

Pengukuran Keterampilan Operator Dengan Desain Eksperimen Terhadap Kelompok Operator Mesin Gulung

Lobes Herdiman¹, Taufiq Rochman

Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

Abstract

This research evaluate the second data coming from operator report daily. The second data obtained from glue winding machine group, the calculation is conducted by calculating mean production capacities in 1 shift work during 6 month. This calculation uses the assumption that mean production capacities executed by the same raw material in producing manner of geometry of design product done by worker. Approach model uses the graeco-latin square to test anova at level significance 5% from worker skill. The result from this research that worker evacuation from machinery facility to other machinery facility at same job station, have to pay attention to the skilled ability of worker.

Keywords : *geometric design, graeco-latin square, glue winding machine*

1. Pendahuluan

Kelangsungan dan pertumbuhan usaha tergantung kemampuan perusahaan dalam mengantisipasi perubahan yang terjadi pada lingkungan usahanya. Perubahan ini berkenaan dengan perubahan pasar termasuk perilaku konsumen, persaingan usaha dan juga perubahan teknologi. Dalam mempertahankan penampilan ekonomik yang baik, pelanggan mempunyai harapan yang lebih ketat terhadap kualitas yang semakin dipahaminya, sehingga perbaikan kualitas produk akan dilakukan secara kontinu.

Desain produk merupakan suatu toleransi dari model dies (Lewis et al., 1989), oleh karena itu peningkatan kemampuan toleransi model dies yang disusun berdasarkan perangkat pengembangan kemampuan geometri produk merupakan langkah awal dalam upaya pemberdayaan atas suatu fungsi keterampilan operator. Kualitas fungsional adalah konsekuensi yang diperlukan dari sebuah mesin atau peralatan. Kemampuan mesin menjadi kurang berharga meskipun mesin bersangkutan mampu melaksanakan tugas, yang pada permulaannya telah dirancang penggunaannya yang sesuai dengan spesifikasi produk yang diinginkan. Perangkat untuk menentukan toleransi modelling dies ada 3 variabel dasar (Nevis dan Whitney, 1989) yaitu (a) perangkat fasilitas, yang diperlukan untuk mendukung usaha peningkatan kemampuan membentuk geometri produk, (2) perangkat bahan baku, guna mengakomodasikan proses pengembangan kemampuan rancangan dalam pemenuhan spesifikasi teknis dan (3) perangkat keterampilan operator, pengembangan kemampuan dalam menjabarkan desain produk dalam proses. Mekanisme umpan balik melalui perangkat tersebut diciptakan untuk menjaga dan meningkatkan produktivitas kinerja operator yang merupakan fungsi atas evaluasi pemenuhan geometri produk.

¹ Correspondence : E-mail : herdiman@uns.ac.id

Pada *paper* ini ditekankan terhadap permasalahan yaitu bagaimana pengaruh keterampilan operator dalam memproduksi *paper cone* melalui desain eksperimen bujur sangkar *graeco latin*. Tujuannya adalah mengukur kemampuan operator dalam mengoperasikan mesin gulung berdasarkan analisis variansi (Anova), dan manfaat yang diperoleh yaitu memberikan gambaran keterampilan operator dalam memproduksi *paper cone*.

2. Tinjauan Pustaka

Desain acak sempurna dan desain blok lengkap acak merupakan pengembangan untuk pengumpulan, penyajian, pengolahan, analisis dan pengambilan kesimpulan dari sekumpulan data, sehingga ketidakpastian dari kesimpulan berdasarkan data yang dihitung menjadi jelas.

