



TUGAS AKHIR – TM 141585

**PENENTUAN VARIABEL PROSES REWINDING
UNTUK MEMINIMALKAN CACAT GULUNGAN
KERTAS TEST LINER**

**KRISTANTO SOEWANDI
NRP. 2109100067**

**Dosen Pembimbing
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT – TM 141585

**DETERMINATION OF THE REWINDING PROCESS
VARIABLES TO MINIMIZE PAPER ROLL DEFECT IN
TEST LINER**

**KRISTANTO SOEWANDI
NRP. 2109100067**

**Supervisor
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

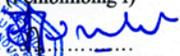
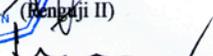
**PENENTUAN VARIABEL PROSES REWINDING
UNTUK MEMINIMALKAN CACAT GULUNGAN
KERTAS TEST LINER**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
KRISTANTO SOEWANDI
NRP. 2109100067

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D. 
NIP. 1953 05 16 197803 1001 (Pembimbing I)
2. Ir. Bambang Pramujati, M.Sc., Eng., Ph.D. 
NIP. 1969 12 03 199403 1001 (Penguji I)
3. Arif Wahjudi, ST., MT., Ph.D. 
NIP. 1973 03 22 200112 1001 (Penguji II)
4. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc 
NIP. 1963 03 14 198803 1002 (Penguji III)

SURABAYA
Juli, 2016

PENENTUAN VARIABEL PROSES REWINDING UNTUK MEMINIMALKAN CACAT PRODUK TEST LINER

Nama Mahasiswa : Kristanto Soewandi
NRP : 2109100067
Pembimbing : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Kertas *test liner* merupakan salah satu produk dari PT. Buana Megah yang kualitasnya ditentukan oleh beberapa karakteristik kualitas yang kritis. Jenis cacat yang paling banyak terjadi adalah kertas gembos sebesar 47% dari seluruh jumlah cacat. Kertas gembos terjadi pada proses slitting rewinding. Pada keseluruhan proses slitting rewinding, kertas gembos ditentukan oleh kinerja dari mesin rewinder.

Suatu penelitian dilakukan untuk menentukan pengaturan parameter-parameter proses yang tepat pada mesin *rewinder* agar dapat meminimalkan cacat kertas gembos. Parameter-parameter proses tersebut adalah *tension* kertas, tekanan *rider roll* dan kecepatan *rewinder*. Rancangan eksperimen menggunakan matriks ortogonal L₉. Metode Taguchi digunakan sebagai metode optimasi untuk meminimalkan cacat kertas gembos.

Dari hasil penelitian didapatkan pengaturan parameter proses yang tepat pada *rewinder* untuk produk *test liner* yaitu tekanan *rider roll* sebesar 940 kg, kecepatan *unwinder* sebesar 650 mpm dan *tension* kertas sebesar 2,5 lbs/in. Namun demikian, penerapan parameter-parameter proses yang baru, tidak dapat menurunkan prosentase cacat gulungan kertas yang gembos pada kertas *test liner*.

Kata kunci: kertas gembos, *tension* kertas, tekanan *rider roll*, kecepatan *rewinder*, Taguchi

DETERMINATION OF THE REWINDING PROCESS VARIABLES TO MINIMIZE PAPER ROLL DEFECT IN TEST LINER

Student Name : Kristanto Soewandi
NRP : 2109100067
Supervisor : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

Test liner paper is one of few products from PT. Buana Megah which quality is determined by some critical characteristics. The biggest contributor of defects is deflated paper roll which contribute 47% from total defects. Deflated paper roll mostly occur in slitting rewinding process especially in rewinder machine.

An experiment is conducted to determine the suitable process parameters' setting for rewinder machine so that the deflated paper roll defect can be minimized. Those process parameters are paper tension, rider roll pressure and rewinder speed. Experimental design that being used is orthogonal array L₉. Taguchi method is used as the optimization method to reduce deflated paper roll defect.

The result shows that the suitable process parameters' setting for test liner is rider roll pressure at 940 kg, unwinder speed at 650 mpm and paper tension at 2,5 lbs/in. The application of the new process parameters can not lower the deflated paper roll defect in test liner paper.

Keyword: deflated paper roll, paper tension, rider roll pressure, rewinder speed, Taguchi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.2.1 Batasan Masalah.....	3
1.2.2 Asumsi Penelitian.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Umum Proses Rewinding.....	5
2.2 Jenis Cacat.....	10
2.3 Metode Taguchi.....	12
2.4 Pemilihan Faktor dan Level.....	13
2.5 Pemilihan Matriks Ortogonal.....	14
2.6 Rasio <i>Signal to Noise</i> untuk Prosentase Cacat.....	15
2.7 Interval Keyakinan.....	16
2.8 Analisis Variansi untuk Data Atribut.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tahapan Penelitian.....	21
3.2 Faktor-faktor pada Penelitian.....	22
3.3 Bahan dan Peralatan.....	23
3.4 Prosedur Percobaan.....	24
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Rasio <i>Signal to Noise</i>	28
4.2 Analisa Variansi.....	33

4.3 Interval Keyakinan	36
4.4 Eksperimen Konfirmasi.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
RIWAYAT PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Pareto Kontribusi Karakter Kualitas Terhadap Prosentase Cacat.....	2
Gambar 2.1 Mesin <i>Unwinder</i>	5
Gambar 2.2 Gulungan Kertas Besar Pada <i>Unwinder</i>	6
Gambar 2.3 Rem Penekan Pada <i>Unwinder</i>	6
Gambar 2.4 Rol Perantara dan <i>Banana Roll</i>	7
Gambar 2.5 <i>Slitter</i>	7
Gambar 2.6 Pisau Pada <i>Slitter</i>	7
Gambar 2.7 <i>Guide Roll I</i>	8
Gambar 2.8 <i>Guide Roll II</i>	8
Gambar 2.9 Rewinder Roll.....	9
Gambar 2.10 Rider Roll.....	9
Gambar 2.11 pushing Paper Device.....	10
Gambar 2.12 Gulungan Kertas Gembos.....	10
Gambar 2.13 Ilustrasi Penentuan Diagonal Rol Kertas.....	11
Gambar 2.14 Notasi Matriks Ortogonal.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 4.1 Grafik Rasio <i>Signal to Noise</i> untuk Variabel Tekanan <i>Rider Roll</i>	30
Gambar 4.2 Grafik Rasio <i>Signal to Noise</i> untuk Variabel Kecepatan <i>Rewinder</i>	32
Gambar 4.3 Grafik Rasio <i>Signal to Noise</i> untuk Variabel <i>Tension</i> Kertas.....	33
Gambar 4.4 Perbandingan Interval Keyakinan Prediksi dengan Konfirmasi.....	39
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Persentase Cacat.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Karakteristik Kualitas <i>Test Liner</i> yang Bersifat Atribut	1
Tabel 3.1 Matriks Ortogonal L_9	23
Tabel 4.1 Hasil Eksperimen	27
Tabel 4.2 Tabel Frekuensi Cacat Kumulatif dari Hasil Eksperimen	28
Tabel 4.3 Tabel Frekuensi Kumulatif untuk Tekanan <i>Rider</i> <i>Roll</i> Level 1	29
Tabel 4.4 Tabel Frekuensi Kumulatif untuk Tekanan <i>Rider</i> <i>Roll</i> Level 2.....	29
Tabel 4.5 Tabel Frekuensi Kumulatif untuk Tekanan <i>Rider</i> <i>Roll</i> Level 3.....	29
Tabel 4.6 Analisa Variansi	36
Tabel 4.7 Hasil Eksperimen Konfirmasi.....	38

