

BAB II

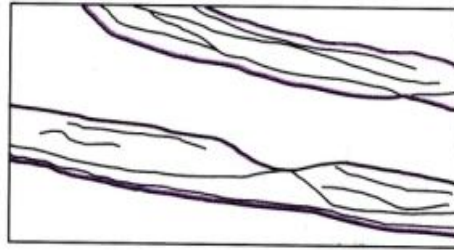
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Serat Kapas

Serat kapas termasuk jenis serat yang banyak digunakan untuk bahan tekstil. Serat ini dihasilkan dari biji tanaman jenis *Goesypium* yang termasuk dalam keluarga Malvaceace. Serat kapas terutama tersusun atas selulosa, dimana selulosa mengandung tiga gugusan hidroksil. Gugus hidroksil menyebabkan selulosa bersifat hidroskopis dan reaktif terhadap zat-zat kimia. Kekuatan serat kapas dalam kondisi basah lebih tinggi daripada kondisi kering. Hal ini disebabkan distribusi tegangan dalam serat tidak merata pada kondisi kering karena serat dalam keadaan terpuntir. Kondisi basah serat menggelembung membentuk silinder yang diikuti naiknya derajat orientasi, sehingga distribusi tegangan lebih merata dan kekuatan naik. Ketahanan serat kapas terhadap pereaksi asam yang berlebih menyebabkan kerusakan serat (*hidrosetulosa*). Sementara ketahanan terhadap pereaksi alkali yang berlebih juga akan menyebabkan kerusakan serat (*oksiselulosa*). (Supriyono dkk, 1978)

2.1.1 Morfologi serat kapas

Bentuk penampang membujur pada serat kapas adalah pipih seperti pita terpuntir ke arah panjang. Sedangkan penampang melintang serat kapas sangat bervariasi, dari pipih sampai bulat tetapi pada umumnya berbentuk seperti ginjal.



Gambar 2.1. Penampang membujur serat kapas
(Sumber : Winarni C, 1978)

Bentuk penampang membujur serat kapas terdiri dari 3 bagian :

a. Dasar

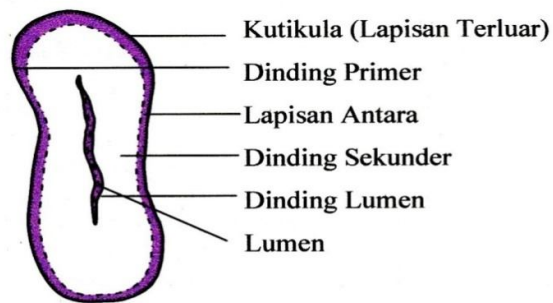
Berbentuk kerucut pendek yang selama pertumbuhan serat tetap tertanam diantara sel-sel epidermis (selaput biji luar), pada umumnya dasar serat ini putus dalam pemisahan serat dari bijinya.

b. Badan

Merupakan bagian utama serat, kira-kira $\frac{3}{4}$ - $\frac{15}{16}$ panjang serat. Bagian ini mempunyai diameter yang sama, dinding serat tebal dan lumen yang sempit.

c. Ujung

Merupakan bagian yang lurus dan mulai mengecil. Pada umumnya kurang dari $\frac{1}{4}$ bagian panjang serat. Ujung serat mempunyai sedikit konvolusi dan tidak mempunyai lumen. Diameter lebih kecil dari pada diameter badan dan berakhir dengan ujung yang runcing.



Gambar 2.2 Penampang melintang serat kapas
(Sumber : Winarni C, 1978)

Bentuk penampang melintang serat kapas terdiri dari 6 bagian:

- a. Kutikula : lapisan luar yang mengandung lilin, pektin dan protekin.
- b. Dinding primer : dinding sel tipis terdiri dari selulosa, pektin, protekin, dan lilin. Tebal dinding primer kurang dari 0,5 mikron. Selulosa pada dinding primer berbentuk benang yang sangat halus (fibril).
- c. Lapisan antara : lapisan diantara dinding primer dan sekunder.
- d. Dinding sekunder : lapisan selulosa, merupakan bagian utama serat kapas, berupa lapisan yang sangat halus.
- e. Dinding lumen : dinding lumen lebih tahan terhadap pereaksi kimia dibanding dengan dinding sekunder.
- f. Lumen : ruangan kosong dalam serat.

Bentuk dan ukurannya bervariasi, lumen berisi zat-zat padat sisa protoplasma yang sudah mengering. Sebagian besar komposisinya adalah nitrogen.

2.1.2 Komposisi Serat Kapas

a. Sellulosa

Serat kapas tersusun atas selulosa. Selulosa merupakan polimer linier yang tersusun dari kondensasi molekul-molekul glukosa. Derajat polimerisasi pada kapas kira-kira 10.000 dengan berat molekul kira-kira 1.500.000.

b. Pektat (pektin)

Pektin merupakan karbohidrat dengan berat molekul tinggi dan terdiri dari sisa-sisa asam dan garam-garam besi yang tidak larut. Pektin dalam serat kapas dapat dihilangkan dengan pemasakan menggunakan larutan hidoksida. Hilangnya pektin dalam serat kapas tidak akan mempengaruhi kekuatan dan kesusakan serat.

c. Protein

Protein dalam serat kapas adalah merupakan sisa-sisa protoplasma yang tertinggal dalam lumen setelah selnya mati ketika buah membuka. Misalnya nitrogen.

d. Lilin

lilin merupakan lapisan pelindung tahan air untuk serat kapas. Lilin seluruhnya terletak pada dinding primer. Dengan adanya lilin tersebut akan mempermudah proses pemintalan benang, karena berfungsi sebagai pelumas. Namun dapat mengurangi gesekan antara serat yang berakibat kekuatan benang menjadi rendah.

e. Abu

Abu berasal dari bagian daun, kulit, dan kotoran-kotoran yang menempel pada serat. Abu terdiri dari komponen magnesium, kalsium, atau kalium karbonat fosfat, sulfat atau khlorida dan bagian yang paling besar adalah garam-garam karbonat

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Serat Kapas

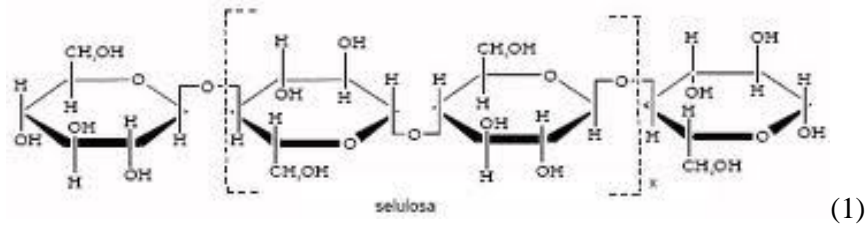
Komposisi dalam serat kapas	% terhadap berat kering
Sellulosa	94
Pektin	0,7-1,2
Protein	1,1-1,9
Lilin dan lemak	0,4-1
Mineral	0,7-1,6
Logam berat	0,05
Pigmen	1,7
Abu	1,2

(Sumber : Supriyono dkk, 1978)

2.1.3 Struktur Kimia Serat Kapas

Struktur kimia serat kapas merupakan polimer linier yang tersusun dari kondensasi molekul-molekul anhidro glukosa yang dihubungkan oleh jembatan oksigen.

