

# **ANALISA WAKTU PROSES PENGUJIAN TARIK UNTUK MENENTUKAN JUMLAH MESIN DAN OPERATOR OPTIMAL**

**(Studi Kasus : Lab. Uji Mekanik HSM PT Krakatau Steel)**

**Ellysa Kusuma Laksanawati<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Industri

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Tangerang

Jl. Perintis Kemerdekaan I/33, Cikokol Kota Tangerang

<http://www.umt.ac.id>

ellysaki@yahoo.com

## **ABSTRAK**

Waktu merupakan faktor utama keberhasilan dalam proses industri. Dengan melihat waktu proses, memudahkan perusahaan untuk menentukan langkah yang harus diambil kedepan. Demi terciptanya tujuan tersebut maka pabrik *HSM (Hot Strip Mill)* PT Krakatau Steel, salah satu perusahaan baja terkemuka di Indonesia melakukan pengendalian terhadap hasil produk dalam bentuk coil dengan melakukan uji mekanik di Lab Uji HSM. Adapun Uji Mekanik yang dilakukan salah satunya adalah pengujian tarik yaitu untuk melihat kekuatan dari baja.

Upaya mempercepat proses pengujian diantaranya yang dapat dilakukan, analisis terhadap mesin maupun operator secara proporsional (optimal) baik jumlah maupun kemampuannya. Pertama yang dilakukan adalah menentukan waktu standar proses pengujian. Dengan memperhitungkan faktor – faktor pengaruh seperti penyesuaian dan *allowance*. Data yang diambil untuk melengkapi penelitian berisi mengenai tahapan inspeksi, jumlah sample yang diambil perbulan, kapasitas mesin, jumlah mesin dan jumlah operator.

Setelah diketahui tahapan inspeksi dilakukan perhitungan waktu tiap-tiap tahapan yang nantinya akan diperoleh waktu keseluruhan proses inspeksi dimana waktu keseluruhan proses digunakan untuk menentukan waktu optimal pengujian. Selanjutnya menentukan jumlah mesin dan operator optimal dengan menggunakan data jumlah sample, waktu proses pengujian, tingkat efisiensi mesin dan operator.

Harapan dari didapatkannya waktu, jumlah mesin dan jumlah operator optimal pengujian bahwa perusahaan dapat memperoleh informasi untuk melakukan pengendalian sistem.

Kata kunci : bottleneck, allowance, inspeksi,

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan industri ditandai dengan peningkatan jumlah industri baja di dunia. Persaingan menjadi sangat ketat karena konsumen menjadi semakin selektif dalam memilih produk. Untuk memenangkan kompetisi dalam dunia industri maka perusahaan memberikan perhatian penuh kepada kualitas, selain harga yang juga kompetitif.

Perhatian kepada kualitas dilakukan dengan menghasilkan produk yang bebas dari kerusakan. Perusahaan harus menjamin bahwa produk yang dijual memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, sehingga mampu meningkatkan kepuasan atas penggunaan produk tersebut. Hal ini juga menjadikan konsumen semakin loyal sehingga mendatangkan keuntungan bagi perusahaan.

Industri baja nasional, PT Krakatau Steel yang berlokasi di kota Cilegon, Banten, harus mampu menjaga dan meningkatkan kualitas produknya, tidak hanya berorientasi pada bagaimana menjual produk.

Upaya yang dilakukan agar produk bebas dari kerusakan yaitu, melakukan kegiatan inspeksi yang didalamnya termasuk melakukan pengujian.

Hasil pengujian yang akurat dan cepat dapat dilakukan dengan mengoptimalkan jumlah mesin dan operator yang ada. Untuk itu dibutuhkan waktu proses pengujian yang optimal, sehingga jumlah mesin dan operator dapat ditentukan dengan baik.

Ketika pengujian dilakukan, yang dibutuhkan adalah mendapatkan informasi penyebab cacat untuk segera mengatasi masalah produk cacat. Yang umum dijumpai adalah kegiatan inspeksi harus melalui tahapan proses yang bertingkat. Disini digunakan berbagai macam mesin atau peralatan di setiap tahapan proses menuju ke pengujian. Dengan demikian sangatlah sulit untuk memasang setiap tahapan proses dengan kapasitas maksimum yang sama. Konsekuensi logis yang diperoleh masing-masing tahapan proses akan memiliki kapasitas proses yang berbeda-beda sehingga terjadi penyumbatan-penyumbatan arus aliran material (*bottle-neck*). Untuk mengatasi kemacetan-kemacetan akibat ketidak seimbangan kapasitas dilakukan suatu langkah dasar dalam pengaturan sistem produksi yang baik, dengan menentukan berapakah jumlah mesin dan tenaga kerja yang dibutuhkan. Untuk menentukan jumlah mesin dan tenaga kerja, dibutuhkan waktu standar proses inspeksi dengan menggunakan perhitungan waktu baku.

## KAJIAN PUSTAKA

Waktu merupakan salah satu permasalahan yang sering dihadapi oleh perusahaan, terutama masalah ketepatan waktu yang berkaitan dengan pemenuhan pesanan dari konsumen. Begitu berpengaruhnya peranan waktu didalam berbagai kegiatan manusia membuat waktu menjadi hal yang sangat berharga, terutama dalam implementasinya dalam dunia bisnis. Hal ini akan berimbas kepada tiap aktivitas perusahaan sebagai salah satu alat bisnis tersebut.

Melihat peran waktu yang penting, membuat orang untuk selalu berusaha mengoptimalkan waktu yang tersedia. Dalam dunia industri contohnya, optimalisasi waktu ini berhubungan erat dengan minimalisasi waktu menganggur, baik itu operator maupun mesin atau alat-alat produksi. Optimalisasi ini dapat dicapai dengan berbagai cara, salah satu cara adalah penentuan waktu baku atau sering disebut waktu standar.

### Teori Waktu Baku

Waktu baku merupakan waktu yang dibutuhkan oleh seorang pekerja yang memiliki tingkat kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Untuk memperoleh data waktu baku, dapat dilakukan dengan jam henti (*stop watch time study*).

Ada tiga metode yang umum digunakan untuk mengukur elemen-elemen kerja dengan menggunakan jam henti (*stop-watch*) yaitu pengukuran waktu secara terus-menerus (*continuous timing*), pengukuran waktu secara berulang-ulang (*repetitive timing*) dan pengukuran waktu secara penjumlahan (*accumulative timing*).

Metoda pengukuran waktu secara akumulatif memungkinkan pembaca data waktu secara langsung untuk masing-masing elemen kerja yang ada. Disini akan digunakan dua atau lebih *stop-watch* yang akan bekerja secara bergantian. Dua atau tiga *stop-watch* dalam hal ini akan didekatkan sekaligus pada papan pengamatan dan dihubungkan pada satu tuas. Apabila *stop-watch* pertama dijalankan, maka *stop-watch* nomor dua dan tiga berhenti (*stop*) dan jarum tetap pada posisi nol. Apabila elemen kerja sudah berakhir maka tuas ditekan, yang akan menghentikan gerakan jarum dari *stop-watch* pertama dan menggerakkan *stop-watch* kedua untuk mengukur elemen kerja berikutnya. Dalam hal ini *stop-watch* nomor tiga tetap pada posisi nol. Pengamat selanjutnya dapat mencatat data waktu yang diukur oleh *stop-watch* pertama.