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi modern, persaingan antar industri, baik dalam maupun luar negeri, menjadi semakin ketat. Kemudahan impor diberikan bagi produk-produk asing yang ingin masuk ke Indonesia karena produksi dalam negeri belum dapat memenuhi jumlah permintaan konsumen. Konsumen yang semakin cerdas menuntut produk dengan kualitas yang lebih baik dan harga yang semakin murah. Hal ini membuat kualitas produk menjadi salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan industri.

PT. Buana Megah adalah salah satu industri manufaktur yang bergerak di bidang kertas. Salah satu produk yang dihasilkan adalah kertas *test liner*. Kertas *test liner* digunakan sebagai bahan utama pada industri kardus. Perusahaan memilih beberapa karakteristik kualitas yang kritis yang digunakan untuk mengendalikan kualitas dari gulungan kertas yang diproduksi.

Proses penggulungan kertas *test liner* menggunakan mesin *rewinder*. *Rewinder* berfungsi untuk menggulung kembali kertas setelah dipotong sesuai dengan kebutuhan.

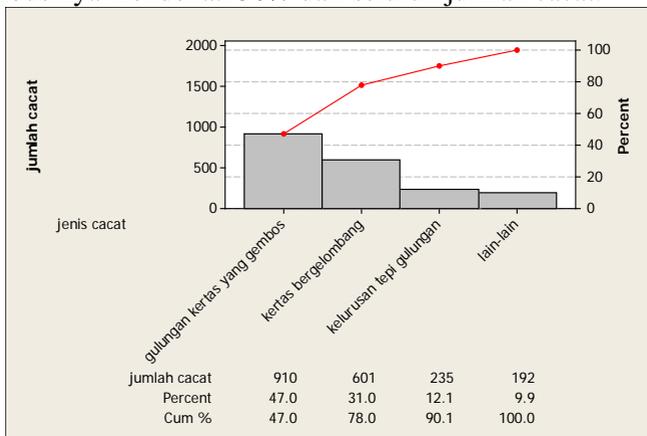
Karakter kualitas yang kritis dari gulungan kertas *test liner* yang dipengaruhi oleh *rewinder* dan bersifat atribut ditunjukkan pada tabel 1.1. Parameter-parameter proses yang mempengaruhi karakteristik kualitas yang kritis dari kertas *test liner* adalah *tension* kertas (lbs/in), tekanan *rider roll* (kg) dan kecepatan *rewinder* (m/min).

Tabel 1.1. Karakteristik Kualitas *Test Liner* yang Bersifat Atribut

No	Karakteristik Kualitas yang Kritis	Jenis Cacat
1	Kepadatan gulungan kertas	Gulungan kertas yang gembos
2	Kerataan permukaan gulungan kertas	Kertas bergelombang dan flui

3	Kelurusan tepi gulungan kertas	Tepi gulungan kertas melengkung
4	Kontinuitas kertas	Kertas putus
5	Jumlah lubang pada gulungan kertas	Kertas berlubang

Dari kelima karakter kualitas tersebut, gambar 1.1 menunjukkan prosentase cacat dari masing-masing karakter kualitas. Prosentase cacat terbesar dihasilkan oleh gulungan kertas yang gembos yaitu sebesar 47%. Pengendalian terhadap jenis cacat gulungan kertas yang gembos perlu dilakukan karena kontribusinya mendekati 50% dari seluruh jumlah cacat.



Gambar 1.1. Diagram Pareto Kontribusi Karakter Kualitas Terhadap Prosentase Cacat

Metode Taguchi populer digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dalam bidang teknik produksi. Metode ini menggunakan desain eksperimen yang dinamakan matriks ortogonal dan *signal-to-noise ratio* (rasio S/N), yang digunakan sebagai fungsi objektif untuk dioptimalkan dalam desain eksperimen (Esme, 2010).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka perlu dilakukan suatu eksperimen untuk menentukan level-level dari variabel-variabel proses agar dapat meminimalkan jumlah

gulungan kertas yang gembos. Variabel-variabel proses yang divariasikan adalah *tension* kertas, tekanan *rider roll* dan kecepatan *rewinder*. Metode optimasi yang digunakan adalah metode Taguchi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah variabel-variabel proses (*tension* kertas, tekanan *rider roll*, kecepatan *rewinder*) berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas produk *test liner*.
2. Bila variabel-variabel proses tersebut memberikan pengaruh yang signifikan, bagaimana pengaturan yang tepat untuk *tension* kertas, tekanan *rider roll* dan kecepatan *rewinder* sehingga produk cacat menjadi kecil.
3. Berapa persen perbaikan yang akan dicapai dengan pengaturan variabel-variabel proses yang tepat.

1.2.1 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini dapat terfokus, maka diberlakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin *rewinder* di *paper machine II*.
2. Produk *test liner* yang diteliti adalah gulungan kertas *test liner* 125 *gsm*.
3. Variabel proses yang diteliti meliputi *tension* kertas, tekanan *rider roll*, dan kecepatan *rewinder*.
4. Karakteristik kualitas yang kritis yang diteliti adalah kepadatan gulungan kertas dengan jenis cacat gulungan kertas yang gembos.
5. Pengambilan data dilakukan pada *batch* yang sama.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi yang diberlakukan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Komposisi kertas dianggap sebagai faktor *noise*.
2. Kemampuan operator dalam mengoperasikan mesin dianggap sama.
3. Variabel yang tidak diteliti dianggap tidak mempengaruhi hasil penelitian.
4. Proses produksi berjalan normal ketika penelitian dilakukan.
5. Alat ukur yang dianggap layak dan terkalibrasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan atas perumusan masalah yang telah dijelaskan, maka penelitian tugas akhir ini bertujuan:

1. Mengetahui pengaruh dari variabel-variabel proses terhadap kualitas gulungan kertas *test liner*.
2. Menentukan pengaturan level-level dari variabel-variabel proses yang tepat agar produk memiliki prosentase cacat minimum.
3. Menentukan besarnya perbaikan yang dapat dicapai dengan pengaturan variabel-variabel proses yang tepat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai masukan kepada perusahaan mengenai penyelesaian permasalahan yang terjadi.
2. Memberikan pengaturan level-level dari variabel-variabel proses yang tepat pada *rewinder* di *PM II*.
3. Meminimalkan jumlah cacat dari gulungan kertas *test liner* pada mesin *rewinder*.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum Proses *Rewinding* (penggulungan kembali)

Rewinder yang sering dikenal dengan istilah *slitter winder* adalah suatu unit mesin yang berfungsi untuk memperkecil gulungan kertas, baik lebar maupun diameternya, dengan cara memotong kertas (*slitting*). Selain dimensi dan kerataan potongan, yang juga perlu mendapat perhatian dalam proses *rewinding* adalah kegembosan gulungan. Bila gulungan kertas menjadi gembos, kertas bisa rusak pada saat pengiriman maupun pada saat penyimpanan. Gambar 2.1 memperlihatkan mesin *rewinder* dan bagian-bagiannya.



Gambar 2.1. Mesin *Unwinder*

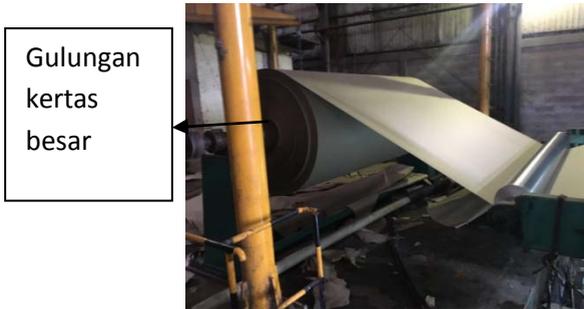
2.1.1 Proses-proses pada mesin *rewinder*

Secara garis besar, ada tiga tahapan proses pada mesin *rewinder*, yaitu:

1. *Unwind* (pembuka gulungan).
2. *Slitting* (pemotongan).
3. *Rewind* (penggulungan kembali).

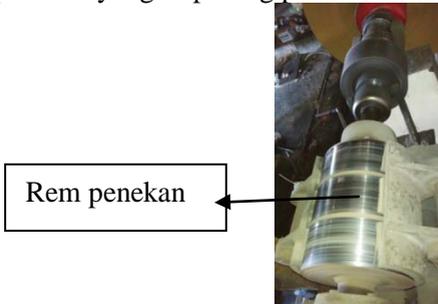
2.1.1.1. *Unwind*

Pada proses *unwind*, gulungan kertas besar dibuka dengan meletakkannya diatas alat pendukung, dan bagian sisi *drive side* tambor dihubungkan dengan rem penekan. Gambar 2.2 menunjukkan gulungan kertas besar yang ditempatkan di alat pendukung.



Gambar 2.2. Gulungan Kertas Besar pada *Unwinder*

Rem penekan ini berfungsi untuk menjaga tegangan kertas yang masuk *slitter*. Bila kertas terlalu tegang maka tekanan rem penekan dikurangi, dan begitu pula sebaliknya bila kertas terlalu kendur. Gambar 2.3 menunjukkan rem penekan yang terpasang pada *unwinder*.



Gambar 2.3. Rem Penekan pada *Unwinder*

Dari *unwinder*, kertas melewati beberapa rol perantara (*guide roll* atau *transfer roll*) yang bertujuan sebagai tempat jalannya kertas dan menjaga ketegangan (*tension*) kertas. Selain itu kertas juga melewati *banana roll* atau *spreader roll* yang berfungsi untuk mencegah kertas saling menumpuk setelah dipotong. Gambar 2.4 menunjukkan jalannya kertas yang melewati rol perantara dan *banana roll* sebelum memasuki *slitter*.



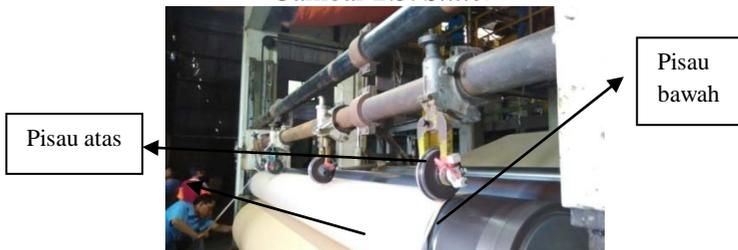
Gambar 2.4. Rol Perantara dan *Banana Roll*

2.1.1.2. *Slitting*

Slitter unit adalah tempat kertas dipotong dengan menggunakan pisau sehingga dihasilkan potongan kertas *test liner* dengan ukuran sesuai keinginan. Alat potong mempunyai prinsip mengiris dengan menggunakan 2 mata pisau (atas dan bawah) dengan bagian atas yang runcing dan bagian bawah yang tumpul. Gambar 2.5 menunjukkan posisi *slitter* pada *rewinder* dan gambar 2.6 menunjukkan pisau pada *slitter*.



Gambar 2.5. *Slitter*

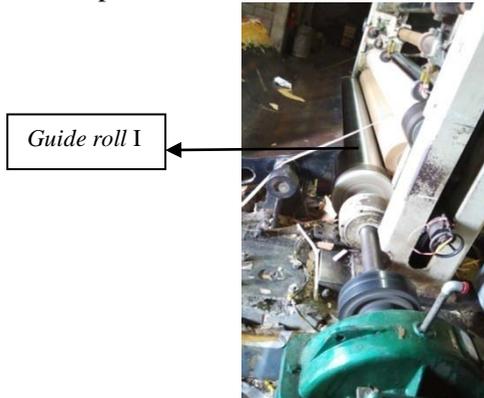


Gambar 2.6. Pisau pada *Slitter*

2.1.1.3. Penggulungan kembali (*rewind*)

Setelah kertas *test liner* dipotong di *slitter unit*, kertas *test liner* akan digulung kembali (*rewind*). Proses *rewind* melalui 3 rol, yaitu:

1. *Guide roll*, yaitu rol yang mengatur dan menstabilkan jalannya kertas *test liner*. Gambar 2.7 menunjukkan *guide roll I* dan gambar 2.8 menunjukkan *guide roll II* pada mesin *rewinder*.