Selulosa mempunyai rantai molekul yang panjang terdiri dari mata rantai terbuka yang terdiri dari buah anhidrida glukosa sehingga susunan sebenarnya adalah $n(C_6H_{10}O_6) - (n-1)H_2O$.



Gambar 2.3 Struktur kimia serat-serat selulosa
(Sumber : Supriyono dkk, 1978)

2.1.4 Sifat serat kapas

a. Sifat Fisika

1) Warna

Warna serat kapas biasanya sedikit krem, karena pengaruh cuaca yang lama, debu, dan kotoran akan menyebabkan warna putih kebiru-biruan yang tidak hilang dalam pemutihan.

2) Kekuatan

Dalam keadaan basah kekuatan serat kapas tinggi karena dalam keadaan basah serat kapas mengembang membentuk silinder, diikuti dengan naiknya derajat orientasi, sehingga distribusi tegangan lebih rata dan kekuatan serat naik.

3) Mulur

Mulur serat kapas berkisar antara 4-13% tergantung pada jenisnya, dengan mulur rata-rata 7%.

4) Keliatan

Diantara serat-serat alam, keliatan serat kapas relatif lebih tinggi, tetapi dibandingkan serat selulosa kekuatannya lebih tinggi.

5) Kandungan uap air (Moisture Regain)

Serat kapas mempunyai afinitas yang besar terhadap air dan air juga mempunyai pengaruh yang nyata pada sifat-sifat serat. Serat kapas yang sangat kering bersifat kasar, rapuh, dan kekakuannya rendah. Pada kondisi standar Moisture Regain kapas berkisar 7-8,5%.

6) Berat jenis

Berat jenis kapas berkisar antara 1,50-1,56

7) Indeks bias

Indeks bias serat kapas sejajar sumbu serat 1,56 dan indeks melintang sumbu serat 1,53.

b. Sifat Kimia

Serat kapas pada umumnya tahan penyimpanan dan pengerjaan proses dengan kondisi normal. Serat kapas ini tidak tahan terhadap pengerjaan dengan menggunakan oksidator yang akan berakibat menurunnya kekuatan dari serat kapas itu sendiri.

Kerusakan oleh karena oksidator ini disebut oksiselulosa yang biasanya terjadi dalam proses pemutihan yang berlebihan, penyinaran dalam keadaan lembab, pemanasan yang lambat diatas temperature 140°C .

Serat kapas juga tidak tahan terhadap proses menggunakan asam yang akan mengakibatkan hidroselulosa. Asam-asam kuat akan mengakibatkan degradasi dengan cepat sedangkan asam yang encer yang dibiarkan mongering pada serat akan mengakibatkan kekuatan menurun.

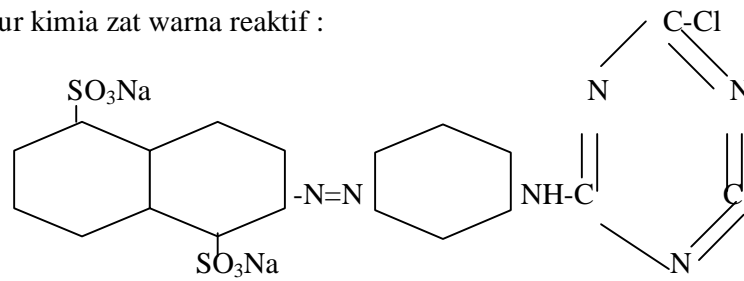
2.2. Zat Warna Reaktif

Zat warna reaktif adalah zat warna yang dapat mengadakan reaksi dengan serat membentuk ikatan kovalen sehingga zat warna tersebut menjadi bagian dari serat. Hal ini menyebabkan hasil pencelupan mempunyai nilai ketahanan luntur warna yang baik.

2.2.1 Struktur kimia zat warna reaktif

Struktur kimia zat warna reaktif terdiri dari gugusan-gugusan dengan fungsi-fungsi tertentu. Gugusan reaktifnya merupakan bagian dari zat warna yang mudah lepas sehingga bagian yang berwarna mudah mengadakan reaksi dengan serat.

Struktur kimia zat warna reaktif :



S - K - P - R - X (2)

Gambar 2.4 Struktur kimia zat warna reaktif
(Sumber : Rasjid, dkk,1980, h 183)

S = gugusan pelarut, misalnya gugusan asam sulfonat

K = gugusan khromofor, misalnya gugusan azo, sulfoamida dan amida

P = gugusan penghubung antara khromofor dengan system reaktif, misalnya amina

R = system yang reaktif, misalnya triazin, vinyl dan kinoksalin

X = gugusan reaktif, misalnya gugusan khlor dan sulfat

Dalam perdagangan, zat warna reaktif mempunyai istilah-istilah tertentu, misalnya zat warna Chloranyl Blue H-ERD. Pengertiannya adalah :

Chloranyl = zat warna reaktif yang mempunyai sistem reaktif monoklorotriazin

Blue = warna dominan biru

H (Hot) = kondisi proses panas

E (Exhaust) = sistem proses exhaust/ perendaman

R (Red) = arah warna kemerah-merahan

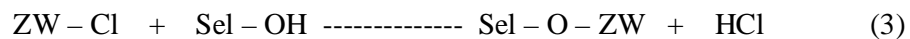
D (Duller) = menunjukkan tingkat kecerahan

2.2.2 Mekanisme reaksi zat warna reaktif

Mekanisme pencelupan zat warna reaktif dengan serat selulosa dapat digambarkan sebagai penyerapan unsur positif pada zat warna reaktif oleh gugusan

hidroksil pada selulosa yang terionisasi. Dengan demikian untuk dapat bereaksi, zat warna reaktif memerlukan penambahan alkali yang berguna untuk mengatur suasana yang cocok untuk bereaksi, mendorong pembentukan ion selulosa dan menetralkan asam-asam hasil reaksi. Mekanisme pencelupan zat warna reaktif terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah tahap penyerapan zat warna ke dalam serat. Pada tahap ini diharapkan seluruh kandungan serat terisi oleh molekul zat warna reaktif. Tahap kedua adalah tahap fiksasi, yaitu terjadinya ikatan kovalen antara zat warna reaktif dengan serat selulosa. (Rasjid dkk, 1980, h 187)

Reaksi terjadinya ikatan antara zat warna reaktif dengan serat selulosa dapat ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Reaksi zat warna reaktif dengan serat selulosa
(Sumber : Isminingsih, 1978, h 111)

2.2.3 Penggolongan zat warna reaktif

Menurut cara pemakaiannya, zat warna reaktif dapat digolongkan menjadi dua golongan yaitu :

1. Pemakaian secara dingin, yaitu untuk zat warna reaktif yang mempunyai reaktifitas tinggi, misalnya Procion MX dan Chloranyl M. Zat warna golongan ini mempunyai sistem reaktif dikloro triazin.
2. Pemakaian secara panas, yaitu untuk zat warna reaktif yang mempunyai reaktifitas rendah, misalnya Procion HX , Chloranyl H dengan sistem reaktif mono-kloro-triazin, Remazol dengan system reaktif vinil sulfon.