2.1 Pembentukan model

Tujuan dari model adalah meneliti hubungan faktor-faktor yang dihasilkan dari proses atau mempertegas beberapa hipotesis dengan menentukan jumlah pengamatan yang diperlukan pengujian (Montgomery, 1976). Pengertian dalam desain bujur sangkar latin (Sudjana, 1985), yaitu:

- a. Pelakuan, diartikan sebagai sekumpulan kondisi eksperimen yang digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih.
- b. Unit eksperimen, unit terhadap mana perlakuan tunggal, mungkin merupakan gabungan beberapa faktor dikarenakan replikasi eksperimen dasar.
- c. Kekeliruan eksperimen, menyatakan kegagalan dari unit eksperimen identik yang dikenai perlakuan untuk memberikan hasil yang sama, karena kekeliruan waktu menjalankan eksperimen, kekeliruan pengamatan, variasi rancangan eksperimen, variasi antara unit eksperimen dan pengaruh gabungan dari semua faktor tambahan yang mempengaruhi karakteristik.

Kekeliruan eksperimen hendaknya diusahakan supaya terjadi sekecil-kecilnya. Cara yang lazim ditempuh untuk mengurangi yaitu menggunakan bahan eksperimen yang homogen, menggunakan informasi yang sebaik-baiknya tentang variabel yang telah ditentukan dengan tepat, terdapat tiga prinsip dasar yang berhubungan dengan keakuratan eksperimen (Sudjana, 1985), sebagai berikut:

- a. Replikasi, artinya pengulangan dari eksperimen dasar. Dalam kenyataannya replikasi ini diperlukan oleh karena dapat memberikan taksiran kekeliruan eksperimen.
- b. Pengacakan atau randomisasi, pengacakan menyebabkan pengujian menjadi berlaku dan memungkinkan data dianalisis dengan asumsi seolah-olah independen terpenuhi.
- c. Kendali lokal, merupakan sebagian dari keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan, biasanya langkah usaha yang berbentuk penyeimbangan, pengkotakan atau pemblokkan dan pengelompokan unit eksperimen yang digunakan dalam desain.

2.2 Desain bujur sangkar *graeco latin*

Desain eksperimen banyak menggunakan desain acak sempurna dan desain blok lengkap acak. Ternyata banyak soal yang tidak tepat apabila menggunakan kedua analisis tersebut karena hasilnya kurang efisien dan tidak ekonomis. Adanya desain bentuk lain yang lebih baik yang beberapa diantaranya diberikan di dalam desain bujur sangkar *graeco latin* (Sudjana, 1985).

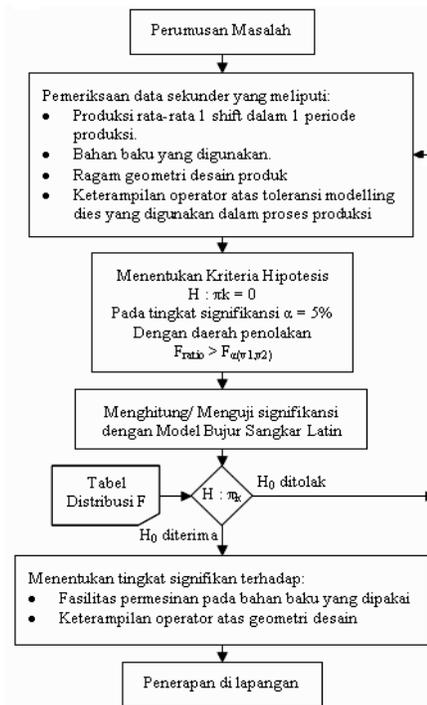
Tabel 1. Model desain eksperimen

Baris	Kolom			
	1	2	3	4
1	D δ	C χ	B β	A α
2	C β	D α	A δ	B χ
3	B α	A β	D χ	C δ
4	A χ	B δ	C α	D β

Perlakuan A, B, C dan D seperti dalam desain bujur sangkar latin, mengalami pengacakan dalam baris dan kolom. Pembatasan terhadap taraf α , β , χ dan δ , taraf ini hanya terdapat satu kali baik dalam baris maupun dalam tiap kolom. Selanjutnya tiap perlakuan A, B, C dan D juga masing-masing hanya terdapat satu kali taraf α , β , χ dan δ . Dalam desain adanya huruf-huruf latin A, B, C dan seterusnya dan huruf-huruf greek α , β , χ dan δ , simbol ini dinamakan desain graeco-latin.

