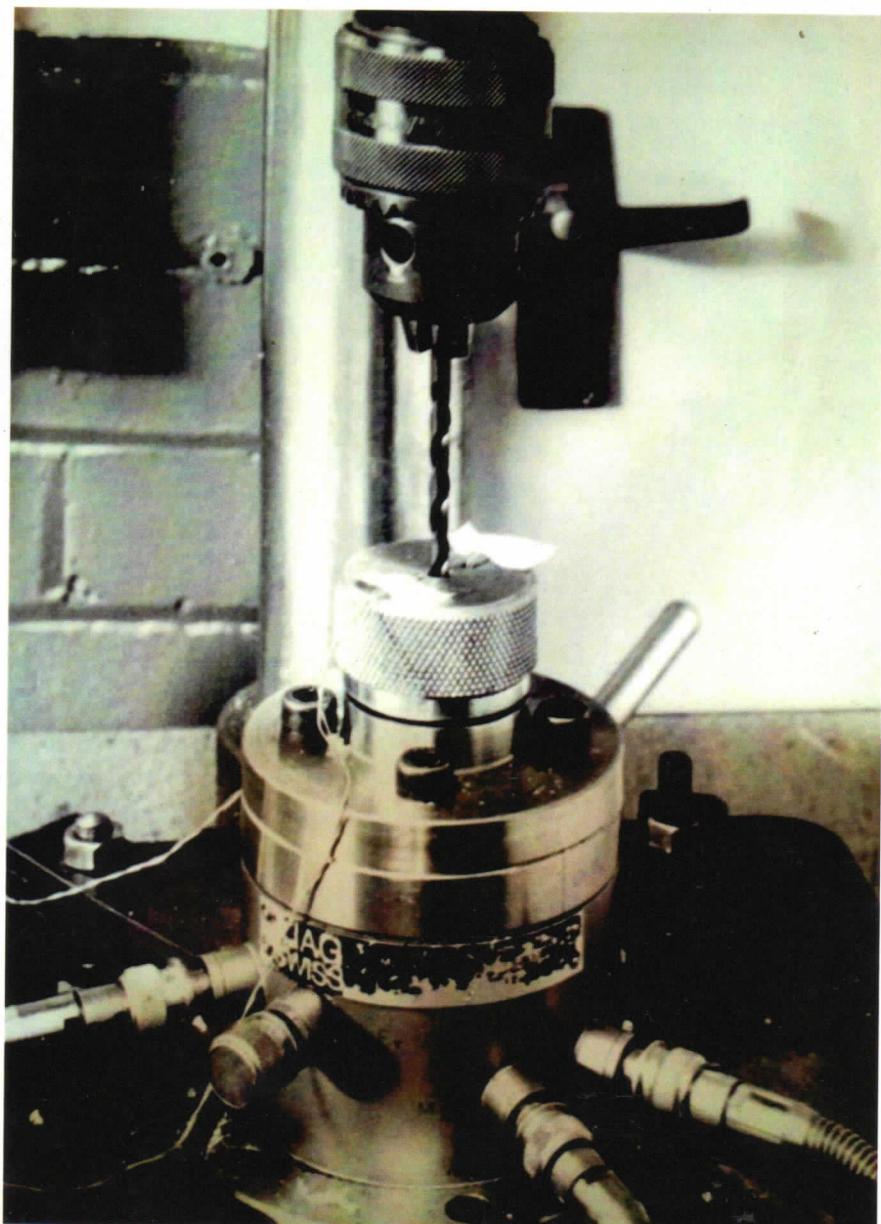


# Jurnal Ilmiah **RADIAL** Sains dan Rekayasa Teknik

*"If you can't explain it simply, you don't understand it well enough".*

- Albert Einstein



Diterbitkan Oleh :

Program Studi  
Teknik Mesin - FT UBK  
@2017  
Labor. Teknik Mesin  
Jl. Kimia No.20 Menteng  
Jakarta Pusat 10320

Phone : 021-319-22441  
Fax : 021-390-1278

e-mail :  
TeknikMesin.FTUBK@gmail.com  
bila\_kita@yahoo.com



**REDAKSI JURNAL ILMIAH**  
**RADIAL**  
**SAINS DAN REKAYASA TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BUNG KARNO**

- Penasehat : Dekan Fakultas Teknik  
Penanggung Jawab : Ketua Program Studi Teknik Mesin  
Pimpinan Redaksi : Yusrizal, ST.,MT  
Redaksi Pelaksana : Ir. Tri Erina, MM.,MBA  
                            Ayu Amanah, SSi.,MSi  
                            Suryoputro, B.Eng.,M.Eng.  
                            Ibham Veza, ST.,MT  
                            Permana Andi Paristiawan, ST.,MT  
                            Safaruddin, SSi.,MSi
- Mitra Bestari : Prof. Drs. Syahbuddin, MSc.,Ph.D  
                            Dr. Ir. Dwi Rahmalina, MT  
                            Dr. La Ode M. Firman, ST.,MT  
                            Dr. Ir. Yohanes Dewanto, MT  
                            Jones Victor Tuapetel, ST.,MT.,Ph.D
- Alamat Redaksi : LABORATORIUM TEKNIK MESIN  
                            Program Studi Teknik Mesin  
                            Fakultas Teknik Universitas Bung Karno  
                            Jl. Kimia No. 20, Menteng, Jakarta Pusat  
                            Telpon. (021) – 31922441  
                            e-mail : [TeknikMesin.FTUBK@gmail.com](mailto:TeknikMesin.FTUBK@gmail.com)  
                            [bila\\_kita@yahoo.com](mailto:bila_kita@yahoo.com)

## **PENGANTAR REDAKSI**

Tat Wan Asi,

Jurnal Ilmiah RADIAL yang ada pada pembaca yang budiman adalah edisi perdana untuk volume pertama.

Edisi ini memuat tulisan-tulisan yang berkaitan dengan Sains dan Rekayasa Teknik. Penulis-penulis yang terlibat dalam hal ini adalah yang berkompetensi pada bidangnya selaras dengan tridharma perguruan tinggi di Indonesia.

Semoga tulisan-tulisan ini dapat bermanfaat kemudian dapat dikembangkan sesuai minat dan kebutuhan pembaca sehingga berguna untuk kemajuan sains dan teknologi di tanah air kita ini.

Selamat membaca.

Salam,  
R e d a k s i

## DAFTAR ISI

PENGANTAR REDAKSI .....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
STUDI PENGARUH GEOMETRI MATA BOR ( <i>DRILL BIT</i> ) TERHADAP GAYA DAN TORSI PENGEBORAN PADA SPESIMEN ‘ <i>PERSPEX</i> ’ DAN TULANG MUR (NUT) BERBAHAN S45C .....	61 - 75
<i>Suryoputro</i>	
PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERAKITAN MANUAL MODUL PCB MENGGUNAKAN METODE <i>SIX SIGMA</i> .....	76 - 87
<i>Solihin</i>	
STRATEGI PERUBAHAN POSISI MATERIAL PADA <i>DIES</i> DAN PEMILIHAN PROGRAM PROSES <i>MILLING</i> PADA PRODUKSI KOMPONEN <i>TIE ROD END</i> ..	88 - 100
<i>Zulkani Sinaga</i>	
PERANCANGAN SISTEM KONTROL RUMAH BERBASIS <i>MIKROKONTROLER</i> AT89S52 DENGAN MEMANFAATKAN LAYANAN <i>SMS</i> .....	101 - 114
<i>Syamsu Marlin</i>	
OPTIMASI JALUR PRODUKSI <i>TRENDGATE BED</i> PADA PROSES PENGELASAN MENGGUNAKAN METODE KESEIMBANGAN LINI DI PT XXX .....	115 - 124
<i>Murwan Widyantoro</i>	
ANALISIS PENGGUNAAN TEKNOLOGI <i>HIGH TROUGHPUT SATELLITE</i> (HTS) UNTUK DESA <i>BROADBAND NUSANTARA</i> .....	125 - 141
<i>Prawiro Harjono</i>	

# PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERAKITAN MANUAL MODUL PCB MENGGUNAKAN METODE SIX SIGMA

Oleh :

Solihin<sup>\*)</sup>

## *Abstract*

*This paper illustrates six sigma application as frame work to improve productivity at PCB manual process assembly in PCB manufacturing company. Based on researcher observation is identified that production capacity at Manual PCB assembly lower than final assembly. The aim of this study is to provide a solution to the company to increase the productivity by increasing Run Rate of manual assembly processes of PCB module using Six Sigma method. With using DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) method, identified the main factors that make low productivity in the PCB assembly manual process are PCB carrier capacity and the number of work performed by the operator. The results of the improvements got direct impacts to the company benefit. Financially, the result of improvements have resulted in cost savings of USD 25,217 per- month. Non financially, process capability got improvement that is indicated by increasing sigma level from  $-63.7\sigma$  to  $3.43\sigma$ .*

*Key Words : Productivity, Manual Insertion, PCB, Six Sigma, DMAIC*

## *Abstrak*

Paper ini menggambarkan penerapan six sigma sebagai kerangka kerja untuk memperbaiki produktivitas proses perakitan PCB pada sebuah perusahaan manufaktur PCB. Berdasarkan observasi peneliti terdapat ketidaksesuaian kemampuan produksi antara perakitan manual PCB dengan kapasitas perakitan akhir. Kondisi tersebut menjadi sebab rendahnya efisiensi dalam proses produksi perakitan akhir. Tujuan penelitian ini adalah memberikan solusi pada perusahaan untuk memperbaiki produktivitas pada proses perakitan manual modul PCB dengan metode *Six Sigma*. Berdasarkan metodologi *six-sigma* terdapat 5 tahap perbaikan yang disebut DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). Hasil penelitian teridentifikasi faktor utama yang menjadi kendala dalam pencapaian yaitu, kapasitas PCB carrier dan jumlah pekerjaan yang dilakukan oleh operator. Hasil perbaikan yang telah dilakukan mempunyai dampak baik secara *finansial* maupun *non finansial*. Secara *finansial* hasil dari perbaikan telah menghasilkan penghematan biaya produksi sebesar 25.217 USD per bulan. Secara *non finansial* terjadi peningkatan kemampuan proses, ditunjukkan dengan perbaikan level sigma dari  $-63,7\sigma$  menjadi  $3,43\sigma$ .

Kata Kunci : *Produktivitas, Perakitan Manual, PCB, Six Sigma, DMAIC*

## I. PENDAHULUAN

### a. Latar Belakang

Perkembangan persaingan bisnis di era globalisasi saat ini sangat ketat sekali. Dengan kondisi tersebut telah memicu setiap pengusaha untuk meningkatkan kinerja perusahaannya agar dapat bersaing dengan perusahaan lainnya. Dalam paper ini peneliti berusaha melakukan perbaikan produktivitas di salah satu perusahaan manufaktur perakitan pesawat televisi LCD yang belokasi di daerah Bekasi.

Berdasarkan data-data proses produksi terdapat ketidaksesuaian kemampuan jumlah produksi antara perakitan PCB di bagian *Manual Insertion* dengan kapasitas dan perakitan akhir ( lihat Tabel 1.). Seringkali proses perakitan akhir menunggu PCB dari proses *manual insertion*.

Tabel 1. Data Kapasitas Produksi LCD TV

Proses	Run Rate Rata-rata Eff. 90%	Jumlah Line	Jumlah Shift	Jam kerja/Shift	Kapasitas/hari
PCB (Manual Insert)	147,6	4	2	7,76	9163 sets PCB
Final Assembly	109	10	2	7,76	16901 sets CTV
Sumber : PT. XYZ					

Sisa PCB (dikerjakan di Sub Kontraktor) -7738 sets PCB  
Rasio perbedaan kapasitas 84%

Kondisi tersebut menjadi salah satu sebab rendahnya efisiensi dalam proses produksi perakitan akhir, karena meskipun kelebihan jumlah produksi PCB telah dikerjakan oleh perusahaan sub-contractor, namun sering terjadi keterlambatan pengiriman PCB dari sub-contractor ke perakitan akhir.

### b. Permasalahan

Upaya dalam memelihara ketepatan pengiriman produk kepada pelanggan, maka diperlukan peningkatan jumlah produksi di bagian *Manual Insertion* sehingga dapat mengimbangi kemampuan proses produksi di bagian perakitan akhir. Peningkatan kemampuan proses produksi di bagian *Manual Insertion* dilakukan mulai dari proses input sampai proses output.

Adapun rumusan masalah yang timbul dari permasalahan tersebut yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah :

“Bagaimana meningkatkan kemampuan proses produksi di bagian perakitan PCB manual dengan menggunakan metode six sigma -DMAIC?”

### c. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah memberikan solusi pada perusahaan untuk meningkatkan Run Rate (Jumlah produksi perjam) pada proses perakitan manual modul PCB dengan menggunakan metode six sigma. Manajemen six sigma merupakan suatu inisiatif organisasi yang dirancang untuk menciptakan manufaktur, servis, dan proses administratif yang menghasilkan perbaikan yang berkesinambungan baik dalam pengurangan kecacatan maupun waktu siklus (Gitlow & Levine, 2005).

### d. Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan adanya perbedaan kapasitas antara proses PCB manual insert dan perakitan akhir, sehingga beberapa proses pengerjaan PCB, perlu dikerjakan di sub kontraktor, hal ini menimbulkan berbagai macam permasalahan diantaranya biaya proses pengerjaannya tentu relatif lebih mahal bila dibandingkan di kerjakan diluar, disamping itu sering terjadi kendala pengiriman barang barang mentah ke sub kontraktor maupun pengiriman kembali barang jadi ke perusahaan.

Dari produksi rata-rata bulanan (Tabel 2.), dimana model PB2 dengan menggunakan PCB seri PE0942 menempati urutan ketiga volume produksi terbesar tetapi mempunyai produktivitas run rate yang rendah yaitu 155 sets/jam, oleh karena itu supaya masalah yang dibahas tidak terlalu luas, maka pembahasan mencangkup tentang, “ Peningkatan Run Rate (Jumlah produksi per-jam) proses perakitan manual untuk Modul PCB seri

timbul dari  
jadi fokus

kemampuan  
kitan PCB  
metode six

enelitian ini  
usi pada  
Run Rate  
ada proses  
B dengan  
sigma.  
kan suatu  
ang untuk  
dan proses  
perbaikan  
k dalam  
n waktu

a kapasitas  
nsert dan  
a proses  
n di sub  
berbagai  
ya biaya  
atif lebih  
an diluar,  
kendala  
n ke sub  
kembali

an (Tabel  
dengan  
nenempati  
terbesar  
run rate  
eh karena  
as tidak  
mbahasan  
atan Run  
proses  
PCB seri

PE0942 dengan menggunakan metode Six Sigma-DMAIC.