2.2.4 Sistem pencelupan zat warna reaktif

Proses pencelupan zat warna reaktif dapat dilakukan dengan menggunakan tiga sistem pencelupan, yang meliputi :

1. Sistem exhaust,

Penggunaan system exhaust yaitu untuk proses pencelupan dengan cara merendam kain ke dalam larutan pencelupan dalam waktu dan temperature proses yang telah ditentukan. Mesin pencelupan yang digunakan pada system pencelupan ini, misalnya Jigger, Haspel dan Jet dyeing.

2. Sistem semi kontinyu

Karena daya serap yang rendah pada tahap penyerapan dalam larutan celup yang netral, maka zat warna reaktif sangat sesuai untuk dicelupkan secara kontinyu ataupun semi kontinyu. Cara pencelupan pada sistem semi kontinyu diawali dengan mewarnai kain secara pad-rol dengan larutan celup zat warna reaktif. Kemudian kain diputar dalam bentuk gulungan rol (batching) selama 24 jam. Akhirnya dicuci dan dikerjakan pencucian dengan sabun. Gulungan kain dalam rol sebaiknya ditutup dengan bahan dari polyetilen untuk menghindarkan pengeringan, terutama pengeringan setempat.

3. Sistem kontinyu

Terdapat beberapa cara pencelupan zat warna reaktif secara kontinyu, dan pada umumnya merupakan modifikasi dari pencelupan secara semi kontinyu. Mula-mula kain diwarnai secara pad-rol dengan larutan celup zat warna reaktif, kemudian kain dilewatkan pada rol pengering yang bertujuan untuk mencegah migrasi zat warna dan sekaligus sebagai media penetrasi zat warna ke dalam serat. Untuk

proses fiksasi zat warna reaktif, maka kain dilewatkan pada ruang penguapan (steam) atau pada ruang pemanas-awetan (curing). Akhirnya dikerjakan pencucian dengan sabun.

2.2.5 Faktor-faktor yang berpengaruh pada pencelupan zat warna reaktif

1. Waktu fiksasi

Dalam pencelupan zat warna reaktif dikenal dengan waktu penyerapan dan waktu fiksasi. Waktu penyerapan adalah waktu yang dibutuhkan terserapnya zat warna reaktif kedalam serat secara optimal. Waktu fiksasi adalah waktu yang dibutuhkan secara optimal terjadinya ikatan kovalen antara zat warna reaktif dengan serat selulosa. Penelitian Damayanti (2007, h 23), fiksasi merupakan proses ikatan antara zat warna dengan serat. Waktu fiksasi sangat mempengaruhi kekuatan ikatan dimana waktu yang terlalu pendek akan menghasilkan ikatan yang lemah, sedang waktu fiksasi yang terlalu lama akan menyebabkan hidrolisa zat warna reaktif sehingga dibutuhkan waktu fiksasi yang optimal.

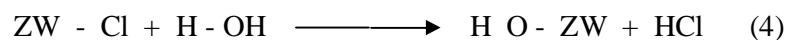
2. Konsentrasi Elektrolit.

Pada pencelupan zat warna reaktif fungsi elektrolit adalah menambah penyerapan zat warna untuk masuk kedalam serat. Ikatan antara zat warna reaktif dengan serat selulosa yang timbul karena gaya tarik menarik antar muatan sering mengalami hambatan, sehingga penetrasi zat warna akan terhalang. Oleh karena itu perlu penambahan zat-zat yang berfungsi menghilangkan atau mengurangi sifat negative dari serat selulosa atau zat warna reaktif tersebut, sehingga bisa saling mendekat dan gaya-gaya non polar dapat bekerja lebih baik. Maka pada pencelupan serat selulosa perlu penambahan elektrolit, misalnya Garam dapur (NaCl) atau

Garam glauber (Na_2SO_4). Hasil penelitian Irfan (2004, h 17), menjelaskan bahwa pemakaian konsentrasi elektrolit tidak hanya mempengaruhi penyerapan zat warna reaktif kedalam serat kapas ,tetapi juga mempengaruhi nilai ketahanan luntur warna hasil pencelupan.

3. Temperatur Proses

Temperatur proses berfungsi untuk mempercepat proses penyerapan zat warna kedalam serat, menurunkan jumlah zat warna yang terserap kedalam serat, mempercepat migrasi yakni perataan zat warna dari bagian-bagian yang tercelup tua ke bagian-bagian yang tercelup lebih muda sehingga terjadi kesetimbangan, mendorong terjadinya reaksi antara serat selulosa dengan zat warna reaktif. Hasil penelitian Safira (2009, h 17) menjelaskan bahwa temperatur proses pencelupan dengan zat warna reaktif disamping berpengaruh terhadap ketuaan warna ,juga berpengaruh terhadap nilai ketahanan luntur warna. Disamping terjadi reaksi antara zat warna reaktif dengan serat selulosa, molekul airpun juga mengadakan reaksi hidrolisa dengan molekul zat warna reaktif, dengan memberikan komponen zat warna yang tidak reaktif lagi. Reaksi hidrolisa tersebut akan bertambah cepat dengan kenaikan temperatur.



Gambar 2.6 Reaksi hidrolisa zat warna reaktif dengan air
(Sumber : Isminingsih, 1978, h 111)

4. Konsentrasi Alkali

Alkali berfungsi sebagai fiksator yaitu media terjadinya ikatan antara zat warna reaktif dengan serat selulosa. Dalam pencelupan dengan zat warna reaktif perlu penambahan alkali yang berguna untuk mengatur suasana yang cocok untuk bereaksi, mendorong pembentukan ion selulosa dan menetralkan asam-asam hasil reaksi. Penelitian Reni (2008, h 12) menjelaskan, bahwa konsentrasi alkali berpengaruh terhadap nilai ketahanan luntur warna terhadap pencucian dan gosokan. Penggunaan konsentrasi alkali yang berlebihan akan menyebabkan terjadinya Hidrolisa zat warna reaktif, dimana zat warna reaktif tidak mengadakan reaksi dengan serat selulosa, tapi bereaksi dengan alkali. Sehingga zat warna reaktif sudah tidak mempunyai reaktifitas lagi.