3. Metodologi

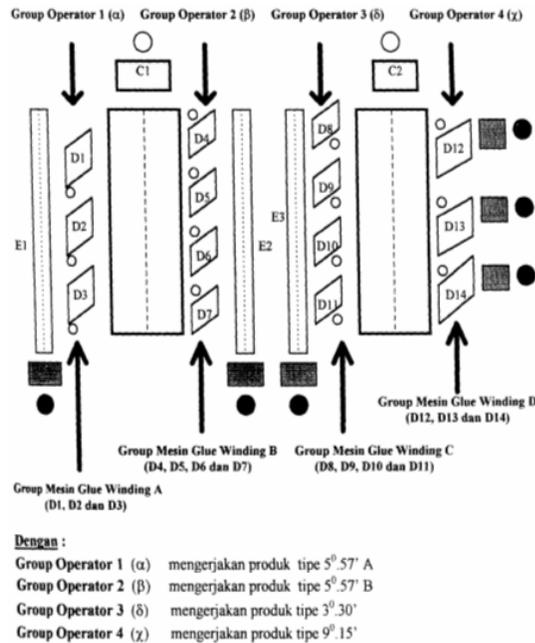
Data yang digunakan yaitu rata-rata produksi normal yang dihasilkan oleh setiap group operator mesin gulung dalam memproduksi *paper cone*.

**Gambar 1.** Metodologi pembahasan

Hipotesis dinyatakan H_0 benar, apabila adanya hubungan yang signifikan antara fasilitas mesin gulung dan keterampilan operator terhadap geometri desain produk.

**Gambar 2.** Operator mesin gulung

Pada stasiun mesin gulung yang melibatkan 14 buah mesin, jumlah operator sebanyak 14 orang dan 6 orang pembantu operator. Fasilitas lain pada stasiun kerja mesin gulung yaitu 2 buah mesin lem dengan 2 orang operator.



Gambar 3. Layout stasiun kerja mesin gulung

4. Pembahasan

Pemindahan seorang operator dari suatu fasilitas permesinan yang satu ke fasilitas permesinan yang lain, dimana pemindahan operator yang dilakukan tidak menunjukkan sebuah persyaratan, maka menyebabkan akan timbulnya potensi terhadap gangguan aliran proses yang tersusun pada aliran bahan. Selanjutnya berdampak terhadap proses pengerjaan ulang dari produk akibat bahan yang mengalami kegagalan proses.



Gambar 4. Industri paper cone

Hipotesa;

H₀ : ada hubungan antara mesin gulung dengan keterampilan operator terhadap geometri desain produk

H₁ : tidak ada hubungan antara mesin gulung dengan keterampilan operator terhadap geometri desain produk

Penerapan model linier;

$$Y_{(ijk)l} = \mu + \beta_i + \gamma_j + \pi_k + \delta_k (\delta_{\alpha k}, \delta_{\beta k}, \delta_{\delta k}, \delta_{\gamma k}) + \varepsilon_{(ijk)l}$$

asumsi;

$$\sum_{i=1}^m \beta_i = \sum_{j=1}^m \gamma_j = \sum_{k=1}^m \pi_k = \sum_{l=1}^m \delta_l = 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, \dots, m$$

$Y_{(ijk)l}$ = hubungan perlakuan antara mesin gulung dengan keterampilan operator yang dipengaruhi oleh bahan baku.

μ = hubungan umum yang sebenarnya, dijelaskan sebagai R_y .

β_i = hubungan sebenarnya dari geometri desain, dijelaskan sebagai G_y .

γ_k = hubungan sebenarnya dari bahan baku yang digunakan dalam membuat paper cone, dijelaskan sebagai M_y .

δ_k = hubungan sebenarnya dari group operator, dijelaskan sebagai O_y .