Apabila elemen kerja sudah berakhir maka tuas ditekan lagi, hal ini akan menghentikan jarum penunjuk pada *stop-watch* kedua pada posisi waktu yang diukur dan selanjutnya akan menggerakkan *stop-watch* ketiga untuk mengukur elemen kerja berikutnya lagi. Gerakan tuas ini selain menghentikan jarum penunjuk *stop-watch* kedua, menggerakkan jarum penunjuk *stop-watch* ketiga adalah juga mengembalikan jarum penunjukan *stop-watch* pertama pada posisi nol (untuk "bersiap-siap" mengukur elemen kerja yang lain). Demikian seterusnya. Metode akumulatif memberikan keuntungan dalam hal pembacaan karena akan lebih mudah dan lebih teliti sebab jarum *stop-watch* tidak dalam keadaan bergerak pada saat pembacaan data waktu dilaksanakan seperti halnya yang kita jumpai untuk pengukuran kerja dengan menggunakan satu *stop-watch*.

Sebelum menentukan waktu baku kita harus terlebih dahulu menghitung waktu normal dengan rumus :

$$W_n = W_s \times P$$

Dimana :

W<sub>n</sub> = waktu normal

W<sub>s</sub> = waktu siklus

P = performance

Sedangkan waktu baku dapat dihitung dengan rumus :

$$W_b = W_n \left[ \frac{100\%}{100\% - allowance} \right]$$

### Penyesuaian Waktu Dengan Rating Performance

Barangkali bagian yang paling penting tetapi justru yang paling sulit didalam pelaksanaan pengukuran kerja adalah kegiatan evaluasi kecepatan atau tempo kerja operator pada saat pengukuran kerja berlangsung. Kecepatan, usaha, tempo ataupun performance kerja semuanya akan menunjukkan kecepatan gerakan operator pada saat bekerja. Aktivitas untuk menilai atau mengevaluasi kecepatan kerja operator ini dikenal sebagai "*Rating Performance*".

Dengan melakukan rating ini diharapkan waktu kerja yang diukur bisa "dinormalkan" kembali. Ketidak-normalan dari waktu kerja ini diakibatkan oleh operator yang bekerja secara kurang wajar yaitu bekerja dalam tempo atau kecepatan yang tidak sebagaimana mestinya.

Guna melaksanakan pekerjaan secara normal maka dianggap bahwa operator tersebut cukup berpengalaman pada saat bekerja melaksanakannya tanpa usaha yang berlebihan sepanjang hari kerja, menguasai cara kerja yang ditetapkan dan menunjukkan kesungguhan dalam menjalankan pekerjaannya. Dalam penelitian ini pemberian rating menggunakan sistem *Westinghouse*.

**Tabel 1. Performance Ratings Dengan Sistem Westinghouse**

SKILL			EFFORT		
+ 0,15	A1	Super skill	+ 0,13	A1	Super skill
+ 0,13	A2		+ 0,12	A2	
+ 0,11	B1	Excellent	+ 0,10	B1	Excellent
+ 0,08	B2		+ 0,08	B2	
+ 0,06	C1	Good	+ 0,05	C1	Good
+ 0,03	C2		+ 0,02	C2	
0,00	D	Average	0,00	D	Average
- 0,05	E1	Fair	- 0,04	E1	Fair
- 0,10	E2		- 0,08	E2	
- 0,16	F1	Poor	- 0,12	F1	Poor
- 0,22	F2		- 0,17	F2	
CONDITION			CONSISTENCY		
+ 0,06	A	Ideal	+ 0,04	A	Ideal
+ 0,04	B	Excellent	+ 0,03	B	Excellent
+ 0,02	C	Good	+ 0,01	C	Good
0,00	D	Average	0,00	D	Average
- 0,03	E	Fair	- 0,02	E	Fair
- 0,07	F	Poor	- 0,04	F	Poor

### Test Kenormalan, Keseragaman Dan Kecukupan Data

Banyaknya pengamatan yang harus dilakukan dalam sampling kerja akan dipengaruhi oleh 2 faktor utama, yaitu :

- Tingkat ketelitian (*degree of accuracy*) dari hasil pengamatan.
- Tingkat kepercayaan (*level of confidence*) dari hasil pengamatan.

### Test Kenormalan

Dalam penelitian ini digunakan sampel berukuran kecil sehingga dipilih uji khi-kuadrat atau biasa disebut uji keselarasan (*goodness of fit*). Uji ini didasarkan pada seberapa baik keselarasan antara frekuensi hasil pengamatan dan frekuensi yang diharapkan yang didasarkan pada sebaran teoritis yang dihipotesiskan.

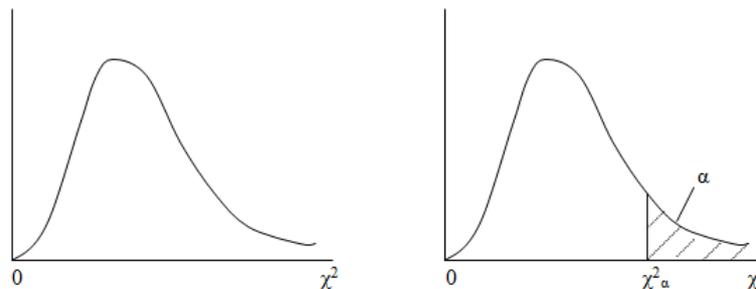
Apabila hasil pengukuran menunjukkan bahwa keselarasan tersebut cukup jelek atau terlalu menyimpang antara frekuensi teramati dan frekuensi teoritisnya, maka hipotesis nol ditolak. Baik-buruknya keselarasan antara frekuensi teramati dan yang diharapkan ditentukan dengan cara membandingkan ukuran keselarasan hasil perhitungan terhadap suatu nilai sebaran khi-kuadrat.