Gambar 2.7 Reaksi hidrolisa zat warna reaktif dengan alkali
(Sumber : Isminingsih, 1978, h 111)

5. Konsentrasi zat higroskopis

Zat Higroskopis pada pencelupan zat warna reaktif panas perlu ditambahkan kedalam larutan celupannya. Hal ini disebabkan zat higroskopis selain berfungsi untuk menjaga kelembaban larutan zat warna yang terserap pada kain, juga berfungsi untuk menambah kelarutan zat warna reaktif. Penelitian Subiyati (2009, h 26) menjelaskan, bahwa pengaruh konsentrasi zat higroskopis (Urea) sangat tampak pada bahan-bahan dari Rayon Viscosa, yaitu dalam hal ketahanan warna dan ketahanan luntur warna pada pencucian.

Selain digunakan pada pencelupan dengan sistim exhaust, zat higroskopis dapat pula digunakan pada sistem pencelupan kontinyu yaitu cara Pad – Steam. Kain setelah diwarnai secara Pad , dilakukan ke kamar uap selama 5 – 15 detik.

6. Wet Pick Up (WPU)

Pada pencelupan zat warna reaktif panas dengan sistim kontinyu, faktor Wet Pick Up berpengaruh pada jumlah zat warna yang terserap kedalam kain. Banyak sedikitnya zat warna reaktif panas ditentukan oleh nilai presentase Wet Pick Up maka zat warna reaktif panas yang terserap kedalam kain semakin banyak mengakibatkan warna hasil pencelupan menjadi tua. Nilai presentase Wet Pick Up kecil, maka hasil pencelupan akan menjadi muda.

$$\text{Wet Pick Up} = \frac{\text{Berat basah} - \text{Berat awal}}{\text{Berat awal}} \times 100 \% \quad (6)$$

(Sumber : Didik, 2007, h 16)

Keterangan :

- Wet Pick Up (WPU) = nilai prosentase yang digunakan sebagai ukuran banyaknyazat warna yang terserap kedalam kain setelah melewati rol padder
- Berat basah = berat kain setelah melewati rol padder
- Berat awal = berat kain kering sebelum melewati rol padder

2.3 Pengujian Ketahanan luntur warna terhadap pencucian

Tahan luntur warna terhadap pencucian mempunyai arti yang sangat penting dalam pemakaian bahan tekstil sehari-hari. Pengujiaannya dapat dilakukan dengan beberapa cara, disesuaikan dengan penggunaan dari bahan tekstil tersebut. Cara pengujian ketahanan luntur warna terhadap pencucian adalah metoda pengujian tahan luntur warna bahan tekstil dalam larutan pencuci, untuk mendapatkan nilai perubahan warna dan penodaan pada kain pelapis. Prinsip pengujian ketahanan luntur warna terhadap pencucian yaitu dengan mencuci sehelai kain yang diambil dari contoh uji dengan ukuran 10 cm x 4 cm kemudian dijahitkan diantara dua sisi helai kain putih dengan ukuran yang sama, dibilas dan dikeringkan. Perubahan warna contoh uji dan penodaan warna pada kain pelapis putih, dinilai dengan menggunakan standar skala abu-abu dan skala penodaan atau alat uji Spectrophotometer.

2.3.1 Peralatan, bahan dan pereaksi

1. Launderometer atau alat sejenis yang dilengkapi dengan :
 - Penangas air dengan pengatur temperatur yang terkontrol, ketelitian kurang lebih 2⁰C.
 - Tabung baja tahan karat berkapasitas 550 ml kurang lebih 50 ml, berdiameter 75 mm kurang lebih 5 mm dan tinggi 125 mm kurang lebih 10 mm.
 - Frekwensi putaran tabung 40 putaran kurang lebih 2 putaran per menit.
2. Kelereng baja tahan karat dengan diameter kurang lebih 6 mm.
3. pH meter dengan ketelitian 0,1

4. Neraca analisis dengan ketelitian 0,1 g
5. Kain pelapis masing-masing berukuran 100 mm x 4 mm. dapat digunakansalah satu dari jenis berikut : kain pelapis multi serat DW, atau kain multi serat TV, atau pasangan kain pelapis tunggal yang disusun sesuai tabel 2.2

Tabel. 2.2

Pasangan Kain pelapis tunggal.

Kain pelapis pertama	Kain pelapis kedua (pasangan)
Kapas	Wol
Wol	Kapas
Sutera	Kapas
Rayon Viscosa	Wol
Linen	Wol
Asetat/triasetat	Rayon Viscosa
Poliamida	Wol atau Kapas
Poliester	Wol atau Kapas
Akrilat	Wol atau Kapas

(Sumber : SNI 08-0285-1998)

Catatan :

- Kain pelapis pertama adalah kain yang sejenis dengan jenis serat contoh uji
- Untuk contoh uji yang terbuat dari serat campuran, kain pelapis pertama dipakai kain pelapis tunggal yang sejenis dengan jenis serat yang dominan.

6. Standar skala abu-abu dan Standar skala penodaan atau

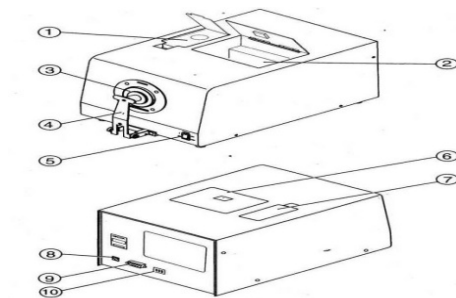
Spectrophotometer 3600 d

7. Kain yang tidak dapat tercelup (misalnya polipropilena), bila diperlukan. .

8. Air suling

9. Sabun tanpa pemutih optik seperti sabun standar AATCC atau sabun ECE
10. Natrium Karbonat, bila diperlukan.
11. Natrium Hipoklorit atau litium hipoklorit, bila diperlukan.
12. Natrium Perborat Setrahidrat, bila diperlukan
13. Larutan 0,2 g/l asam asetat glacial.

2.3.2 Peralatan uji perubahan warna dan penodaan warna



Gambar 2.8 Bagian-bagian dan fungsi alat uji Spectrophotometer 3600 d

(Sumber : Instrucion Manual Spectrophotometer 3600 d)

Keterangan :

1. Viewfinder : Tempat untuk mengamati posisi contoh uji dalam pengukuran reflektansi
2. Transmission Chamber : Tempat untuk menyimpan contoh uji yang berupa cairan
3. Target Mask : Tempat untuk menentukan area ukur contoh uji yang berupa kain
4. Sample holder : penjepit yang berfungsi untuk mengunci contoh uji yang berupa kain, piring kalibrasi putih atau kotak nol kalibrasi

5. Power Switch : saklar untuk menghidupkan dan mematikan Spectrophotometer 3600 d
6. Specimen Chamber Cover : penutup ruang contoh uji yang berupa larutan.
7. Viewfinder cover : penutup pada bagian viewfinder.
8. AC Adaptor In put Socked : digunakan untuk menghubungkan adaptor AC dengan Spectrophotometer 3600 d
9. RS – 232 C Connector : digunakan untuk menghubungkan kabel RS – 232 C dengan Spectrophotometer 3600 d
10. DIP Switch : digunakan untuk menghubungkan antara Spectrophotometer 3600 d dengan komputer.