Gambar 2.7. *Guide Roll I*



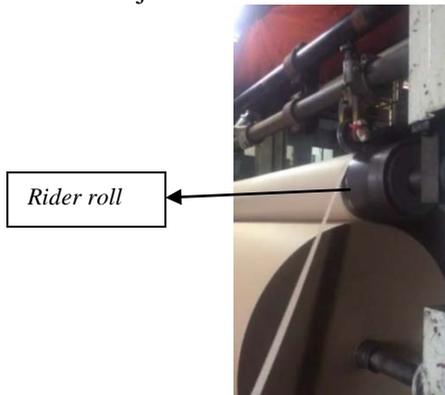
Gambar 2.8. *Guide Roll II*

2. *Rewinder roll*, yaitu rol yang berfungsi sebagai landasan dan tempat gulungan kertas *test liner*. Gambar 2.9 menunjukkan *rewinder roll*.



Gambar 2.9. *Rewinder Roll*

3. *Rider roll*, yaitu rol yang memberi tekanan pada gulungan kertas *test liner* secara vertikal. Gambar 2.10 menunjukkan *rider roll*.



Gambar 2.10. *Rider Roll*

Setelah kertas digulung di *rewinder roll*, gulungan kertas yang sudah jadi dilepaskan dari mesin *rewinder* dengan dorongan dari sistem hidrolik. Gambar 2.11 menunjukkan mekanisme sistem hidrolik pendorong gulungan kertas.



Gambar 2.11. *Pushing Paper Device*

2.1.2 Proses inisiasi pada mesin rewinder

Pada saat awal menjalankan mesin rewinder, diperlukan pengaturan parameter secara manual. Hal ini dilakukan karena fase awal adalah fase yang rawan terhadap kegembosan gulungan kertas. Pengaturan secara manual dilakukan pada sistem rem di *rewinder*. Agar gulungan lebih kencang maka rem ditekan lebih kuat sampai diameter gulungan mencapai 30 cm.

2.2 Jenis cacat

Pengaturan level dari variabel-variabel proses yang tidak sesuai akan mengakibatkan produk menjadi cacat. Masing-masing jenis cacat yang terjadi dipengaruhi oleh variabel-variabel proses yang berbeda. Pada penelitian ini, jenis cacat yang diteliti adalah kegembosan gulungan kertas. Gambar 2.12 menunjukkan jenis cacat kegembosan gulungan kertas.



Gambar 2.12. Gulungan Kertas Gembos

Jenis cacat kegembosan gulungan kertas disebabkan oleh 3 variabel proses, yaitu:

1. *Tension* kertas

Tension kertas diatur oleh sistem rem yang dipasang pada rol *unwinder*. Sistem rem memberikan tekanan pada gulungan sehingga kertas menjadi tegang. Aplikasi

tension kertas yang terlalu rendah mengakibatkan kertas tidak dapat digulung dengan padat, sehingga gulungan kertas menjadi gembos. *Tension* kertas yang terlalu tinggi mengakibatkan kertas bergelombang.

2. Tekanan *rider roll*

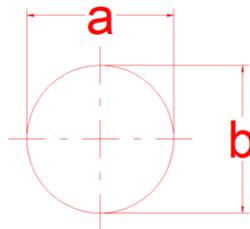
Tekanan *rider roll* diatur oleh beban dari *rider roll* yang menindih gulungan kertas. Tujuan penggunaan *rider roll* adalah untuk mengatur kertas agar tidak bergerak selama digulung. Jika kertas bergerak, maka gulungan kertas tidak beraturan sehingga gulungan tidak padat dan menjadi gembos.

3. Kecepatan *rewinder*

Kecepatan *rewinder* diatur oleh motor pada *rewinder roll*. Semakin tebal kertas, maka kecepatan yang digunakan harus semakin pelan, sedangkan semakin tipis kertas maka kecepatan yang digunakan bisa semakin cepat. Kecepatan *rewinder* yang tidak sesuai dengan ketebalan kertas dapat mengakibatkan kertas overlap sehingga gulungan kertas menjadi tidak beraturan.

2.2.1 Kategori cacat

Kegembosan gulungan kertas dibagi menjadi 3 kategori yaitu baik, sedang dan buruk. Metode yang digunakan untuk menentukan kategori tersebut dengan menghitung diagonal gulungan kertas. Gambar 2.13 menunjukkan metode yang digunakan untuk menentukan kategori kegembosan gulungan kertas.



Gambar 2.13. Ilustrasi Penentuan Diagonal Rol Kertas

Jika $0.98 < a/b < 1.00$, dianggap baik,
 $0.96 < a/b < 0.98$, dianggap sedang,
 $a/b < 0.96$, dianggap buruk.

2.3 Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1950 dan diaplikasikan oleh perusahaan-perusahaan manufaktur Jepang dalam rangka memperbaiki kualitas produk dan proses. Penekanannya lebih diutamakan untuk desain kualitas pada produk dan proses. Pada metode ini diperkenalkan suatu desain eksperimen untuk meningkatkan kualitas yang berbentuk tabel dan dikenal dengan nama *orthogonal array* atau matriks ortogonal.

Pada metode Taguchi terdapat tiga tahap pengoptimasian desain produk atau proses produksi (Ross, 1989), yaitu:

1. Desain sistem (*system design*)
 Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau memperbaiki yang sudah ada. Selama fase ini berbagai alternatif solusi untuk permasalahan keteknikan atau konsep produk dipelajari. Pada tahap ini umumnya dilakukan penelitian secara detail.
2. Desain parameter (*parameter design*)
 Pada tahap ini dilakukan identifikasi level dari setiap faktor agar sistem tidak menjadi sensitif terhadap faktor *noise* dan bertujuan mengoptimalkan konsep desain.
3. Desain toleransi (*tolerance design*)
 Desain toleransi adalah pengembangan kualitas dengan cara mempersempit toleransi produk dan proses, sehingga mengurangi variasi dan cacat produk menjadi minimal.

2.3.1. Desain Eksperimen menurut Metode Taguchi

Suatu teknik untuk mendefinisikan dan menyelidiki semua tradisi yang mungkin dalam suatu eksperimen yang melibatkan beberapa faktor (*multiple factor*) sering disebut sebagai desain eksperimen atau rancangan percobaan. Secara

umum ada tiga tahap kegiatan dalam suatu rancangan percobaan, yaitu:

1. Tahap perencanaan

Pada tahap ini hal-hal yang perlu dilakukan adalah melakukan perumusan permasalahan, pemilihan atau penentuan variabel yang mengarah pada peningkatan performa produk atau proses dan pemilihan level dari tiap faktor.

2. Tahap pelaksanaan

Tahap pelaksanaan merupakan tahap terpenting dimana hasil-hasil pengujian dikumpulkan. Pada tahap ini dilakukan penentuan jumlah pengamatan, penetapan urutan pelaksanaan eksperimen, pemilihan metode randomisasi yang dipakai, penyusunan model matematis dan menentukan hipotesis yang akan diuji.