Pada group operator dibagi menjadi;

δ_{ak} = hubungan sebenarnya dari group operator 1, dijelaskan sebagai $\delta_{(ak)y}$.

$\delta_{\beta k}$ = hubungan sebenarnya dari group operator 2, dijelaskan sebagai $\delta_{(\beta k)y}$.

$\delta_{\delta k}$ = hubungan sebenarnya dari group operator 3, dijelaskan sebagai $\delta_{(\delta k)y}$.

$\delta_{\chi k}$ = hubungan sebenarnya dari group operator 4, dijelaskan sebagai $\delta_{(\chi k)y}$.

$\varepsilon_{(ijk)l}$ = hubungan sebenarnya dari kekeliruan terhadap perlakuan group mesin gulung dan group operator.

Karakteristik pemilihan ditetapkan berdasarkan kenyataan yang mempengaruhi desain agar diperoleh konsistensi dalam pengambilan keputusan, lihat tabel 2.

Tabel 2. Perancangan desain eksperimen

Bahan baku	Geometri desain produk			
	5 ⁰ .57° A	5 ⁰ .57° B	3 ⁰ .30°	9 ⁰ .15°
1	D δ	C χ	B β	A α
2	C β	D α	A δ	B χ
3	B α	A β	D χ	C δ
4	A χ	B δ	C α	D β

dihitung dalam pieces (pcs)

Keterangan:

A, B, C dan D : group mesin gulung

$\alpha, \beta, \delta, \chi$: group operator

Bilamana tingkat signifikan ditingkatkan lebih tinggi, misalnya 10% maka hubungan yang diperoleh antara ragam proses dengan keterampilan operator menunjukkan hubungan yang tidak signifikan lagi. Akibatnya ukuran performansi yang ditunjukkan dari besarnya nilai F_{ratio} dan rendahnya $F_{\alpha(v1, v2)}$.

Penggunaan tingkat signifikan operator secara menyeluruh terhadap kemampuan rata-rata yang sama dalam proses awal pada pengerjaan produk, lihat tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Penerapan perlakuan antara group operator dengan group mesin gulung

Bahan baku	Group operator				Jumlah produksi	Produksi rata-rata
	α	β	δ	χ		
A	532	519	519	563	2.133	533
B	531	535	526	543	2.135	533
C	532	523	515	550	2.111	527
D	531	549	521	548	2.149	537
Jumlah	2.117	2.126	2.081	2.204		
Rata-rata	529	531	520	551		

dihitung dalam pieces (pcs)

Dalam proses produksi seharusnya, pengelolaan dan pengendalian yang mencakup segala aspek produksi, lihat tabel 4.

Tabel 4. Perlakuan group operator mesin gulung

Bahan baku	Geometri desain				J_{i0}
	5 ⁰ .57' A	5 ⁰ .57' B	3 ⁰ .30'	9 ⁰ .15'	
1	521	550	535	532	2.138
2	532	531	519	543	2.116
3	531	519	548	515	2.113
4	563	526	523	549	2.161
J_{0j}	2.138	2.126	2.125	2.139	

dihitung dalam pieces (pcs)

Perhitungan jumlah kuadrat (JK);

$$JK_{total} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{ij}^2 \quad \text{atau} \quad \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 Y_{ij}^2$$

$$= (521)^2 + (523)^2 + (531)^2 + (563)^2 + (550)^2 + (531)^2 + (519)^2 + (526)^2 + (535)^2 + (519)^2 + (548)^2 + (523)^2 + (532)^2 + (543)^2 + (515)^2 + (549)^2 = 4.548.316$$

$$JKR_y = \frac{J_{ij}^2}{m^2}$$

$$= \frac{8528^2}{4^2} = \frac{72.726.784}{16} = 4.545.424$$

$$JKG_y = \frac{\sum_{j=1}^n J_{i0}^2}{m} - JKR_y$$

$$= \frac{2138^2 + 2138^2 + 2138^2 + 2138^2}{4} - 4.545.424$$

$$= 42,5$$

$$JKB_y = \frac{\sum_{j=1}^m J_{0j}^2}{m} - JKR_y$$

$$= \frac{2138^2 + 2116^2 + 2113^2 + 2161^2}{4} - 4.545.424$$

$$= 373,5$$

Group mesin gulung;