2.4. Kualitas dan Pengendalian kualitas

Menurut definsi konvensional, kualitas biasanya menggambarkan karakteristik langsung dari suatu produk seperti performansi (*performance*), kehandalan (*reliability*), mudah dalam penggunaan (*easy to use*), estetika (*esthetics*) dan sebagainya. Menurut definisi strategik, kualitas adalah segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan pelanggan (*meeting the needs of customers*) (Gaspersz, 2001).

Kualitas menurut Taguchi ada dua segi umum, yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan. Kualitas rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja. Kualitas kecocokan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang diisyaratkan oleh

rancangan. Kualitas kecocokan itu dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk pemilihan proses pembuatan, latihan dan pengawasan kerja, jenis sistem jaminan kualitas (pengendalian proses, uji, aktivitas pemeriksaan, dan sebagainya) yang digunakan, seberapa jauh prosedur jaminan kualitas ini diikuti dan motivasi kerja untuk mencapai kualitas (Soejanto 2009, h 3).

Pengendalian kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Aktivitas pengendalian kualitas mencakup dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses produksi, dan kepuasan konsumen. Pengendalian kualitas dibedakan menjadi dua bagian :

2.4.1 Pengendalian Kualitas Secara *Off-Line*

Pada bagian ini perancangan eksperimen merupakan peralatan yang sangat fundamental, dimana teknik ini mengidentifikasi sumber dari variasi dan menentukan perancangan dan proses yang optimal. Pengendalian kualitas secara *off-line* dibagi menjadi 3 (tiga) tahap (Glen Stuart Peace, 1993):

1). Tahap I: Perancangan Konsep

Tahap ini berhubungan dengan pemunculan ide dalam kegiatan perancangan dan pengembangan produk, dimana ide tersebut dari keinginan konsumen.

Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain :

- a. *Quality Function Deployment* : menterjemahkan keinginan konsumen ke dalam istilah teknis.

- b. *Dinamic Signal-to-Noise Optimization*: teknik untuk mengoptimalkan *engineering function*, resulting in *robust*, dan *tunable technology*.
- c. *Theory of Inventive Problem Solving* : Suatu koleksi tool yang didapat dari analisa literature yang berguna untuk membangkitkan pemecahan masalah teknis yang inovatif.
- d. *Design of Experiments* : Eksperimen faktorial penuh dan faktorial parsial untuk dapat mengetahui efek dari beberapa parameter serentak.
- e. *Competitive Technology Assesment* : melakukan *benchmark* terhadap sifat *robustnees* dari teknologi pengembangan internal dan eksternal.
- f. *Pugh Concept Selection Process* : Mengumpulkan dan menyajikan informasi dari suatu *system expert*, dengan membandingkan beberapa keunggulan dan kualitas dari berbagai konsep untuk dikembangkan sehingga didapat konsep yang superior.

2). Tahap II: Perancangan Parameter

Tahap ini berfungsi untuk mengoptimalisasi level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor lain sehingga produk yang ditimbulkan dapat tangguh terhadap noise. Karena itu perancangan parameter sering disebut sebagai *Robust Design*.

Model atau metode yang digunakan dalam tahap ini antara lain :

- a. *Engineering Analysis* : Menggunakan pelatihan, pengalaman, dan percobaan untuk menemukan variabilitas dan respon yang efektif.
- b. *The System P-Diagram* : Suatu model yang tangguh untuk menggambarkan dan menggolongkan berbagai parameter yang mempengaruhi *output system*.

- c. *Dynamic and Static Signal-to-Noise Optimization* : Mengoptimalkan suatu perancangan parameter untuk mengurangi variabilitas dengan menggunakan perhitungan rasio *signal-to-noise*.
 - d. *Crossed Array Experiment* : Sebuah perancangan eksperimen khusus dengan cara memanfaatkan interaksi antara faktor kendali dan faktor derau sehingga membuat sistem lebih tangguh.
- 3). Tahap III: Perancangan Toleransi
- Merupakan tahap terakhir dimana dibuat matrik *orthogonal*, *loss function*, dan ANOVA untuk menyeimbangkan biaya dan kualitas dari suatu produk.
- Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain :
- a. *Quality Loss Function* : Persamaan yang menghubungkan variasi dari performansi biaya produk dengan level deviasi dari target.
 - b. *Analysis of Variance (ANOVA)* : Suatu teknis statistik yang secara kuantitatif menentukan kontribusi variasi total, yang dibentuk dari setiap faktor derau dan faktor kendali.
 - c. *Design of Experiments* : Eksperimen faktorial penuh dan faktorial parsial untuk dapat mengetahui efek dari beberapa parameter secara serentak.

2.4.2 Pengendalian Kualitas Secara *On-Line*

Pengendalian kualitas secara *on-line* merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dalam menjaga agar biaya produksi menjadi rendah dan secara langsung pula dapat meningkatkan kualitas produk.

Pengendalian kualitas secara *on-line* ini juga dapat mengontrol mesin – mesin

produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pada mesin – mesin produksi tersebut. Beberapa model yang digunakan dalam melakukan pengendalian kualitas secara *on-line* :

- a. *Statistical Process Control* : Melakukan pengamatan, pengendalian, dan pengujian pada tiap tahap proses produksi agar dapat terjadi penyimpangan yang cukup besar.
- b. *Static Signal-to-Noise Ratio* : Mereduksi variasi dengan menggunakan aplikasi dari robust design untuk memecahkan permasalahan dalam proses produksi.
- c. *Compensation* : Berbagai rencana pengendalian untuk menjaga agar proses yang terjadi sesuai dengan target.
- d. *Loss Function-Based Process Control* : Pengurangan terhadap seluruh biaya produksi termasuk biaya per unit, biaya inspeksi, dan biaya set-up yang diperlukan dalam pengendalian proses serta *quality loss* yang diakibatkan oleh sisa variasi pada output.

2.5 Perancangan Eksperimen (*Design Experiment*)

Design experiment adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah atau tindakan yang betul–betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan (Sudjana,1991). Disain suatu eksperimen bertujuan untuk memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak – banyaknya yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang akan dibahas. Penelitian hendaknya dilakukan se-efisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga

dan bahan yang harus digunakan dan *design experiment* yang dibuat harus sesederhana mungkin. Jadi jelas hendaknya, bahwa *design experiment* berusaha untuk memperoleh informasi yang maksimum dengan menggunakan biaya yang minimum.

