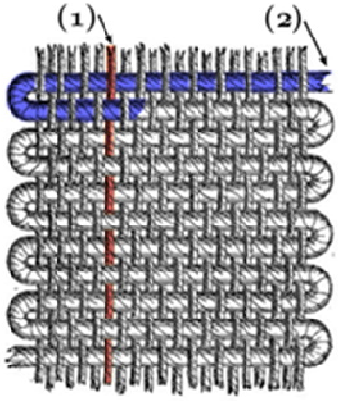
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Anyaman

Salah satu cara dalam pembuatan kain yang bisa dilakukan adalah dengan metode anyaman *(interlacing)* dengan proses pertenunan, sedangkan cara yang lain bisa berupa jeratan dengan proses perajutan dan dengan cara bukan anyaman dan juga bukan jeratan yang disebut dengan *non woven*. Didalam anyaman terbentuk karena adanya persilangan antara benang lusi (1) yaitu benang yang searah dengan panjang kain dengan benang pakan (2) benang yang searah dengan lebar kain (Jumaeri, 1977).



Gambar 2.1. Anyaman polos

Proses persilangan antara benang lusi dengan benang pakan dilakukan dengan peralatan Alat Tenun Bukan Mesin (ATBM) atau alat Tenun Mesin (ATM). Pada alat tenun bukan mesin tenaga penggerak untuk gerakan-gerakan pokok dan gerakan tambahan masih dilakukan oleh manusia sebagai *operator*. Sedangkan pada alat tenun mesin tenaga manusia digantikan oleh *electromotor*, artinya fungsi manusia sebagai

operator adalah melakukan pekerjaan-pekerjaan : penggantian benang pakan habis, melakukan penyambungan kembali kalau terjadi benang lusi putus dan lain-lain.

2.2. Bahan baku

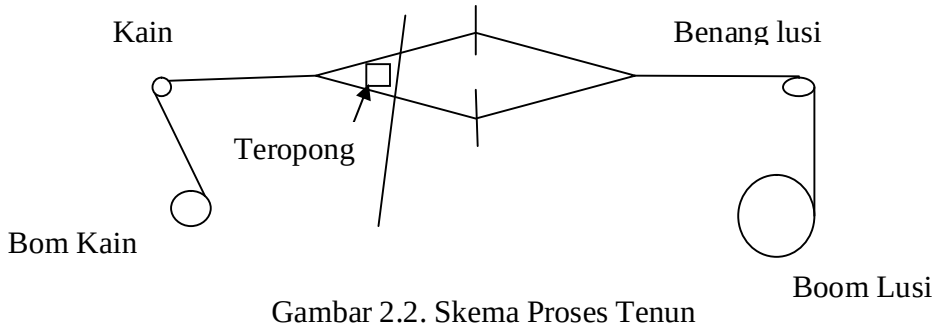
Bahan baku dalam proses pembuatan kain adalah berupa benang, sedangkan benang adalah terbuat dari kumpulan beberapa helai serat yang dilakukan dengan cara-cara peregangan / *drafting*, pemberian puntiran / *twisting* dan penggulungan / *winding*. Serat sebagai bahan baku benang dapat dibedakan dari bahan asalnya, yaitu serat alam dan serat buatan, serat juga bisa dibedakan dari panjangnya, yaitu serat *staple* dan serat *filament* (Jumaeri, 1977). Serat *staple* adalah serat yang panjangnya hanya beberapa cm sedangkan serat *filament* adalah serat yang panjangnya *continue.* Setelah dibuat menjadi benang, benang dibedakan menurut penggunaan selanjutnya, misalnya untuk benang lusi, untuk benang pakan atau untuk benang rajut dan lain sebagainya. Benang juga bisa dibedakan dari strukturnya, misalnya benang tunggal, benang rangkap, benang gintir dan lain-lain. Benang juga bisa dibedakan dari kehalusannya atau nomornya, misalnya dengan nomor *Ne, Nm, Tex, Denier* dan lain sebagainya.

Kualitas benang ditentukan antara lain : kekuatan tarik, tahan gesek, jumlah puntiran, ketidakrataan, mulur dan lain sebagainya. Kualitas benang akan berpengaruh terhadap kelancaran dalam proses produksi selanjutnya, misalnya dalam pertenunan dan perajutan. Untuk meningkatkan kualitas benang bisa dilakukan dengan cara antara lain : penggulungan kembali / *rewinding,* pengajian / *sizing* dan lain sebagainya.

2.3. Proses Pertenunan

Proses pertenunan adalah proses pembuatan kain dengan cara anyaman / *interlacing*, dalam proses ini terdapat 3 (tiga) gerakan pokok yang meliputi : gerakan

pembukaan mulut lusi, gerakan penyisipan benang pakan dan gerakan perapatan benang pakan atau pengetekan. Selain dari gerakan pokok tersebut masih ditambah dengan 2 (dua) gerakan tambahan yang terdiri dari : gerakan penguluran benang lusi dan gerakan penggulungan kain. Untuk ketiga gerakan pokok tersebut baik pada alat tenun bukan mesin (atbm) maupun alat tenun mesin (atm) dilakukan secara terus menerus, sedangkan kalau untuk gerakan tambahan menggunakan atbm dapat dilakukan secara berkala sedangkan kalau menggunakan atm juga harus dilakukan secara terus menerus.



Gambar 2.2. Skema Proses Tenun

Untuk memperoleh hasil produksi kain yang baik dengan efisiensi tinggi dipertenunan, maka perlu diadakan suatu pencegahan terhadap putusnya benang terutama adalah untuk benang lusi sewaktu proses pertenunan berlangsung, sedangkan untuk benang pakan terjadinya putus benang jarang terjadi (Achmad Basuki H, 2009).

Putus benang lusi adalah suatu hal yang penting untuk diperhatikan. Dengan banyak sedikitnya terjadi putus benang lusi akan berpengaruh terhadap jumlah produksi dan kualitas kain yang dihasilkan.

Sedikit banyaknya putus benang lusi bisa disebabkan oleh beberapa sebab antara lain : bahan baku yang digunakan, *set-up* mesin, lingkungan yang ada dan ketrampilan *operator*. Dengan menggunakan bahan baku yang baik dapat mengurangi putus benang

lusi demikian juga dengan *set-up* yang tepat, lingkungan yang memadai dan *operator* yang terampil. Oleh sebab itu perlu dipertimbangkan dengan hati-hati dalam memilih atau menentukan bahan baku, *set-up* mesin, lingkungan dan tenaga *operator*-nya.

