

# Optimasi Cranking Ampere Aki Di P.T. “X”

Didik Wahjudi

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Produk aki di P.T. “X” memiliki *cranking ampere* 221 CA sehingga tidak bisa memenuhi permintaan pasar Jepang, Eropa dan Amerika yang mempersyaratkan *cranking ampere* minimal 275 CA.

Dengan menggunakan diagram tulang ikan didapat faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap *cranking ampere* aki. Perusahaan memilih faktor-faktor yang bisa dieksperimentasikan. Faktor-faktor yang dipilih berjumlah 4 faktor dan masing-masing faktor memiliki 3 level, yaitu: interval waktu *charging* (30 menit, 60 menit, 90 menit), tebal plat sel (1,2 mm, 1,4 mm, 1,6 mm), persentase kemurnian bahan (96%, 97%, 98%), dan besar kuat arus *charging* (160 A, 170 A, 180 A). Dari data tersebut, dilakukan kombinasi percobaan dengan menggunakan matriks ortogonal yang merupakan salah satu langkah dari metode Taguchi.

Dari hasil analisa didapatkan hasil kombinasi terbaik ialah interval waktu *charging* 60 menit, tebal plat sel 1,4 mm, persentase kemurnian bahan 98%, dan besar kuat arus *charging* 180 A yang dapat meningkatkan *cranking ampere* hingga mencapai 278 CA. Uji verifikasi membuktikan bahwa *cranking ampere* sebesar 278 tersebut dapat dicapai.

Kata kunci: optimasi, *cranking ampere*, metode Taguchi.

## Abstract

Accumulator products of P.T. “X” that have accumulator of 221 CA can not fulfil Japanese, Europe and U.S. standards that require minimum cranking ampere of 275 CA.

By using fishbone diagram suspected affecting factors to accumulator cranking ampere are obtained. Company chooses factors that are allowed to be experimented. There are 4 chosen factors. Each factors has 3 levels that are charging time interval (30 minutes, 60 minutes, 90 minutes), cell plate thickness (1.2 mm, 1.4 mm, 1.6 mm), material purity percentage (96%, 97%, 98%), and charging current (160 A, 170 A, 180 A). From the data, the experiment combination is done by using orthogonal array that is one of the Taguchi's method steps.

From the analysis the best combination is obtained that is charging time interval of 60 minutes, cell plate thickness of 1.4 mm, material purity percentage of 98%, and charging current of 180 A. This combination can increase cranking ampere to 278 CA. Verification test proves that cranking ampere of 278 CA can be attained.

Keywords: optimization, cranking ampere, Taguchi method.

## Daftar Notasi

$H_0$	Hipotesis nol (hipotesis yaang diinginkan)
$H_1$	Hipotesis alternatif
MS	Mean of Square suatu faktor
$MS_e$	Mean of Square Error
n	jumlah seluruh percobaan
$n_{xi}$	Jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal
SS	Sum of Square suatu faktor
$SS_e$	Sum of Square due to error
$SS_m$	Sum of square due to mean
$SS_T$	Total Sum of Square
$SS'$	Pure Sum of Square
x	Faktor
y	data percobaan

$\bar{y}$	rata – rata seluruh percobaan
$\rho$	Persen Kontribusi
$\eta$	Signal to Noise Ratio
$\theta$	faktor yang diuji

## 1. Pendahuluan

Standar pengukuran kualitas aki yang biasa digunakan adalah *cranking ampere*, yaitu banyaknya arus yang dapat diberikan oleh aki dalam 30 detik pada 32°C hingga voltase aki turun menjadi  $\pm 7,20$  Volt. Hal ini merupakan standar Eropa untuk jenis aki 12 Volt. Untuk memenuhi permintaan pasar di dalam negeri dan sebagian negara Asia kecuali Jepang, P.T. “X” telah dapat memenuhi kualifikasi *cranking ampere* untuk aki yang dipersyaratkan. Tetapi,

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2002. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 4 Nomor 1 April 2002.