2.6 Prinsip Dasar dalam *Design Experiment*

Prinsip prinsip dasar dalam *design experiment*, antara lain:

1. Replikasi

Replikasi diartikan sebagai pengulangan eksperimen dasar. Dalam kenyataannya replikasi diperlukan oleh karena dapat :

- a. Memberikan tafsiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfidens atau dapat digunakan sebagai “*satuan dasar pengukuran* “ untuk penetapan taraf signifikan daripada perbedaan-perbedaan yang diamati.
- b. Menghasilkan 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, asumsi–asumsi tertentu perlu diambil dan dipenuhi agar supaya pengujian yang dilakukan menjadi berlaku. Salah satu diantaranya adalah bahwa pengamatan–pengamatan berdistribusi secara *independent*. Asumsi ini sukar untuk dapat dipenuhi, akan tetapi dengan jalan berpedoman kepada prinsip sampel acak yang diambil dari sebuah populasi atau berpedoman pada perlakuan acak

terhadap unit eksperimen, maka pengujian dapat dijalankan seakan-akan asumsi yang telah diambil terpenuhi. Pengacakan memungkinkan untuk melanjutkan langkah-langkah berikutnya dengan anggapan soal *independent* menjadi suatu kenyataan.

3. Kontrol Lokal

Kontrol lokal merupakan sebagian daripada keseluruhan prinsip-prinsip *design* yang harus dilaksanakan. Biasanya merupakan langkah-langkah yang berbentuk penyimpangan, pengelompokan dan pemblokkan unit-unit eksperimen yang digunakan dalam desain. (Sudjana, 1991)

2.7 Langkah-Langkah dalam Melaksanakan Perancangan Eksperimen (*Design Experiment*)

Langkah-langkah dalam melaksanakan perancangan eksperimen, sebagai berikut (Sudjana, 1991) :

- a. Menyatakan mengenai masalah atau persoalan yang akan dibahas.
- b. Merumuskan hipotesa.
- c. Menentukan teknik dan desain eksperimen yang diperlukan.
- d. Memeriksa semua hasil yang mungkin dan latar belakang atau alasan supaya eksperimen setepat mungkin memberikan informasi yang diperlukan.
- e. Mempertimbangkan semua hasil yang ditinjau dari prosedur statistika yang diharapkan berlaku untuk itu.
- f. Melakukan eksperimen.
- g. Penggunaan teknik statistika terhadap data hasil eksperimen.

- h. Mengambil kesimpulan dengan jalan menggunakan atau memperhitungkan derajat kepercayaan yang wajar mengenai satuan – satuan yang dinilai.
- i. Membandingkan kualitas proses yang baru dengan proses yang lama

Perancangan eksperimen (design experiment) terdiri dari dua macam yaitu perancangan eksperimen konvensional dan perancangan eksperimen Taguchi. Perancangan 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.

2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan pertama kali oleh Dr Genichi Taguchi pada saat pertemuan yang diselenggarakan oleh AT & T, sebuah perusahaan telekomunikasi terkemuka di Amerika Serikat. Dia merupakan seorang konsultan pengendalian kualitas dari Jepang . 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 variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen (Glen Stuart Peace,1993).

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 seperangkat 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. Bagian terpenting dari metode *Orthogonal Array* terletak pada pemilihan kombinasi level variabel-variabel input untuk masing-masing percobaan.

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

1. Kualitas harus didesain 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 harus diukur pada seluruh sistem.

2.8.1 Proses Perancangan Parameter

Dalam rancangan percobaan klasik menganggap bahwa semua faktor sebagai penyebab variasi. Jika faktor-faktor tersebut dikendalikan atau dihilangkan maka variasi dapat dikurangi sehingga kualitas meningkat. Tetapi tidak semua faktor yang berpengaruh dapat dikendalikan tanpa mengeluarkan biaya, sehingga diperlukan pendekatan lain untuk meningkatkan kualitas. Pendekatan yang digunakan oleh Taguchi dinamakan perancangan parameter. Taguchi membagi upaya untuk meningkatkan kualitas atas 3 (tiga) hal, yaitu :

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

2.8.2 Rasio Signal Terhadap Noise (S/N Ratio)

S/N ratio adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Ada beberapa jenis S/N rasio, yaitu :

1. *Smaller –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 (Belavendram, 1995).

Nilai S/N untuk jenis karakteristik STB adalah :

$$S/N_{STB} = -10 \text{Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (7)$$

Dimana :

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

y_i = nilai respon dari cuplikan ke – i untuk jenis eksperimen tertentu

2. *Larger-the-Better* (LTB)

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{LTB} = -\text{Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (8)$$

3. *Nominal-the-Best* (NTB)

Karakteristik kualitas dimana ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tertentu tersebut maka kualitasnya semakin baik.

Nilai S/N untuk jenis karakteristik NTB adalah :

$$\eta = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \quad (9)$$

Dimana:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Dimana :

η = signal to noise ratio yang memiliki satuan decibell

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

y_i = nilai respon dari cuplikan ke – i untuk jenis eksperimen tertentu

2.8.3 Faktor Terkendali dan Faktor *Noise*

Taguchi mengembangkan faktor perancangan dan pengembangan produk atau proses ke dalam dua kelompok yaitu faktor terkendali dan faktor *noise*. Faktor terkendali adalah faktor yang ditetapkan (atau dapat dikendalikan) oleh produsen selama tahap perancangan produk atau proses dan tidak dapat diubah oleh konsumen. Sedangkan faktor *noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen. Faktor *noise* dapat dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu :

1. Faktor *noise eksternal*

Diartikan sebagai sumber-sumber variabilitas yang berasal dari luar produk.

2. Faktor *noise* dari unit ke unit

Merupakan hasil dari produksi dimana selalu ada perbedaan dari setiap item yang sejenis yang telah diproduksi. Disebut juga sebagai variasi toleransi

3. Faktor *noise* deteriorasi

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, penanganan faktor *noise* melalui 3 (tiga) cara, yaitu :

- a. Dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing percobaan
- b. Dengan memasukkan faktor *noise* tersebut kedalam percobaan dengan menempatkannya diluar faktor terkendali
- c. Dengan menganggap faktor terkendali bervariasi

2.8.4 Perancangan Eksperimen Taguchi

Perancangan eksperimen merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu (Glen S.P, 1993).

