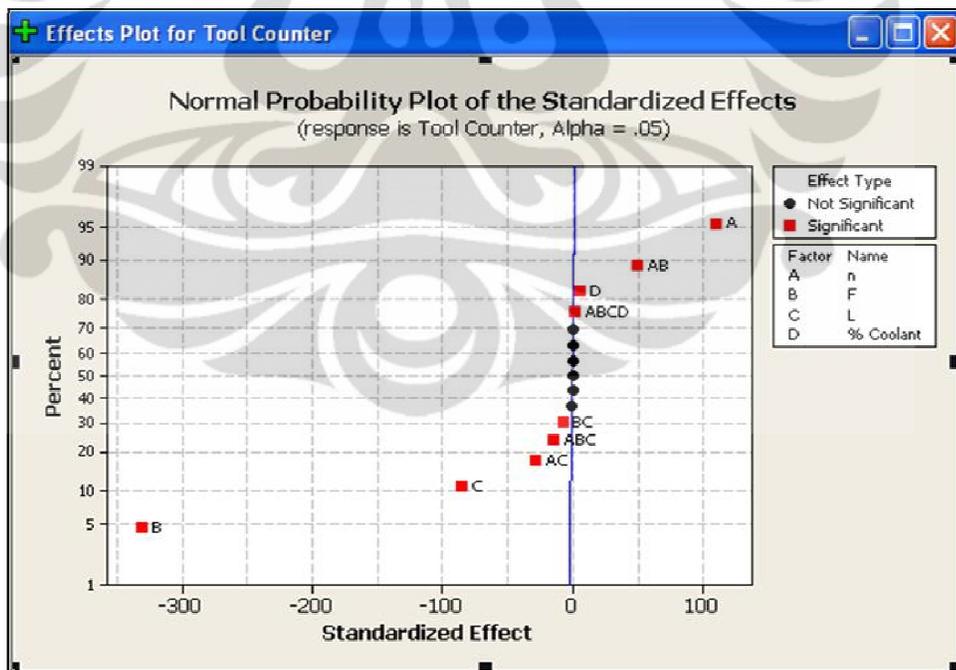
Analysis of Variance for Tool Counter (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	10284	10284	2571	0.61	0.656
Main Effects	4	543393280	543393280	135848320	32227.26	0.000
2-Way Interactions	6	14396016	14396016	2399336	569.19	0.000
3-Way Interactions	4	836694	836694	209173	49.62	0.000
4-Way Interactions	1	22326	22326	22326	5.30	0.023
Residual Error	140	590145	590145	4215		
Lack of Fit	60	263377	263377	4390	1.07	0.379
Pure Error	80	326768	326768	4085		
Total	159	559248745				

Gambar 4.1 Hasil Pengolahan Data 2⁴ Factorial Design

Dari hasil analisis data dengan menggunakan *software* Minitab14 di atas maka dapat diambil kesimpulan faktor-faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan adalah yang memiliki *p-value* dibawah 0,05. Dari hasil Minitab di atas maka

diperoleh hasil bahwa n (putaran spindel mesin), F (*feeding*), L (panjang *tool drill*), *Coolant Percentage* (*% coolant*) berpengaruh pada umur pakai *drill*, hal ini terlihat dari nilai *p-value* nya dibawah 0.05. Untuk *block* (mesin) tidak berpengaruh signifikan pada hasil umur pakai *drill*, hal ini karena nilai *p-value* *block* jauh diatas 0.05. Akan tetapi kombinasi *coolant percentage* dengan faktor lain terlihat tidak berpengaruh, hal ini terlihat dari *p-value* antara $n + \% \text{ coolant} = 0.603$, $F + \% \text{ coolant} = 0.503$, $L + \% \text{ coolant} = 0.601$, $n + F + \% \text{ coolant} = 0.697$, $n + L + \% \text{ coolant} = 0.523$, $F + L + \% \text{ coolant} = 0.492$. Sedangkan untuk *coolant percentage* walaupun *p-value* = 0.000 dan kombinasi $n + F + L + \% \text{ coolant}$ dengan *p-value* = 0.023 memiliki *p-value* dibawah 0.05 akan tetapi *effect* nya memiliki nilai yang kecil yaitu hanya memiliki nilai 55 dan 24, sehingga tidak diikutsetakan pada DOE tahap lanjut (*response surface*). Untuk melihat kesignifikanan pengaruh faktor terhadap umur pakai *drill* bisa dilihat pada gambar 4.2. Untuk lebih detailnya bahasan ini juga dibahas pada sub bab selanjutnya pada bab ini.



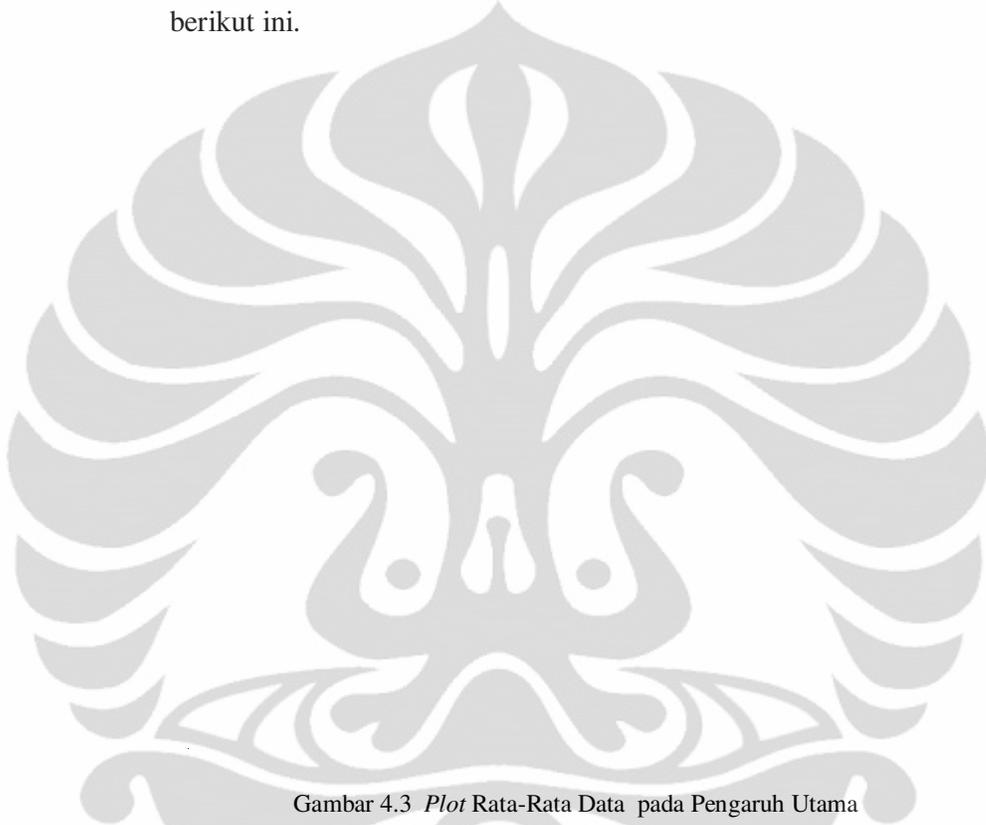
Gambar 4.2 Faktor vs Efek Hasil Pengolahan Data 2^4 Factorial Design

4.1.1 *Plot* Pengaruh Faktor terhadap Umur *Tool Drill*

Plot hasil olahan data Minitab14 berupa :

a. *Plot* Pengaruh Utama

Untuk *plot* pengaruh utama dapat dilihat pada gambar 4.3 selanjutnya berikut ini.