Sebagai pembanding, apakah penyimpangan cukup "berarti" atau "tertoleransi", nilai ketidakselarasan dibandingkan dengan sebaran khi-kuadrat dengan derajat bebas ( $v$ ) =  $k - 1$ . Uji keselarasan antara frekuensi teramati dengan frekuensi harapannya didasarkan pada besaran :

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i}$$

Dimana :  $\chi^2$  = Nilai bagi peubah acak sebaran khi-kuadrat  
 $O_i$  = Frekuensi teramati  
 $e_i$  = Frekuensi harapan

Bila frekuensi yang teramati sangat "dekat" dengan frekuensi harapannya, berarti nilai  $\chi^2$  akan kecil. Hal ini menunjukkan bahwa ada keselarasan yang baik antara frekuensi yang teramati dan frekuensi harapannya. Sebaliknya, bila frekuensi yang teramati berbeda "cukup besar" dari frekuensi harapannya, maka nilai  $\chi^2$  akan besar. Keselarasan yang baik akan membawa pada penerimaan hipotesis nol. Wilayah kritik pengujian terletak di ekor sebelah kanan sebaran khi-kuadrat. Untuk taraf nyata pengujian, nilai kritiknya dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1. Kurva Sebaran Khi-kuadrat**

Taraf nyata (*level of significance*) atau bisa disebut pula dengan ukuran wilayah kritik (*size of critical region*) yang dilambangkan dengan  $\alpha$  adalah peluang melakukan kesalahan akibat menolak hipotesis nol padahal sesungguhnya  $H_0$  benar. Suatu uji dikatakan nyata (*significant*) apabila hipotesis nol ditolak pada taraf nyata 0,05 dan dikatakan sangat nyata (*highly significant*) bila hipotesis nol ditolak pada taraf nyata 0,01.

#### Test Keseragaman Data

Dalam pelaksanaan *time study* salah satu yang dianggap penting adalah data haruslah seragam. Test keseragaman data perlu kita lakukan terlebih dahulu sebelum kita menggunakan data yang diperoleh guna menetapkan waktu *Standard*. Test keseragaman data bisa dilakukan dengan cara visual atau dengan mengaplikasikan peta kontrol (*control chart*).

Test keseragaman data secara visual dilakukan secara sederhana mudah dan cepat. Disini kita hanya sekedar melihat data yang terkumpul dan seterusnya mengidentifikasi data yang terlalu "ekstrim". Yang dimaksudkan dengan data ekstrim disini adalah data yang terlalu besar atau terlalu kecil dan jauh menyimpang dari trend rata-ratanya. Data yang terlalu ekstrim ini sewajarnya kita buang jauh-jauh dan tidak dimasukkan dalam perhitungan selanjutnya.

Peta control (*control chart*) adalah suatu alat yang tepat guna dalam mengetest keseragaman data yang diperoleh dari hasil pengamatan. Tahapan dari test keseragaman data :

- Hitung rata-rata dari harga-harga subgroup ( $\bar{X}$ ) :

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N}$$

Dimana :  $X_i$  = Data  
 $N$  = Jumlah data

- Hitung standar deviasi sebenarnya dari waktu penyelesaian ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

- Hitung standar deviasi dari distribusi harga rata-rata subgroup ( $\sigma_x$ )

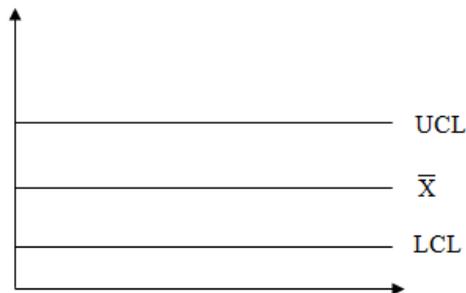
$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

- Hitung keseragaman data dan buat peta kendalinya (dengan metode  $3\sigma$ )

$$UCL = \bar{X} + 3\sigma_x$$

$$LCL = \bar{X} - 3\sigma_x$$

**Peta Kendali :**



**Test Kecukupan Data**

Cek kecukupan data ( $N'$ ) :

$$N' = \left[ \frac{k / s \sqrt{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2$$

- Dimana :  $N'$  = Jumlah pengukuran yang dibutuhkan  
 $K$  = Tingkat keyakinan  
 $S$  = Tingkat ketelitian  
 $N$  = Jumlah pengukuran pendahuluan yang telah dilakukan  
 $X_i$  = Waktu penyelesaian yang diukur pada pengamatan ke- $i$   
 Untuk tingkat kepercayaan 68 % harga  $k$  adalah 1  
 Untuk tingkat kepercayaan 95 % harga  $k$  adalah 2  
 Untuk tingkat kepercayaan 99 % harga  $k$  adalah 3

Jumlah pengukuran dianggap cukup bila  $N' \leq N$

**Kelonggaran (Allowance)**

Dalam prakteknya banyak terjadi penentuan waktu baku hanya dengan melakukan beberapa kali pengukuran dan menghitung rata-ratanya. Selain data yang seragam, jumlah pengukuran yang cukup dan penyesuaian satu hal lain yang perlu ditambahkan adalah kelonggaran atas waktu normal yang telah didapatkan

Kelonggaran diberikan untuk tiga hal yaitu untuk kebutuhan pribadi (*Personal Allowance*), menghilangkan rasa fatigue (*Fatigue Allowance*) dan hambatan-hambatan yang tidak dapat dihindarkan (*Delay Allowance*). Ketiganya ini merupakan hal-hal yang secara nyata dibutuhkan oleh pekerja dan selama pengukuran tidak diamati, diukur, dicatat ataupun dihitung. Oleh karenanya sesuai pengukuran dan setelah mendapatkan waktu normal, kelonggaran perlu ditambahkan.

**Penentuan Jumlah Mesin dan Operator**

Beberapa informasi yang diperlukan untuk penentuan jumlah mesin atau operator adalah :

1. Jumlah produksi yang direncanakan.
2. Prakiraan jumlah produk cacat pada setiap proses produksi.
3. Waktu kerja standar setiap unit produk dan jam operasi mesin

Atas dasar informasi tersebut diatas, jumlah mesin atau operator yang diperlukan dapat ditentukan dengan menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$N = \left( \frac{T}{60} \right) \left( \frac{P}{D \times E} \right)$$

Dimana :

N = Jumlah mesin atau operator yang dibutuhkan untuk proses inspeksi

T = Waktu yang diperlukan untuk proses inspeksi (menit/unit produk)

P = Jumlah produk yang harus dibuat oleh masing-masing mesin atau operator (unit/tahun)

D = Jam kerja operasi mesin (satu shift = 8 jam, dua shift = 16 jam, tiga shift = 24 jam)

E = Tingkat efisiensi kerja mesin atau operator

### Penentuan Efisiensi Mesin

Mesin atau operator yang dipakai untuk proses produksi, tingkat efisiensinya tidak mungkin dicapai 100 %, mengingat adanya faktor-faktor seperti waktu untuk persiapan (*set up*), kerusakan atau gangguan (*breakdown*), perbaikan (*repair*) atau hal-hal lain yang mengakibatkan pekerjaan tertunda (*idle*). Tingkat efisiensi mesin atau operator dapat ditentukan berdasarkan formulasi sebagai berikut :

$$E = \frac{H}{D} = 1 - \frac{D_t + S_t}{D}$$

Dimana :

E = Tingkat efisiensi mesin atau operator

H = Waktu kerja setiap periode (jam)

$D_t$  = *Down time* (jam atau menit)

$S_t$  = *Set up time* per periode (jam atau menit)

Disamping faktor-faktor diatas, tingkat efisiensi mesin akan tergantung pula oleh faktor seperti : (1) macam atau tipe mesin yang digunakan, (2) cara pengoperasian mesin dan (3) kebijakan tentang perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*).