2.3.1. *Set-up* mesin.

Set-up mesin bisa dilakukan pada beberapa bagian penting dan langsung berhubungan dengan proses tenun terhadap putus benang lusi, yaitu antara lain sebagai berikut:

2.3.1.1.Kecepatan Mesin

Kecepatan mesin dalam hal ini adalah kecepatan putar poros uatama, poros utama adalah merupakan sumber gerakan pokok dari gerakan-gerakan yang lain dalam proses tenun, poros utama juga merupakan petunjuk terhadap jumlah produksi kain yang bisa dihasilkan. Misalnya suatu mesin tenun mempunyai kecepatan putaran poros utama sebanyak 180 *rpm*, artinya bahwa dalam satu menit bisa dilakukan 180 kali proses tenun atau dengan kata lain terjadi 180 kali pembukaan mulut lusi 180 kali penyisipan benang pakan dan juga terjadi 180 kali perapatan benang pakan. Semakin tinggi kecepatan putaran mesin, maka produksi tentu akan juga semakin tinggi tetapi perlakuan terhadap benang lusi khusunya juga semakin sering yang hal ini bisa menyebabkan terbukanya bulu-bulu pada benang karena adanya gesekan benang dengan gun dan sisir dan akhirnya benang lusi bisa putus.



Gambar 2.3. Poros Utama

Untuk menentukan besarnya kecepatan mesin tenun digunakan rumus sebagai berikut, (R. Marks, FTI. 1976) :

$$N = \frac{V\ X\ \theta}{6(L+R)} \qquad (1)$$

Dimana :

N = kecepatan mesin *(rpm)*

V = rata-rata kecepatan teropong (m/s).

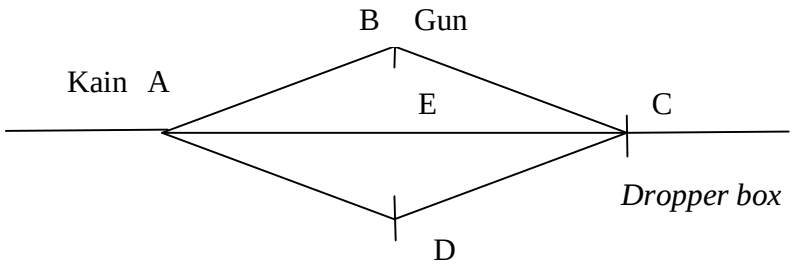
θ = sudut kedudukan proros utama

L = lebar sisir efektif (m)

R = panjang teropong (m)

2.3.1.2.Panjang Mulut

Panjang mulut lusi dihitung dari letak antara gun dengan *dropper box*, perubahan panjang mulut lusi akan berpengaruh terhadap penambahan panjang benang pada saat terbentuk mulut lusi. Panjang mulut lusi dibatasi oleh kedudukan *dropper box*.



Gambar 2.4. Panjang Mulut Lusi

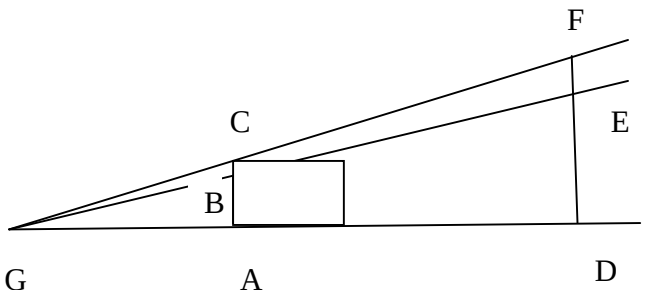
Dari gambar diatas bisa dihitung pertambahan panjang benang lusi saat terbentuk mulut lusi sebagai berikut :

$$\text{Pertambahan panjang AC} = \sqrt{AB^2 + EB^2} + \sqrt{BC^2 + EB^2} \qquad (2)$$

Artinya untuk mengurangi penambahan panjang yang akan berakibat pada bertambahnya tegangan benang lusi saat terbentuknya mulut lusi guna mengurangi putusnya benang lusi bisa dilakukan dengan merubah tingginya EB atau merubah panjangnya BC.

2.3.1.3. Tinggi Mulut Lusi

Tinggi mulut lusi diukur dari mata gun yang terdepan sampai dengan mata gun yang beriktunya yang letaknya tidak bersamaan/terbalik. Tinggi mulut tergantung dari jenis benang, besar teropong dan jarak dari gun ke laci. Pada pertenunan untuk benang dari jenis *cotton* tinggi mulut lusi ± 8 cm, (Liek Soeparli, 1973).



Gambar 2.5. Tinggi Mulut Lusi

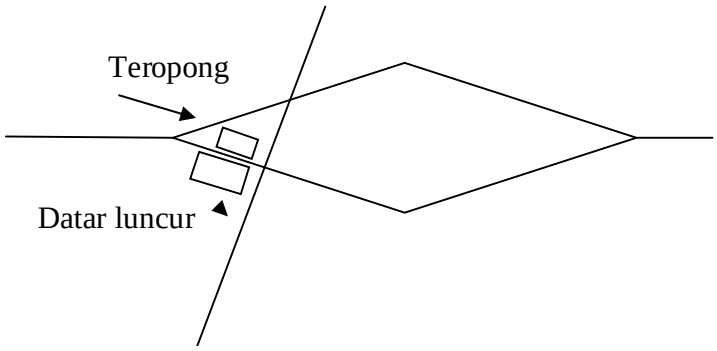
Tinggi mulut sedapat-dapatnya diambil yang terpendek ata terendah, sedikit lebih tinggi dari besarnya teropong sehubungan tegangan yang terjadi pada benang saat terjadinya pembukaan mulut lusi.

2.3.1.4. Kedudukan *Lade*

Perapatan benang pakan dilakukan dengan apa yang disebut sisir tenun, pada sisir tenun dibedakan dari jumlah lubang yang terdapat untuk setiap lebar 2 (dua) *inch*-nya, misalnya ada sisir tenun yang mempunyai nomor 120 artinya pada setiap 2 *inch* mempunyai 120 lubang yang akan dilewati oleh benang lusi. Seperti yang penulis lakukan dalam penelitian ini sesuai dengan konstruksi kain *primisiima* nomor sisir yang

digunakan adalah nomor 120 karena tetal lusi yang direncankan adalah 120 helai per *inch*.