Gambar 4.3 *Plot* Rata-Rata Data pada Pengaruh Utama

Dari *plot* di atas diperoleh hasil bahwa pada n (putaran spindel mesin) 6000 rpm menghasilkan rata-rata umur pakai *drill* sejumlah 2446,05 dibandingkan dengan n (putaran spindel mesin) 8000 rpm menghasilkan rata-rata umur pakai *drill* sejumlah 3579,53. Untuk F (*feeding*) 1000 mm/menit menghasilkan rata-rata umur pakai *drill* sejumlah 4711,22 dibandingkan dengan F (*feeding*) 1600 mm/menit menghasilkan rata-rata umur pakai *drill* sejumlah 1314,35. Untuk L (panjang *drill*) 85 mm menghasilkan rata-rata umur pakai *drill* sejumlah 3448,19 dibandingkan dengan L (panjang *drill*) 105 mm menghasilkan rata-rata umur pakai *drill* sejumlah 2577,39.

b. *Plot* Interaksi Dua Faktor

Untuk *plot* pengaruh interaksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



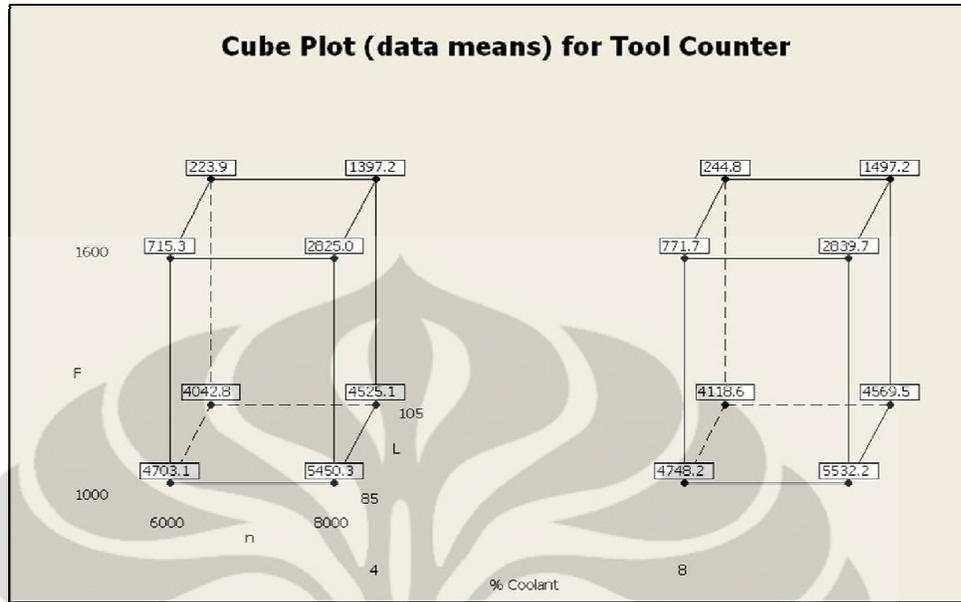
Gambar 4.4 *Plot Interaksi Rata-Rata Data* Pengaruh Interaksi Dua Faktor

Pada n (putaran spindel mesin) 6000 rpm perpindahan dari F (*feeding*) 1000 mm/menit ke 1600 mm/menit akan mengurangi umur pakai *drill* rata-rata. Demikian juga pada n (putaran spindel mesin) 8000 rpm perpindahan dari F (*feeding*) 1000 mm/menit ke 1600 mm/menit akan mengurangi umur pakai *drill* rata-rata. Hasil tertinggi terjadi pada saat n (putaran spindel mesin) 8000 rpm dikombinasikan dengan F (*feeding*) 1000 mm/menit. Pada n (putaran spindel mesin) 6000 rpm perpindahan dari L (panjang *drill*) 85 mm ke 105 mm akan mengurangi umur pakai

drill rata-rata. Demikian juga pada n (putaran *spindle* mesin) 8000 rpm perpindahan dari L (panjang *drill*) 85 mm ke 105 mm akan mengurangi umur pakai *drill* rata-rata. Hasil tertinggi terjadi pada saat n (putaran *spindle* mesin) 8000 rpm dikombinasikan dengan L (panjang *drill*) 85 mm. Pada n (putaran *spindel* mesin) 6000 rpm perpindahan dari *coolant percentage* 4% ke 8% tidak terlihat perubahan pada umur pakai *drill* rata-rata. Demikian juga pada n (putaran *spindel* mesin) 8000 rpm perpindahan dari *coolant percentage* 4% ke 8% tidak terlihat perubahan pada umur pakai *drill* rata-rata. Hasil tertinggi terjadi pada saat n (putaran *spindel* mesin) 8000 rpm. Pada kondisi $F(\text{feeding})$ 1600 mm/menit perpindahan dari L (panjang *drill*) 85 mm ke 105 mm akan mengurangi umur pakai *drill* rata-rata. Demikian juga pada kondisi $F(\text{feeding})$ 1000 mm/menit perpindahan dari L (panjang *drill*) 85 mm ke 105 mm akan mengurangi umur pakai *drill* rata-rata. Hasil tertinggi terjadi pada kombinasi $F(\text{feeding})$ 1000 mm/menit dengan L (panjang *drill*) 85 mm. Pada kondisi $F(\text{feeding})$ 1600 mm/menit perpindahan dari *coolant percentage* 4% ke 8% tidak terlihat perubahan pada umur pakai *drill* rata-rata. Demikian juga pada kondisi $F(\text{feeding})$ 1000 mm/menit perpindahan dari dari *coolant percentage* 4% ke 8% tidak terlihat perubahan pada umur pakai *drill* rata-rata. Hasil tertinggi terjadi pada kondisi $F(\text{feeding})$ 1000 mm/menit. Untuk kondisi L (panjang *drill*) 105 mm perpindahan dari *coolant percentage* 4% ke 8% tidak terlihat perubahan pada umur pakai *drill* rata-rata. Pada kondisi L (panjang *drill*) 85 mm perpindahan dari *coolant percentage* 4% ke 8% juga tidak terlihat perubahan pada umur pakai *drill* rata-rata. Hasil tertinggi terjadi pada kondisi L (panjang *drill*) 85 mm.

c. *Cube Plot*

Dari analisa 2^k *factorial design* dengan Minitab diperoleh *cube plot* seperti gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Cube Plot* Rata-Rata Data

Dari *cube plot* di atas dapat disimpulkan bahwa nilai umur pakai *drill* paling panjang ada pada kombinasi faktor *n* (putaran spindel mesin) 8000 rpm, *F* (*feeding*) 1000 mm/menit, *L* (panjang *drill*) 85 mm. Sedangkan pada kombinasi yang sama pada faktor *coolant percentage* 4% dan 8% perbedaan umur *tool drill* hanya terpaut sedikit dan tidak lebih dari 100, sehingga untuk tahap DOE selanjutnya (*response surface*) maka faktor *coolant percentage* tidak diikutsertakan.