### Penentuan Jumlah Produksi

Seperi disebutkan bahwa jumlah produksi yang direncanakan akan mempengaruhi jumlah mesin atau operator yang digunakan. Kenyataan yang sering dijumpai bahwa jumlah produk yang dihasilkan semuanya tanpa cacat sulit dicapai. Produk cacat dalam proses maupun akhir proses sangat mungkin ditemui. Untuk itu perlu adanya kelonggaran dengan memperhitungkan kemungkinan beberapa produk rusak pada saat proses produksi sedang berlangsung dalam setiap tahapan proses. Formulasi jumlah produk yang dikehendaki atau *demand rate* setiap tahapan proses dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$P = P_g + P_d$$

Dimana :

P = Jumlah produk yang dikehendaki (*demand rate*) atau yang diproses

$P_g$  = Jumlah produk berkualitas baik (*good product*)

$P_d$  = Jumlah produk cacat (*defective product*)

Jumlah produk cacat dapat pula dinyatakan dalam bentuk prosentase kerusakan ( $p$ ) dari jumlah produk berkualitas baik, sehingga formulasi diatas dapat disesuaikan menjadi :

$$P = \frac{P_g}{1 - p}$$

Dari formulasi 5 dan 6 dapat dibuat skema yang menggambarkan produk baik maupun produk cacat setiap tahapan proses, seperti ditunjukkan oleh gambar 1.

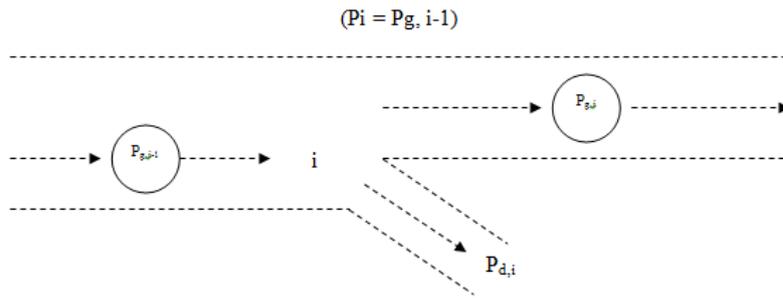
$$P_{g,i-1} = P_{g,i} + P_{d,i}$$

Dimana :

$P_{g,i-1}$  = Jumlah produk berkualitas baik dari tahapan proses ke  $i-1$  akan menjadi input bagi tahapan proses ke  $I$  atau berikutnya.

$P_{g,i}$  = Jumlah produk berkualitas baik dari tahapan proses ke  $I$  dan akan menjadi input ( $P_{i+1}$ ) untuk diproses tahapan berikutnya.

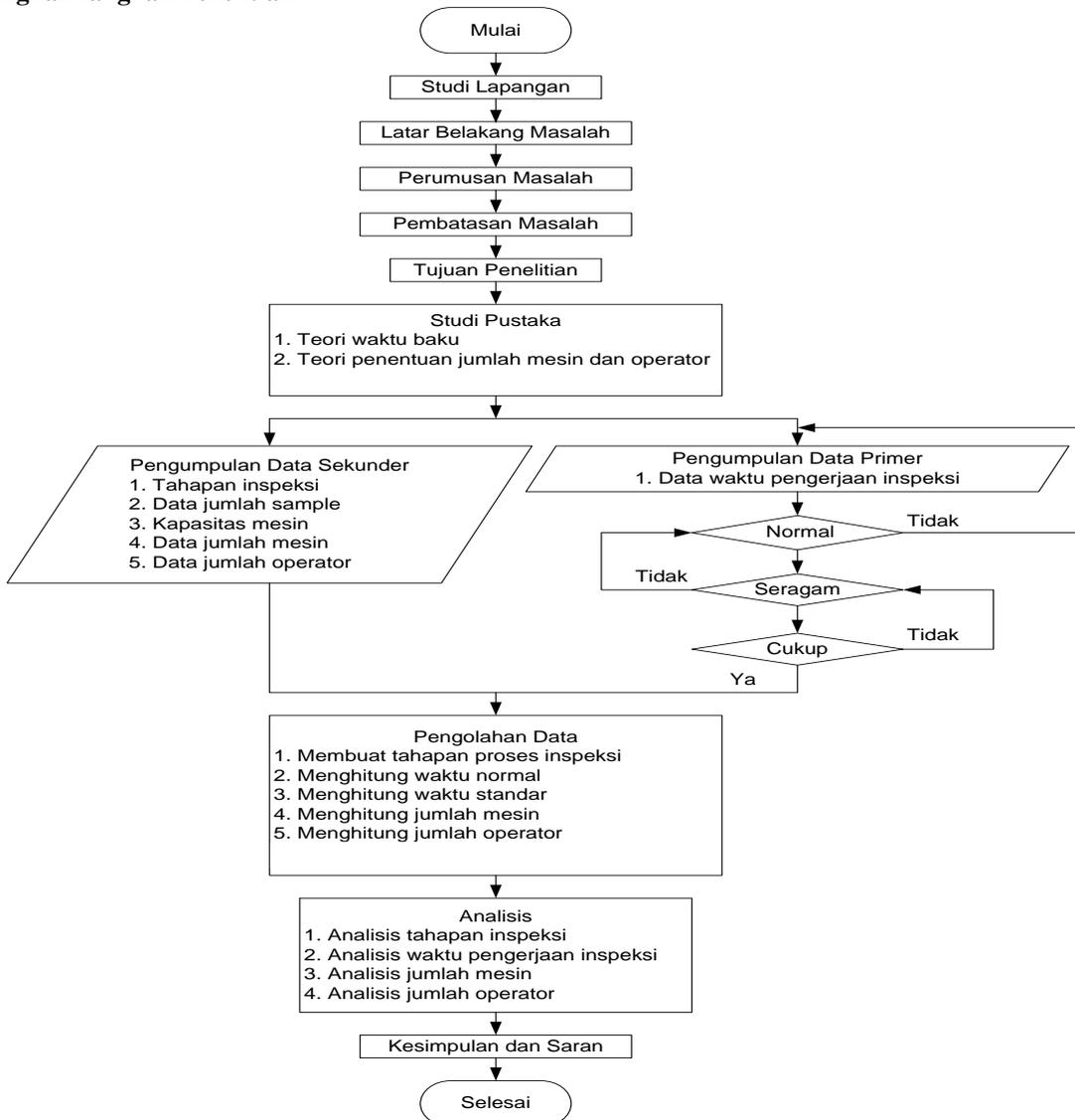
$P_{d,i}$  = Jumlah produk cacat dari tahapan proses ke  $I$  yang selanjutnya merupakan buangan dan akan menjadi input untuk proses perbaikan (*recycling*).