Jarak datar luncur dengan benang lusi bagian bawah adalah jarak yang terjadi pada saat peluncuran teropong berlangsung. Teropong dilewatkan pada rongga antara benang lusi bagian atas dengan lusi bagian bawah saat terbentuk mulut lusi. Jarak yang kurang sesuai akan menimbulkan friksi antara benang lusi bagian bawah dengan datar luncur dan dilain sisi benang dengan teropong pada saat terjadi peluncuran teropong, jarak yang disarankan adalah ± 4 mm (Liek Soeparli, 1973)



Gambar 2.5. Jarak kedudukan datar luncur dengan benang lusi bawah

2.4.Produksi Mesin Tenun

Produksi mesin tenun adalah berupa kain *grey***,** kain *grey* adalah kain yang masih mentah dan memerlukan proses lebih lanjut untuk bisa digunakan sebagai bahan tekstil selanjutnya. Proses lebih lanjut tersebut antara lain dapat berupa : proses menghilangkan kanji, proses pembakaran bulu, proses pewarnaan dan lain sebagainya. Untuk dapat mengetahui jumlah produksi mesin tenun digunakan rumus :

$$P = \frac{n}{T} x \frac{2{,}54}{100} \; x \; 60 \; x \; efisiensi \; (\frac{m}{jam}) \qquad (3)$$

Dimana :

P = produksi (m/jam)

n = kecepatan mesin / poros utama *(Rpm)*

T = kerapatan / tetal benang pakan (helai/*inch* **)**

Artinya bahwa semakin tinggi kecepatan mesin tenun/poros utama sedang yang lain sama, maka produksi akan semakin banyak. Demikian pula bahwa kalau yang lain tetap, tetapi efisiensi tinggi, maka produksi juga akan semakin banyak, efisiensi dapat dipengaruhi oleh sedikit banyaknya putus benang lusi yang terjadi selama proses tenun berlangsung.

2.5. Desain Eksperimen

Design experiment adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah atau tindakan yang betul-betul terdifinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Disain suatu eksperimen bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas, (Soejanto, 2009).

Penelitian hendaknya dilakukan se-efisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga dan bahan yang harus digunakan dan *design experiment* yang dibuat harus sesederhana mungkin. Jadi hendaknya, bahwa *design experiment* dengan menggunakan biaya yang minimum berusaha untuk memperoleh informasi yang maksimum.

2.5.1. Prinsip Dasar Desain Eksperimen

Didalam menerapkan desin eksperimen diperlukan prinsip utama yang sangat berpengaruh terhadap hasil analisa, diantaranya :

1. Replikasi

   Replikasi diartikan sebagai pengulangan eksperimen dasar. Dalam kenyataannya replikasi diperlukan karena memberikan beberapa hal, diantaranya :

   a. Memberikan tafsiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfidensi atau dapat digunakan sebagai "*satuan dasar pengukuran"* untuk penetapan taraf signifikan daripada perbedaan-perbedaan yang diamati.

   b. Memberikan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.

   c. Memungkinkan untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata – rata sesuatu faktor.

2. Pengacakan

   Pada umumnya untuk setiap prosedur pengujian, beberapa asumsi tertentu perlu diambil dan dipenuhi agar pengujian yang dilakukan menjadi berlaku. Salah satu diantaranya adalah bahwa beberapa dari pengamatan tersebut berdistribusi secara independen. Asumsi ini sukar untuk dapat dipenuhi, akan tetapi dengan jalan berpedoman kepada prinsip sampel acak yang diambil dari suatu populasi atau berpedoman pada perlakuan acak terhadap unit eksperimen, maka pengujian dapat dijalankan dengan asumsi yang telah diambil tersebut telah terepenuhi.

   Pengacakan memungkinkan untuk melanjutkan beberapa langkah berikutnya dengan anggapan bahwa sifat independen menjadi suatu kenyataan.

3. Kontrol Lokal

Merupakan sebagian dari total keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan. Dengan kata lain adalah suatu susunan langkah yang terbentuk dari dalam desain eksperimen.

2.5.2. Langkah dalam Melaksanakan Desain Eksperimen

Adapun susunan langkah desain eksperimen adalah sebagai berikut (Sudjana, 1991) :

1. Berkaitan langsung dengan masalah atau persoalan yang akan dibahas.
2. Merumuskan hipotesa.
3. Menentukan teknik dan desain eksperimen yang diperlukan.
4. Memeriksa semua hasil yang mungkin dan latar belakang atau alasan agar supaya eksperimen setepat mungkin memberikan informasi yang diperlukan.
5. Mempertimbangkan semua hasil yang ditinjau dari prosedur statistika yang diharapkan berlaku untuk itu.
6. Melakukan eksperimen.
7. Penggunaan teknik statistika terhadap data hasil eksperimen.
8. Mengambil kesmipulan dengan jalan menggunakan atau memperhitungkan derajat kepercayaan yang wajar mengenai satuan-satuan yang dinilai.
9. Membandingkan kualitas proses yang baru dengan proses yang lama.

Desain eksperimen terdiri dari dua macam yaitu desain eksperimen konvensional dan desain eksperimen *Taguchi*. Desain eksperimen konvensional sudah semakin tidak dilakukan pada saat sekarang, karena menghabiskan banyak waktu, biaya dan tenaga. Sedangkan untuk metode *Taguchi* sekarang banyak dilakukan, karena dalam metode

Taguchi mempersingkat jumlah eksperimen yang dilakukan, sehingga tidak menghabiskan banyak waktu, tenaga dan biaya.

2.5.3. Pelaksanaan Eksperimen

Sesuai dengan difinisi penelitian eksperimen adalah merupakan suatu penelitian yang berusaha mencari penagaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang terkontrol secara ketat. Dari sekian variabel independen tersebut bisa dimanipulai oleh peneliti sendiri. (Sugiyono, 2005).

Pelaksanaan eksperimen bisa diterapkan dengan 2 cara, yaitu pelaksanaan eksperimen dengan pengujian, eksperimen dan pengujian. Adapun susunan pelaksanaannya diawali dengan persiapan, pelaksanaan pembuatan eksperimen, kontrol kualitas dan diakhiri dengan pengujian yang akan diadapatkan data hasil pengamatan tersebut.