$$J_A = 532 + 519 + 519 + 563 = 2113$$

$$J_B = 531 + 535 + 526 + 543 = 2135$$

$$J_C = 532 + 523 + 515 + 550 = 2111$$

$$J_D = 531 + 549 + 521 + 548 = 2149$$

$$JKM_y = \frac{\sum_{k=1}^m J_k^2}{m} - JKR_y$$

$$= \frac{2133^2 + 2135^2 + 2111^2 + 2149^2}{4} - 4.545.424$$

$$= 185$$

Group operator mesin gulung;

$$J_\alpha = 532 + 531 + 532 + 531 = 2117$$

$$J_\beta = 519 + 535 + 523 + 549 = 2126$$

$$J_\delta = 519 + 526 + 515 + 521 = 2081$$

$$J_\chi = 563 + 543 + 550 + 548 = 2204$$

$$\begin{aligned}
 JKO_y &= \frac{\sum_{k=1}^m J_k^2}{m} - JKR_y \\
 &= \frac{2117^2 + 2126^2 + 2081^2 + 2204^2}{4} - 4.545.424 \\
 &= 2011,5
 \end{aligned}$$

Sehingga, jumlah kuadrat error;

$$\begin{aligned}
 JK_{error} &= JK_{total} - JKR_y - JKG_y - JKB_y - JKM_y - JKO_y \\
 &= 4.548.316 - 4.545.424 - 42,5 - 373,5 - 185 - 2.011,5 \\
 &= 279,5
 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat rata-rata (JKR);

$$\begin{aligned}
 JKR_{(RY)} &= \frac{JKR_y}{1} = \frac{4.545.424}{1} = 4.545.424 \\
 JKR_{(GY)} &= \frac{JKG_y}{m-1} = \frac{42,5}{4-1} = 14,17 \\
 JKR_{(BY)} &= \frac{JKB_y}{m-1} = \frac{373,5}{4-1} = 124,5 \\
 JKR_{(MY)} &= \frac{JKM_y}{m-1} = \frac{185}{4-1} = 61,67 \\
 JKR_{(OY)} &= \frac{JKO_y}{m-1} = \frac{2011,5}{4-1} = 670,5 \\
 JKR_{(error)} &= \frac{JK_{error}}{(m-1)(m-3)} = \frac{279,5}{(4-1)(4-3)} = 93,17
 \end{aligned}$$

Perhitungan Ftest;

$$\begin{aligned}
 F_{test} G_Y &= \frac{JKR_{(Gy)}}{JKR_{error}} = \frac{14,17}{93,17} = 0,152 \\
 F_{test} B_Y &= \frac{JKR_{(By)}}{JKR_{error}} = \frac{124,5}{93,17} = 1,336 \\
 F_{test} M_Y &= \frac{JKR_{(My)}}{JKR_{error}} = \frac{61,67}{93,17} = 0,662 \\
 F_{test} O_Y &= \frac{JKR_{(Oy)}}{JKR_{error}} = \frac{670,5}{93,17} = 7,196
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Analisa variansi

Sumber variansi	db	Jumlah kuadrat	Jumlah kuadrat rata-rata	F_{test}
Rata-rata	1	4.545.424	4.545.424	
Geometri desain produk	3	373,5	124,50	1,336
Bahan baku	3	42,5	14,17	0,152
Group mesin gulung	3	185	61,67	0,662
Group operator mesin gulung	3	2011,5	670,50	7,196
error	3	279,5	93,17	
Jumlah	16	4.548.316		

Pada tingkat signifikan $\alpha = 5\%$, maka $F_{\alpha(v_1, v_2)}$ adalah $v_1 = m - 1 = 4 - 1 = 3$, dan $v_2 = (m - 1)(m - 3) = (4 - 1)(4 - 3) = 3 \cdot 1 = 3$, dari tabel distribusi F untuk $F_{\alpha(v_1, v_2)}$. Harga F diperoleh sebesar 9,28 sehingga $F_{test} < 9,28$ sehingga H_0 diterima, berarti adanya hubungan yang cukup

signifikan di stasiun kerja mesin gulung terhadap keterampilan operator terhadap geometri desain.