*cranking ampere* yang dihasilkan masih sangat bervariasi dan kadang-kadang di bawah standar Eropa, Jepang dan Amerika, sehingga tidak bisa menembus pasar di sana. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi *cranking ampere* serta mengatur besar faktor-faktor tersebut agar diperoleh *cranking ampere* yang setinggi-tingginya.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Metode Taguchi

Untuk mencapai produk yang bermutu, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja selama operasi harus ditentukan dalam proses perancangan awal. Perancangan dengan metode Taguchi ini memberi informasi bagaimana rancangan parameter yang berbeda mempengaruhi hasil kerja di bawah kondisi yang berbeda. Metode Taguchi adalah metodologi teknik untuk merekayasa/memperbaiki produktivitas selama tahap pengembangan supaya produk-produk yang berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah.

Metode Taguchi berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini untuk membuat unjuk kerja (*performance*) kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses. Metode Taguchi dapat diaplikasikan diberbagai persoalan yang meliputi bidang elektronika, teknologi informasi, proses industri dan masih banyak lagi.

### 2.2 Fungsi Kerugian Mutu

Fungsi kerugian mutu ini dimaksudkan untuk menghitung kerugian mutu yang terjadi. Bila produk yang dihasilkan mendekati target, maka mutu yang dihasilkan semakin baik dan kerugian yang dihasilkan semakin kecil. Bila mutu yang dihasilkan semakin jauh dari target maka kerugian yang dialami akan semakin besar. Fungsi ini terdiri dari 3 macam jenis, yaitu:

- Jenis semakin kecil semakin baik (*smaller the better*)  
Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol.
- Jenis nominal terbaik (*nominal the best*)  
Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu.
- Jenis semakin besar semakin baik (*larger the better*)

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutu yang dikehendaki sebesar mungkin.

### 2.3 Parameter-Parameter yang Terkait

Parameter-parameter yang terkait dalam suatu proses produksi adalah:

- Faktor Sinyal  
Faktor ini adalah parameter yang diatur untuk menentukan nilai respon produk yang diinginkan.
- Faktor Noise (*Uncontrollable Factor*)  
Faktor ini termasuk parameter yang tidak dapat dikendalikan oleh perancang, atau bobotnya dalam lingkungan sulit atau mahal untuk dikendalikan.
- Faktor Kendali (*Controllable Factor*)  
Faktor ini termasuk parameter yang dapat ditentukan secara bebas oleh perancang dalam nilai terbaik parameter tersebut. Bila nilai tiap faktor kendali tertentu diubah maka karakteristik mutu dapat pula berubah.

### 2.4 SNR (*Signal to Noise Ratio*)

SNR (*Signal to Noise Ratio*) adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik. SNR ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari suatu produk. SNR mengukur tingkat unjuk kerja dan efek dari faktor noise dari unjuk kerja tersebut dan juga mengevaluasi stabilitas unjuk kerja dari karakteristik *output*. Semakin tinggi unjuk kerja yang diukur dengan tingginya SNR sama dengan kerugian yang mengecil. SNR adalah ukuran obyektif dari kualitas yang memuat baik *mean* dan varian dalam perhitungan. Ada beberapa jenis SNR, yaitu:

- Semakin kecil semakin baik (*smaller-the-better*)

$$\eta = -10 \log_{10} (\bar{y}^2 + \sigma^2) \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

- Nominal terbaik (*nominal-the-best*)

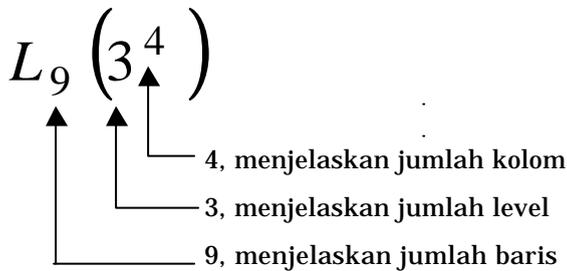
$$h = -10 \log_{10} \left[ \frac{m^2}{s^2} \right] \quad (3)$$