2.6. Metode *Taguchi*

Dalam metode *Taguchi* digunakan matrik yang disebut *orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variabel-variabel input tiap eksperimen, (Soejanto, 2009).

Menurut *Taguchi*, ada 2 (dua) segi umum kualitas yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kualitas rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja, sedangkan kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang disyaratkan oleh rancangan. Metode *Taguchi* menggunakan matriks khusus yang disebut *Orthogonal*

Array. Matriks standar ini merupakan langkah untuk menentukan jumlah percobaan minimal yang dapat memberikan informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter.

Filosofi *Taguchi* terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu (*Montgomery*, 1998) :

1. Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.
2. Produk harus didisain sehingga robust terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian diukur pada seluruh system.

2.6.1. Proses Perancangan Parameter

Perancangan parameter merupakan evaluasi serentak terhadap dua atau lebih faktor, parameter terhadap kemampuan yang mempengaruhi rerata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu

Pada penerapan metode analisis data *Taguchi* tidak semua faktor yang berpengaruh dapat dikendalikan tanpa mengeluarkan biaya, sehingga diperlukan pendekatan lain untuk meningkatkan kualitas. Pendekatan yang digunakan oleh *Taguchi* dinamakan parameter.

Metode analisis data *Taguchi* membagi upaya untuk meningkatkan kualitas atas 3 (tiga) hal, yaitu (Soejanto, 2009) :

1. Perancangan Sistem *(System Design)*, yang merupakan upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk.
2. Perancangan Parameter (Parameter *Design*) yang digunakan untuk mencegah terjadi variabilitas, dimana parameter-parameter ditentukan untuk menghasilkan performansi yang baik.
3. Perancangan Toleransi *(Tolerance Design)*, yang merupakan upaya meningkatkan kualitas dengan memperketat toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk.

2.6.2. Faktor Terkendali dan Faktor *Noise.*

Dalam metode *Taguchi* terdapat faktor terkendali yang merupakan faktor yang ditetapkan selama tahap perancangan produk/proses dan tidak dapat diubah. Sedangkan faktor *noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung.

Faktor *noise* dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu :

1. Faktor *noise eksternal*, yang bisa diartikan sebagai sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk.
2. Faktor *noise* dari unit ke unit, yang merupakan hasil dari produksi dimana selalu ada perbedaan dari setiap item yang sejenis yang telah diproduksi. Atau bisa disebut juga variasi toleransi.
3. Faktor *noise* deteriorasi atau disebut juga *noise internal*, karena faktor ini berasal dari sesuatu *(internal)* yang berubah dari proses atau degradasi dari komponen mesin yang memasuki *over time*.

Dalam perancangan eksperimen *Taguchi*, untuk penanganan faktor *noise* melalui 3 (tiga) cara, yaitu :

1. Dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing percobaan.
2. Dengan memasukan faktor *noise* tersebut kedalam percobaan dengan menempatkan diluar faktor kendali.
3. Dengan menganggap faktor terkendali tersebut bervariasi.

2.6.3. Perancangan Eksperimen *Taguchi*

Merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan mempengaruhi rerata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu, (Soejanto, 2009).

Ada beberapa langkah yang diusulkan *Taguchi* untuk melakukan eksperimen secara sistematis, yaitu :

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan.
2. Menentukan tujuan penelitian.
3. Menentukan metode pengukuran.
4. Identifikasi faktor.
5. Memisahkan faktor kontrol dengan faktor *noise*.
6. Menentukan level setiap faktor dan nilai faktor.
7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi.
8. Menggambarkan *linier graph* yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.
9. Memilih *Orthogonal Array*.
10. Pemasukan faktor atau interaksi ke dalam kolom.
11. Melakukan eksperimen.

12. Analisa hasil eksperimen.
13. Interpretasi hasil.
14. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.
15. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal.
16. Menjalankan eksperimen konfirmasi.

2.6.4. Penentuan dan Pemilihan *Orthogonal Array*.

Didalam penentuan dan pemilihan nilai *orthogonal array* diperlukan pengamatan terhadap nilai derajat kebebasn yang dipakai. Sehingga informasi yang diberikan dalam hasil analisis lebih tepat dan efisien.

2.6.4.1. Derajat Bebas *(Degree of Freedom)*.

Merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antara level faktor (efek utama) atau interaksi yang digunakan untuk menentukan jumlah percobaan minimum yang dilakukan.

Perhitungan derajat bebas dilakukan agar diperoleh suatu pemahaman mengenai hubungan antara suatu faktor level yang berbeda-beda terhadap karakteristik kualitas yang dihasilkan. Perbandingan ini sendiri akan memberikan informasi tentang faktor dan level yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap karakteristik kualitas. Dalam melakukan percobaan, efisiensi dan biaya yang dikeluarkan merupakan salah satu pertimbangan utama. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka sebisa mungkin digunakan *Orthogonal Array* terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukannya percobaan secara *komprehensif* dan penarikan kesimpulan yang *valid*.

Untuk menentukan *Orthogonal Array* yang diperlukan, maka dibutuhkan perhitungan derajat kebebasan. Adapun perhitungan untuk memperoleh derajat bebas adalah sebagai berikut, (Irwan Soejanto, 2009) :

1. Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B :

   VA = (jumlah level faktor A) x 1 (3)

   = kA x 1

   VB = (jumlah level faktor B) x 1 (4)

   = kB x 1

2. Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

   VAxB = (kA x1) (kB x 1) (5)

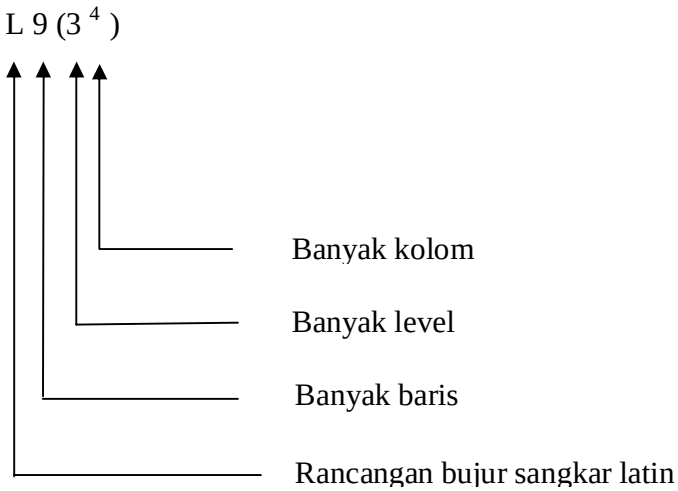
3. Nilai derajat bebas total

   (kA x 1) + (kB x1) + (kA x 1) (kB x 1) (6)

Tabel *orthogonal array* yang dipilih harus mempunyai jumlah baris minimum yang tidak boleh kurang dari jumlah derajat bebas totalnya.