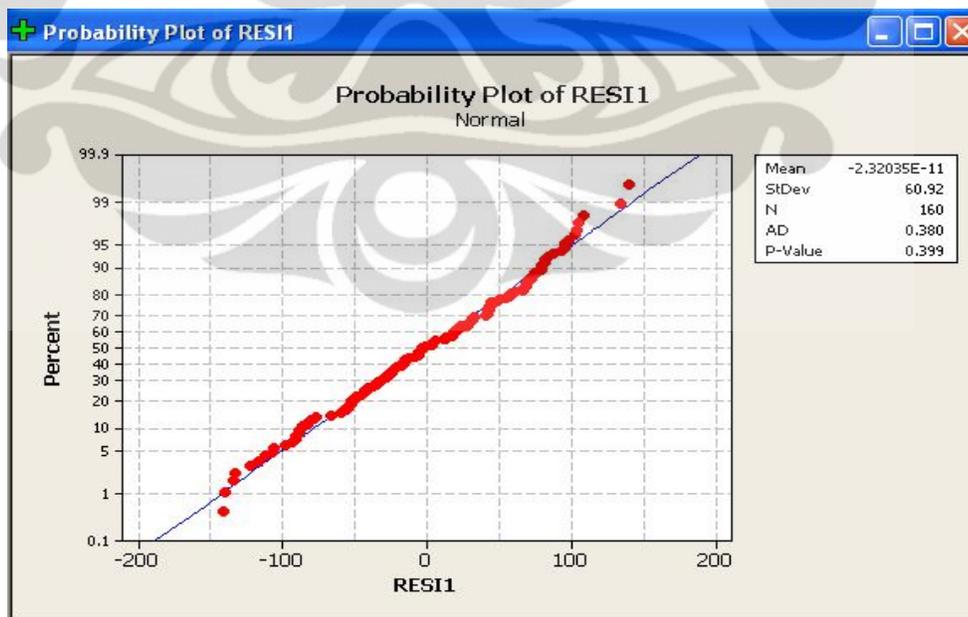
4.1.2 Uji Kecukupan Data

Dari data yang diambil pada bab III di atas maka dilakukan pengujian uji kecukupan data dengan menggunakan *Power and Sample Size* dengan menggunakan Minitab 14 dan diperoleh hasil seperti gambar 4.6 di berikut ini.

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 64.92					
Factors: 4 Base Design: 4, 16					
Blocks: none					
Center			Total		
Points	Effect	Reps	Runs	Power	
0	50	10	160	0.998001	

Gambar 4.6 Hasil *Power and Sample Size* dengan Minitab 14

Standar deviasi untuk inputan pada *Power Sample Size Minitab* diperoleh dari akar kuadrat dari *residual error* data dari ANOVA yaitu 4215. Sehingga $\sqrt{4215}$ diperoleh hasil 64.92. Pengulangan pengambilan data (*replicate*) diisi dengan 10 karena pengambilan sample dilakukan pengulangan 10 kali. Dari hasil olahan *Minitab* diperoleh *Power* 0.998001 sehingga uji kecukupan data tersebut sangat kuat. Uji *Normality Test* juga menunjukkan hasil bahwa data yang diambil adalah terdistribusi normal, hal ini terlihat dari *p-value* yang lebih dari 0.05, hasil *p-value* nya adalah 0,399. Hasil uji *normality* bisa dilihat pada gambar 4.7.

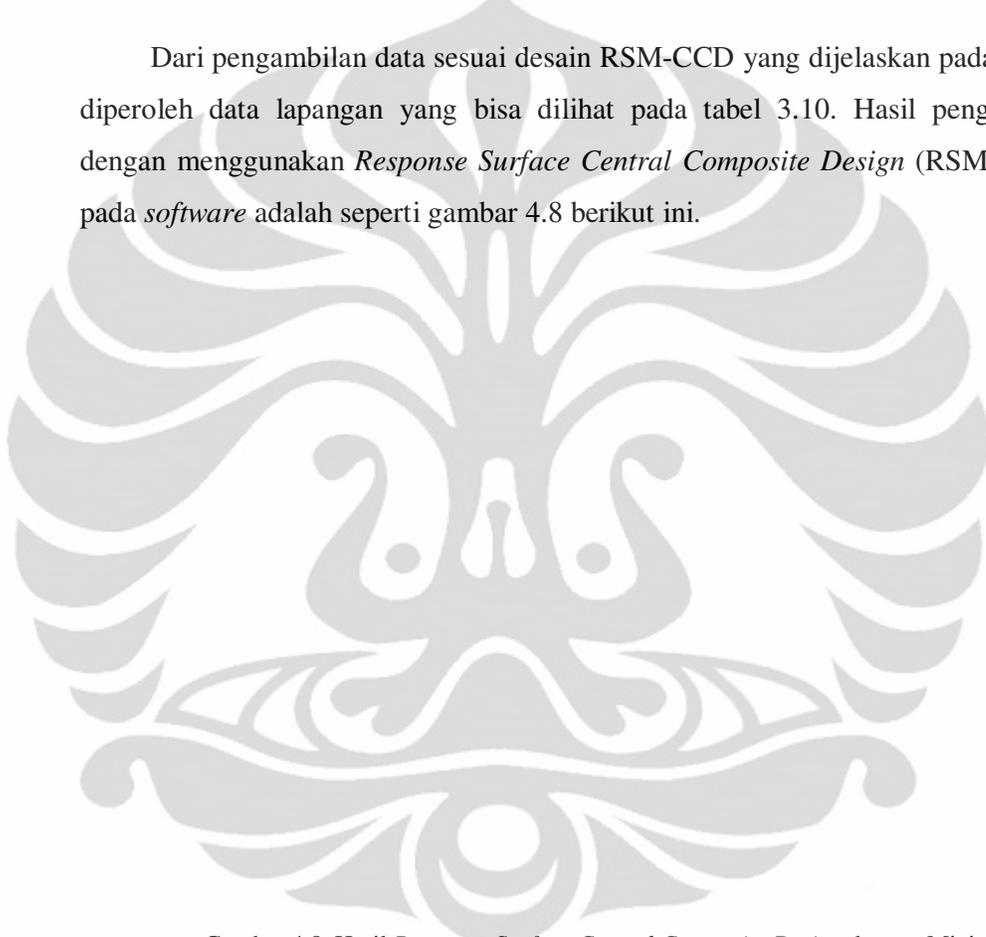


Gambar 4.7 Hasil *Normality Test* dengan Minitab 14

Dari DOE tahap awal (2^k full factorial) ini diperoleh tiga faktor utama yang akan dilakukan penelitian lanjut dengan menggunakan DOE tahap lanjut (*response surface*) yaitu n (putaran spindel mesin), F (*feeding*), L (panjang *drill*).