- Semakin besar semakin baik (*larger-the-better*)

$$\eta = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4)$$

### 2.5 Matriks Orthogonal

Penggunaan matriks orthogonal dalam metode Taguchi mampu mereduksi jumlah eksperimen secara signifikan dan dapat mempelajari sejumlah besar variabel keputusan dengan sedikit eksperimen. Dalam matriks orthogonal ini dianggap tidak terjadi interaksi antara faktor-faktor kendali, sehingga pemilihan faktor kendali yang digunakan tidak boleh mengandung hubungan interaksi antara faktor yang satu dengan yang lain. Dengan anggapan ini maka jumlah eksperimen dapat direduksi. Pada matriks orthogonal setiap kolomnya mewakili faktor kendali, sedangkan setiap barisnya mewakili keadaan dari faktor (level faktor kendali). Informasi mengenai matriks orthogonal dapat diketahui dari penulisan nama matriks orthogonal. Adapun penulisan matriks orthogonal adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Notasi dari Matriks Orthogonal

- Notasi L menunjukkan bahwa informasi dalam bentuk matriks orthogonal.
- Jumlah baris menunjukkan jumlah percobaan yang dibutuhkan. Untuk menghitung jumlah baris, digunakan rumus:  
 $df (MO) = \text{jumlah Faktor} \times df \text{ level}$   
 Jumlah baris =  $df (MO) + 1$   
 dimana:  
 $df (MO) = \text{degree of freedom}$  dari matriks orthogonal.  
 Jumlah Faktor = jumlah faktor yang akan digunakan  
 $df \text{ level} = \text{jumlah level} - 1$
- Jumlah level menunjukkan jumlah level yang dipakai.
- Jumlah kolom menunjukkan jumlah faktor yang dipakai pada matriks orthogonal. Dengan menggunakan matriks orthogonal, dari data hasil percobaan diperoleh rata-rata respon dari tiap level dari tiap faktor. Rata-rata respon didapatkan dengan menjumlahkan data yang mempunyai faktor dan level yang sama kemudian dibagi dengan jumlah data, sehingga pada akhirnya akan didapatkan rata-rata respon dari berbagai faktor dengan berbagai level.

Sedang efek tiap faktor, dapat dicari dengan mengurangi rata-rata respon paling besar dengan rata-rata respon paling kecil (dari faktor yang sama). Dari perhitungan akan didapatkan efek dari tiap-tiap faktor.

### 2.6 Analisa Varian

Langkah-langkah perhitungan dalam ANOVA adalah sebagai berikut:

- Menghitung *Sum of Square due to Mean* ( $SS_m$ ) dengan rumus:

$$SS_m = n \cdot \bar{y}^2 \tag{5}$$

- Menghitung *Sum of Square* (SS) suatu faktor dengan rumus:

$$SS = \left( \sum (n_{xi} \cdot \bar{x}_i^2) \right) - SS_m \tag{6}$$

- Menghitung *Total Sum of Square* ( $SS_T$ ) dengan rumus:

$$SS_T = \sum y^2 - SS_m \tag{7}$$

- Menghitung *Sum of Square due to error* ( $SS_e$ ) dengan rumus:

$$SS_e = SS_T - \sum SS \tag{8}$$

- Menghitung *Mean of Square* (MS) dengan rumus:

$$MS = \frac{SS}{df} \tag{9}$$

- Menghitung F-Ratio, dengan rumus:

$$F - Ratio = \frac{MS}{MS_e} \tag{10}$$

- Menghitung *Pure Sum of Square* ( $SS'$ ) dengan rumus:

$$SS' = SS - (df \times MS_e) \tag{11}$$

- Menghitung *Pure Sum of Square Error* ( $SS_e'$ ) dengan rumus:

$$SS_e' = SS_T - \sum SS' \tag{12}$$

- Menghitung *Persen kontribusi* ( $\rho$ ) dengan rumus:

$$\rho = (SS'/SS_T) \times 100 \% \tag{13}$$

### 2.7 Uji Hipotesa

Pengujian hipotesa secara statistik merupakan suatu pernyataan mengenai faktor yang mengikuti suatu distribusi probabilitas tertentu. Faktor yang diuji dibandingkan dengan suatu nilai yang tertentu atau faktor yang sama pada level yang berbeda.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Pengujian hipotesa dapat juga menggunakan hipotesis alternatif dua sisi yang bertujuan untuk menguji hipotesa seperti:

$$H_1: \theta_1 < \theta_2 \text{ atau } H: \theta_1 > \theta_2$$

Dari pengujian hipotesa ini dilakukan uji statistik sehingga dapat ditarik kesimpulan untuk menolak atau gagal menolak  $H_0$ .