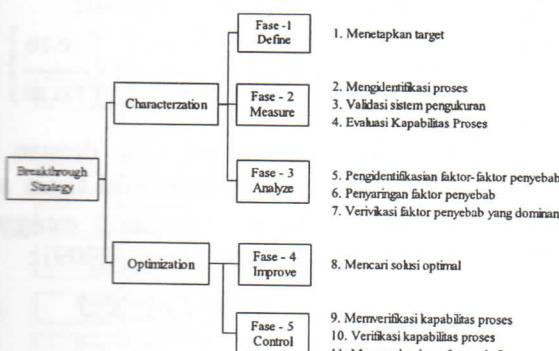
Tabel 2. Rata-Rata Jumlah Produksi PCB  
Sumber : Data Pengolahan

Model	PCB No.	Run Rate/Line	Qty/Month
PB200	PE1085	200	69.905
HV10	PE1006	270	67.999
PB2	PE0942	155	55.809
S5	PE1083	120	24.648
PU200	PE1098	200	21.087
PB20	PE1043	147	11.136
PS200	PE1101	200	9.333
PX200	PE1096	130	5.259
PA200	PE1006	265	4.673
PS20	PE1053	156	3.668
PBP/S10	PE0994	171	3.790
G5	PE1094	120	2.545
RW1	PE1102	80	1.433
TLM20	PE1048	80	1.433
164 sets/hr (avg.)			281.428

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi perbaikan dalam penelitian ini adalah menggunakan Metodologi six sigma. Berdasarkan Six Sigma Breakthrough strategy, ada 5 tahapan untuk menyelesaikan suatu projek perbaikan yang disebut DMAIC. Sistimatis pelaksanaan yang ditargetkan dari inisiatif six sigma perusahaan secara ekstensif ditentukan oleh penggunaan projek, penerapan peralatan (tools) dan teknik-teknik kualitas dari metodologi DMAIC (Kuncar, Ertürk dan Spenhoff, 2003)

Adapun metodologi DMAIC adalah seperti dilukiskan pada gambar di bawah (Gambar 1.).



Gambar 1. Metodologi Six Sigma

## III. HASIL PENELITIAN

### 3.1. Fase Define

Berdasarkan data run rate sebelum perbaikan (Tabel 3.) dengan rata-rata produksi sebesar 155 set/jam dan CTQ perusahaan bahwa besaran perbaikan produktivitas sebesar 50%, besaran tersebut menjadi acuan dalam penetapan target dalam penelitian ini.

$$\begin{aligned} \text{Target Run rate} &= \\ 155 \text{ set/jam} \times 150 \% &= \\ 233 \text{ set/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Target Cycle Time} &= \\ 1 \text{ Jam} / 233 \text{ set} &= 0,004301 \text{ jam/PCB} = \\ 15,5 \text{ detik/PCB} \end{aligned}$$

Tabel 3. Data Run Rate Sebelum Perbaikan PCB PE0942

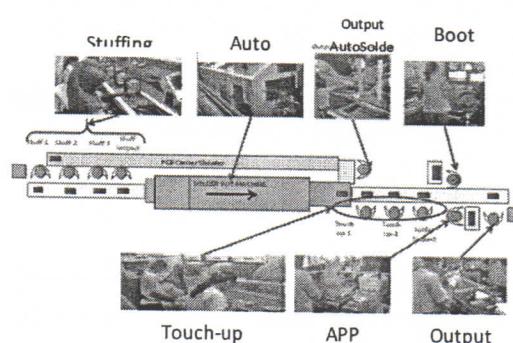
Jenis	Pemerkiraan Run rate/hari																				R
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	163	165	155	166	153	163	157	135	161	150	158	169	164	156	161	155	156	158	164	169	16
2	160	165	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	159
3	151	159	151	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	157
4	148	148	146	149	148	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
5	149	148	149	149	149	150	150	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149	149
6	159	155	150	149	147	150	150	149	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
7	162	146	162	162	168	162	162	162	162	162	159	163	163	164	163	162	162	163	155	162	144
X	154,7	155,3	153,6	157,1	151,3	155,6	154,6	156,0	157,0	155,1	157,2	155,8	154,9	156,1	156,0	153,4	153,7	154,5	155,9	156,1	156
	$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{3101}{20} = 155$		$s^2 = \frac{\sum d^2}{n-1} = \frac{3,715}{20-1} = 1,224$																		

Sumber: Pengolahan data

### a. Fase Measure

#### i. Mengidentifikasi Faktor Penyebab

Untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab yang menjadi penghambat dalam pencapaian target yang akan dicapai, langkah pertama adalah memahami proses perakitan yang sedang berlangsung. Proses perakitan komponen secara manual

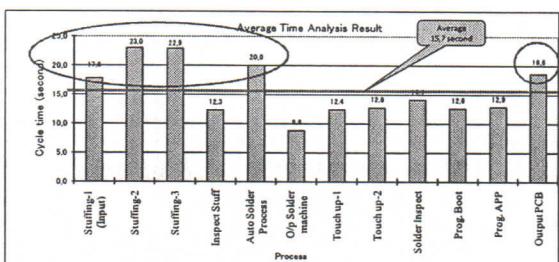


Gambar 2. Proses Alir Manual Insertion

Untuk mengetahui kinerja masing-masing proses, maka dilakukan

pemeriksaan line balancing dengan cara memeriksa *cycle time* dari masing-masing proses. Dalam kaitannya dengan perhitungan *takt time* adalah waktu yang tersedia untuk memproduksi komponen dalam interval waktu tertentu (Liker dan Meier, 2006).

Berdasarkan hasil pemeriksaan *cycle time* maka diperoleh data line balancing sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik data line balancing Proses PCB Manual model PE0942

Setelah diurut dari *cycle time* yang paling lama, *cycle time* untuk masing-masing proses, terdapat 5 station yang mempunyai *cycle time* lebih dari target 15,5 detik (Gambar 3.).

## ii. Validasi\_Proses Pengukuran.

Pengujian validasi akan dilakukan terhadap proses yang dilakukan oleh operator tidak sesuai dengan target yaitu operator stuffing dan operator output PCB, sedangkan untuk proses auto soldering tidak dilakukan GR&R. Dari hasil analisa pengukuran GR&R terhadap 2 operator stuffing dan 2 operator output PCB. Masing-masing operator di uji sebanyak 3 kali dengan jumlah sample pengujian sebanyak 10 sampel. Hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Studi GR & R

Proses	% Study Varian	% Tolerance
Stuffing	18,93	28,79
Output PCB (Packaging)	19,99	26,19

Sumber : Pengolahan data

Hasil Pengukuran (Tabel 4.) GR&R<30% artinya pengukuran dapat diterima secara statistik (Minitab16. 2010).

## iii. Perhitungan\_Proses Kapabilitas (cpk) Awal

Untuk menghitung proses kapabilitas awal menggunakan data historis sebelum perbaikan (Tabel 3.). Sebelum menghitung nilai proses kapabilitas (*Cpk*) terlebih dahulu data yang terkumpul diuji kenormalan datanya menggunakan uji kenormalan Anderson-Darling dengan bantuan program minitab dengan hasil pengujian diperoleh *P-value* 0,927 >  $\alpha=0,05$  dinyatakan bahwa data yang disajikan adalah distribusi normal.