4.2 *Response Surface* dengan *Central Composite Design* (RSM-CCD)

Dari pengambilan data sesuai desain RSM-CCD yang dijelaskan pada bab 3 diperoleh data lapangan yang bisa dilihat pada tabel 3.10. Hasil pengolahan dengan menggunakan *Response Surface Central Composite Design* (RSM-CCD) pada *software* adalah seperti gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Hasil *Response Surface Central Composite Design* dengan Minitab 14

Response Surface Regression: Tool Counter versus n, F, L

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Tool Counter

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1743.69	76.57	22.772	0.000
n	662.02	50.80	13.031	0.000
F	-1443.92	50.80	-28.421	0.000
L	-610.14	50.80	-12.010	0.000
n*n	205.07	49.46	4.147	0.000
F*F	531.01	49.46	10.737	0.000
L*L	395.37	49.46	7.994	0.000
n*F	270.66	66.38	4.077	0.000
n*L	-163.97	66.38	-2.470	0.016
F*L	-50.09	66.38	-0.755	0.453

S = 375.5 R-Sq = 94.9% R-Sq(adj) = 94.3%

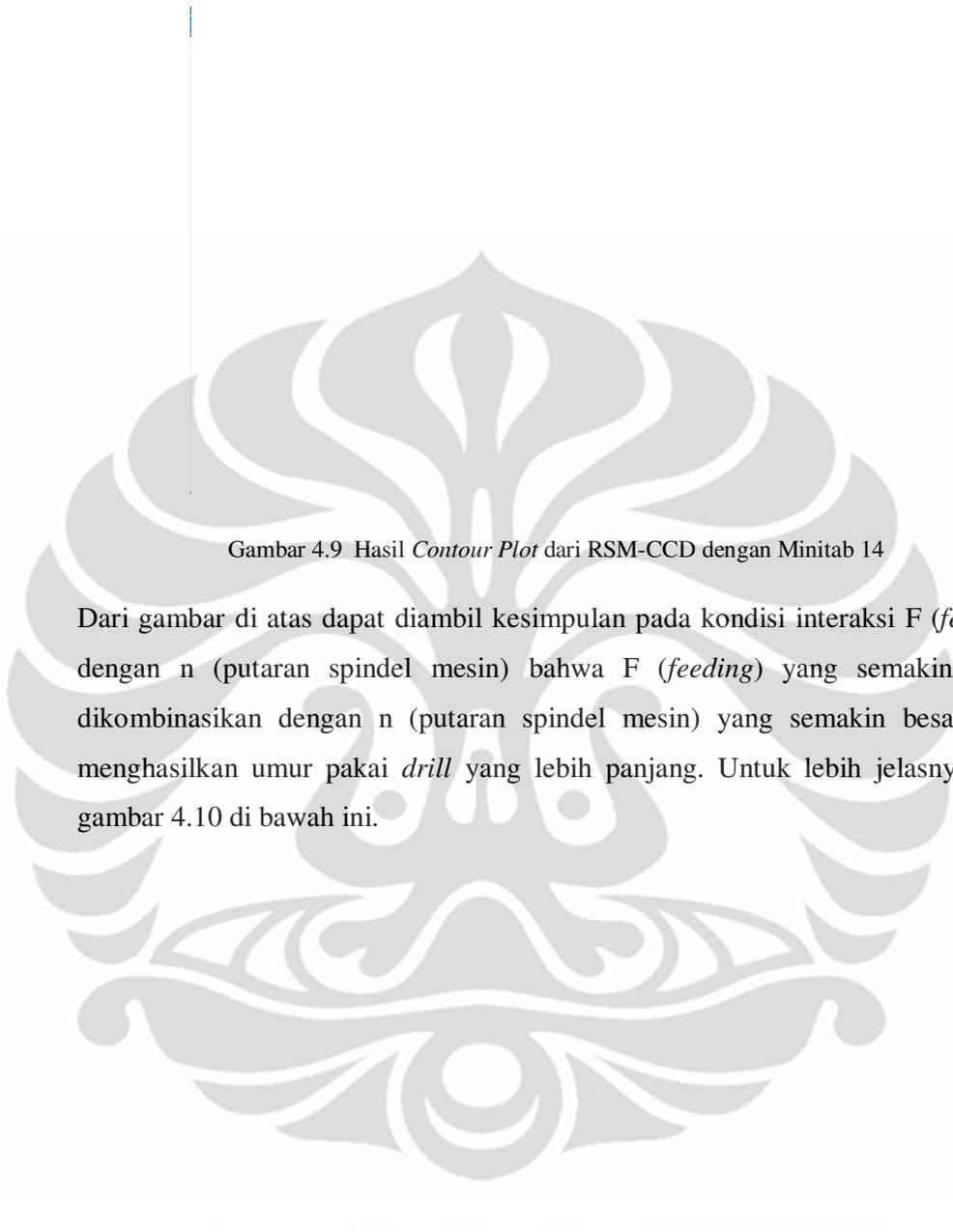
Analysis of Variance for Tool Counter

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	185411017	185411017	20601224	146.11	0.000
Linear	3	158171651	158171651	52723884	373.94	0.000
Square	3	23954568	23954568	7984856	56.63	0.000
Interaction	3	3284798	3284798	1094933	7.77	0.000
Residual Error	70	9869708	9869708	140996		
Lack-of-Fit	5	9499100	9499100	1899820	333.20	0.000
Pure Error	65	370608	370608	5702		
Total	79	195280725				

Gambar 4.8 Hasil *Response Surface Central Composite Design* dengan Minitab 14 (sambungan)

4.2.1 Analisis *Contour Plot*

Dari hasil RSM-CCD dengan diperoleh *Contour Plot* seperti gambar di bawah ini. *Contour Plot* ini memudahkan kita dalam melihat pengaruh faktor-faktor yang menjadi *input* dalam penelitian ini. Hasil analisis *contour plot* data diperoleh hasil seperti gambar 4.9 berikut ini.