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 dan 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. Pemasukkan 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

2.9 Penentuan dan Pemilihan *Orthogonal Array*

2.9.1 Derajat Bebas (*Degree of Freedom*)

Derajat bebas merupakan banyaknya perbandingan yang harus dilakukan antar level–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 dengan 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. Untuk menentukan *Orthogonal Array* yang diperlukan maka dibutuhkan perhitungan derajat kebebasan adalah sebagai berikut :

Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B

$$\begin{aligned} V_A &= (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ &= k_A - 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= (\text{jumlah level faktor B}) - 1 \\ &= k_B - 1 \end{aligned}$$

Untuk interaksi, misal interaksi A dan B

$$V_{A \times B} = (k_A - 1)(k_B - 1)$$

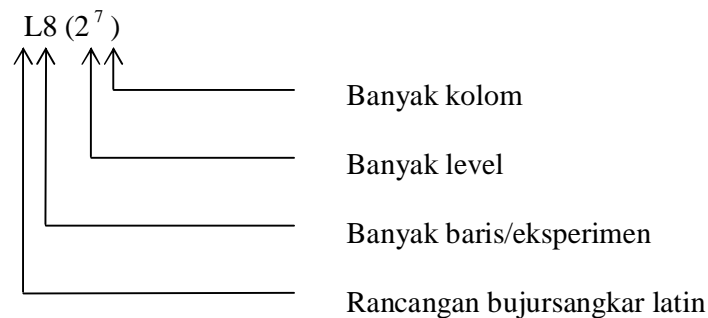
Nilai derajat bebas total =

$$(k_A - 1) + (k_B - 1) + (k_A - 1)(k_B - 1)$$

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

2.9.2 Orthogonal Array

Matrik 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 2.9 Notasi *Orthogonal Array*

a. Notasi L

Notasi L menyatakan informasi mengenai *Orthogonal Array*.

b. Nomor Baris

Menyatakan jumlah percobaan yang dibutuhkan ketika menggunakan *Orthogonal Array*.

c. Nomor Level

Menyatakan jumlah level faktor.

d. Nomor Kolom

Menyatakan 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 (Belavendram, 1995). Dalam memilih *array orthogonal* yang sesuai untuk suatu eksperimen tertentu disyaratkan agar $V_{OA} \geq V_{fl}$, dengan V_{fl} : derajat bebas level faktor (Belavendram, 1995). Derajat bebas *array orthogonal* (V_{OA}) selalu kurang 1 dari banyaknya eksperimen.

$$V_{OA} = n_{OA} - 1$$

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

$$V_{fl} = n_{fl} - 1$$

dengan n_{fl} adalah banyaknya level.

Tabel 2.3. Orthogonal Array Standar

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

Tabel 2.4 Matrik *Orthogonal Array* $L_9 (3^4)$

Trial	Column Number			
No	1	2	3	4
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

2.9.3 Taguchi Multirespon MRSN (*Multi Respon Signal to Noise*)

Taguchi dibedakan menjadi dua yaitu Taguchi single respon dan Taguchi multirespon. Taguchi single respon hanya mempunyai satu variabel respon sehingga langsung didapatkan kombinasi optimal dari variabel respon tersebut. Taguchi multirespon 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.

Lee Ing Tong dan Chao Ton Su mengusulkan dua metode penyelesaian problem multi respon, yaitu Metode MRSN (*Multi Respon Signal to Noise*) dan

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) untuk menentukan kondisi optimal pada tahapan desain parameter (Lee Ing Tong dan Chao Ton Su, 1997)

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:

a. *Larger the better*

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (10)$$

b. *Nominal the best*

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - m)^2 \quad (11)$$

c. *Smaller the best*

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (12)$$

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.

- a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon.
- b. Normalisasi *quality loss* tiap eksperimen.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i} \quad (13)$$

dimana :

C_{ij} = *normalized quality loss* untuk respon ke-i, pada
trial ke-j

$$L_{ij} = \max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\}$$

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

$$TNQL_i = \sum_{i=1}^m w_i x C_{ij} \quad (14)$$

dimana :

w_i = bobot dari normalisasi respon ke-i

- d. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen.

$$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j) \quad (15)$$

3. 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.
4. Melakukan eksperimen konfirmasi.
Hasil eksperimen konfirmasi menentukan apakah level kontrol faktor optimal yang diperoleh bisa diperluas pada skala industri.

2.10 Uji Persyaratan Analisis Data

2.10.1 Uji normalitas

Data klasifikasi kontinu, data kuantitatif yang termasuk dalam pengukuran data skala interval atau ratio, untuk dapat dilakukan uji statistik parametrik dipersyaratkan berdistribusi normal. Pembuktian data berdistribusi normal tersebut perlu dilakukan uji normalitas terhadap data. Uji normalitas berguna untuk membuktikan data dari sampel yang dimiliki berasal dari populasi berdistribusi normal atau data populasi yang dimiliki berdistribusi normal. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk membuktikan suatu data berdistribusi normal atau tidak.

Metode klasik dalam pengujian normalitas suatu data tidak begitu rumit. Berdasarkan pengalaman empiris beberapa pakar statistik, data yang banyaknya lebih dari 30 angka ($n > 30$), maka sudah dapat diasumsikan berdistribusi normal. Biasa dikatakan sebagai sampel besar. Namun untuk memberikan kepastian, data yang dimiliki berdistribusi normal atau tidak, sebaiknya digunakan uji statistik normalitas. Karena belum tentu data yang lebih dari 30 bisa dipastikan berdistribusi normal, sebaliknya data yang banyaknya kurang dari 30 belum tentu tidak berdistribusi normal, untuk itu perlu pembuktian normalitas menggunakan uji

statistik normalitas. Dalam penelitian ini uji normalitas yang digunakan adalah Kolmogorov-Smirnov.

Langkah-langkah Pengujian Kolmogorov-Smirnov:

a. Menetapkan hipotesis

H_0 : data berdistribusi normal

H_1 : data tidak berdistribusi normal

b. Menghitung statistik uji

Tentukan $F(X)$ dari tabel distribusi Normal dan $S(X)$ diperoleh dari frekwensi kumulatif masing-masing X_i dibagi dengan jumlah data.

Kemudian tentukan nilai $T_{hitung} = |F(X) - S(X)|$ terbesar.

c. Menetapkan alpha

$\alpha = 0,05$

d. Menentukan daerah penolakan

$W_{1-\alpha}$ didapatkan dari tabel Kolmogorov-Smirnov sesuai dengan jumlah data n

e. Membuat kesimpulan

Membandingkan antara hasil perhitungan T_{hitung} dengan $W_{1-\alpha}$.

Jika $T_{hitung} < W_{1-\alpha}$ maka H_0 diterima, dalam hal lain H_0 ditolak.

f. Membuat interpretasi dari kesimpulan

Jika H_0 diterima, maka data berdistribusi normal

Jika H_0 ditolak, maka data tidak berdistribusi normal

Signifikansi metode Kolmogorov-Smirnov menggunakan tabel pembandingan Kolmogorov-Smirnov seperti ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tabel pembanding Kolmogorov Smirnov

NO	X_i	$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{SD}$	F_T	F_S	$ F_T - F_S $
1					
2					
3					
4					
5					
dst					

Keterangan :

X_i = Angka pada data

Z = Transformasi dari angka ke notasi pada distribusi normal

F_T = Probabilitas komulatif normal

F_S = Probabilitas komulatif empiris

F_T = komulatif proporsi luasan kurva normal berdasarkan notasi Z_i , dihitung dari luasan kurva mulai dari ujung kiri kurva sampai dengan titik Z.