Selanjutnya dihitung nilai indeks kapabilitas (*Cpk*) dengan menggunakan rumus berikut (Kane , 1986; Khare, 2012) :

$$Cpk = \min \left\{ Cpk_{Upper}, Cpk_{Lower} \right\} \quad \text{Dalam} \\ = \min \left\{ \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (1)$$

perhitungan *Cpk* hanya ditentukan satu batas spesifikasi saja yaitu target run rate 233 sebagai batas spesifikasi bawah (*LSL*) dan nilai spesifikasi atasnya (*USL*) tidak ditentukan sehingga formula untuk menghitung nilai *Cpk* menjadi:

$$Cpk = \min \left\{ Cpk_{Lower} \right\} = \left\{ \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right\} = \left\{ \frac{155-233}{3\sigma} \right\} = -21,23$$

Dari hasil perhitungan *Cpk* dengan nilai -21,23 atau sama dengan nilai sigma sebesar  $-63,69\sigma$  didapat dengan menggunakan rumus berikut (Steinmeier , 2009) :

$$\text{Sigma level} = \text{Nilai } Cpk \times 3 \quad (2)$$

## b. Fase Analyze

### i. Penyaringan Faktor Penyebab Masalah

Untuk lebih mudah mengidentifikasi proses mana yang menjadi kendala dan yang tidak dapat dilihat pada diagram alir *VA* dan *NVA* (Gitlow & Levine 2005).

Tabel 4.)  
skuran dapat  
ab16, 2010).

## abilitas (cpk)

kapabilitas kritis sebelum menghitung ( $pk$ ) terlebih dulu diujii gunakan uji t dengan hasil  $t = 0,927 > t_{tabel}$ . Jadi indeks menggunakan share, 2012) :

Dalam

untukan satu get run rate awah (*LSL*) (*USL*) tidakula untuk

$$\left. \begin{array}{r} 55-233 \\ -1,224 \end{array} \right\} = -21,23$$

gma sebesar  
nenggunakan  
9);

(2)

rebab

ngidentifikasi  
ndala dan  
diagram alir  
vine 2005).

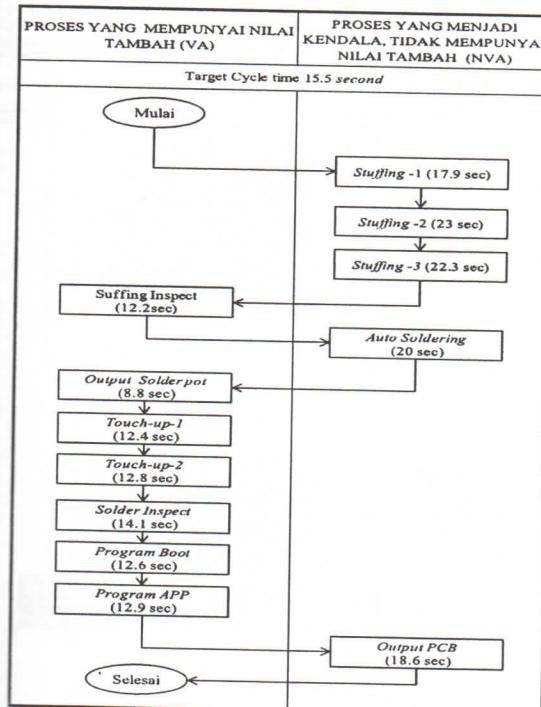
79

Proses yang menjadi kendala dalam pencapaian target *run rate* adalah proses yang mengakibatkan waktu tunggu untuk proses yang lainnya. Kondisi tersebut tidak memberikan nilai tambah (*NVA*) terhadap pencapaian target produktivitas (*Run Rate*).

Dari diagram alir *VA-NVA* (Gambar 4) dapat diidentifikasi bahwa ada 5 proses yang menjadi kendala dalam pencapaian target *run rate*.

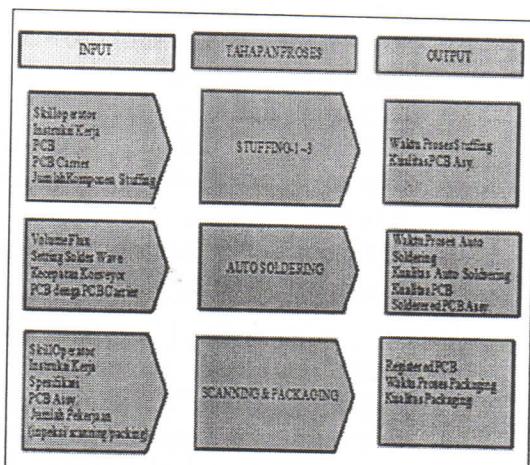
- a. Proses *Stuffing* 1~3
  - b. Proses *Auto Soldering*
  - c. Proses *Output PCB & Packaging*

Selanjutnya untuk proses yang menjadi kendala yang tidak mempunyai nilai tambah tersebut diuraikan kedalam diagram I-P-O (Gambar 5.) untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi terhadap pencapaian target run rate. Untuk kolom input diisi variabel input yang menjadi bahan dalam transformasi output, dan output adalah keluaran atau hasil dari proses transformasi input.



Gambar 4. Diagram Alir VA~NVA Manual Process PCB Assembly

Setelah selesai membuat diagram I-P-O, selanjutnya data dari diagram I-P-O di transfer ke dalam matrik sebab akibat (Cause and Effect Matrix = C & E Matrix) untuk mengetahui hubungan antara variabel input dan variabel output.



**Gambar 5. Diagram I-P-O Hand Insert Process**

Tabel 5. C & E Matrix Proses PCB manual

Sumber: Pengolahan data

Dari hasil analisa C&E matrix dipilih 6 faktor penyebab yang memiliki nilai total minimal 120 (Tabel 5.) untuk dilakukan analisa mencari akar permasalahannya, yaitu :

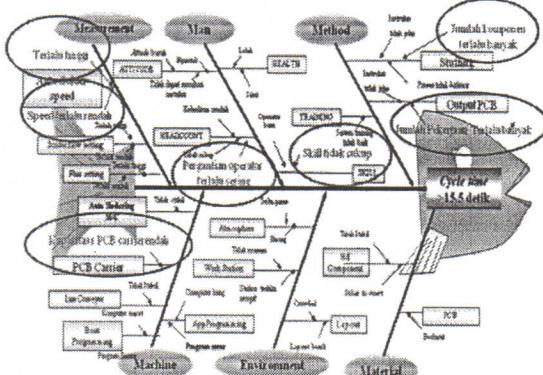
- d. Jumlah Pekerjaan *Packaging*
  - e. Kecepatan Konveyor *Solderpot*
  - f. *Packaging manpower Skill*
  - g. Jumlah Komponen *Stuffing*

- h. Skill Operator Stuffing
- i. PCB dengan PCB Carrier

Untuk mendapatkan informasi mengenai akar penyebab dari permasalahan yang terjadi dilakukan diskusi dan dengar pendapat (*brainstorming*) dengan pelaku proses produksi yang bersangkutan dalam hal ini adalah supervisor, leader dan beberapa operator, kemudian dituangkan dalam diagram sebab-akibat (Gambar 6.). Data yang terdapat dalam diagram sebab-akibat menjadi bahan masukan dalam analisa *FMEA*. (Ding, Muhammad, Zulkurnaini, Khaider & Kamarudin, 2012)

Setelah diurutkan hasil penilaian analisa dari hasil penyaringan FMEA (Tabel 6), dipilih 3 faktor yang paling berpotensi yang mempunyai nilai RPN diatas 98, merupakan faktor penghambat untuk mencapai run rate yang ditargetkan yaitu :

- j. Kapasitas PCB carrier rendah
  - k. Jumlah komponen stuffing terlalu banyak
  - l. Jumlah pekerjaan packaging terlalu banyak



Gambar 6. Diagram Sebab-Akibat *Cycle Time* Lebih dari 15,5 Detik

## ii. Pengujian Hipotesis

Dari hasil penyaringan *FMEA* terdapat 3 faktor yang paling berpotensi yang menjadi penghambat dalam pencapaian run rate. Selanjutnya dilakukan uji hipotesis

dengan perlakuan 2 kondisi. Masing-masing kondisi diambil sampel cycle time sebanyak 10 sampel. Simulasi untuk uji hipotesis dapat dilihat pada Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.