3. Tahap analisa

Tahap analisis merupakan tahap akhir dari suatu desain eksperimen. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, perhitungan uji statistik dan interpretasi hasil eksperimen.

2.4. Pemilihan Faktor dan Level

2.4.1. Pemisahan faktor kontrol dan faktor *noise*

Faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor *noise* (gangguan). Pada metode Taguchi keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antara kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan. Faktor *noise* (gangguan) adalah faktor yang nilainya tidak bisa diatur atau dikendalikan (Ross, 1989:196).

Faktor *noise* menurut (Ross, 1989) terdiri dari:

a. *External noise*

Faktor ini adalah pengganggu eksternal yang berhubungan dengan faktor-faktor lingkungan atau di luar produk atau

proses. Contohnya adalah temperatur udara, kelembaban, getaran, dan lain-lain.

b. *Internal noise*

Faktor pengganggu internal berhubungan dengan faktor yang diakibatkan oleh kerusakan suatu produk selama penyimpanan atau pemakaian. Contoh yang mudah adalah kerusakan dari suatu komponen akibat umur.

c. Variasi

Faktor pengganggu ini berhubungan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara unit satu dengan unit yang lain.

2.4.2. Pemilihan Jumlah Level

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan biaya pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih presisi karena data yang diperoleh lebih banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan waktu dan biaya percobaan.

2.5. Pemilihan Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks ortogonal didasarkan pada perhitungan total jumlah derajat bebas (db) yang diperlukan untuk eksperimen berdasarkan banyak faktor dan level yang digunakan (Soejanto, 2002). Ada dua kategori derajat bebas yang perlu dihitung dalam percobaan ini. Perhitungan kedua kategori derajat bebas tersebut adalah sebagai berikut:

1. Derajat bebas untuk faktor-faktor dan level-level.

Secara umum, angka derajat kebebasan suatu faktor (v_{fl}) adalah satu kurang dari banyak level tersebut.

$$v_{fl} = \text{banyak level} - 1 \quad (2.1)$$

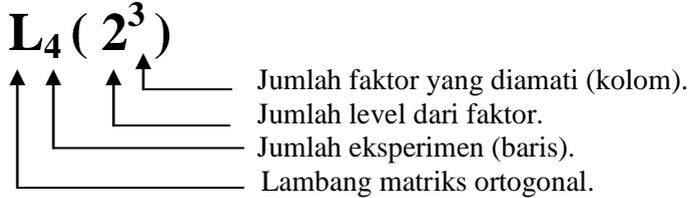
2. Derajat bebas matriks ortogonal.

Derajat bebas matriks ortogonal (v_{OA}) selalu kurang 1 dari banyak eksperimen:

$$v_{OA} = \text{Banyak eksperimen} - 1 \quad (2.2)$$

Total jumlah derajat bebas faktor-faktor dan level-level yang digunakan tidak boleh melebihi derajat bebas dari matriks ortogonal yang dipilih.

Suatu matriks ortogonal memiliki notasi seperti ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Notasi Matriks Ortogonal

2.6. Rasio *Signal To Noise* untuk Prosentase Cacat

Karakter kualitas berhubungan dengan proporsi seperti persentase cacat (p) yang dapat bernilai 0 dan 1. Untuk kasus seperti ini, maka nilai terbaik p adalah 0%. Persamaan kerugian adalah sebagai berikut (Ross, 1989):

$$\text{Kerugian} = k \left[\frac{p}{1-p} \right] \quad (2.3)$$

Dengan k adalah biaya produksi per 1 unit.

Secara umum, suatu persentase cacat tidak mungkin bernilai negatif. Namun di dalam perhitungan, dapat diperoleh nilai negatif. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan transformasi omega yaitu:

$$\Omega = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{p} - 1 \right) \quad (2.4)$$

Dengan cara yang sama, faktor-faktor yang lain ditransformasikan sehingga diperoleh kondisi optimal. Nilai yang diperoleh dari transformasi omega ini ditransformasikan kembali menjadi persentase cacat, yaitu:

$$P = \frac{1}{1 + 10^{\frac{\Omega}{-10}}} \quad (2.5)$$

2.7. Interval Keyakinan

Ada 3 macam interval keyakinan, yaitu (Ross, 1989):

1. Interval keyakinan level faktor.

Perumusan interval keyakinan untuk suatu level dari faktor adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{\frac{1}{n} xMSE \times F_{v_1, v_2, \alpha}} \quad (2.6)$$

Dengan:

n = jumlah pengamatan

MSE = Mean Square Error

$F_{v_1, v_2, \alpha}$ = nilai pada tabel F dengan derajat bebas dari faktor dan error, serta *level of significance*

2. Interval keyakinan nilai taksiran rata-rata.

Perumusan interval keyakinan untuk menghitung rata-rata proses optimum adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{\frac{1}{n_{eff}} xMSE x F_{v_1, v_2, \alpha}} \quad (2.7)$$

Dengan:

n_{eff} = banyak pengamatan efektif

= total banyaknya eksperimen

jumlah db yang digunakan untuk mengetahui nilai

3. Interval keyakinan eksperimen konfirmasi.

Perumusan interval keyakinan untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$CI = \sqrt{\left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right] xMSE x F_{v_1, v_2, \alpha}} \quad (2.8)$$

Dengan:

r = banyak replikasi untuk eksperimen konfirmasi.

2.8. Analisis Variansi (ANOVA) untuk Data Atribut

Pada ANOVA untuk data atribut digunakan analisis akumulasi atribut. Analisis ini menggunakan analisis variansi dan rasio kontribusi untuk mengetahui faktor-faktor yang signifikan. Pada analisis ini data dibuat secara peringkat atau kategori, misalnya baik, sedang dan buruk. Analisis akumulasi ini dilakukan berdasarkan distribusi binomial. Pada distribusi binomial, jika p adalah persentase cacat, maka variansi adalah (Ross, 1989):

$$\sigma^2 = p \times (1-p) \quad (2.9)$$

Jadi variansi tergantung pada p . Untuk membandingkan dua distribusi, hanya dapat dibuat suatu perbandingan, jika variansi adalah sama atau paling tidak mendekati sama. Karena jumlah kuadrat kelas yang berbeda dalam analisis akumulasi akan mempunyai basis yang berbeda, maka penting menormalkan basis ini. Hal ini dapat dilakukan dengan membagi jumlah kuadrat tiap kategori dengan variansinya. Prosedur ini sering disebut sebagai pembobotan (ω), yaitu (Ross, 1989):

$$\omega = \frac{1}{\sigma^2} \quad (2.10)$$

Langkah-langkah untuk melakukan analisis variansi pada data atribut adalah sebagai berikut:

1. Membuat tabel matriks ortogonal beserta hasilnya untuk setiap kategori, misalkan kategori baik, sedang, dan buruk.
2. Membuat frekuensi kumulatif dari kategori.
Misalkan baik = I, sedang = II, dan buruk = III, maka frekuensi kumulatif:
 - (I) = I
 - (II) = I + II
 - (III) = I + II + III
3. Menghitung total frekuensi kumulatif tiap kategori.
4. Menghitung persentase cacat untuk tiap kategori:

$$P_I = \frac{f_I}{f_I + f_{II} + f_{III}} = \frac{f_I}{f_{(III)}}$$

$$P_{II} = \frac{f_{II}}{f_I + f_{II} + f_{III}} = \frac{f_{II}}{f_{(III)}}$$

$$P_{III} = \frac{f_{III}}{f_I + f_{II} + f_{III}} = \frac{f_{III}}{f_{(III)}} \quad (2.11)$$

5. Menghitung bobot tiap kategori:

$$\omega_I = \frac{f^2_{(III)}}{f_{II}x(f_{(III)} - f_I)}$$

$$\omega_{II} = \frac{f^2_{(III)}}{f_{II}x(f_{(III)} - f_{II})} \quad (2.12)$$

6. Menghitung total jumlah kuadrat tiap kategori:

$$SS_I = \text{total jumlah kuadrat kategori I}$$

$$= f_{(III)}$$

$$SS_{II} = \text{total jumlah kuadrat kategori II}$$

$$= f_{(III)} \quad (2.13)$$

7. Menghitung total jumlah kuadrat seluruhnya untuk kategori I dan II:

$$SS_{\text{total}} = \text{total jumlah kuadrat kategori I dan II}$$

$$= f_{(III)} + f_{(III)} \quad (2.14)$$

8. Menghitung derajat bebas tiap kategori:

$$v_I = f_{(III)} - I$$

$$v_{II} = f_{(III)} - I \quad (2.15)$$

9. Menghitung total jumlah derajat bebas.

$$v_{\text{total}} = \text{jumlah derajat bebas kelas I dan II}$$

$$= (\text{total banyak pengukuran} - 1) \times$$

$$(\text{banyak kelas} - 1) \quad (2.16)$$

10. Menghitung jumlah kuadrat rata-rata:

$$SS_m = \text{jumlah kuadrat rata-rata kelas I dan II}$$

$$= SS_{m1} + SS_{m2} \quad (2.17)$$

12. Menghitung jumlah kuadrat faktor. Jika terdapat n pengamatan dalam tiap eksperimen $L_8(2^7)$, maka akan terdapat $4n$ pengamatan tiap level faktor dari $8n$ total pengamatan.

$$SS_A = \frac{(f_{I^2 A1} + f_{I^2 A2})x\omega_I + (f_{II^2 A1} + f_{II^2 A2})x\omega_{II}}{4n} \quad (2.18)$$

13. Menghitung derajat bebas faktor:

$$V_A = (\text{banyak kelas} - 1) \times (\text{banyak level} - 1) \quad (2.19)$$

Untuk faktor yang lain juga dihitung dengan cara yang sama.

14. Menghitung jumlah kuadrat kesalahan SS_e derajat bebas kesalahan V_e .

$$SS_e = SS_{\text{total}} - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + \dots)$$

$$V_e = V_{\text{total}} - (V_A + V_B + V_C + V_D + \dots) \quad (2.20)$$

15. Membuat analisis variansi.

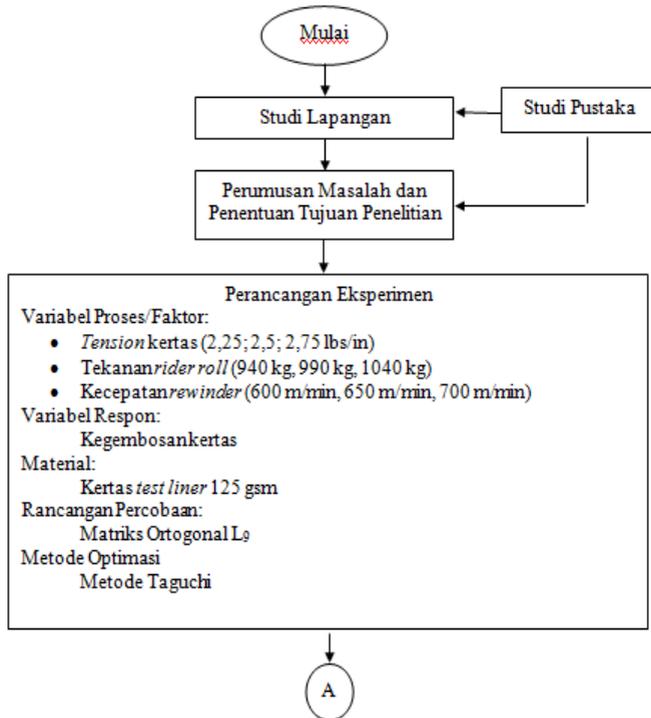
16. Menghitung taksiran nilai optimal.

17. Menghitung interval keyakinan nilai prediksi rata-rata.

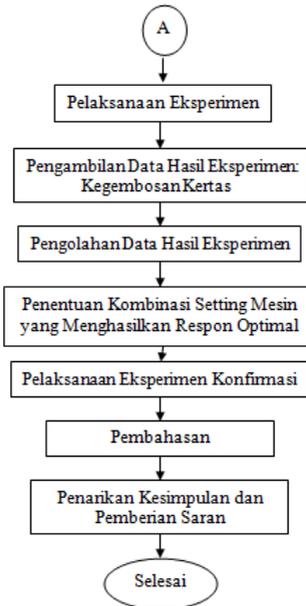
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan tugas akhir ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.2 Faktor-faktor dalam Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian merupakan data yang diperoleh dari hasil eksperimen. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Variabel Bebas

Variabel bebas yang biasa disebut sebagai faktor kontrol merupakan faktor yang dapat dikendalikan dan nilainya dapat ditentukan berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan dan pertimbangan lain. Faktor kontrol yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Tekanan *rider roll* (A), dengan level 940, 990, 1040 (kg).

- Kecepatan *rewinder* (B), dengan level 600, 650, 700 (m/min).
- *Tension* kertas (C), dengan level 2,25; 2,5; 2,75 (lbs/in).
- Variabel Respon
Variabel respon merupakan respon yang akan diamati dalam penelitian yang dilakukan, yaitu kegembosan kertas.
- Faktor *Noise*
Faktor *noise* adalah faktor gangguan yang memiliki pengaruh terhadap respon, tetapi sangat sulit untuk dikendalikan. Faktor-faktor yang mungkin menjadi *noise* dalam penelitian ini yaitu komposisi kertas.