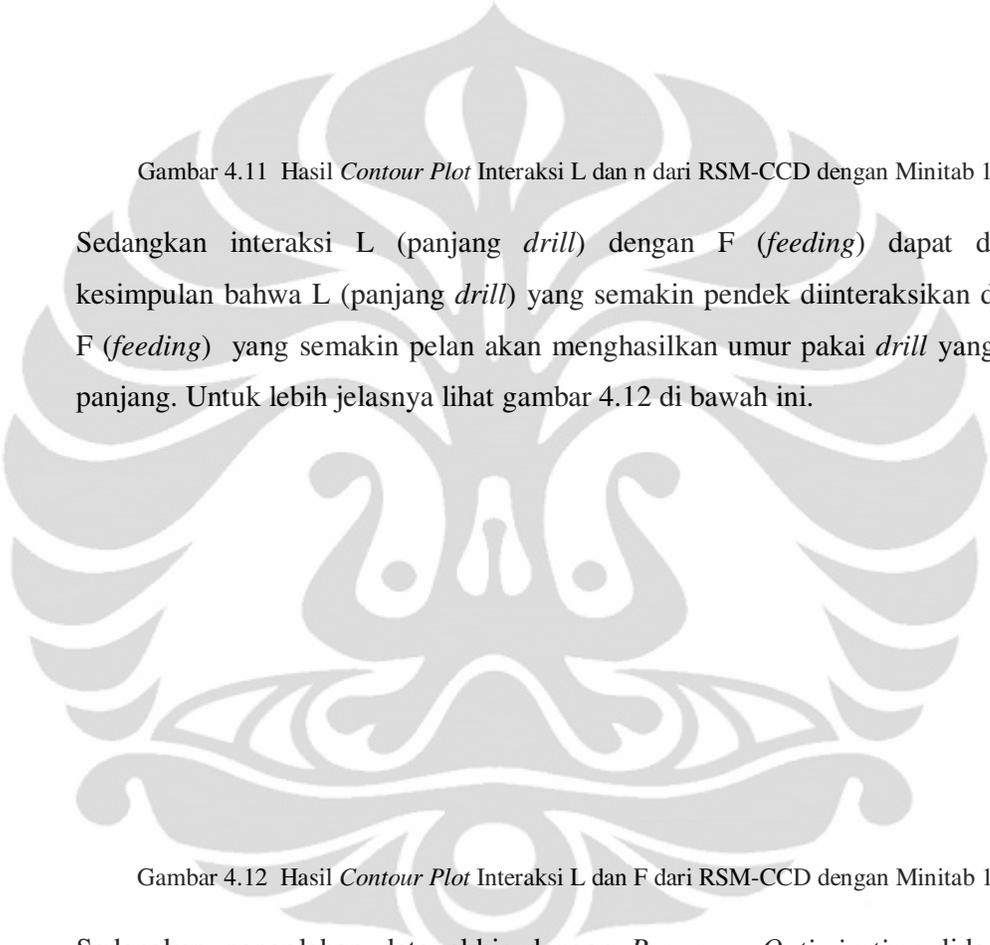


Gambar 4.9 Hasil *Contour Plot* dari RSM-CCD dengan Minitab 14

Dari gambar di atas dapat diambil kesimpulan pada kondisi interaksi F (*feeding*) dengan n (putaran spindel mesin) bahwa F (*feeding*) yang semakin pelan dikombinasikan dengan n (putaran spindel mesin) yang semakin besar akan menghasilkan umur pakai *drill* yang lebih panjang. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.10 di bawah ini.

Gambar 4.10 Hasil *Contour Plot* Interaksi F dan n dari RSM-CCD dengan Minitab 14

Sedangkan interaksi L (panjang *drill*) dengan n (putaran spindel mesin) dapat diambil kesimpulan bahwa L (panjang *drill*) yang semakin pendek diinteraksikan dengan n (putaran spindel mesin) yang semakin besar akan menghasilkan umur pakai *drill* yang lebih panjang. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Hasil *Contour Plot* Interaksi L dan n dari RSM-CCD dengan Minitab 14

Sedangkan interaksi L (panjang *drill*) dengan F (*feeding*) dapat diambil kesimpulan bahwa L (panjang *drill*) yang semakin pendek diinteraksikan dengan F (*feeding*) yang semakin pelan akan menghasilkan umur pakai *drill* yang lebih panjang. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.12 di bawah ini.

Gambar 4.12 Hasil *Contour Plot* Interaksi L dan F dari RSM-CCD dengan Minitab 14

Sedangkan pengolahan data akhir dengan *Response Optimization* didapatkan kombinasi n (putaran spindel mesin) 8681,79 rpm F (*feeding*) sebesar 795,46 mm/menit dan L(panjang *drill*) 78.18 untuk kondisi ideal. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.13 berikut yang menunjukkan hasil olahan *Response Optimization* dengan menggunakan *software*.

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Tool Counter	Maximum	5500	6000	6000	1	1
Global Solution						
n	=	8681.79				
F	=	795.46				
L	=	78.18				
Predicted Responses						
Tool Counter = 9068.39, desirability =			1			
Composite Desirability =			1.00000			

Gambar 4.13 Hasil *Response Optimization* dari RSM-CCD dengan Minitab 14

4.3 ANOVA antara *Drill* dengan Dipotong Pendek dibandingkan dengan *Drill* dari *Maker Drill* Sudah Dibuat Pendek untuk Mengetahui Efek terhadap Umur Pakai *Drill*

Pada bab III dilakukan penelitian pada faktor panjang *drill* pada panjang 85 mm dan 105 mm. Panjang *drill* 105 dibeli langsung dari pembuat *drill* sedangkan panjang *drill* 85 mm diperoleh dari pemotongan di perusahaan pada bagian *tool grinding*. Pada sub bab ini dilakukan ANOVA (*analysis of variance*) untuk mengetahui pengaruh pemotongan tersebut terhadap umur *drill*, dimana dilakukan percobaan dengan dua jenis *drill* dengan sama-sama panjang 85 mm, hanya saja terdapat dua perlakuan yaitu *drill* yang satu dipotong di perusahaan dan *drill* yang satunya dibeli dari pembuat *drill* dalam keadaan sudah dipotong.



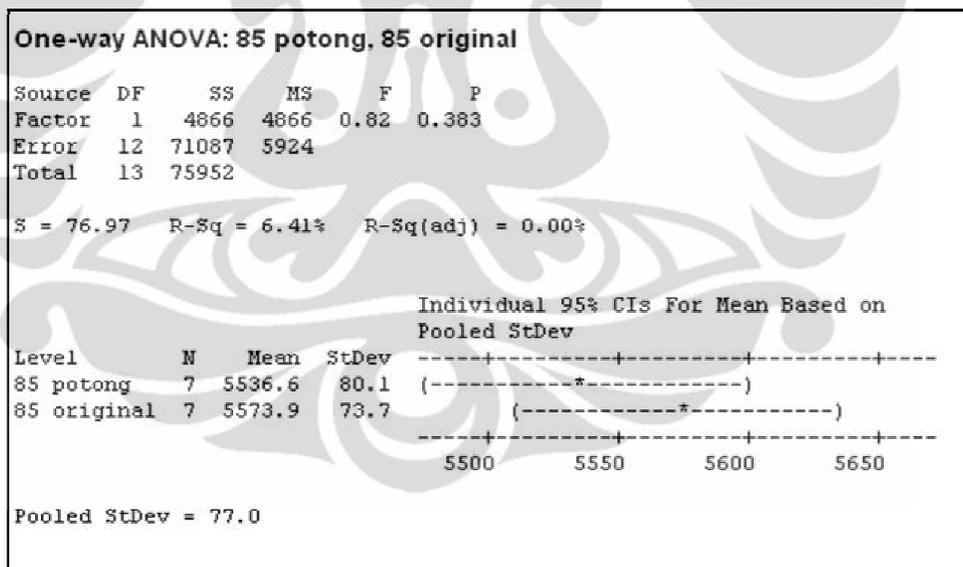
Gambar 4.14 Foto *Drill* 85 mm dari *Maker* (Tanpa Pemotongan Tambahan)

Adapun hasil pengambilan data ANOVA di lapangan bisa dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Tabel Data Lapangan Analisa *Drill* Panjang 85 mm Pemotongan Dibandingkan dengan 85 mm *Original*

No	Umur <i>tool drill</i> dg 2 perlakuan berbeda	
	85 potong	85 <i>original</i>
1	5505	5468
2	5589	5571
3	5543	5637
4	5686	5689
5	5476	5536
6	5447	5591
7	5510	5525

Hasil ANOVA dapat di lihat pada gambar 4.15 berikut ini.



Gambar 4.15 Hasil ANOVA Analisa Umur *Drill* Panjang 85 mm Pemotongan Dibandingkan dengan 85 mm *Original*

Dari hasil di atas dapat diambil kesimpulan bahwa di antara *drill* yang dipotong dengan yang tanpa dipotong (beli jadi) ternyata memiliki rata-rata umur *drill* yang relatif sama pada α (*level significant*) = 0.05, hal ini terlihat dari *P Value* > 0.05.