2.6.4.2.Orthogona Array.

Matriks orthogonal atau *orthogonal array* terdiri dari kolom-kolom *orthogonal*, yaitu untuk setiap pasang kolom, semua kondisi performansi muncul dalam jumlah yang sama. Dalam matrik *orthogonal*, kolom menyatakan faktor-faktor yang dipelajari, baris mewakili eksperimen individual, jumlah baris menyatakan banyaknya eksperimen yang harus dilakukan, dimana jumlah baris minimal sama dengan *degree of freedom* dan isi dari matrik *orthogonal* menyatakan level atau taraf dari faktor-faktor yang dipelajari.



Gambar 2.6. Notasi *Orthogonal Array*

Keterangan :

1. Notasi L menyatakan informasi mengenai *Orthogonal Array*
2. Nomor Baris menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*.
3. Nomor Level menyatakan jumlah level faktor
4. Nomor Kolom adalah jumlah jumlah faktor yang diamati dalam *Orthogonal Array*.

Pemilihan matrik *orthogonal* yang dipakai bergantung pada derajat bebas atau *degree of freedom* yang dipelajari, level faktor yang dipelajari, resolusi dan biaya. Dalam memilih *array orthogonal* yang sesuai untuk suatu eksperimen tertentu disyaratkan agar $V_{OA} \geq V_{\beta}$, dengan V_{β} : derajat bebas level faktor (Soejanto, 2009). Derajat bebas *array orthogonal* (V_{OA}) selalu kurang 1 dari banyaknya eksperimen.

$$V_{OA} = n_{OA} - 1 \qquad (7)$$

Dengan n_{OA} adalah banyaknya baris/eksperimen. Sedangkan derajat bebas suatu faktor (V_{β}) adalah satu kurangngnya dari jumlah level faktor tersebut.

$V_\beta = n_\beta - 1$ dengan n adalah banyaknya level (8)

Tabel 2.1. *Standartd Orthogonal Array*

2 level	3 level	4 level	5 level	Level gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1X3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^1X3^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11}X3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3X3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^1X3^{25})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^1X3^{11})$

Tabel 2.2. Matrik *Orthogonal Array* L_9 (3^4)

Trial	*Column Number*			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

2.6.5. Rasio Signal Terhadap *Noise* (*S/N Ratio*)

S/N ratio adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas produk.

1. Samaller – the – Better (STB)

Karakteristik kualitas dimana semakin rendah nilainya, maka kualitas semakin baik. Meskipun demikian dalam penentuan level faktor optimal tetap dipilih nilai *S/N Ratio* yang terbesar. Nilai *S/N* untuk karakteristik *STB* adalah (Irwan Soerjanto, 2009) :

$$S/N_STB = -10\ log\left\{1/n \sum_{i=1}^{n} Yi^2\right\} \quad (9)$$

Dimana : n = jumlah tes di dalam percobaan (*trial*)

Yi = nilai *respon* dari cuplikan ke – i untuk jenis ekasperimen tertentu

2. Larger – the – Better (LTB)

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai *S/N* untuk jenis karakteristik *LTB* adalah (Irwan Soerjanto, 2009) :

$$S/N_LTB = -10\ log\left\{1/n \sum_{i=1}^{n} 1/Y_i^2\right\} \quad (10)$$

2.6.6. Perhitungan Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor dalam hal ini, efek kendali dilakukan dengan menggunakan rumus (Irwan Soerjanto, 2009) :

$$efek\ faktor = \frac{1}{a}(\sum \eta o) \quad (11)$$

Dimana :

o = nomor eksperimen yang mempunyai level yang sama

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

η = nilai SNR yang digunakan

2.6.7. *Taguchi Single* dan *Multi Respon*

Analisa data hasil *Taguchi* dibedakan menjadi dua yaitu *Taguchi single respon* dan *Taguchi Multi Respon*. Hal tersebut diklasifikasikan berdasarkan target jumlah *respon* yang diuji dalam eksperimen tersebut.

2.6.7.1. Taguchi Single Respon

Taguchi single respon hanya mempunyai satu variabel *respon*, sehingga langsung didapatkan kombinasi dari variabel *respon* tersebut. Dengan hasil analisa dari hasil S/N ratio yang berupa logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik yang digunakan telah mampu mengevaluasi kualitas suatu produk tersebut. Dengan kata lain untuk menentukan kondisi optimal pada tahapan desain parameter cukup dilakukan pengujian satu *respon*n.

2.6.7.2.*Taguchi Multi Respon*.

Taguchi Multi Respon mempunyai lebih dari satu variabel *respon* (minimal dua variabel *respon)* dan masing-masing variabel *respon* mempunyai kombinasi faktor yang berbeda sehingga diperlukan penanganan lebih lanjut untuk mendapatkan kombinasi faktor yang optimal untuk meningkatkan kualitas masing-masing variabel *respon* tersebut.