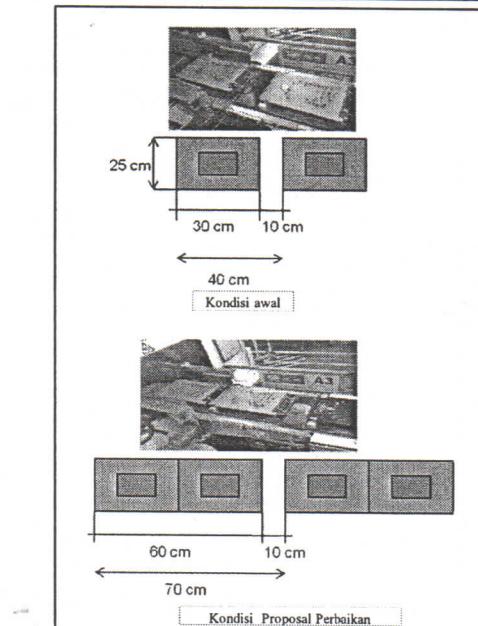
**Tabel 6. Analisa FMEA PCB Manual Assembly Process**

Process / Product Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)									
Process Step	Step Process Input	Product Failure Mode	Product Failure Mode	Severity	Detection	Risk	Control Method	Step	
STUFFING-105	Step operator	Skills tidak cukup	Kecualian rendah	4	Training kurang memadai	4	Melakukan skill test	2	30
		Sering terjadi kesalahan operator	Kondisi tidak stabil	4	Tingginya kurang mesak operator baru	4	Statis Regular training.	2	30
AUTO SICKLE PEG	Jumlah komponen setling	Komponen tidak benar	Output setling	7	Linebreak yang banyak	7	Inspect kela	2	30
	Convey Speed	Kecukupan konvay atau tidak stabil	Setle disk count	4	Setting mesin tidak stabil	4	Setle disk	2	30
PICK-UP STATION		Kecukupan konvay atau setling setelah setling	Banyak setle roller	3	Setle konvay tidak benar	4	Standar Setle	2	30
	Pick-up station dengan POS sistem	Kecukupan POS sistem rendah	Waktu gratis sistem	7	FCS setelah setling tidak benar	7	Train Job	4	30
OUTPUT GROSIR	Step operator packing	Skills tidak cukup	Kecualian rendah	4	Training kurang memadai	4	Melakukan skill test	2	30
		Sering terjadi kesalahan operator	Kondisi tidak stabil	4	Tingginya kurang mesak operator baru	4	Statis Regular training.	2	30
Jumlah paket dan packing	Terlambatnya paket	Waktu gratis sistem	Melebihi pedoman kurang baik	7	Inspect kurang baik	7	Inspect kela	2	30

Sumber: Pengolahan data carrier

**Tabel 7. Pengaturan Percobaan Hipotesis Kapasitas PCB Carrier**

Pengaturan	Kondisi Awal	Kondisi Baru
Kecepatan Konveyor	120 cm/detik ( <i>optimum setting</i> )	120 cm/detik ( <i>optimum setting</i> )
Jumlah PCB	1	2
Total Panjang	40cm	70 cm



**Gambar 7. Simulasi percobaan kapasitas PCB**

disi. Masing-masing cycle time dilihat untuk uji Tabel 6, Tabel 7 dan Gambar 8 dan

### Manual Assembly

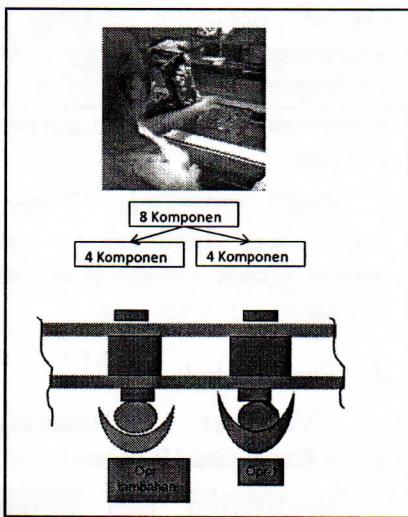
No	Kondisi Awal	Hasil
1	Menempelkan komponen	25
2	Menempelkan komponen	25
3	Menempelkan komponen	25
4	Menempelkan komponen	25
5	Menempelkan komponen	25
6	Menempelkan komponen	25
7	Menempelkan komponen	25
8	Menempelkan komponen	25
9	Menempelkan komponen	25
10	Menempelkan komponen	25
11	Menempelkan komponen	25
12	Menempelkan komponen	25
13	Menempelkan komponen	25
14	Menempelkan komponen	25
15	Menempelkan komponen	25
16	Menempelkan komponen	25
17	Menempelkan komponen	25
18	Menempelkan komponen	25
19	Menempelkan komponen	25
20	Menempelkan komponen	25
21	Menempelkan komponen	25
22	Menempelkan komponen	25
23	Menempelkan komponen	25
24	Menempelkan komponen	25
25	Menempelkan komponen	25
26	Menempelkan komponen	25
27	Menempelkan komponen	25
28	Menempelkan komponen	25
29	Menempelkan komponen	25
30	Menempelkan komponen	25
31	Menempelkan komponen	25
32	Menempelkan komponen	25
33	Menempelkan komponen	25
34	Menempelkan komponen	25
35	Menempelkan komponen	25
36	Menempelkan komponen	25
37	Menempelkan komponen	25
38	Menempelkan komponen	25
39	Menempelkan komponen	25
40	Menempelkan komponen	25
41	Menempelkan komponen	25
42	Menempelkan komponen	25
43	Menempelkan komponen	25
44	Menempelkan komponen	25
45	Menempelkan komponen	25
46	Menempelkan komponen	25
47	Menempelkan komponen	25
48	Menempelkan komponen	25
49	Menempelkan komponen	25
50	Menempelkan komponen	25
51	Menempelkan komponen	25
52	Menempelkan komponen	25
53	Menempelkan komponen	25
54	Menempelkan komponen	25
55	Menempelkan komponen	25
56	Menempelkan komponen	25
57	Menempelkan komponen	25
58	Menempelkan komponen	25
59	Menempelkan komponen	25
60	Menempelkan komponen	25
61	Menempelkan komponen	25
62	Menempelkan komponen	25
63	Menempelkan komponen	25
64	Menempelkan komponen	25
65	Menempelkan komponen	25
66	Menempelkan komponen	25
67	Menempelkan komponen	25
68	Menempelkan komponen	25
69	Menempelkan komponen	25
70	Menempelkan komponen	25
71	Menempelkan komponen	25
72	Menempelkan komponen	25
73	Menempelkan komponen	25
74	Menempelkan komponen	25
75	Menempelkan komponen	25
76	Menempelkan komponen	25
77	Menempelkan komponen	25
78	Menempelkan komponen	25
79	Menempelkan komponen	25
80	Menempelkan komponen	25
81	Menempelkan komponen	25
82	Menempelkan komponen	25
83	Menempelkan komponen	25
84	Menempelkan komponen	25
85	Menempelkan komponen	25
86	Menempelkan komponen	25
87	Menempelkan komponen	25
88	Menempelkan komponen	25
89	Menempelkan komponen	25
90	Menempelkan komponen	25
91	Menempelkan komponen	25
92	Menempelkan komponen	25
93	Menempelkan komponen	25
94	Menempelkan komponen	25
95	Menempelkan komponen	25
96	Menempelkan komponen	25
97	Menempelkan komponen	25
98	Menempelkan komponen	25
99	Menempelkan komponen	25
100	Menempelkan komponen	25