Dari faktor tersebut, maka dapat dibuat matriks ortogonal yang sesuai, yaitu $L_9(3^3)$ dan ditunjukkan pada Tabel 3.3. sebagai berikut:

Tabel 3.1. Matriks Orthogonal L_9

No	A	B	C	Posisi 1			Posisi 2		
				Baik	Sedang	Cacat	Baik	Sedang	Cacat
1	940	2.25	600						
2	940	2.5	650						
3	940	2.75	700						
4	990	2.25	650						
5	990	2.5	700						
6	990	2.75	600						
7	1040	2.25	700						
8	1040	2.5	600						
9	1040	2.75	650						

3.3 Bahan dan Peralatan

Melakukan persiapan terhadap mesin, benda kerja dan alat ukur.

- Benda Kerja
Material yang digunakan adalah kertas test liner 25 gsm. Material ini memiliki lebar maksimum sebesar 3200 mm.

- Mesin
Mesin yang digunakan dalam eksperimen ini adalah mesin *rewinder* dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Buatan : China
 - Diameter rol : 250 mm
 - Jumlah rol : 5
 - Lebar mesin : 3200 mm
- Alat ukur
Peralatan ukur yang digunakan pada percobaan ini adalah pengukur panjang. Alat tersebut digunakan untuk mengukur diagonal rol kertas agar bisa digolongkan ke tiga kategori, yaitu baik, sedang dan buruk.

3.4 Prosedur Percobaan

Prosedur untuk melakukan eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Memasang *core* pada rol *rewinder*.
2. Melakukan *set-up* mesin yaitu dengan mengatur besaran pada *tension* kertas, tekanan *rider roll*, dan kecepatan *rewinder* sesuai level yang didapatkan dari rancangan eksperimen matriks ortogonal.
3. Menekan tombol *start* yang berarti proses mulai berjalan.
4. Menunggu proses stabil dengan cara mengambil sampel mulai dari rol ke-2.
5. Ulangi langkah (1) sampai (3) untuk kombinasi proses yang lain hingga keseluruhan rancangan percobaan selesai dilakukan semua.
6. Melakukan pengukuran diagonal pada sampel yang telah diambil untuk mengumpulkan data-data produk yang cacat pada tiap kombinasi *setting* mesin.

Dari hasil eksperimen, kemudian dapat dilakukan pengolahan data-data yang telah diperoleh dan meliputi perhitungan-perhitungan:

1. Rasio *signal to noise* untuk persentase cacat
2. Interval keyakinan
3. Analisis variansi untuk data atribut

Untuk membuktikan bahwa kombinasi level faktor-faktor utama yang menghasilkan cacat minimum, maka dilakukan eksperimen konfirmasi. Pada tahap ini dievaluasi produk yang dihasilkan dalam proses dengan pengaturan pengaturan berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan. Pelaksanaan eksperimen konfirmasi ini dilakukan sesuai prosedur sebagai berikut:

1. Memasang *core* pada rol *rewinder*.
2. Melakukan *set-up* mesin yaitu dengan mengatur besaran pada *tension* kertas, tekanan *rider roll*, dan *kecepatan rewinder* sesuai level yang didapatkan dari rancangan eksperimen berdasarkan metode Taguchi.
3. Menekan tombol *start* yang berarti proses mulai berjalan.
4. Menunggu proses stabil dengan cara mengambil sampel mulai dari rol ke-2.
5. Setelah proses stabil, dilakukan pengambilan sampel secukupnya.
6. Melakukan pengamatan produk cacat yang terjadi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini dilakukan eksperimen dengan metode Taguchi untuk memperoleh data yang bersifat atribut. Setelah menentukan level-level dari variabel proses, dan matriks ortogonal yang sesuai, dilakukan eksperimen dengan tujuan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini. Data dari hasil eksperimen diolah dan menjadi hasil akhir dari penelitian ini. Hasil yang didapat dari penelitian ditunjukkan oleh tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Eksperimen

Faktor			Hasil		
Tekanan <i>Rider</i> <i>Roll</i> (A)	Kecepatan <i>Rewinder</i> (B)	<i>Tension</i> Kertas (C)	baik	Sedang	cacat
1	1	1	42	3	5
1	2	2	49	1	0
1	3	3	44	4	2
2	1	2	47	2	1
2	2	3	45	2	3
2	3	1	40	2	8
3	1	3	45	2	3
3	2	1	43	3	4
3	3	2	47	0	3

Dari hasil eksperimen di atas, dilakukan analisa untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian ini. Analisa yang dilakukan terdiri dari:

1. Rasio *signal to noise*
2. Analisa variansi
3. Interval keyakinan

4.1 Rasio *Signal to Noise*

Rasio *signal to noise* digunakan untuk menentukan pengaturan level-level dari variabel yang optimal. Telah disebutkan sebelumnya bahwa dalam eksperimen ini terdapat tiga kategori, yaitu baik, sedang, dan buruk. Selanjutnya ketiga kategori cacat yang digunakan ini akan diberi penomoran, yaitu: I=Baik, II=Sedang, dan III=Buruk. Untuk membandingkan tiap level dari variabel yang dipakai, digunakan analisis akumulasi. Langkah-langkah perhitungan rasio *signal to noise* adalah:

1. Membuat tabel frekuensi cacat dan frekuensi kumulatif dari hasil eksperimen. Tabel frekuensi cacat dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tabel Frekuensi Cacat Kumulatif dari Hasil Eksperimen

Faktor			Hasil			Kumulatif		
A	B	C	baik	sedang	cacat	I	II	III
1	1	1	42	3	5	42	45	50
1	2	2	49	1	0	49	50	50
1	3	3	44	4	2	44	48	50
2	1	2	47	2	1	47	49	50
2	2	3	45	2	3	45	47	50
2	3	1	40	2	8	40	42	50
3	1	3	45	2	3	45	47	50
3	2	1	43	3	4	43	46	50
3	3	2	47	0	3	47	47	50

Frekuensi kumulatif tiap kategori didapat dari:

$$(I) = f_I = I$$

$$(II) = f_{II} = I + II$$

$$(III) = f_{III} = I + II + III$$

2. Memisahkan tabel frekuensi kumulatif untuk tiap level dari masing-masing faktor. Frekuensi kumulatif tiap level dari faktor tekanan *rider roll* dapat dilihat pada tabel 4.3, 4.4 dan 4.5.