Langkah-langkah yang sistematis dalam melakukan eksperimen *Multi Respon* dengan menggunakan *Multi Respon* Signal to *Noise* (*MRSN*) terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

1. Menghitung *quality* loss untuk setiap *trial*. Untuk karakteristik kualitas (Irwan Soerjanto, 2009) :

Bigger the better $\quad L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k-1}^{n} Y_{ijk}^2$ (12)

Nominal the better $L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k-1}^{n} (y_{ijk} - m)^2$ (13)

Smaller the better $L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k-1}^{n} y_{ijk}^2$ (14)

Dimana :

L_{ij} = *quality loss* untuk *respon* ke-i, *trial* ke-j

Y_{ijk} = data untuk *respon* ke-i, *trial* ke-j, replikasi ke-k

n_i = replikasi untuk *respon* ke-i

k = koefisien dari *quality loss*

m = nilai target

2. Menentukan *Multi Respon Signal to Noise (MRSN) Ratio*

   Penentuan *MRSN* berdasar pada beberapa langkah sebagai berikut (Irwan Soerjanto, 2009) :

   a. Menentukan *quality* loss tiap *respon*

   b. Normalisasi *quality* loss tiap eksperimen

   $C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_{max}}$ (15)

   Dimana : C_{ij} = Normalitas *quality loss*

   L_{ij} = *quality loss*

   L_{max} = nilai max dari *quality loss*

3. Menghitung total *normalized quality loss (TNQL)* setiap eksperimen :

   $TNQL = W \times C_{ij}$ (16)

4. Menghitung *MRSN ratio* setiap eksperimen

   $MRSN_i = -10 \log (TNQL_i)$ (17)

5. Menentukan kombinasi level faktor yang optimal berdasarkan nilai *MRSN* terbesar. Tahapannya :
   a. Membuat tabel *respon* dan grafik *respon* dari *MRSN*
   b. Menentukan faktor kontrol yang memiliki efek yang signifikan terhadap *MRSN*.
   c. Menentukan level optimal dari faktor kontrol berdasarkan nilai *MRSN* terbesar.
   d. Melakukan eksperimen konfirmasi.

   Hasil eksperimen konfirmasi menentukan apakah level kontrol faktor optimal yang diperoleh bisa diperluas pada skala industri.

   Pada penerapan *MRSN* diperlukan beberapa faktor pendukung yang harus diperhitungkan, diantaranya :

1. Uji Prediksi

Dalam kehidupan sehari-hari sering dilihat suatu peristiwa atau keadaan yang terjadi akibat peristiwa yang lain. Untuk mengetahui hubungan antara kejadian tersebut, terutama untuk menelusuri pola hubungan yang modelnya belum diketahui, maka analisa regresi dapat dijadikan alat untuk membantu menganalisis hubungan tersebut.

Uji prediksi menggunakan analisa *regresi* berdasarkan data yang diperoleh dari hasi eksperimen yang sudah pernah dilakukan. Tujuan adanya uji prediksi untuk melihat secara keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan. Uji prediksi dilakukan karena pada eksperimen *Taguchi* hanya ada 8 (delapan) *trial*

atau 8 (delapan) eksperimen yang sudah dianggap mewakili keseluruhan eksperimen yang seharusnya dilakukan.

Analisis *regresi* ada 3 kegunaan yaitu, deskripsi, kendali dan prediksi (peramalan). Tetapi manfaat utama dari kebanyakan penyelidikan statistik dalam dunia bisnis dan ekonomi adalah mengadakan prediksi atau peramalan. Dalam analisis *regresi* dikenal dua macam variabel atau peubah yaitu variabel bebas *(independent variable)* dan variabel tidak bebas *(dependent variable)*.

Variabel bebas adalah variabel yang telah diketahui nilainya, sedangkan variabel tidak bebas adalah variabel yang nilainya belum diketahui dan nantinya akan diramalkan.

2. Eksperimen Konfirmasi

Ekesperimen konfirmasi dilakukan untuk mengevaluasi apakah rancangan usulan yang didapat mampu untuk memperbaiki kualitas tiap *respon* tersebut. Jika hasil rancangan usulan berhasil meningkatkan tiap *respon* tersbut, maka usulan tersebut dapat digunakan.

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan *SNR* pada kondisi optimum untuk mendapatkan μ prediksi. Kemudian hasil prediksi tersebut dibandingkan dengan eksperimen konfirmasi. Adapun langkah-langkah μ prediksi adalah sebagai berikut (Irwan Soerjanto, 2009) :

1. μ prediksi = Estimasi nilai *SNR* yang optimum
2. Menghitung selang kepercayaan *(confidence interval)=(CI)*

$$(CI) = \mu \pm \sqrt{F_{\propto,v1,v2}} x V_e x \left[\frac{1}{n_{eff}}\right] \qquad (18)$$

3. Menghitungan *SNR* data hasil eksperimen prediksi

$$SNR = -10log_{10}\left[\frac{1}{n}y_i^2\right] \quad (19)$$

4. Kesimpulan

Jika nilai *SNR* data hasil eksperimen prediksi masih berada dalam batas *confidence interval (CI)*, maka dapat disimpulkan bahwa *SNR* hasil eksperimen usulan sesuai dengan eksperimen prediksi. Begitu pula sebaliknya.

2.7. Uji Validitas Data

Hasil perolehan data dikatakan layak dan bisa mewakili keputusan harus memenuhi persyaratan berdistribusi normal, homogen dan memiliki pengaruh satu dengan yang lain.

2.7.1. Uji Distribusi Normal

Populasi dikatakan berdistribusi normal, jika telah sesuai dengan teori dan metode statistik sedemikian rupa, sehingga beberapa persoalan akan dapat diselesaikan dengan lebih mudah dan cepat. Agar asumsi normalitas pada langkah selanjutnya tersebut bisa dipertanggungjawabkan diperlukan pengecekan keberlakuannya, (*Gaspersz*, 1991).

Uji kenormalan dapat dilakukan dengan menggunakan uji kebaikan-suai atau uji kecocokan *(test of goodness fit)*. Uji ini didasarkan pada seberapa baik kesesuaian dengan frekuensi harapan yang didasarkan pada sebaran yang dihipotesiskan, dalam hal ini adalah sebaran atau distribusi normal yang memiliki model (Irwan Soerjanto, 2009):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (20)$$

Dimana :

π = 3,1415 dan e = 2,7183

μ = parameter, merupakan rata-rata untuk distribusi

σ = parameter, merupakan simpangan baku untuk distribusi

Untuk keperluan pengujian normalitas ini, data harus disusun dalam daftar distribusi frekuensi yang terdiri atas k buah interval.

Uji kebaikan-suai antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan didasarkan pada besaran (Irwan Soerjanto, 2009) :

$$x^2 = \sum \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} \qquad (21)$$

Nilai x^2 merupakan sebuah niali peubah acak x2 yang sebaran penarikan, contohnya sangat menghampiri nilai chi-kuadrat. Lambang Oi dan Ei masing-menyatakan frekuensi teramati dan frekuensi harapan bagi sel ke-i.