### Hipotesis

Kondisi Baru	Detail (optimum setting)
2	
70 cm	

Tabel 8. Pengaturan Percobaan Hipotesis Jumlah Komponen

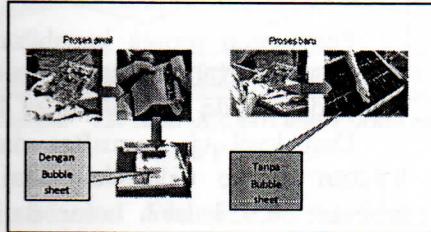
Pengaturan	Kondisi Awal	Kondisi baru
Jumlah Komponen	8 komponen	4 Komponen
Tambahan operator	N/A	1 operator



Gambar 8. Simulasi Percobaan Jumlah Komponen

Tabel 9. Pengaturan Percobaan Hipotesis Proses PCB Packaging

Pekerjaan Kondisi Awal	Pekerjaan Kondisi Baru
1. Pengecekan PCB	Pengecekan PCB
2. Scan PCB	Scan PCB
3. Membungkus PCB dengan bubble sheet	Tidak Ada
4. Meletakan PCB pada antistatic box menggunakan partisi	antistatic box menggunakan partisi



Gambar 9. Simulasi Percobaan Proses Packaging

Dari hasil analisa hipotesis (Tabel 10) dapat disimpulkan bahwa kondisi asumsi

perbaikan menunjukkan adanya perbedaan nilai rata-rata yang signifikan, dengan nilai P-value sebesar 0.000 sangat jauh dari taraf nyata ( $\alpha$ ) 0,05. Kondisi asumsi perbaikan mengarah pada kondisi yang lebih baik dengan nilai rata-rata *cycle time* cenderung lebih cepat.

Tabel 10. Analisa 2 sample t dengan Minitab

Faktor Dominan	Perlakuan		Uji Normalitas		Rata-rata waktu siklus (Derik)		Hasil test 2 sample t-Test
	Kondisi Awal	Asumsi Perbaikan	Kondisi Awal	Asumsi Perbaikan	Kondisi Awal	Asumsi Perbaikan	
Kapasitas PCB Carrier	1 cavity	2 cavity	p-value = 0,132 (normal)	p-value = 0,659 (normal)	20,2	17,25	P-value = 0,000 T-Value = 8,43
Jumlah Komponen Stuffing	8 komponen	5 komponen	p-value = 0,468 (normal)	p-value = 0,524 (normal)	23,05	11,4	P-value = 0,000 T-Value = 37,63
Jumlah Pekerjaan packaging	Dengan B/sheet	Tanpa B/sheet	p-value = 0,468 (normal)	p-value = 0,357 (normal)	18,45	13,75	P-value = 0,000 T-Value = 22,02

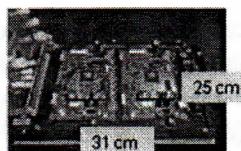
Sumber: Pengolahan data

### c. Fase Improve

Dari hasil pengujian hipotesis ke tiga faktor yang dianggap dominan terhadap pengaruh terhadap hasil run rate, namun hasil pengujian hipotesis hanya dilakukan percobaan terpisah masing-masing faktor, oleh karena itu perlu dilakukan percobaan proses gabungan untuk semua faktor yang di uji dengan menggunakan metode *DOE* (*Design of Experiment*) dengan pola  $2^k$  (2 perlakuan, 3 faktor). Adapun pengaturan perlakuan (setting) seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Pengaturan Perlakuan DOE

Jam ke	Pemeriksaan Run Rate/hari										$\bar{X}$	R	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	239	237	239	236	241	242	242	236	241	242	239,5	6,0	
2	241	236	239	236	242	243	241	237	240	241	239,6	7,0	
3	240	241	238	237	241	241	242	238	237	238	239,3	5,0	
4	237	238	239	235	242	243	238	237	241	239	238,9	8,0	
5	240	240	237	237	242	240	240	238	240	241	239,5	5,0	
6	239	237	238	235	239	241	243	236	239	240	238,7	8,0	
7	236	238	238	237	240	242	240	239	239	240	238,9	6,0	
$\bar{X}$		238,9	238,1	238,3	236,1	241,0	241,7	240,9	237,3	239,6	240,1	239,20	5,6
										$\bar{R}$	$s$	1,81	
										$\bar{R}$	$d_2$	3,078	
										$\bar{R}$	dilat dari tabel dengan $n = 10$		
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			
										$\bar{R}$			



Gambar 10. Desain Baru PCB Carrier 2 PCB

Setelah menentukan 2 perlakuan (*setting*) untuk ke tiga faktor tersebut, maka data perlakuan tersebut dimasukan ke dalam program minitab, kemudian dilakukan proses produksi berdasarkan komposisi perlakuan yang telah ditentukan dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12. Hasil Percobaan DOE untuk 3 faktor dengan 2 Perlakuan Full Factorial Design**

Factors: 3 Base Design: 3; 8 Runs: 8  
Replicates: 1 Blocks: 1

Slk Order	Run Order	CenterP	Blocks	C5-T		C6-T		C7-T		Run Rate
				Kapasitas PCB Carrier	Jumlah Komponen	Packing Proses	Jumlah Komponen	Packing Proses		
1	1	1	1	1 PCB	8 Komponen	Dengan Bubble sheet	147	Tanpa Bubble Sheet	145	
2	5	2	1	1 PCB	8 Komponen	Dengan Bubble sheet	145	Tanpa Bubble Sheet	170	
3	7	3	1	1 PCB	5 Komponen	Dengan Bubble sheet	180	Tanpa Bubble Sheet	145	
4	4	4	1	1 2 PCB	5 Komponen	Dengan Bubble sheet	180	Tanpa Bubble Sheet	145	
5	6	5	1	1 2 PCB	8 Komponen	Dengan Bubble sheet	145	Tanpa Bubble Sheet	239	
6	6	6	1	1 2 PCB	5 Komponen	Dengan Bubble sheet	175	Tanpa Bubble Sheet	175	
7	3	7	1	1 1 PCB	5 Komponen	Dengan Bubble sheet	175	Tanpa Bubble Sheet	144	
8	2	8	1	1 2 PCB	8 Komponen	Dengan Bubble sheet	144	Tanpa Bubble Sheet	144	

Dari hasil data percobaan maka dapat dihitung model regresi linier Y yang merupakan hasil dari pengaruh interaksi dari masing-masing faktor dengan formula seperti Tabel 13. (Gitlow & Levin, 2005).