### 3. Langkah-Langkah Percobaan

#### 3.1 Rancangan Eksperimen

Dari faktor-faktor terkontrol yang diperoleh melalui *fishbone* diagram dan analisisnya, serta pertimbangan berdasarkan pengalaman dari pihak perusahaan, dapat diambil beberapa variabel, yaitu:

- Variabel respon, yaitu: *cranking ampere*, yang bisa didapatkan dari mengukur produk aki dengan *cranking meter* untuk setiap kombinasi produk sampel.
- Variabel bebas/faktor yang terpilih adalah:
  - a. Interval Waktu Charging (menit):  
Standar pabrik: 60 menit, jumlah level: 3  
Yang diuji: 30 menit, 60 menit (1 jam), dan 90 menit (1,5 jam).
  - b. Tebal plat sel (mm):  
Standar pabrik: 1,4 mm, jumlah level: 3  
Yang diuji: 1,2 mm, 1,4 mm, dan 1,6 mm.
  - c. Persentase kemurnian bahan (%):  
Standar pabrik: 96%, jumlah level: 3  
Yang diuji: 96%, 97%, dan 98%.
  - d. Kuat arus charging (A):  
Standar pabrik: 160A, jumlah level: 3  
Yang diuji: 160 A, 170 A, dan 180 A.

Dalam eksperimen ini digunakan 4 faktor dengan rancangan 3 level. Dari jumlah level dan faktor yang ada, dapat ditentukan jumlah kolom untuk matriks orthogonal. Jumlah kolom dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah faktor} = 4$$

$$\text{Jumlah level} = 3$$

$$\text{df}_{\text{level}} = (\text{jumlah level}) - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{df}_{\text{matriks orthogonal}} = \text{jumlah faktor} \times \text{df}_{\text{level}}$$

$$= 4 \times 2$$

$$= 8$$

$$\text{Jumlah baris} = \text{df}_{\text{matriks orthogonal}} + 1$$

$$= 8 + 1$$

$$= 9$$

Jumlah baris menunjukkan jumlah percobaan yang dilakukan. *Run* ini direplikasi (diulang percobaannya) sebanyak 3 kali, sehingga total eksperimen yang akan dilakukan adalah 27. Kode level beserta nilai-nilai dari kode level tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Kode Level Nilai Variabel**

Faktor	Kode	1	2	3
Interval Waktu Charging (menit)	A	30	60	90
Tebal plat sel (mm)	B	1,2	1,4	1,6
Persentase kemurnian bahan (%)	C	96	97	98
Besar arus charging (A)	D	160	170	180

#### 3.2 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan pembuatan *molen* dari timah dengan persentase yang berbeda-beda sesuai dengan data yang akan diuji yaitu 96%, 97%, dan 98%.
- b. Melakukan pembuatan ram dengan cetakan yang berbeda sesuai dengan ketebalan yang akan diuji, yaitu 1,2 mm, 1,4 mm, dan 1,6 mm.
- c. Membuat pasta dengan masing-masing serbuk timah yang sudah dibuat sebelumnya.
- d. Membuat plat-plat sel dengan cara melapisi ram dengan ketebalan yang berbeda-beda dengan mengkombinasikan pasta yang berbeda pula yang sesuai dengan data untuk percobaan.
- e. Melakukan proses *charging* dengan kombinasi yang sesuai dengan rancangan percobaan.
- f. Menandai plat-plat set yang sudah jadi, kemudian merangkainya menjadi unit-unit aki.
- g. Unit-unit aki tersebut kemudian dites dengan *cranking meter*.
- h. Mencatat data hasil eksperimen berupa *cranking ampere* aki.

#### 3.3 Data Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 2, dengan variabel bebas berupa interval waktu *charging* (T), tebal plat sel (T), persentase kemurnian bahan (P), dan arus *charging* (I), serta respon berupa *cranking ampere* (R).