4.4 Analisis Penerapan Hasil DOE untuk Aplikasi ke Lapangan (*Quality, Cost, Delivery*)

4.4.1 Analisis dari Aspek *Quality* (Kualitas)

Hasil dari pengecekan 100% pada 300 *counter* (karena tiap 300 *counter* selalu dilakukan penajaman ulang) dengan menggunakan alat pemeriksa berupa *Plug Gauge (Go-Not GO)* diperoleh data lapangan lubang Ø5.5 yang dihasilkan OK semua. Selanjutnya pada saat percobaan di lapangan juga dilakukan pemeriksaan tiap *counter* 50 yaitu *counter* 1, *counter* 50, *counter* 100, *counter* 150, *counter* 200, *counter* 250 dan *counter* 300 juga diperoleh data sampling OK semua, hal ini juga terus dilakukan sampai *drill* mencapai umur yang lebih tinggi sampai akhirnya patah. Pada *counter* 5686 yaitu *counter* tertinggi pada saat pengamatan pun juga diperoleh data pemeriksaan OK.

4.4.2 Analisis dari Aspek *Cost* (Biaya)

Pemotongan *tool drill* ini hanya sekali saat kedatangan *tool drill* yang fungsinya memendekan panjangnya dari 105 mm ke 85 mm. Biaya pemotongan tambahan untuk memendekan *tool drill* dengan menggunakan mesin gerinda berikut pembentukan sudut potong dan pemeriksaan pada bagian *tool grinding* adalah sebesar Rp 32.000,00. Sedangkan biaya tiap proses penajaman ulang dan pemeriksaan membutuhkan biaya Rp 22.000,00. Sehingga biaya tambahan untuk pemotongan ini bertambah Rp 32.000,00 di awal kedatangan *tool drill* dari *maker*. Data biaya pemotongan ini berasal dari bagian *tool grinding* dimana sudah diperhitungkan biaya waktu tambahan karena penambahan pemotongan tadi. *Cycle time* pemotongan dengan mesin adalah 1 menit 49 detik. Sedangkan *Cycle time* penajaman dengan gerinda otomatis adalah 4 menit. Dari data lapangan sebelumnya pada umur *tool drill* selanjutnya dilakukan analisa biaya adanya pemotongan *tool drill* (85 mm) dibandingkan dengan *tool drill* yang standar (105mm) dan diperoleh data yang dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut.

4.4.3 Analisis dari Aspek *Delivery* (Kapasitas Produksi)

Untuk analisa dari kapasitas produksi didapat data lapangan sebagai berikut. Perhitungan pertama dilakukan dahulu pada *line 1* seksi *Machining Crank Case*. *Cycle Time bottle neck* terdapat di mesin OP5 dengan *cycle time* gabungan 31 detik. Diketahui *cycle time* OP5 masing-masing mesin adalah 62 detik. Stasiun OP5 terdapat 2 mesin dan mesin ini memiliki proses yang sama, sehingga dengan jumlah lebih dari satu maka akan mengurangi *cycle time* gabungan.

cycle time gabungan = *cycle time* per mesin / jumlah mesin

cycle time gabungan = 62/2

cycle time gabungan = 31 detik

Sebelum proses perubahan *cycle time* mesin OP3 adalah 175 detik, sehingga dari perhitungan diperoleh *cycle time* gabungan sebagai berikut. Perlu diketahui jumlah mesin OP3 di *line 1* ini terdapat 6 mesin.

cycle time gabungan = *cycle time* per mesin / jumlah mesin

cycle time gabungan = 175/6

cycle time gabungan = 29,17 detik

Dan memang *cycle time* sebelum perubahan ini menunjukkan bahwa *cycle time* stasiun OP3 berada di bawah *cycle time* stasiun *bottle neck* OP5.

Dari *response optimizer* parameter yang diperoleh adalah :

S = 8681,79

F = 795,46

L = 78,18

Dan dari lapangan diperoleh *cycle time* mesin bertambah 17 detik dari keadaan awal. Sehingga *cycle time* dengan parameter di atas diperoleh sebesar 192 detik.

Sehingga dapat kita cari *cycle time* gabungan dengan parameter yang baru ini dari perhitungan berikut ini.

$cycle\ time\ gabungan = cycle\ time\ per\ mesin / jumlah\ mesin$

$cycle\ time\ gabungan = 192/6$

$cycle\ time\ gabungan = 32\ detik$

karena *cycle time* gabungan setelah perubahan di atas dari *cycle time bottle neck* sebesar 31 detik, artinya terdapat penambahan waktu sebesar 1 detik dan akan mengurangi kapasitas, sehingga alternatif ini tidak bisa digunakan.

Dari studi di lapangan untuk memperoleh *cycle time* mendekati *cycle bottle neck* tapi tidak sampai melebihinya adalah dengan *setting Feeding* 1000 mm/menit, dengan kondisi $S = 8681,79\ rpm$ dan panjang *drill* = 78,18 mm. Dari settingan ini diperoleh *cycle time* tiap mesin menjadi sebesar 185,5 detik. Dari data ini selanjutnya bisa kita cari *cycle time* gabungan setelah perubahan pada perhitungan berikut.

$cycle\ time\ gabungan = cycle\ time\ per\ mesin / jumlah\ mesin$

$cycle\ time\ gabungan = 185,5/6$

$cycle\ time\ gabungan = 30,92\ detik$

Sehingga pada kondisi ini diperoleh umur pakai *drill* yang lebih panjang akan tetapi tidak mengurangi kapasitas karena *cycle time* yang baru tidak sampai melebihi *cycle time bottle neck* stasiun OP5 sebesar 31 detik.

Perhitungan pada line 2 sebelumnya terdapat data lapangan sebagai berikut.

Cycle time bottle neck OP7 line 2 sebesar 114 detik, mesin ini terdiri dari 2 mesin sehingga *cycle time* gabungannya bisa dicari sebagai berikut.

$cycle\ time\ gabungan = cycle\ time\ per\ mesin / jumlah\ mesin$

$cycle\ time\ gabungan = 114/2$

cycle time gabungan = 57 detik

Jika dilakukan perubahan dengan parameter berikut :

S = 8681,79 rpm

F = 795,46 mm/menit

L = 78,18 mm

Maka *cycle time* mesin OP3 *line 2* akan menjadi bertambah dari 175 detik menjadi 192 detik. Dan selanjutnya diperoleh *cycle time* gabungannya dari perhitungan di bawah ini.

cycle time gabungan = *cycle time* per mesin / jumlah mesin

cycle time gabungan = 192/4

cycle time gabungan = 48 detik

Sehingga dengan perubahan tersebut maka tidak akan merubah kapasitas produksi *line 2* karena masih jauh di bawah *cycle time bottle neck* yang sebesar 57 detik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah ada sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa kondisi *setting* parameter dari mesin OP3 yang ada saat ini untuk *drill carbide* Ø5,5 D101048 Tungaloy yang memproses 15 lubang pada komponen *crank case* kiri sepeda motor tipe bebek 125 cc belum optimal. Hal ini mengakibatkan umur pakai *drill carbide* Ø5,5 D101048 Tungaloy tidak sampai pada umur standarnya.