**Tabel 13. Perhitungan Koefisien Model**

Slk Order	Run Order	Mean	Kapasitas PCB Carrier	Jumlah Komponen	Packing Proses	Kapasitas PCB Carrier*Jumlah Komponen	Kapasitas PCB Carrier*Packing Proses	Jumlah Komponen*Packing Proses	Kapasitas PCB Carrier*Jumlah Komponen*Packing Proses	Run rate
1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	147
5	2	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	145
7	3	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	170
4	4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	180
6	5	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	146
8	6	1	1	1	1	1	1	1	1	239
3	7	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	175
2	8	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	144
Rata-Rata High (+1)		NA	177,25	191	175	177,75	176,75	175	175,75	
Rata-Rata Low (-1)		NA	159,25	145,5	161,5	158,75	159,75	161,5	160,75	
Rata-rata efek (+1)-(-1)		168,25	18	45,5	13,5	19	17	13,5	15	
Koefisien Model = Rata-rata efek/2		168,25	9	22,75	6,75	9,5	8,5	6,75	7,5	

Sumber: Pengolahan data

Adapun untuk menghitung Y model regresi linier diperoleh dengan formula sebagai berikut (Matews, Malnar & Bailey, 2012) :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3$$

$$+ \beta_{13} X_1 X_2 X_3 \quad (3)$$

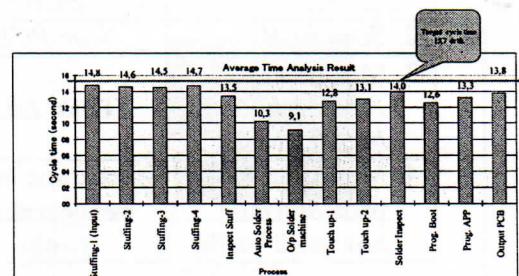
*Yield (Run Rate) = 168,25 + 9 (Kap. PCB Carrier) + 22,75 (Jmlh. Komponen) + 6,75 (Packaging Process) + 9,5 (Kap. PCB Carrier\*Jmlh Komponen) + 8,5(Kap. PCB Carrier\*Packaging Process) + 6,75(Jmlh Komponen \*Packaging Method) + 7,5(Kap. PCB carrier\*Jmlh Komponen\*Packaging Proses) = 239 sets/jam*

Dari perhitungan dengan model regresi linier berdasarkan efek masing-masing proses menghasilkan nilai *run rate* (Y) sebesar 239 sets/jam.

#### d. Fase Control

##### i. Verifikasi Line Balancing dan Kapabilitas Proses

Berdasarkan hasil pemeriksaan *line balancing* setelah dilakukan perbaikan diperoleh *cycle time* yang paling lama adalah di stasiun *input* sebesar 14,8 detik (Gambar 11). Proses ini merupakan proses yang menjadi batas maksimal pencapaian *run rate* setelah perbaikan, yaitu sebesar 243 set perjam.



Gambar 11. Line Balancing Setelah Perbaikan

Perhitungan proses kapabilitas setelah perbaikan diambil data sampel sebanyak 10 hari pada periode *control* (Tabel 14.).

Dari hasil uji normalitas data dengan bantuan minitab didapatkan nilai P-value sebesar 0,924 lebih besar dari  $\alpha(0,005)$  artinya bahwa data yang diperoleh terdistribusi dengan normal. Setelah melakukan pengujian kenormalan data maka dihitung proses kapabilitas sebagai berikut :

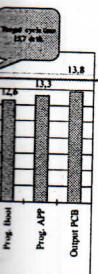
(3)

(Kap. PCB component) + (Kap. PCB (Kap. PCB 6,75(Jmlh method) + carrier\*Jmlh = 239

an model k masing- i run rate

dan

saan line perbaikan lling lama 14,8 detik kan proses encapaian u sebesar



terbaikan

setelah banyak 10 .).

dengan P-value  $\alpha(0,005)$  diperoleh Setelah n data sebagai

Tabel 14. Data Run Rate Periode Control

Jam ke	Pemeriksaan Run Rate/hari										$\bar{X}$	R	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	239	237	239	236	241	242	242	236	241	242	239,5	6,0	
2	241	236	239	236	242	243	241	237	240	241	239,6	7,0	
3	240	241	238	237	241	241	242	238	237	238	239,3	5,0	
4	237	238	239	235	242	243	238	237	241	239	238,9	8,0	
5	240	240	237	237	242	240	240	238	240	241	239,5	5,0	
6	239	237	238	235	239	241	243	236	239	240	238,7	8,0	
7	238	239	238	237	240	242	240	239	239	240	238,9	6,0	
	$\bar{X}$	238,9	238,1	238,3	236,1	241,0	241,7	240,9	237,3	239,6	240,1	239,20	5,6
	$\bar{X} = \frac{\sum \bar{X}}{n} = \frac{2392}{10} = 239,2$	$R = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{5,6}{0,2} = 3,078$	$\sigma = \frac{d_2 R}{3} = \frac{3,078}{3 \times 1,81} = 1,81$										

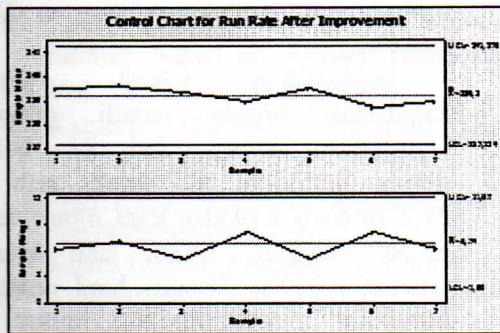
Sumber: Pengolahan data

$$\begin{aligned} Cpk &= \min \left\{ Cpk_{Upper}, Cpk_{Lower} \right\} \quad (1) \\ &= \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} = \frac{239,2 - 233}{3 \times 1,81} \\ &= 1,14 \end{aligned}$$

Dari Hasil perhitungan  $Cpk$  diperoleh nilai sebesar 1,14 atau sama dengan nilai level sigma sebesar 3,43.

### ii. Proses Pengendalian

Dari grafik Xbar-R (Gambar 12) dapat dilihat bahwa dengan rata-rata run rate 239,2 set per jam dan rata-rata R sebesar 6,74 artinya proses akan mampu mencapai target run rate sebesar 233 set per jam dengan stabil.



Gambar 12. Xbar-R Chart untuk Run-rate Setelah Perbaikan

### iii. Manfaat Finansial Setelah Perbaikan

Dari hasil pencapaian *run rate* setelah perbaikan adalah sebesar 239 set perjam, mempunyai peningkatan jumlah output perjam sebanyak 84 sets. Dari angka

tesebut dapat dihitung manfaat secara finansial bagi seperti pada Tabel 15.

Dari perhitungan manfaat finansial akhir diperoleh penghematan biaya produksi sebesar 25.541 USD perbulan.

Tabel 15 Perhitungan Manfaat Finansial

Deskripsi	Rumus	Jumlah	Satuan
Run Rate Awal	Ra	155	set/jam
Run Rate Setelah Perbaikan	Rt	239	set/jam
Prosentase Perbaikan	T	54	%
Peningkatan output	$\delta = R_t - R_a$	84	set/jam
Production cost (Y12 budget)	I(Pc)	2,5	USD/PCB
Rata-rata produksi	Pqty	55.809	Set/bulan
Waktu yang dibutuhkan berdasarkan Run Rate Awal	$t(Ra) = Pqty/Ra$	360	jam
Waktu yang dibutuhkan berdasarkan Run Rate Perbaikan	$t(Rt) = Pqty/Rt$	234	jam
Penghematan Waktu	$st = (Ra) - (Rt)$	127	jam
Peningkatan Jumlah set	Imp. Qty - $\delta * s$	10.630	Set/bulan
Penghematan biaya produksi	S(Pc) = $(Pc) * st$	26.575	USD/bulan
Investment			
Pertambahan operator (1*2 shift)	MC	645	USD/bulan
Biaya penggantian PCB Carrier	EC	389	USD/bulan
Manfaat Akhir	$S(pc) - MC - EC$	25.541	USD/bulan

Sumber: Pengolahan data

## IV. ANALISIS

### a. Kondisi Line Balancing

Dari data *cycle time* yang diproleh terdapat 5 proses yang mempunyai *cycle time*, melebihi target *cycle time* (*takt time*) sebesar 15,5 detik, yaitu *stuffing-1*, *stuffing-2*, *stuffing-3*, *auto soldering*, dan *output PCB*. Kondisi ini mengakibatkan jumlah produksi tidak sesuai atau selalu lebih rendah dari jumlah yang di targetkan. *Cycle time* yang berada di atas *takt time* adalah *bottleneck* dan kritis yang mengakibatkan waktu tunggu bagi proses yang mempunyai *cycle time* yang lebih rendah (Nee et.al, 2012)