2.7.2. Uji Homogenitas Variansi (Uji *Barlett*)

Untuk menguji kesamaan beberapa buah rata, sebagaimana dalam metode analisis variansi *(ANOVA),* diasumsikan populasinya mempunyai variansi yang homogeny, yaitu $\propto_1^2 = \propto_2^2 = .. = \propto_k^2$ sehingga perlu dilakukan pengujian homogenitas (kesamaan) variansi populasi normal, (*Gaspersz,* 1991).

Dari k (k>2) buah populasi berdistribusi normal masing-masing dengan variansi $\propto_1^2, \propto_2^2, .. \propto_k^2$, Akan diuji hipotesis :

Ho : $\propto_1^2 = \propto_2^2 = .. = \propto_k^2$

H_1 : paling sedikit satu tanda sama dengan tidak berlaku

Salah satu cara untuk menguji homoginitas k buah (k ≥ 2) variansi yang berdistribusi normal adalah dengan uji Barlett. Misal populasi memliki masing-masing sampel berukuran $n_1, n_2, \ldots, n_k$ dengan data $Y_{ij}(I=1,2,\ldots,n_k)$ kemudian dari sampel-sampel itu dihitung masing-masing variansinya, yaitu$s_1^2, s_2^2, \ldots, s_k^1$,

Nilai statistik hitung uji *Barlett* digunakan dengan rumusan *Chi-Square*

$$x^2 = (ln10)\{B - \Sigma(n_1 - 1)logs_1^2\} \quad (22)$$

Dimana :

Ln 10 = 2,306

B = (log s^2) $\Sigma(n_i - 1)$

$$s^2 = \frac{\Sigma(n_1-1)s_1^2}{\Sigma(n_1-1)} \quad (23)$$

Dengan taraf nyata α, hipotesis Ho ditolak jika x^2 hitung $\geq x^2_{(1-\alpha)(dk)}$, dimana $x^2_{(1-\alpha)(dk)}$ diperoleh berdasar dari table *Chi-Kuadrat* dengan peluang (1-α) dan dk = (k-1).

2.7.3. Analisis Variansi *(ANOVA).*

Analisis ragam atau variansi adalah suatu metode untuk menguraikan keragaman total (variansi total) dara data-data yang kita peroleh menjadi komponen-komponen pembentuk keragaman total tersebut, sehingg dapat diukur sebagai sumber keragaman (variansi), pengaruh-pengaruh variabel dependen dan kontribusi setiap faktor terhada total variansi (Sudjana, 1991).

Pada analisis variansi model I atau model tetap, penulis dihadapkan pada taraf tiap faktor yang tetap, artinya taraf untuk masing-masing faktor tetap banyaknya dan seluruhnya digunkan dalam eksperimen. Sebagai contoh pada analisis desain eksperimen faktorial a x b (dwi faktor), apabila diteliti hanya mempunyai a buah taraf faktor A dan b buah faktor B dan semuanya digunakan dalam eksperimen yang dilakukan baik model yang diambil adala model tetap (Sudjana, 1991). Model yang digunakan untuk desain faktorial a x b adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} \quad (24)$$

Dimana :

i = 1,2, … a

j = 1,2, … b

k = 1,2, … c

Y_{ijk} = variabel *respon* hasil observasi ke-k yang terjadi karena pengaruh bersama taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B

μ = rata – rata sebenarnya (berharga konstan)

Ai = efek taraf ke-i faktor A

Bj = efek taraf ke-j faktor B

AB_{ij} = efek interaksi antar taraf ke-I faktor A dan taraf ke-j faktor B

Hipotesa nol yang harus diuji dapat dituliskan sebagai berikut :

Ho_1 = A_i = 0; (i = 1,2, …, a)

Ho_2 = B_j = 0; (j = 1,2, …, b)

Ho_3 = AB_{ij} = 0; (i=1,2, …, a dan j = 1,2, …, b)

Hipotesa nol Ho_1, menyatakan bahwa tidak terdapat faktor A di dalam eksperimen itu, sedangkan Ho_2 menyatakan tidak terdapat efek faktor B. Untuk menyatakan di dalam eksperimen itu tidak terdapat enteraksi antara faktor A dan faktor B, maka digunakan Ho_2, Hipotesis alternatifnya berturut-turut adalah terdapat efek faktor A, efek faktor B dan interaksi AB.

Langkah-langkah perhitungan dalam analisis variansi multifaktor adalah sebagai berikut, (*Ross*, 1998).

1. Menghitung harga *Sum of Square (SS)* atau jumlah kuadrat (JK)

   Adapun mekanisme dalam menghitung (SS) terdiri dari beberapa hal sebagai beriku :

   a. Total *Sum of Square (SST)* atau jumlah kuadrat total, dengan rumus

$$\bar{T} = \frac{T}{N} = \bar{y}\ dan\ T = \sum_{i=1}^{N} y_i \qquad (25)$$

Persamaan diatas dapat dirumuskan kembali menjadi :

$$SST = \left[\sum_{i=1}^{N} y_1^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (26)$$

Dimana :

Yi = nilai *respon* (data pengamatan) ke-i

$\bar{T} = \bar{y} = rata - rata\ respon$

N = jumlah pengamatan

b. *Sum of Square* ata jumlah kuadrat untuk suatu faktor, missal faktor A

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_a} \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}}\right) - \frac{T^2}{N}\right] \quad (27)$$

SSA = *Sum of Square* faktor A

A_i = julah nilai pengamatan dibawah level ke-i faktor A

n_{Ai} = banyaknya data pengamatan dibawah level ke-i faktor A

A_i^2 = rata-rata nilai pengamatan dibawah level ke-i faktor A

K_a= banyaknya level faktor A

Secara umum *Sum of Square (SS)* suatu faktor dapat dihitung dengan rumus :

$SS = \Sigma(a(m_1 - m)^2)$

Dimana :

SS = *Sum of Square* untuk setiap faktor

A = Jumlah level faktor dalam suatu kolom metric orthogonal

m_1 = rata-rata efek tiap level faktor

i = 1,2, …, k

2. Menghitubg *degree of freedom (df)* atau derajat bebas.

Dalam penentuan perhitungan derajat bebas, teridiri dari beberapa hal sebagai berikut :

a. *Degree of freedom* total (dfT) dirumuskan dengan

$df_T = N - 1$ atau $df_T = df_{faktor} + df_{interaksi} + df_{error}$ (28)

b. *Degree of freedom* satu faktor, dirumuskan dengan

$df = k - 1$ (29)

c. *Degree of freedom error (dfe),* dirumuskan dengan :