**Gambar 2. Produk Baik Dan Cacat pada Tahapan Proses**

## METODOLOGI

### Langkah-langkah Penelitian



**Gambar 3. Diagram Alir Metode Penelitian**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengumpulan Data (Tahapan Inspeksi)

**Tabel 2. Jenis Sample Yang Diteliti**

No	Jenis Sample
1	Tebal 1,6 s/d < 4 mm
2	Tebal 4 s/d < 12 mm
3	Tebal 12 s/d 25 mm
4	API tebal 12 s/d 20 mm (menggunakan Extensometer)

**Tabel 3. Tahapan Inspeksi untuk sample dengan ketebalan 1,6 s/d <12 mm**

Tahapan Inspeksi	
Preparasi	Pengujian Tarik
Pengambilan Sample	Penyusunan
Pemotongan dengan M. Pot. Fasti	Penulisan Data Sample dan Heat No
Pelurusan	Pengukuran dan Menentukan Lo
Bongkar Pasang Ragum	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)
Ganti Pisau Milling	Pengujian Tarik
Proses Milling	Perhitungan Hasil Uji
	Input Data

**Tabel 4. Tahapan Inspeksi untuk sample dengan ketebalan >12 s/d 25 mm**

Tahapan Inspeksi	
Preparasi	Pengujian Tarik
Pengambilan Sample	Penyusunan
Pemotongan dengan Blander	Penulisan Data Sample dan Heat No
Pelurusan	Pengukuran dan Menentukan Lo
Buang Scale	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)
Bongkar Pasang Ragum	Pengujian Tarik
Ganti Pisau Milling	Perhitungan Hasil Uji
Proses Milling	Input Data

### Data Jumlah Sample

**Tabel 5. Data Jumlah Sample Bulan Januari s/d April 2006**

No	Kinerja Lab. HSM	Januari	Februari	Maret	April
		Unit/bulan	Unit/bulan	Unit/bulan	Unit/bulan
1	Total Sample Uji Tarik	1131	840	412	751

### Data Jumlah Mesin

**Tabel 6. Jumlah Mesin Yang Ada**

No	Nama Mesin	Jumlah
1	Mesin Potong Fasti	1
2	Blander / Flame Cutting	1
3	Pelurus	1
4	Milling UF 30	1
5	Uji Tarik 1000 KN	1

**Data Jumlah Operator**

**Tabel 7. Jumlah Operator**

Group/Shift	I	II	III	IV <sup>*)</sup>
Jumlah Operator (orang)	5	5	5	5

Ket <sup>\*)</sup>: untuk menggantikan shift yang lain

**Data Waktu Pengerjaan Inspeksi**

**Tabel 8. Data waktu pemotongan 1 sample dengan Blander untuk ketebalan 12 s/d 25 mm**

Pemotongan dengan Flame Cutting/Blander (menit)				
4,45	4,38	4,51	4,39	4,53
4,38	4,47	4,44	4,36	4,41

**Tabel 9. Data waktu pelurusan 1 sample untuk ketebalan 1,6 s/d 25 mm**

Pelurusan (menit)				
0,14	0,15	0,15	0,17	0,14
0,16	0,18	0,19	0,19	0,16

**Tabel 10. Data waktu buang scale 1 sample untuk ketebalan 12 s/d 25 mm**

Buang Scale (menit)				
0,38	0,33	0,36	0,37	0,35
0,37	0,35	0,39	0,39	0,34

**Tabel 11. Data waktu siklus per tahapan inspeksi menggunakan tebal sample 1,6 s/d < 4 mm dan 4 s/d <12 mm**

No	Tahapan Inspeksi	Waktu siklus per tahapan (menit)	
		Tebal 1,6 s/d < 4 mm	Tebal 4 s/d < 12 mm
1	Pengambilan Sample	20	20
2	Pemotongan dengan M. Pot. Fasti	1	1
3	Pelurusan	0,16	0,16
4	Bongkar Pasang Ragum	10,2	10,2
5	Ganti Pisau Milling	3,1	3
6	Proses Milling	1,01	2,43
7	Penyusunan	0,41	1,72
8	Penulisan Data Sample dan Heat No.	0,54	0,69
9	Pengukuran dan Menentukan Lo.	1,46	1,35
10	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)	0,5	0,5
11	Pengujian Tarik	2,28	2,25
12	Perhitungan Hasil Uji	1,39	1,39
13	Input Data	0,92	0,92
	Total	45,37	48,41

**Tabel 12. Data waktu siklus per tahapan inspeksi menggunakan tebal sample 12 s/d 25 mm**

No	Tahapan Inspeksi	Waktu siklus per tahapan (menit) menggunakan tebal 12 s/d 25 mm
1	Pengambilan Sample	20
2	Pemotongan dengan Blander	4,43
3	Pelurusan	0,16
4	Buang Scale	0,36
5	Bongkar Pasang Ragum	10,23
6	Ganti Pisau Milling	3
7	Proses Milling	4,06
8	Penyusunan	0,45
9	Penulisan Data Sample dan Heat No.	0,5
10	Pengukuran dan Menentukan Lo.	1,5
11	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)	0,5
12	Pengujian Tarik	2,61
13	Perhitungan Hasil Uji	1,39
14	Input Data	0,92
	Total	53,31

**Tabel 13. Data waktu siklus pengujian tarik dengan Extensio-Meter menggunakan sample API tebal 12 s/d 20 mm**

No	Tahapan Pengujian Tarik	Waktu siklus per tahapan (menit) API tebal 12 s/d 20 mm
1	Penyusunan	0,5
2	Penulisan Data Sample dan Heat No.	0,5
3	Pengukuran dan Menentukan Lo.	1,5
4	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)	1,55
5	Pengujian Tarik	4,5
6	Perhitungan Hasil Uji	1,39
7	Input Data	0,92
	Total	13,26

**Tabel 14. Data waktu siklus tahapan inspeksi menggunakan sample API tebal 12 s/d 20 mm**

No	Tahapan Pengujian Tarik	Waktu siklus per tahapan (menit) API tebal 12 s/d 20 mm
1	Preparasi	43,04
2	Pengujian Tarik	13,26
	Total	56,30

Keterangan : Data waktu Preparasi didapatkan dari tahapan preparasi menggunakan tebal sample 12 s/d 25 mm, data ini dapat dilihat pada tabel 12.