### b. Hasil Validasi Pengukuran

Validasi pengukuran dengan menggunakan alat *GR&R* yang dilakukan dalam penelitian ini sebanyak 2 orang dari operator shift-1 dan shift 2, jumlah sampel sebanyak 10 sampel dan pengulangan percobaan sebanyak 3 kali, persyaratan pengukuran validasi data dapat diterima. (Hoffa dan Laux 2007), Hasil dari validasi pengukuran *GR&R* dibawah 30% masih dapat diterima. (AIAG dalam Pandiripalli, 2010).

c. Hasil Analisa Hipotesis Faktor Penyebab

Hasil dari analisa hipotesis faktor penyebab menunjukan bahwa;

- a. Uji normalitas, semua data yang diperoleh terdistribusi dengan normal
- b. Uji perbandingan nilai 2 sampel, hasil uji perbandingan 2 sampel dengan menggunakan metode *2 sample t-test*, bahwa nilai rata-rata antara sampel kondisi awal dan asumsi perbaikan sangat berbeda. Kondisi asumsi perbaikan mempunyai waktu siklus lebih pendek, artinya waktu siklus menurut asumsi perbaikan menunjukan hasil yang lebih baik.

Satu fungsi utama dalam perbandingan 2 sampel (*two-sample comparison*) adalah untuk membuat kesimpulan tentang nilai rata-rata 2 populasi. Biasanya kedua sampel diasumsikan sebagai data yang independen dan terdistribusi dengan normal, apabila tidak normal maka perlu melakukan penormalan data sebelum dilakukan perbandingan. (Peng dan Tong, 2011).

d. Kondisi Kapabilitas Proses

Dari hasil analisa *run rate* sebelum perbaikan diperoleh data data hasil analisa penelitian kapabilitas proses (*cpk*) sebesar -21,2 dan level *sigma* sebesar -63,7. Apabila proses mempunyai nilai *cpk* kurang dari 1, artinya proses tidak akan mampu mencapai batas spesifikasi yang diharapkan. Setelah perbaikan diperoleh nilai *cpk* sebesar 1,14 atau sama dengan nilai level *sigma* sebesar 3,43 $\sigma$ . Nilai *Cpk* antara 1 sampai 1,33 menunjukan proses sudah mampu untuk mencapai batas spesifikasi yang di minta pelanggan. (Kapadia, 2000).

e. Analisa Perancangan Percobaan (DOE)

Perancangan percobaan (*DOE*) yang dilakukan adalah perancangan faktorial

dengan jumlah faktor sebanyak 3 buah dan perlakuan sebanyak 2 perlakuan ( $2^3$ ) dengan satu kali putaran percobaan. Untuk menghindari penyimpangan dari efek lengkungan dan kesalahan yang diperoleh, pelaksanaan percobaan harus dilakukan secara random dengan 2 putaran percobaan (2 replikasi) dan di tambah dengan 5 titik tengah (*centre point*). (Chompu dan Charuenkasemsuk, 2012).

## V. KESIMPULAN

Metode *Six Sigma DMAIC* adalah metodologi yang sistematik. Metodologi perbaikan berdasarkan *Six Sigma Breakthrough strategy*, ada 5 tahapan untuk menyelesaikan suatu projek perbaikan yang disebut *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve dan Control*). Dalam pelaksanaan proses perbaikan membutuhkan pelatihan, pengukuran dan perangkat analisa untuk mengidentifikasi permasalahan tingginya *cycle time* proses perakitan *PCB* manual sehingga menghasilkan produktivitas (*run-rate*) yang rendah. Penelitian ini bertujuan memberikan solusi untuk meningkatkan produktivitas (*Run Rate*) pada proses perakitan manual modul *PCB* dengan menggunakan metode *Six Sigma DMAIC* tersebut.

Berdasarkan hasil perbaikan kapabilitas proses terjadi peningkatan kemampuan proses, hal ini ditunjukan dengan perbaikan nilai indeks *cpk* dari -21,2 menjadi 1,14 dan level *sigma* dari -63,7 $\sigma$  menjadi 3,43 $\sigma$  atau meningkat sebesar 67,13 $\sigma$ . Dengan hasil peningkatan kapabilitas proses tersebut, proses terjadi peningkatan kemampuan memproduksi *PCB* dari *run rate* sebesar 155 set/jam menjadi 239 set/jam. Peningkatan produktivitas hasil perbaikan sebesar 54%.

Manfaat langsung secara finansial yang diperoleh oleh perusahaan adalah penghematan biaya produksi. Penghematan

biaya produksi yang diperoleh adalah sebesar 25.217 USD per bulan.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Chompu & Charoenkasemsuk (2012). *Parametric Analysis in the Electronic Sensor Frequency Ajustment Proces*. International Journal of Mechanical and Industrial Engineering 6 2012, Thailand.
2. Ding, Muhammad, Zulkunaini, Khaider & Kamarudin (2012). *Application of Integration Integrated FMEA and Fish Bone Analysis- A Case Study in Semiconductor Industry*. Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3-6,20121233.
3. Gitlow & Levine (2005). *Six Sigma for Green Belt and Champion*. New York : FT Press.
4. Hoffa & Laux (2007), *Gauge R&R: An Effective Methodology for determining the Adequacy of a New Measurement System for Micron-Level Metrology*. Journal of Industrial Technology. Volume 23, Number 4-October 2007 through December 2007.
5. Kane (1986), *Process Capability Indices*. Jurnal of Quality Technology. Vol 18, No. 1, January 1986.
6. Kapadia (2000). *Measuring Your Process Capability*. Retieve from <http://www.symphonytech.com/articles/processcapability.htm>.
7. Khare (2006). *Process Capability Evaluation -Looking beyond the obvious*. Retieve from <http://www.symphonytech.com/articles/proccap2.htm>.
8. Kuncar, Erturk & Spenhoff (2003). *DMAIC guide-Quick Guide*. Germany: 3M Deutschland GmbH.
9. Liker & Meier (2006). *The Toyota Way Fieldbook, A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. McGraw-Hill Company.USA.
10. Mathews, Malhar & Bailey (2012) *Design of Experiment*. Retieve from <http://www.mmbstatistical.com/Notes/MathewsDOEwithMINITABPresentation Slides.pdf>.
11. Minitab16 (2010). *Minitab Assistant White Paper, Gage R&R Study (Crossed)*. Minitab Inc. Retieve from <http://www.minitab.com>.
12. Nee, Kamarudin, Loong, Tien & Hamdan (2012). *Adoption of Six Sigma Concept in Process Improvement Metodology : A Case Study*. International Journal of Engineering and Technology Advance Engineering . ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 7, July2012.
13. Pandiripalli (2010). *Repeatability and Reproducibility Studies : Comparison of Techniques*. Master of Science Thesis. Department of Industrial and manufacturing Engineering and Faculty of Graduate School of Wichita State University.
14. Peng & Tong (2011). *A Note on a Two-Sample T test with One Variance Unknown*. Journal Statistical Metodology 8 (2011) 528-534.
15. Steinmeier (2009). *Weld Quality Validation-Sample Size Selection*.
16. Retrief from [http://www.microjoining.com/docs/1352552132\\_microtip\\_weld\\_quality\\_sample\\_size.pdf](http://www.microjoining.com/docs/1352552132_microtip_weld_quality_sample_size.pdf).
17. [http://www.microjoining.com/docs/1352552132\\_microtip\\_weld\\_quality\\_sample\\_size.pdf](http://www.microjoining.com/docs/1352552132_microtip_weld_quality_sample_size.pdf).