Perhitungan F_{test} pada group operator;

Group operator 1 (α)

$$JKR_{Y(\alpha)} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n J_k \right)^2}{(m)^2}$$

$$= \frac{(2117)^2}{(4)^2} = 280.105,5625$$

$$JKO_{Y(\alpha)} = \frac{\sum_{k=1}^n J_k^2}{m} - JKR_{Y(\alpha)}$$

$$= \frac{(532)^2 + (531)^2 + (532)^2 + (531)^2}{4} - 280.105,5625 = 13,1875$$

$$JKRO_{Y(\alpha)} = \frac{JKO_{Y(\alpha)}}{m-1} = \frac{13,1875}{4-1} = \frac{13,1875}{3} = 4,395$$

$$F_{test(\alpha)} = \frac{JKRO_{Y(\alpha)}}{JKR_{error}} = \frac{4,395}{93,17} = 0,047$$

Group operator 2 (β)

$$JKR_{Y(\beta)} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n J_k \right)^2}{(m)^2}$$

$$= \frac{(2126)^2}{(4)^2} = 282.492,25$$

$$JKO_{Y(\beta)} = \frac{\sum_{k=1}^n J_k^2}{m} - JKR_{Y(\beta)}$$

$$= \frac{(519)^2 + (535)^2 + (523)^2 + (549)^2}{4} - 280.105,5625 = 136,75$$

$$JKRO_{Y(\beta)} = \frac{JKO_{Y(\beta)}}{m-1} = \frac{136,75}{4-1} = \frac{136,75}{3} = 45,58$$

$$F_{test(\beta)} = \frac{JKRO_{Y(\beta)}}{JKR_{error}} = \frac{45,58}{93,17} = 0,489$$

Group operator 3 (δ)

$$JKR_{Y(\delta)} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n J_k \right)^2}{(m)^2}$$

$$= \frac{(2086)^2}{(4)^2} = 270.660,0625$$

$$JKO_{Y(\delta)} = \frac{\sum_{k=1}^n J_k^2}{m} - JKR_{Y(\delta)}$$

$$= \frac{(519)^2 + (526)^2 + (515)^2 + (521)^2}{4} - 270.660,0625 = 15,6875$$

$$JKRO_{Y(\delta)} = \frac{JKO_{Y(\delta)}}{m-1} = \frac{15,6875}{4-1} = \frac{15,6875}{3} = 5,229$$

$$F_{test(\beta)} = \frac{JKRO_{Y(\beta)}}{JKR_{error}} = \frac{45,58}{93,17} = 0,489$$

Group operator 4 (χ)

$$JKR_{Y(\chi)} = \frac{\left(\sum_{k=1}^n J_k \right)^2}{(m)^2}$$

$$= \frac{(2204)^2}{(4)^2} = 303.601$$

$$JKO_{Y(\chi)} = \frac{\sum_{k=1}^n J_k^2}{m} - JKR_{Y(\chi)}$$

$$= \frac{(563)^2 + (543)^2 + (550)^2 + (548)^2}{4} - 303.601 = 54,5$$

$$JKRO_{Y(\chi)} = \frac{JKO_{Y(\chi)}}{m-1} = \frac{54,5}{4-1} = \frac{54,5}{3} = 18,167$$

$$F_{test(\chi)} = \frac{JKRO_{Y(\chi)}}{JKR_{error}} = \frac{18,167}{93,17} = 0,195$$