**Tabel 2. Data Hasil Percobaan**

Exp. No.	Faktor				R <sub>1</sub> (CA)	R <sub>2</sub> (CA)	R <sub>3</sub> (CA)
	T (min)	W (mm)	P (%)	I (A)			
1	30	1,2	96	160	194	195	192
2	30	1,4	97	170	221	221	220
3	30	1,6	98	180	255	256	259
4	60	1,2	97	180	228	224	225
5	60	1,4	98	160	272	269	270
6	60	1,6	96	170	230	232	232
7	90	1,2	98	170	239	237	237
8	90	1,4	96	180	219	218	219
9	90	1,6	97	160	210	208	211

### 4. Analisa dan Data Pembahasan

#### 4.1 Pengolahan Data

Dari Tabel 2 dihitung rata-rata, standard deviasi ( $\sigma$ ) serta SNR dari data percobaan sehingga didapat Tabel 3. Contoh perhitungan untuk Tabel 3 adalah sebagai berikut:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{194 + 195 + 192}{3}$$

$$\bar{y} = 193.67$$

$$SNR = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

$$= -10 \log_{10} \left( \frac{1}{3} * \left( \frac{1}{194^2} + \frac{1}{195^2} + \frac{1}{192^2} \right) \right)$$

$$SNR = 45.741$$

**Tabel 3. Rata-rata (  $\bar{y}$  ) dan SNR**

R1	R2	R3	$\bar{y}$	SNR
194	195	192	193.67	45.741
221	221	220	220.67	46.875
255	256	259	256.67	48.187
228	224	225	225.67	47.069
272	269	270	270.33	48.638
230	232	232	231.33	47.285
239	237	237	237.67	47.519
219	218	219	218.67	46.796
210	208	211	209.67	46.430

Data dari penelitian ini akan dianalisa dengan empat cara, yaitu:

- Perhitungan efek dari mean
- Perhitungan efek dari SNR
- Perhitungan efek dari tiap faktor untuk tiap replikasi
- Perhitungan analisa varian (ANOVA)

**Perhitungan Efek Dari Mean**

Data dari Tabel 3 kemudian dilakukan perhitungan untuk membuat Tabel 4, yaitu Tabel Efek Dari Mean. Adapun contoh perhitungan untuk Tabel 4 adalah sebagai berikut: Rata-rata respon untuk  $A_1$ :

$$\bar{A}_1 = \frac{193.67 + 220.67 + 256.67}{3}$$

$$= 223.67$$

Efek untuk faktor A:

Efek faktor A = rata-rata respon terbesar – rata-rata respon terkecil

$$= 242.444 - 222.00$$

$$= 20.444$$

**Tabel 4. Tabel Efek dari Mean**

	A	B	C	D
Level 1	223.67	219.00	214.56	224.56
Level 2	242.44	236.56	218.67	229.89
Level 3	222.00	232.56	254.89	233.67
Efek	20.44	17.56	40.33	9.11
Rank	2	3	1	4
Optimum	$A_2$	$B_2$	$C_3$	$D_3$

Dari rata-rata respon tiap faktor dipilih yang nilainya paling besar untuk disarankan sebagai rancangan usulan karena karakteristik mutu *cranking ampere* adalah jenis *larger-the-better*. Dari Tabel 4 didapat rancangan usulan  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_3$ , dan  $D_3$ .

**Perhitungan Efek dari SNR**

Contoh perhitungan untuk Tabel 5 adalah sebagai berikut:

Rata-rata SNR untuk  $A_1$ :

$$\bar{A}_1 = (45.741 + 46.875 + 48.187) / 3$$

$$= 46.93$$

Efek SNR untuk faktor A = rata-rata SNR terbesar – rata-rata SNR terkecil;

$$= 47.66 - 46.91$$

$$= 0.75$$

**Tabel 5. Tabel Efek dari SNR**

	A	B	C	D
Level 1	46.93	46.78	46.61	46.94
Level 2	47.66	47.44	46.79	47.23
Level 3	46.91	47.30	48.11	47.35
Efek	0.75	0.66	1.50	0.41
Rank	2	3	1	4
Optimum	$A_2$	$B_2$	$C_3$	$D_3$

Dari efek SNR tiap-tiap faktor dapat dilihat urutan-urutan pengaruh dari tiap-tiap faktor mulai yang kecil sampai yang besar. Dari efek SNR tiap faktor dipilih yang nilainya terbesar untuk disarankan sebagai rancangan usulan sesuai dengan karakteristik mutu *larger-the-better*. Dari Tabel 5 didapat rancangan usulan yang sama dengan Tabel 4, yaitu  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_3$ , dan  $D_3$ .

**Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk Tiap Replikasi**

Langkah pertama dari perhitungan ini ialah mencari rata-rata respon dari tiap level faktor untuk tiap replikasi. Sebagai contoh, perhitungan rata-rata respon untuk level 1 dari faktor A pada replikasi 1 adalah:

$$\bar{A}_{1R1} = (194 + 221 + 255) / 3$$

$$= 223.33$$

Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 6. Dari Tabel 6 dihitung besar efek tiap faktor untuk tiap replikasi, yaitu dengan mengurangi nilai respon terkecil dari nilai respon terbesar untuk setiap faktor dan level. Hasil perhitungan besar efek tiap faktor untuk tiap replikasi ditampilkan pada Tabel 7. Dari Tabel 7 didapat rancangan usulan yang sama dengan Tabel 4 dan Tabel 5, yaitu  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $C_3$ , dan  $D_3$ .

**Tabel 6. Respon Tiap Faktor untuk Tiap Replikasi**

Faktor	Kelas			Level	
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>		
A	223.33	224.00	223.67	1	
	243.33	241.67	242.33	2	⇒ A <sub>2</sub>
	222.67	221.00	222.33	3	
B	220.33	218.67	218.00	1	
	237.33	236.00	236.33	2	⇒ B <sub>2</sub>
	231.67	232.00	234.00	3	
C	214.33	215.00	214.33	1	
	219.67	217.67	218.67	2	
	255.33	254.00	255.33	3	⇒ C <sub>3</sub>
D	225.33	224.00	224.33	1	
	230.00	230.00	229.67	2	
	234.00	232.67	234.33	3	⇒ D <sub>3</sub>

**Tabel 7. Efek Tiap Faktor untuk Tiap Replikasi**

Faktor	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	Ranking
A	20.67	20.67	20.00	2
B	17.00	17.33	18.33	3
C	41.00	39.00	41.00	1
D	8.67	8.67	10.00	4

**Perhitungan Analisa Varian (ANOVA)**

Dengan memakai perangkat lunak statistik didapat tabel analisa varian yang ditunjukkan pada Tabel 8. Persen kontribusi ( $\rho$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\rho = (SS' / SS_T) \times 100 \%$$

$$\rho_A = (2,315.8519 / 13,126.2963) \times 100 \%$$

$$= 17.6428 \%$$

**Tabel 8. Analisa Varian**

Source	SS	n	MS	F-ratio	SS'	r (%)
A	2,320.0741	2	1,160.0370	549.4912	2,315.8519	17.6428
B	1,523.8519	2	761.9259	360.9123	1,519.6296	11.5770
C	8,867.1852	2	4,433.5926	2,100.1228	8,862.9630	67.5207
D	377.1852	2	188.5926	89.3333	372.9630	2.8413
Error	38	18	2.1111		54.8889	0.4182
Total	13,126.2963	26	504.8575		13,126.2963	100

Dari Tabel Analisa Varian di atas dapat dilihat bahwa semua faktor yang dipilih memang secara signifikan mempengaruhi *cranking ampere*. Hal ini didapat dengan membandingkan F-ratio hasil perhitungan dengan F-ratio dari tabel dengan menggunakan  $\alpha = 5\%$ . Dari tabel F untuk  $\alpha = 5\%$ ,  $\nu_1 = 2$ , dan  $\nu_2 = 18$  didapat  $F_{0.05, 2, 18} = 3.55$ . Angka ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan F-ratio hitung masing-masing faktor.

Ranking persen kontribusi dari tiap faktor menunjukkan tingkat pengaruh yang sama dengan hasil-hasil perhitungan sebelumnya. Tabel 9 memberikan ringkasan perbandingan dari ke-empat cara perhitungan yang telah dilakukan.