2.10.2 Uji homogenitas

Apabila data tersebut normal selanjutnya di uji homogenitas. Uji homogenitas pada data hasil penelitian ini menggunakan uji *bartlett*, karena $k \geq 2$.

Tabel 2.6 Tabel Ringkasan Perhitungan Homogenitas dengan Uji Bartlett.

Sampel	Dk	1/dk	S_i^2	$\log S_i^2$	(dk) $\log S_i^2$
1	$n_1 - 1$	$1/n_1 - 1$	S_1^2	$\log S_1^2$	$(n_1 - 1) \log S_1^2$
2	$n_2 - 1$	$1/n_2 - 1$	S_2^2	$\log S_2^2$	$(n_2 - 1) \log S_2^2$
K	$n_k - 1$	$1/n_k - 1$	S_k^2	$\log S_k^2$	$(n_k - 1) \log S_k^2$
Jumlah	$\sum (n_i - 1)$	$\sum (1/n_i - 1)$	-	-	$\sum (n_i - 1) \log S_i^2$

Perhitungan varians gabungan (S^2) dari semua sampel:

$$S^2 = [\Sigma(n_i - 1) S_i^2 / \Sigma(n_i - 1)] \quad (16)$$

Untuk menghitung harga satuan B:

$$B = (\log S^2) \cdot \Sigma(n-1) \quad (17)$$

Untuk menghitung chi kuadrat:

$$\chi^2 = (\ln 10) [B - \Sigma(n_i - 1) \log S_i^2] \quad (18)$$

Kesimpulan:

Bila didapat χ^2 hitung $\leq \chi^2$ tabel dengan χ^2 tabel = $\chi^2 (1-\alpha) (k-1)$ maka data homogen. (Sudjana 1992).

2.11 Analisis Variansi (ANOVA)

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

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

model tetap (Sudjana, 1995). Model yang digunakan untuk desain faktorial a x b adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} \quad (19)$$

Dimana :

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, c$$

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 yang sebenarnya (berharga konstan)

A_i = efek taraf ke-i faktor A

B_j = 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 :

$$Ho_1 = A_i = 0 ; (i = 1, 2, \dots, a)$$

$$Ho_2 = B_j = 0 ; (j = 1, 2, \dots, b)$$

$$Ho_3 = AB_{ij} = 0 ; (i = 1, 2, \dots, a \text{ dan } j = 1, 2, \dots, b)$$

Hipotesa nol Ho_1 menyatakan bahwa tidak terdapat efek faktor A di dalam eksperimen itu, sedangkan Ho_2 menyatakan tidak terdapat efek faktor B. Untuk menyatakan di dalam eksperimen itu tidak terdapat interaksi antara faktor A dan faktor B maka digunakan Ho_3 . 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, 1988) :

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

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

$$\bar{T} = \frac{T}{N} = \bar{y} \text{ dan } T = \sum_{i=1}^N y_i \quad (20)$$

Persamaan diatas dapat dirumuskan kembali menjadi :

$$SST = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (21)$$

y_i = nilai respon (data pengamatan) ke

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

N = jumlah pengamatan

b. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk suatu faktor, misal faktor A

$$SSA = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) - \frac{T^2}{N} \right] \quad (22)$$

SSA = *Sum of Square* faktor A

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

n_{A_i} = 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

:

$$SS = \sum (a(m_1 - m)^2) \quad (23)$$

SS = *Sum of Square* untuk setiap faktor

A = Jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matrik orthogonal

m_1 = rata-rata efek tiap level faktor

$i = 1, 2, \dots, k$

6. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a. *Degree of freedom* total (df_T) dirumuskan dengan :

$$df_T = N - 1 \quad (24)$$

atau

$$df_T = df_{faktor} + df_{interaksi} + df_{error}$$

b. *Degree of freedom* suatu faktor, dirumuskan dengan :

$$df = k - 1 \quad (25)$$

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

$$df_e = df_T - df_{faktor} - df_{interaksifaktor} \quad (26)$$

3 Menghitung *mean of square* (Mq) suatu faktor atau interaksi faktor, dengan

rumus:

$$Mq = \frac{SS}{df} \quad (27)$$

4 Menghitung F hitung suatu faktor dengan rumus :

$$F = \frac{Mq}{Mq_e} \quad (28)$$

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

$$SS' = SS - (df \times Mqe) \quad (29)$$

6 Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor, dengan rumus :

$$P = (SS' / SS_T) \times 100 \% \quad (30)$$

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:

H_0 diterima apabila, $F_{hitung} < F_{(\alpha, v_1; v_2)}$

H_0 ditolak apabila, $F_{hitung} > F_{(\alpha, v_1; v_2)}$

Dimana $F_{(\alpha, v_1; v_2)}$ dapat diperoleh dari tabel distribusi F dengan peluang α dan derajat bebas $v_1 = k-1$ sebagai pembilang dan $v_2 = k(n-1)$ sebagai penyebut.

4. Perhitungan F_{hitung}

$$F = \frac{\text{Variance between mean}}{\text{Variance within group}} \quad (31)$$

Untuk membantu perhitungan F disusunlah tabel Anova. Format umum untuk analisis variansi satu arah ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.7 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 H_0 diterima atau ditolak dengan membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} .

2.12 Uji Beda

Menurut Supranto (2001, h 138), dalam praktek seringkali ingin diketahui apakah ada perbedaan yang berarti dari dua rata-rata.

Perumusan hipotesanya adalah sebagai berikut :

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$ atau $H_0 = \mu_1 = \mu_2$ (Tak ada perbedaan, atau sama)

- (1) $H_a : \mu_1 - \mu_2 > 0$ (ada perbedaan : $\mu_1 > \mu_2$)
- (2) $H_a : \mu_1 - \mu_2 < 0$ (ada perbedaan , : $\mu_1 < \mu_2$)
- (3) $H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (μ_1 tidak sama dengan μ_2 atau μ_1 berbeda dari μ_2)

a) Bila $n > 30$ (sampel besar)

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}} \quad (32)$$

$$\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} \quad (33)$$

Dimana apabila σ_1^2 dan σ_2^2 tak diketahui diestimasi dengan :

$$S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (34)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 \quad (35)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum (x_{i2} - \bar{x}_2)^2 \quad (36)$$

b) Bila $n \leq 30$ (sampel kecil)

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (37)$$

t_0 mempunyai distribusi t dengan derajat kebebasan sebesar $n_1 + n_2 - 2$. Cara pengujiannya adalah $Z_0(t_0)$ dibandingkan dengan $Z_{\alpha}, Z_{\alpha/2}, -Z_{\alpha/2}$ ($t_{\alpha}, t_{\alpha/2}, -t_{\alpha/2}$).