$df_e = df_T - df_{faktor} - df_{interaksi\ faktor}$ (30)

d. Menghitung *mean of square (Mq)* suatu faktor atau interaksi faktor, dengan rumus :

$$Mq = \frac{SS}{df} \quad (31)$$

3. Menghitung *F ratio* suatu faktor dengan rumus :

$$F = \frac{Mq}{Mq_e} \quad (32)$$

4. Menghitung *pure of square (SS')* suatu faktor dengan rumus :

$SS' = SS - (df \times Mq_e)$ (33)

5. Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor dengan rumus :

$P = (SS'/SS_T) \times 100\ \%$ (34)

2.7.4. Uji F pada Analisis Variansi

Untuk mengetahui ada tidaknya efek yang signifikan dari masing-masing faktor dan interaksinya secara serentak pada *respon* yang diamati, maka perlu dilakukan Uji F pada variansi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membuat hipotesis
2. Menentukan besar tingkat signifikan (level of significance), α
3. Kriteria pengujian :

Ho diterima apabila $F_{hitung} \leq F_{(\alpha,\ v1;v2)}$

Ho ditolak apabila $F_{hitung} \geq F_{(\alpha,\ v1;v2)}$

Dimana $F_{(\alpha,\ v1;v2)}$ dapat diperoleh dari table distribusi F dengan peluang α dan derajat bebas v1 = k – 1 sebagai pembilang dan v2 = k (n – 1) sebagai penyebut.

4. Perhitungan Fhitung

$$F = \frac{Variance\ between\ mean}{Variance\ within\ group} \qquad (35)$$

Untuk membantu perhitungan F disusunlah table Anova. Format umum untuk analisis variansi satu arah ditunjukan pada tabel berikut, (Sudjana, 1991) :

Tabel 2.3. Tabel *Anova*

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F_{hitung}
Antar Perlakuan	*SST*	k-1	$\frac{SST}{k-1} = S1^2$	$\frac{S1^2}{S2^2}$
Galat (dalam perlakuan)	*SSE*	K (n-1)	$\frac{SSE}{k(n-1)} = S2^2$	
Total	*SS Total*	nk-1		

Kemudian menarik kesimpulan, apakah Ho diterima atau ditolak dengan membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel}.

2.7.5. Uji Beda (Uji t berpasangan)

Pada **uji t**, dimana sampel saling berhubungan antara satu sampel dengan sampel yang lainnya, sehingga perlu dilakukan pengujian berpasangan. Pengujian ini biasanya dilakaukan dalam penelitian dengan teknik eksperimen dimana satu sampel diberi perlakuan tertentu kemudian dibandingkan dengan kondisi sampel sebelum adanya perlakuan. Maka satu kelompok sampel akan berfungsi sebagai variabel pengendali terhadap variabel yang lain yang mendapat perlakuan tertentu. Bahwa perbedaan tersebut

memiliki arti bisa mempengaruhi mutu karakteristik target tiap *respon*nya *(LTB,NTB* atau *STB*) (Purbayu, 2005).

Perumusan hipotesisnya adalah sebagai beriku :

Ho : $\mu 1 - \mu 2 = 0$ atau Ho = $\mu 1 = \mu 2$ (Tak ada perbedaan atau sama)

Ha : $\mu 1 - \mu 2 > 0$ (ada perbedaan $\mu 1 > \mu 2$)

Ha : $\mu 1 - \mu 2 < 0$ (ada perbedaan $\mu 1 < \mu 2$)

Ha : $\mu 1 - \mu 2 \neq 0$ ($\mu 1$ tidak sama dengan $\mu 2$ atau $\mu 1$ berbeda dari $\mu 2$)

Ketentuan pengujian t_{hitung}, yaitu :

Ho diterima apabila $-t_{tabel} \leq t_{hitung} \leq t_{tabel}$

Ho ditolak apabila $-t_{tabel} > t_{hitung}$, $t_{hitung} > t_{tabel}$

2.8. Penelitian yang terkait dengan putus benang lusi dan produksi dalam pertenunan :

1. **A. Karim Ridwan, (2005).** Suatu Studi Tentang Keseimbangan Produksi Mesin Persiapan Dan Pertenunan Di Pabrik Cambrics GKBI Medari, Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.
2. **Arif Iskandar, (2007).** Pengaruh Perubahan Tegangan Benang Lusi Pada Kain Tenun Projectile Merek Sulzer Ruti Type PU 110 ES Terhadap Jumlah Putus Lusi Pada Pertenunan Dan Kekuatan Tarik Kain, Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.
3. **Deden Hendra Tryadi, (2001).** Suatu Pengamatan tentang Usaha Memperkecil Jumlah Putus Benang Lusi Pada Proses Pertenunan, Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.

4. **Hasan, (1994).** Pengamatan Pengaruh Penyetelan Variasi Tegangan Lusi Terhadap Frekuensi Putus Benang Lusi Pada Mesin Tenun Rapier Ishikawa Beatmax 2001 Skripsi, Jurusan Teknologi Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam, Indonesia, Yogyakarta.
5. **Hendrawati, (2007).** Suatu Studi Perencanaan Program Produksi Pertenunan Bulanan Pabrik X Menggunakan Metode Simplex Dari Programa Linier, Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.
6. **Karnadi Harahap, (1995).** Pengaruh Variasi Penyetelan Kedudukan Dropper Terhadap Putus Benang Lusi Di Mesin Tenun Air Jet Tsudakoma Type ZA 205 I, Skripsi, Jurusan Teknologi Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam, Indonesia, Yogyakarta.
7. **Syarif Iskandar (2000),** Pengaruh Kualitas Teropong Terhadap Hasil Produksi Pertenunan, Skripsi Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.
8. **Yanto Susanto (2009),** Peranan *Maintenance* Dalam Menunjang Kualitas Kain dan Efisiensi Produksi Mesin Pertenunan, Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil, Bandung.

Beberapa penelitian tersebut di atas pada umumnya hanya menggunakan 3 level dengan 3 faktor serta hanya untuk satu *respon* saja apakah putus benang lusinya atau jumlah produksinya. Sedangkan perbedaan dengan penelitian ini adalah pada faktor yang lebih banyak (ada empat faktor) dan untuk dua *respon* untuk dicari yang optimal yaitu jumlah putus benang dan jumlah produksi.