Selanjutnya diketahui bahwa dari empat faktor, hanya tiga faktor yang signifikan mempengaruhi *drill carbide* Ø5,5 D101048 Tungaloy ini. Pengaruh persentase *coolant* (pendingin) hasil analisis 2^4 *factorial design* pada proses OP3 untuk *drill carbide* Ø5,5 D101048 Tungaloy yang memproses 15 lubang pada komponen *crank case* kiri sepeda motor tipe bebek 125 cc dengan $\alpha : 0,05$ bisa disimpulkan tidak ada pengaruh. Hal ini bisa dilihat pada analisa 2^4 *factorial design* yang ada di bab 4.

Hasil dari *Response Surface* dan *Response Optimization* dengan Minitab 14 didapatkan kondisi : $S = 8681,79$ rpm, $F = 795,46$ mm/menit, $L = 78,18$ mm. Pada perubahan parameter mesin di stasiun OP3 : $S = 8681,79$ rpm, $F = 795,46$ mm/menit, $L = 78,18$ mm akan menambah *cycle time* tiap mesin menjadi 17 detik, dari sebelumnya 175 detik menjadi 192 detik, dan sesuai perhitungan *cycle time* gabungan menjadi 32 detik. Untuk penerapan di *line 1* akan menjadi masalah karena akan mengganggu kapasitas *line* produksi karena *cycle time* parameter baru berada di atas *cycle time bottle neck* OP5 yang 31 detik. Untuk *line 2* penambahan *cycle time* ini tidak mengganggu kapasitas *line*, karena *cycle time* gabungan *bottle neck* OP7 *line 2* yang mencapai 57 detik sedangkan *cycle time* gabungan OP3 untuk parameter yang baru ini hanya sebesar 48 detik. Untuk penerapan di *line 1*, *Feeding* mesin perlu dirubah dari $F = 795,46$ mm/menit ke 1000 mm/menit karena dari perubahan tersebut penambahan *cycle time* gabungan

masih di bawah *cycle time* gabungan *bottle neck* OP7 yaitu 30,92 detik dari *cycle time* gabungan *bottle neck* OP5 line 1 yang sebesar 31 detik.

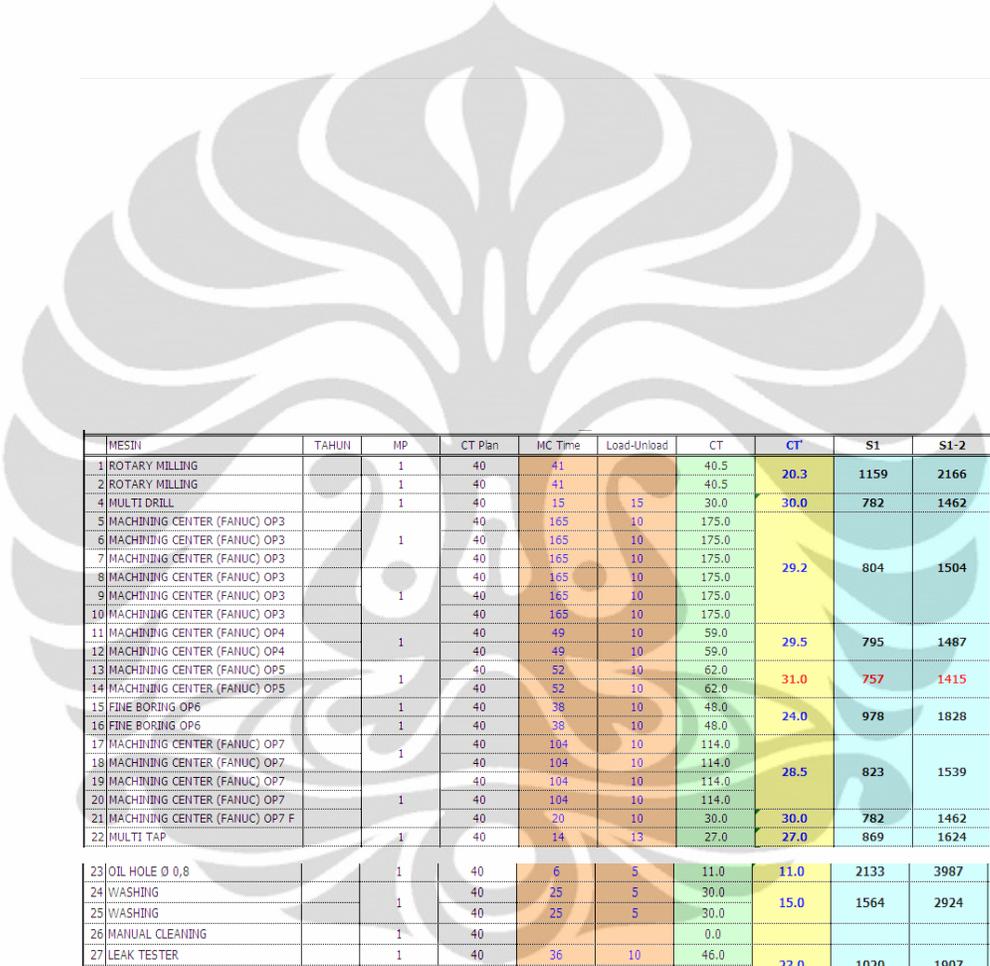
5.2 Saran

Sedangkan dari penelitian ini terdapat beberapa saran yaitu pada saat penelitian agar lebih mudah dan generik untuk acuan ada baiknya satuan umur pakai *drill* yang ada saat ini yang menggunakan unit dimana dalam satu unit terdapat 15 lubang selanjutnya diteliti dalam satuan POC (*point of cut*) atau lubang. Sehingga bisa generik untuk acuan bagi pihak yang membutuhkan dalam bidang manufaktur / *cutting tool*.