Tabel 6. Urutan keterampilan operator mesin gulung

Group Operator	Keterampilan operator F_{test}	Tipe paper cone	Diameter bawah (mm)	Diameter atas (mm)	Panjang (mm)	Banyaknya gulungan (ply)
Operator 1 (α)	0,047	5 ⁰ .57' A	56	12	178	4
Operator 2 (δ)	0,056	3 ⁰ .30'	46	24	170	4
Operator 3 (γ)	0,195	9 ⁰ .15'	65	5	178	3
Operator 4 (β)	0,489	5 ⁰ .57' B	59	19	172	4

Hasil perhitungan F_{test} untuk keterampilan operator terhadap geometri produk diperoleh, yaitu:

- Line operator 1(α) dengan mesin gulung D_1 , D_2 dan D_3 menunjukkan harga F_{test} terendah pada tipe *paper cone* 5⁰.57' A.
- Line operator 2(β) dengan mesin gulung D_4 , D_5 , D_6 dan D_7 menunjukkan harga F_{test} terendah pada tipe *paper cone* 5⁰.57' B.

Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kesulitan geometri produk yang harus dibuat maka diperlukan keterampilan operator yang baik.

Tabel 7. Hubungan line group operator

Group mesin gulung	Group operator				Jumlah produksi	Produksi rata-rata
	α	β	δ	χ		
A	532	519	519	563	2.133	533
B	531	535	526	543	2.135	533
C	532	523	515	550	2.111	527
D	531	549	521	548	2.149	537
Jumlah	2.117	2.126	2.081	2.204		
Rata-rata	529	531	520	551		

dihitung dalam pieces (pcs)

Penetapan batas konfidensi rata-rata yang menekankan batasan minimal dan maksimal terhadap konfidensi rata-rata group operator.

Perhitungan jumlah kuadrat (JK);

$$JK_{total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 \quad \text{atau} \quad \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 Y_{ij}^2$$

$$= (532)^2 + (531)^2 + (532)^2 + (531)^2 + (519)^2 + (535)^2 + (523)^2 + (549)^2 + (519)^2 + (526)^2 + (515)^2 + (521)^2 + (563)^2 + (543)^2 + (550)^2 + (548)^2 = 4.557.811$$

$$\begin{aligned}
 JKR_y &= \frac{T_{00}^2}{k n} \\
 &= \frac{8528^2}{4 \cdot 4} = \frac{72.726.784}{16} = 4.545.424 \\
 JKG_{operator} &= \frac{\sum_{j=1}^k J_j^2}{m} - JKR_y \\
 &= \frac{2117^2 + 2126^2 + 2081^2 + 2204^2}{4} - 4.545.424 \\
 &= 2011,5
 \end{aligned}$$

Sehingga, jumlah kuadrat *error*;

$$\begin{aligned}
 JK_{error} &= JK_{total} - JKRY - JKG_{operator} \\
 &= 4.557.811 - 4.545.424 - 2011,5 \\
 &= 10.375,5
 \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah kuadrat rata-rata (JKR);

$$JKR_{error} = \frac{JK_{error}}{n - k} = \frac{10.375,5}{16 - 4} = 864,625$$

Pada penerapan model bujur sangkar graeco latin bahwa jumlah n pada setiap perlakuan sama yaitu 4, selanjutnya;

$$SY_1 = \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} = \sqrt{\frac{864,625}{4}} = \sqrt{216,15625} = 14,702$$

Berdasarkan distribusi t;

$$\alpha = 0,05; \frac{\alpha}{2} = \frac{0,05}{2} = 0,025; t = 1 - \frac{\alpha}{2} = 1 - 0,025 = 0,975$$

Harga t = 0,975 diperoleh pada tabel distribusi t (normal) adalah 2,23, sehingga:

Konfidensi rata-rata untuk group operator 1(α);

$$\begin{aligned}
 \bar{Y}_\alpha = 529 \quad & \bar{Y}_\alpha - \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} < \mu_\alpha < \bar{Y}_\alpha + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} \\
 529 - 2,23 \cdot 14,702 & < \mu_\alpha < 529 + 2,23 \cdot 14,702 \\
 496,25 < \mu_\alpha < 561,79 & \text{ atau } 496 < \mu_\alpha < 562
 \end{aligned}$$