#### **Nilai Performance Rating (P)**

Penentuan performance rating dilakukan dengan melihat kondisi lapangan dan menggunakan sistem Westinghouse, dengan nilai sebagai berikut :





**Tabel 22. Waktu Baku Tahapan Inspeksi untuk API tebal 12 s/d 20 mm**

No	Aktivitas	Ws	P	Wn	% Allowance			WB
					Personal	Fatigue	Delay	
1	Pengambilan Sample	20	0,81	16,2	2,5	6	2	18,1
2	Pemotongan dengan Blander	4,43	0,81	3,59	2,5	7	1	4,01
3	Pelurusan	0,16	0,81	0,13	2,5	6	1	0,14
4	Buang Scale	0,36	0,81	0,29	2,5	6	1	0,32
5	Bongkar Pasang Ragum	10,23	0,81	8,29	2,5	6	1	9,16
6	Ganti Pisau Milling	3	0,81	2,43	2,5	6	1	2,69
7	Proses Milling	4,06	0,81	3,29	2,5	13	2	3,99
8	Penyusunan	0,5	0,81	0,41	2,5	1	1	0,42
9	Penulisan Data Sample dan Heat No.	0,5	0,81	0,41	2,5	1	1	0,42
10	Pengukuran dan Menentukan Lo.	1,5	0,81	1,22	2,5	1	1	1,28
11	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)	1,55	0,81	1,26	2,5	1	1	1,36
12	Pengujian Tarik	4,5	0,81	3,65	2,5	13	1	4,37
13	Perhitungan Hasil Uji	1,39	0,81	1,13	2,5	1	1	1,18
14	Input Data	0,92	0,81	0,75	2,5	1	1	0,79
	Total							51,43

**Tabel 23. Data persentase sample yang masuk ke setiap mesin**

No	Mesin	Tot. sample (unit/bulan)	% Sample	Tot. sample setiap mesin (unit/bulan)
1	Mesin Potong Fasti	783,5	45	352,8
2	Flame Cutting/Blander		55	430,925
3	Pelurus		100	783,5
4	Milling UF-30 A			
	T.S. 1,6 s/d < 4 mm		15	117,6
	T.S. 4 s/d < 12 mm		30	235,2
	T.S. 12 s/d < 25 mm		55	430,925
5	Uji Tarik ST			
	Tebal sample 1,6 s/d < 4 mm		15	117,6
	Tebal sample 4 s/d < 12 mm		30	235,2
	Tebal sample 12 s/d < 25 mm		40	313,4
	API dgn Extensio-Meter		15	117,6

**Perhitungan jumlah mesin**

**Tabel 24. Data yang diperlukan untuk menghitung jumlah mesin**

No	Mesin	WB menit	Down time/hari (Dt) menit	Set up time/hari (St) menit
1	Mesin Potong Fasti	0,91	5	1
2	Flame Cutting/Blander	4,01	10	1,49
3	Pelurus	0,14	3	1
4	Milling UF-30 A			
	T.S. 1,6 s/d < 4 mm	0,99	30	13,3
	T.S. 4 s/d < 12 mm	2,39		13,2
	T.S. 12 s/d <25 mm	3,99		13,59
5	Uji Tarik ST			
	Tebal sample 1,6 s/d < 4 mm	2,22	15	0,5
	Tebal sample 4 s/d < 12 mm	2,18		0,5
	Tebal sample 12 s/d <25 mm	2,53		0,5
	API dgn Extensio-Meter	4,37		1,55

**Tabel 25. Efisiensi Mesin**

No	Jenis Mesin	Efisiensi
1	Fasti	0,995
2	Blander	0,992
3	Pelurus	0,997
4	Milling 1,6 s/d < 4 mm	0,969
	Milling 4 s/d < 12 mm	0,97
	Milling 12 s/d 25 mm	0,969
5	Uji Tarik 1,6 s/d < 4 mm	0,989
	Uji Tarik 4 s/d < 12 mm	0,989
	Uji Tarik 12 s/d 25 mm	0,989
	Uji Tarik API	0,988

**Jumlah Mesin**

Contoh : bila mesin potong Fasti jumlahnya 1 unit dan jam operasi kerja mesin yang tersedia (D) adalah 24 jam/hari maka, apakah jumlah mesin yang ada sudah cukup ? Dengan perhitungan terbalik (membandingkan jumlah D) kita dapat melihat apakah mesin yang tersedia itu cukup atau perlu adanya penambahan mesin.

$$N_i = \frac{T_i}{60} \times \frac{P_i}{D \times E_i}$$

$$1 = \frac{0,91}{60} \times \frac{352,8}{D \times 0,995}$$

$$65,934 = \frac{352,8}{D \times 0,995}$$

$$D \times 0,995 = \frac{352,8}{65,934}$$

$$D = \frac{5,35}{0,995} = 5,376 \text{ jam/bulan}$$

**Tabel 26. Hasil perhitungan terbalik untuk menghitung kecukupan mesin**

No	Jenis Mesin	Jumlah Mesin	Waktu kerja (jam/bulan)	Jumlah (D) (jam/bulan)	D yang tersedia (jam/bulan)	Ket
1	Fasti	1	5,376	5,376	720	Mesin yang ada Cukup
2	Blander	1	7,541	7,541		
3	Pelurus	1	1,833	1,833		
4	Milling 1,6 s/d < 4 mm	1	2,002	41,233		
	Milling 4 s/d < 12 mm		9,658			
	Milling 12 s/d 25 mm		29,573			
5	Uji Tarik 1,6 s/d < 4 mm	1	4,399	35,069		
	Uji Tarik 4 s/d < 12 mm		8,64			
	Uji Tarik 12 s/d 25 mm		13,361			
	Uji Tarik API		8,669			

**Perhitungan jumlah operator**

**Tabel 27. Waktu standar proses inspeksi berdasarkan ketebalan**

Waktu standar proses inpeksi T (menit)	
Tebal 1,6 s/d < 4 mm	42,29
Tebal 4 s/d < 12 mm	44,33
Tebal 12 s/d 25 mm	49,02
API	51,43

Efisiensi Operator

Contoh : Waktu kerja yang diharapkan untuk operator adalah 20 jam/hari, sedangkan waktu kerja yang tersedia adalah 24 jam/hari.

$$E_i = \frac{H_i}{D} = \frac{20}{24} = 0,833$$

**Jumlah operator berdasarkan waktu proses inspeksi**

Contoh : untuk ketebalan 1,6 s/d < 4 mm

$$N_i = \frac{T_i}{60} \times \frac{P_i}{D \times E_i}$$

$$N_1 = \frac{42,29}{60} \times \frac{117,6}{20 \times 30 \times 0,833} = 0,165$$

**Tabel 28. Jumlah operator untuk menyelesaikan 1 sample**

Sample	Operator	Jumlah Operator (Orang)
Tebal 1,6 s/d < 4 mm	0,165	1,618 ≈ 2
Tebal 4 s/d < 12 mm	0,347	
Tebal 12 s/d 25 mm	0,704	
API	0,201 x 2	

Karena proses pengujian tarik dilakukan oleh 2 orang operator, maka jumlah operator uji tarik dikali 2 orang yaitu,  $N \times 2 = 0,201 \times 2 = 0,402$  orang. Jadi total operator untuk 1 shift adalah 2 orang.