**Tabel 9. Rannking Pengaruh Tiap Faktor**

Ranking	Mean	SNR	Replikasi	Persen Kontribusi
1	C	C	C	C
2	A	A	A	A
3	B	B	B	B
4	D	D	D	D

**4.2 Uji Verifikasi**

Setelah rancangan optimal ditentukan maka harus diketahui pula prediksi respon dari rancangan optimal tersebut. Kemudian barulah eksperimen verifikasi dilakukan untuk membandingkan hasilnya dengan prediksi respon. Jika prediksi respon dan hasil eksperimen verifikasi cukup dekat satu sama lain maka kita dapat menyimpulkan rancangan cukup memadai. Sebaliknya jika hasil eksperimen verifikasi berbeda jauh dari hasil prediksi maka dapat dikatakan rancangan belum memadai.

Untuk rancangan usulan (A<sub>2</sub> B<sub>2</sub> C<sub>3</sub> D<sub>3</sub>), besar prediksi rata-rata proses adalah:

$$\mu_{\text{prediksi}} = \bar{A}_2 + \bar{B}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 - 3 \times \bar{y}$$

$$= 242.444 + 236.556 + 254.889 + 233.667$$

$$- (3 \times 229.37037)$$

$$= 279.4444$$

Setelah diketahui prediksi hasilnya, eksperimen verifikasi dilakukan untuk membuktikan apakah prediksi hasil tersebut bisa tercapai. Hasil dari uji verifikasi diberikan pada Tabel 10.

**Tabel 10. Tabel Hasil Eksperimen Verifikasi**

No	Hasil Eksperimen
1	279
2	277
3	278
Rata-rata	278
Standar deviasi	0.8165

Untuk membandingkan hasil eksperimen verifikasi dengan prediksi respon, dilakukan uji hipotesa sebagai berikut:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

dimana:

$$\mu = \mu_{\text{verifikasi}}$$

$$\mu_0 = \mu_{\text{prediksi}} = 279.4444$$

Syarat penolakan  $H_0$  adalah  $|t_0| > t_{\alpha/2, \nu}$

$$t_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$$

$$t_0 = \frac{278 - 279.4444}{0.8165 / \sqrt{3}}$$

$$|t_0| = -3.064$$

Untuk  $\alpha = 5\%$ , dan  $\nu = 3 - 1 = 2$

$$t_{0.025, 2} = 4.303$$

$|-3.064| < t_{\alpha/2, \nu}$  (gagal tolak  $H_0$ )

Jadi tidak cukup bukti untuk menolak bahwa hasil eksperimen verifikasi sama dengan prediksi.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain:

- Hasil uji hipotesa perbandingan hasil eksperimen verifikasi baik dengan prediksi maupun dengan kondisi awal, penggunaan metode Taguchi dapat meningkatkan *cranking ampere*.
- Rancangan usulan yang diusulkan kepada pihak perusahaan adalah:
  - Interval waktu *charging* : 60 menit
  - Tebal plat : 1,4 mm
  - Persentase kemurnian bahan : 98 %
  - Kuat arus *charging* : 180 A
- Rancangan usulan tersebut terbukti dapat menghasilkan *cranking ampere* rata-rata sebesar 278 CA.

## Daftar Pustaka

1. Bagchi, Tapan P., *Taguchi Method Explained: Practical Steps to Robust Design*, New Delhi: Prentice-Hall, 1993.
2. Montgomery, D.C., *Statistical Quality Design & Control: Contemporary Concepts and Methods*, New York: Mac Milan Publishing Company, 1992.
3. Phadke, Madhav S., *Quality Engineering Using Robust Design*, New Jersey: Prentice Hall, 1989.
4. Lochner, Robert H., and Joseph E. Matar, *Designing for Quality: an Introduction to the Best of Taguchi's & Western Methods of Statistical Experimental Design*. New York: Quality Resources, 1990.
5. Belavendram, Nicolo, *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*, London: Prentice Hall International, 1995.
6. Bhattacharya, Gouri K., and Richard A. Johnson, *Statistical Concepts and Methods*, Singapore: John Wiley & Sons, 1990.