Konfidensi rata-rata untuk group operator 2(β);

$$\begin{aligned}
 \bar{Y}_\beta = 531 \quad & \bar{Y}_\beta - \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} < \mu_\beta < \bar{Y}_\beta + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} \\
 531 - 2,23 \cdot 14,702 & < \mu_\beta < 531 + 2,23 \cdot 14,702 \\
 498,21 < \mu_\beta < 563,79 & \text{ atau } 496 < \mu_\beta < 562
 \end{aligned}$$

Konfidensi rata-rata untuk group operator 3(δ);

$$\begin{aligned}
 \bar{Y}_\delta = 520 \quad & \bar{Y}_\delta - \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} < \mu_\delta < \bar{Y}_\delta + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} \\
 520 - 2,23 \cdot 14,702 & < \mu_\delta < 520 + 2,23 \cdot 14,702 \\
 487,21 < \mu_\delta < 552,79 & \text{ atau } 487 < \mu_\delta < 553
 \end{aligned}$$

Konfidensi rata-rata untuk group operator 4(χ);

$$\bar{Y}_\lambda = 551 \quad \bar{Y}_\lambda - \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}} < \mu_\lambda < \bar{Y}_\lambda + \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{JKR_{error}}{n}}$$

$$551 - 2,23 \cdot 14,702 < \mu_\chi < 551 + 2,23 \cdot 14,702$$

$$518,214 < \mu_\chi < 583,785 \text{ atau } 518 < \mu_\alpha < 584$$

Tabel 8. Urutan keterampilan operator

Group Operator	Batas konfidensi rata-rata	Tipe paper cone	Diameter bawah (mm)	Diameter atas (mm)	Panjang (mm)	Banyaknya gulungan (ply)
Operator 1 (α)	$496 < \mu_\alpha < 562$	$5^0.57'$ A	56	12	178	4
Operator 2 (δ)	$487 < \mu_\delta < 553$	$3^0.30'$	46	24	170	4
Operator 3 (χ)	$518 < \mu_\chi < 584$	$9^0.15'$	65	5	178	3
Operator 4 (β)	$498 < \mu_\beta < 564$	$5^0.57'$ B	59	19	172	4

Bedasarkan tingkat interval dari keterampilan operator, dimulai dari kemampuan terendah hingga kemampuan operator tinggi adalah line operator 3, line operator 1, line operator 2 dan line operator 4.

5. Kesimpulan dan Saran

Akhir dari pembahasan ini dapat diambil kesimpulan dan saran, yaitu:

1. Adanya hubungan yang signifikan antara keterampilan operator terhadap geometri desain.
2. Penampilan kemampuan operator untuk stasiun kerja mesin gulung pada tingkat signifikan 5% yaitu line operator 1(α) pada geometri desain $5^0.57'$ A, line operator 3 (δ) pada geometri desain $3^0.30'$, line operator 4 (χ) pada geometri esain $9^0.15'$ dan line operator 2 (β) pada geometri $5^0.57'$ B.
3. Permindahan operator sebaiknya sudah diperkirakan seberapa besar tingkat deviasi terjadi, sehingga kegagalan proses atau pengerjaan ulang dapat dihindari dengan nyata.

Daftar Pustaka

- Lewis W, A Samuel (1989), *Fundamental of Engineering Design*, Prentice Hall, Tokyo
- Montgomery Douglas C, Hines William W (1980), *Probability and Statisics in Engineering and Management Science*, Second Edition, John Willey and Sons Inc., Canada
- Nevins, Whitneys (1989), *Concurrent Design of Product and Processes*, Prentice Hall, New Jersey
- Sudjana (1985), *Disain dan Analisis Eksperimen*, Penerbit Tarsito, Bandung.