**Jumlah operator berdasarkan mesin**

Contoh : untuk mesin potong Fasti

$$N = \frac{0,91}{60} \times \frac{352,8}{20 \times 30 \times 0,833} = 0,01 \approx 1 \text{ orang}$$

**Tabel 29. Jumlah operator berdasarkan mesin per sample**

No	Jenis Mesin	Jml.Operator Hitungan	Tot.Operator Hitungan	Total Operator
1	Fasti	0,01	0,01	1
2	Blander	0,057	0,057	1
3	Pelurus	0,003	0,003	1
4	Milling 1,6 s/d < 4 mm	0,003	0,078	1
	Milling 4 s/d < 12 mm	0,018		
	Milling 12 s/d 25 mm	0,057		
5	Uji Tarik 1,6 s/d < 4 mm	0,008	0,068 x 2	1
	Uji Tarik 4 s/d < 12 mm	0,017		
	Uji Tarik 12 s/d 25 mm	0,026		
	Uji Tarik API	0,017		

## PEMBAHASAN

**Tabel 30. Tahapan inspeksi sebelumnya (standarisasi) adalah sebagai berikut :**

Tahapan Inspeksi	
Preparasi	Pengujian Tarik
Pengambilan Sample	Penyusunan
Pemotongan dengan Fasti/Blander	Penulisan Data Sample dan Heat No
Pelurusan	Pengukuran dan Menentukan Lo
Buang Scale	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)
Bongkar Pasang Ragum	Pengujian Tarik
Ganti Pisau Milling	Perhitungan Hasil Uji
Proses Milling	Penentuan Hasil Uji : Free/Not Free
	Input Data & Print Strip Test Result
	Check STR terhadap Rolling Program

**Tabel 31. Tahapan inspeksi yang baru**

Tahapan Inspeksi	
Preparasi	Pengujian Tarik
Pengambilan Sample	Penyusunan
Pemotongan dengan Fasti/Blander	Penulisan Data Sample dan Heat No
Pelurusan	Pengukuran dan Menentukan Lo
Buang Scale	Persiapan Pengujian (Setting Mesin)
Bongkar Pasang Ragum	Pengujian Tarik
Ganti Pisau Milling	Perhitungan Hasil Uji
Proses Milling	Input Data

### Analisis Waktu Pengerjaan Inspeksi

Karena tahapan pengujian tarik yang baru tidak dilakukan penentuan hasil uji langsung (*Free / Not Free*), *Print Strip Test Result* dan *check STR* terhadap Rolling Program maka hal ini akan mempengaruhi lamanya waktu pengerjaan inspeksi pengujian tarik.

Sebelumnya, waktu pengerjaan inspeksi jauh lebih lama dari yang baru karena bila ada ketidaksinkronan antara lab uji tarik dan lab riset maka penentuan hasil uji langsung (*Free / Not Free*), *Print Strip Test Result* dan *check STR* terhadap Rolling Program, pengerjaannya dilakukan dua kali. Sehingga terjadi banyak pemborosan yaitu dari segi waktu, tenaga dan biaya.

### Analisis Performance Rating

1. Skill Operator ditentukan sebesar 0,11 atau termasuk Exellent Skill karena operator telah terlatih dengan baik, gerakan kerja dan urutannya dilakukan tanpa kesalahan, serta bekerjanya cepat tapi halus.
2. Usaha ditentukan sebesar 0,05 atau masuk dalam Good Effort karena operator penuh perhatian terhadap pekerjaannya dan menggunakan alat-alat yang tepat dengan baik.
3. Kondisi kerja ditentukan sebesar 0,02 atau dapat dikatakan Good Condition karena tingkat pencahayaan dan temperaturnya cukup.
4. Konsistensi operator ditentukan sebesar 0,01 atau Good Consistency karena waktu penyelesaian pekerjaan hampir sama dari satu siklus ke siklus berikutnya.

### Analisis Jumlah Mesin dan Operator

Perhitungan jumlah mesin dan operator optimal didasarkan pada 4 sample yaitu sample dengan tebal 1,6 s/d < 4 mm ; tebal 4 s/d < 12 mm ; tebal 12 s/d 25 mm dan API tebal 12 s/d 20 mm (pengujian tariknya menggunakan Extenso-Meter).

### Jumlah Mesin

Dari hasil pengamatan dan perhitungan dalam pengolahan data, jenis dan jumlah mesin yang digunakan untuk mencapai tahapan inspeksi, adalah sebagai berikut :

**Tabel 32. Jenis dan jumlah mesin**

No	Nama Mesin	Jumlah
1	M. Potong Fasti	1
2	Blander / Flame Cutting	1
3	Pelurus	1
4	Milling UF 30	1
5	Uji Tarik 1000 KN	1

Setelah dibandingkan dengan keadaan di lab. Uji Mekanik HSM, ternyata jumlah mesin yang tersedia sudah cukup. Sehingga tidak diperlukan lagi menambahkan jumlah mesin. Hal ini berarti bila ada keterlambatan pengujian tidak disebabkan oleh kurangnya jumlah mesin.

### Jumlah Operator

Pada lab. Uji Mekanik HSM, jumlah operator setiap shiftnya sebanyak 5 orang (terdapat 4 shift/goup yang salah satunya menggantikan shift/goup yang lain). Dalam perhitungan jumlah operator berdasarkan waktu proses inspeksi, didapatkan total operator untuk 1 shift adalah sebanyak 2 orang (dilakukan pembulatan keatas) seperti terlihat pada pengumpulan dan pengolahan data tabel 28. Sehingga jumlah operator bila satu siklus pengujian berjalan, hanya dibutuhkan 2 orang.

Dalam perhitungan operator berdasarkan jumlah mesin, maka setiap mesin membutuhkan 1 orang operator. Hal ini sesuai dengan jumlah operator aktual yang ada pada lab. Uji Mekanik HSM yaitu, 5 orang operator untuk 5 buah mesin proses pengujian tarik. Tetapi dari hasil perhitungan ini, justru memperlihatkan adanya pemborosan jumlah operator, karena banyak delay yang terjadi, padahal operator mampu menggunakan setiap mesin yang ada.

Dari kedua perhitungan tersebut, belum dapat ditentukan berapa jumlah operator yang dibutuhkan, untuk menentukan jumlah operator, maka dapat dibuat alternatif sebagai berikut :

- Kapasitas pengujian
  1. Maksimum pengujian perbulan adalah 1131 unit sample (jumlah sample januari 2006).
  2. Pengujian perhari adalah 37,7 atau dibulatkan menjadi 38 unit sample perhari.
  3. Pengujian perjam adalah 1,9 (jam kerja perhari adalah 20 jam) atau dibulatkan menjadi 2 unit sample.