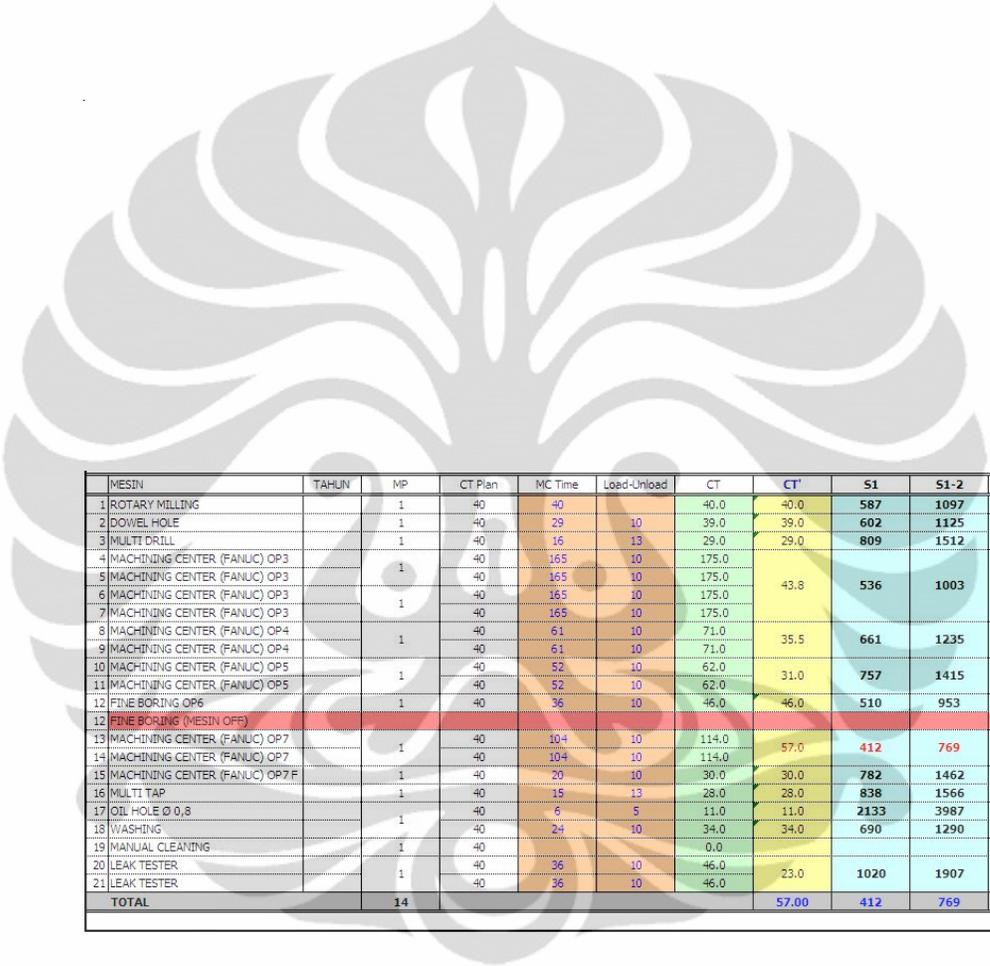
DAFTAR REFERENSI

- Ginta, Turnad L., A.K.M. Nurul Amin, H.C.D.Mohd.Radzi, Mohd Amri Lajis. "Tool Life Prediction by Response Surface Methodology in End Milling Titanium Alloy Ti-6Al-4V Using Uncoated WC-Co Inserts." *European Journal of Scientific Research* 28:4(2009): 533-541.
- Juneja B, L and GS Sekhon Nitin Seth. *Fundamental of Metal Cutting and Machine Tools 2nd Edition*. New Age International, 2003.
- Mason, Robert L., Gunst, Richard R. dan Hess, James L. *Statistical Design and Analysis of Experiment 2nd Edition*. John Wiley and Sons Inc, 2003.
- Montgomery, Douglas C. *Design and Analysis of Experiment 6th Edition*. John Wiley & Sons Inc, 2005.
- Rajput, R.K. *A Text Book of Manufacturing Technology*. New Delhi: Laxmi Publication, 2007.
- Stagliano, Agustine A. *Rath & Strong's Six Sigma Advanced Tool Pocket Guide*. Diterjemahkan Tim Andi . Yogyakarta : Andi, 2005. Terjemahan Mc GrawHill, 2004.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, L.S ,Ye, Keying. *Probability and Statistic for Engineers and Scientists 8th Edition*. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2007.





MESIN	TAHUN	MP	CT Plan	MC Time	Load-Unload	CT	CT'	S1	S1-2	S1-2-3
1 ROTARY MILLING		1	40	41		40.5	20.3	1159	2166	3022
2 ROTARY MILLING		1	40	41		40.5				
4 MULTI DRILL		1	40	15	15	30.0	30.0	782	1462	2040
5 MACHINING CENTER (FANUC) OP3			40	165	10	175.0				
6 MACHINING CENTER (FANUC) OP3		1	40	165	10	175.0				
7 MACHINING CENTER (FANUC) OP3			40	165	10	175.0				
8 MACHINING CENTER (FANUC) OP3			40	165	10	175.0	29.2	804	1504	2098
9 MACHINING CENTER (FANUC) OP3		1	40	165	10	175.0				
10 MACHINING CENTER (FANUC) OP3			40	165	10	175.0				
11 MACHINING CENTER (FANUC) OP4			40	49	10	59.0				
12 MACHINING CENTER (FANUC) OP4		1	40	49	10	59.0	29.5	795	1487	2075
13 MACHINING CENTER (FANUC) OP5			40	52	10	62.0				
14 MACHINING CENTER (FANUC) OP5		1	40	52	10	62.0	31.0	757	1415	1974
15 FINE BORING OP6		1	40	38	10	48.0				
16 FINE BORING OP6		1	40	38	10	48.0	24.0	978	1828	2550
17 MACHINING CENTER (FANUC) OP7			40	104	10	114.0				
18 MACHINING CENTER (FANUC) OP7		1	40	104	10	114.0				
19 MACHINING CENTER (FANUC) OP7			40	104	10	114.0	28.5	823	1539	2147
20 MACHINING CENTER (FANUC) OP7		1	40	104	10	114.0				
21 MACHINING CENTER (FANUC) OP7 F			40	20	10	30.0	30.0	782	1462	2040
22 MULTI TAP		1	40	14	13	27.0	27.0	869	1624	2267
23 OIL HOLE Ø 0,8		1	40	6	5	11.0	11.0	2133	3987	5564
24 WASHING		1	40	25	5	30.0	15.0	1564	2924	4080
25 WASHING			40	25	5	30.0				
26 MANUAL CLEANING		1	40			0.0				
27 LEAK TESTER		1	40	36	10	46.0	23.0	1020	1907	2661
28 LEAK TESTER			40	36	10	46.0				
TOTAL		16					31.00	757	1415	1974



MESIN	TAHUN	MP	CT Plan	MC Time	Load-Unload	CT	CT'	S1	S1-2	S1-2-3
1 ROTARY MILLING		1	40	40		40,0	40,0	587	1097	1530
2 DOWEL HOLE		1	40	29	10	39,0	39,0	602	1125	1569
3 MULTI DRILL		1	40	16	13	29,0	29,0	809	1512	2110
4 MACHINING CENTER (FANUC) OP3			40	165	10	175,0				
5 MACHINING CENTER (FANUC) OP3		1	40	165	10	175,0	43,8	536	1003	1399
6 MACHINING CENTER (FANUC) OP3			40	165	10	175,0				
7 MACHINING CENTER (FANUC) OP3		1	40	165	10	175,0				
8 MACHINING CENTER (FANUC) OP4			40	61	10	71,0				
9 MACHINING CENTER (FANUC) OP4		1	40	61	10	71,0	35,5	661	1235	1724
10 MACHINING CENTER (FANUC) OP5			40	52	10	62,0				
11 MACHINING CENTER (FANUC) OP5		1	40	52	10	62,0	31,0	757	1415	1974
12 FINE BORING OP6		1	40	36	10	46,0	46,0	510	953	1330
12 FINE BORING (MESIN OFF)										
13 MACHINING CENTER (FANUC) OP7			40	104	10	114,0				
14 MACHINING CENTER (FANUC) OP7		1	40	104	10	114,0	57,0	412	769	1074
15 MACHINING CENTER (FANUC) OP7 F			40	20	10	30,0				
16 MULTI TAP		1	40	15	13	28,0	28,0	838	1566	2186
17 OIL HOLE Ø 0,8		1	40	5	5	11,0	11,0	2133	3987	5564
18 WASHING			40	24	10	34,0	34,0	690	1290	1800
19 MANUAL CLEANING			40			0,0				
20 LEAK TESTER		1	40	36	10	46,0				
21 LEAK TESTER			40	36	10	46,0	23,0	1020	1907	2661
TOTAL		14					57,00	412	769	1074