- Waktu proses mesin (diambil waktu yang terbesar dari sample)
  1. Mesin Potong = 4,43 menit/sample
  2. Mesin Pelurusan = 0,16 menit/sample
  3. Mesin Milling = 18,05 menit/sample
  4. Mesin Uji Tarik = 10,15 menit/sample
  5. Input Data = 3,11 menit/sample
  - Total = 35,9 menit/sample
- Kebutuhan waktu proses mesin per 2 unit sample
  1. Mesin Potong = 2 x 4,43 = 8,86 menit per 2 sample
  2. Mesin Pelurus = 2 x 0,16 = 0,32 menit per 2 sample
  3. Mesin Milling = 2 x 9,025 = 18,05 menit per 2 sample
  4. Mesin Uji Tarik = 2 x 10,15 = 20,30 menit per 2 sample
  5. Input Data = 3,11 = 3,11 menit per 2 sample
  - Total = 50,64 menit per 2 sample
- Perhitungan kebutuhan waktu kerja  
 Kebutuhan waktu kerja pada masing-masing mesin perhari selama 20 jam dengan jumlah sample 38 unit adalah sebagai berikut :
  1. Mesin Potong = 4,43 x 38 = 168,34 menit = 2,8 jam
  2. Mesin Pelurus = 0,16 x 38 = 6 menit = 0,1 jam
  3. Mesin Milling = 9,025 x 38 = 342,95 menit = 5,7 jam
  4. Mesin Uji Tarik = 10,15 x 38 = 399 menit = 6,65 jam
  5. Input Data = 3,11 x 38 = 118,18 menit = 1,9 jam
  - Total = 17,15 jam
 Jadi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 38 unit sample hanya 17,15 jam, sehingga terdapat waktu yang tidak terpakai sebesar 2,85 jam (20 jam – 17,15 jam). Kemudian dibuatlah sebuah alternatif sebagai berikut :
  - A. Kebutuhan operator menurut jumlah mesin
    1. Mesin Potong = 20 – 2,8 = 17,2 jam (operator delay)
    2. Mesin Pelurus = 20 – 0,1 = 19,9 jam (operator delay)
    3. Mesin Milling = 20 – 5,7 = 14,3 jam (operator delay)
    4. Mesin Uji Tarik = 20 – 6,65 = 13,35 jam (operator delay)
    5. Input Data = 20 – 1,9 = 18,1 jam (operator delay)
  - B. Kebutuhan operator menurut klasifikasi mesin dan tingkat kesulitannya
    - 1) Mesin Produksi (potong, pelurusan dan milling)
    - 2) Mesin Uji (uji tarik)
      - Mesin Produksi (2,8 + 0,1 + 5,7) = 8,6 jam  
= 20 – 8,6 = 11,4 jam
      - Mesin Uji (6,65 + 1,9) = 8,55 jam  
= 20 – 8,55 = 11,45 jam
 Asumsi penggunaan operator ditinjau dari tingkat kesulitan :
  - Untuk tingkat kesulitan rendah dan waktu delay tinggi maka digunakan 1 orang operator.
  - Untuk tingkat kesulitan tinggi dan delay rendah maka digunakan 2 orang operator.
  - Untuk tingkat kesulitan rendah dan waktu delay zero maka hanya dibutuhkan 1 orang operator.
 Dari penggabungan alternatif A dan B maka jumlah operator untuk proses pengujian tarik adalah sebanyak 3 orang, dimana 1 orang operator bekerja di mesin produksi dan 2 orang operator lainnya bekerja di mesin uji.

## KESIMPULAN DAN SARAN

- Dari hasil analisis yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :
1. Waktu baku atau waktu standar untuk proses pengujian sample tebal 1,6 s/d < 4 mm adalah 42,29 menit ; tebal 4 s/d < 12 mm adalah 44,33 menit ; tebal 12 s/d 25 mm adalah 49,02 menit dan API tebal 12 s/d 20 mm adalah 51,43 menit.
  2. Jumlah mesin yang optimal untuk proses pengujian tarik adalah 5 unit, yang terdiri dari 2 unit mesin potong ( Fasti dan Blander ), 1 unit mesin pelurus, 1 unit mesin Milling UF-30 dan 1 unit mesin Uji Tarik.

3. Jumlah operator yang optimal untuk proses pengujian tarik adalah sebanyak 3 orang yaitu, 1 orang pada tahapan preparasi dan 2 orang pada tahapan pengujian tarik.
4. Penentuan jumlah operator dipengaruhi oleh spec dan banyaknya dalam satuan ton.
5. Bila terdapat keterlambatan proses pengujian tarik, maka jumlah mesin dan operator, bukanlah penyebab terjadinya keterlambatan proses pengujian tersebut, melainkan penjadwalan pengujiannya yang tidak sesuai.

## SARAN

Saran dan usulan yang dapat disampaikan dari analisa waktu proses pengujian tarik untuk menentukan jumlah mesin dan operator optimal antara lain :

1. Hendaknya dibuat standarisasi terhadap tahapan inspeksi yang baru agar mempermudah dan memperjelas pelaksanaan proses inspeksi.
2. Perusahaan tidak perlu melakukan penambahan terhadap jumlah mesin karena dari jumlah jam yang tersedia (720 jam/bulan) proses pengujian tarik hanya butuh waktu 91,052 jam/bulan (jumlah sample 783,5 unit/bulan).
3. Perusahaan perlu melakukan pengurangan terhadap jumlah operator pengujian tarik pada lab. Uji Mekanik HSM, bila ingin mengurangi delay time, hal ini dilihat dari waktu operasi kerja yang rendah.
4. Jumlah operator pengujian tarik yang berlebih dapat dialih tugaskan kebagian yang lain.
5. Bila terjadi penumpukan jumlah sample uji maka yang harus dibenahi adalah penjadwalan stock dan pelimpahan tugas saat pergantian shift.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bariyah, C., Sri U., 2004, *Analisis Penentuan Jumlah Mesin yang Optimal Untuk Menunjang Pemenuhan Target Produksi, Spektrum Industri*, Vol.2, No.2, 51-97.
- Harrel, C., Biman K., Ghosh., Royce B., 2000, *Simulation Using ProModel*, McGraw-Hill, New Jersey.
- Harrel, C., Biman K., Kerim T., 1995, *Simulation Made Easy: A Manager's Guide*, Industrial Engineering and Management Press, Georgia.
- Spiegel, M., 1996, *Seri Buku Schaum Teori dan Soal-Soal Statistika*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Supranto, J., 2001, *Statistik Teori dan Aplikasi*, Edisi Keenam, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Sutalaksana, I., Ruhana A., John H., 1979, *Teknik Tata Cara Kerja*, Jurusan Teknik Industri ITB, Bandung.
- Wibisono, E., 2004, *Komparasi Sistem Manufaktur Push dan Pull melalui Pendekatan Simulasi*, Jurnal Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, <http://puslit.petra.ac.id/journals/industrial>.
- Wignosoebroto, S., 2003, *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu*, Cetakan Ketiga, Edisi Pertama, Guna Widya, Surabaya.
- Yamit, Z., 1996, *Manajemen Produksi dan Operasi*, Edisi Pertama, Ekonisia Fakultas Ekonomi UII, Yogyakarta.
- Zuhdi, A., 2004, *Desain, Simulasi dan Komputasi*, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.