4.3. Tabel Frekuensi Kumulatif untuk Tekanan *Rider Roll* Level 1

A	baik	sedang	cacat	I	II	III
1	42	3	5	42	45	50
1	49	1	0	49	50	50
1	44	4	2	44	48	50

4.4. Tabel Frekuensi Kumulatif untuk Tekanan *Rider Roll* Level 2

A	baik	sedang	cacat	I	II	III
2	47	2	1	47	49	50
2	45	2	3	45	47	50
2	40	2	8	40	42	50

4.5. Tabel Frekuensi Kumulatif untuk Tekanan *Rider Roll* Level 3

A	baik	sedang	cacat	I	II	III
3	45	2	3	45	47	50
3	43	3	4	43	46	50
3	47	0	3	47	47	50

3. Menghitung rasio *signal to noise* dari tabel frekuensi kumulatif di atas.

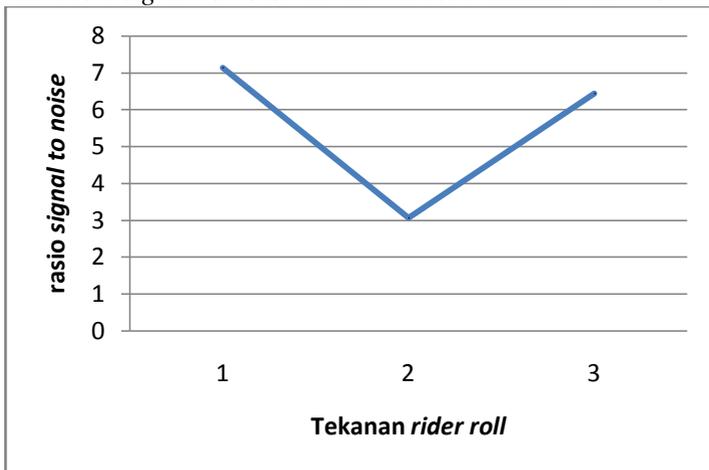
a. Perhitungan rasio *signal to noise* untuk variabel tekanan rider roll.

$$\begin{aligned}
 \text{level 1 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\
 &= -10 \log \frac{1}{n} [5^2 + 0^2 + 2^2] \\
 &= 7.136 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{level 2 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\ &= -10 \log \frac{1}{n} [1^2 + 3^2 + 8^2] \\ &= 3.068 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{level 3 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\ &= -10 \log \frac{1}{n} [3^2 + 4^2 + 3^2] \\ &= 6.446 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dari ketiga perhitungan rasio *signal to noise* yang dilakukan pada variabel tekanan *rider roll* dengan hasil 7.136 dB, 3.068 dB dan 6.446 dB dari level 1, 2 dan 3. Pengaturan level yang terbaik dari variabel tekanan *rider roll* dilihat dari nilai yang terbesar yaitu level 1. Gambar 4.1 menunjukkan grafik hasil dari analisa rasio *signal to noise* untuk variabel tekanan *rider roll*.



Gambar 4.1. Grafik Rasio *Signal to Noise* untuk Variabel Tekanan *Rider Roll*

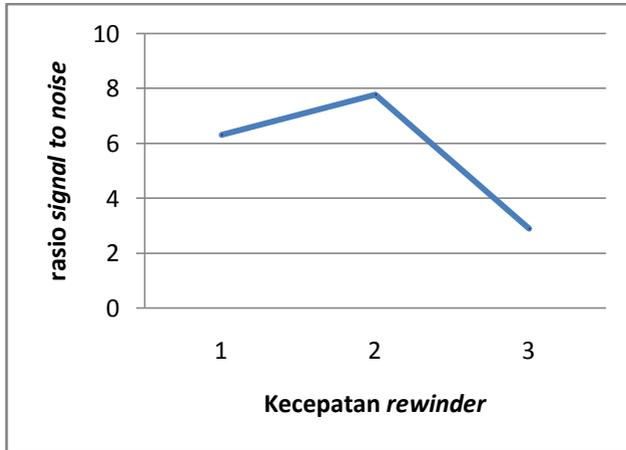
b. Perhitungan rasio *signal to noise* untuk variabel kecepatan *rewinder*.

$$\begin{aligned} \text{level 1 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\ &= -10 \log \frac{1}{n} [5^2 + 1^2 + 3^2] \\ &= 6.32 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{level 2 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\ &= -10 \log \frac{1}{n} [0^2 + 3^2 + 4^2] \\ &= 7.781 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{level 3 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\ &= -10 \log \frac{1}{n} [2^2 + 8^2 + 3^2] \\ &= 2.896 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dari ketiga perhitungan rasio *signal to noise* yang dilakukan pada variabel kecepatan *rewinder* dengan hasil 6.32 dB, 7.781 dB dan 2.896 dB dari level 1, 2 dan 3. Pengaturan level yang terbaik dari variabel kecepatan *rewinder*, dilihat dari nilai yang terbesar yaitu level 2. Gambar 4.2 menunjukkan grafik hasil dari analisa rasio *signal to noise* untuk variabel kecepatan *rewinder*.



Gambar 4.2. Grafik Rasio *Signal to Noise* untuk Variabel Kecepatan *Rewinder*

c. Perhitungan rasio *signal to noise* untuk variabel *tension* kertas.

$$\begin{aligned}
 \text{level 1 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\
 &= -10 \log \frac{1}{n} [5^2 + 8^2 + 3^2] \\
 &= 1.848 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

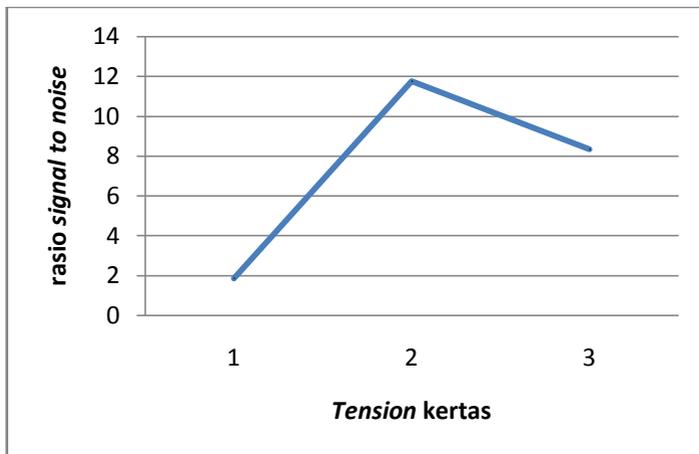
$$\begin{aligned}
 \text{level 2 : } \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\
 &= -10 \log \frac{1}{n} [0^2 + 1^2 + 3^2] \\
 &= 11.76 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$\text{level 3 : } \eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2$$

$$= -10 \log \frac{1}{n} [2^2 + 3^2 + 3^2]$$

$$= 8.336 \text{ dB}$$

Dari ketiga perhitungan rasio *signal to noise* yang dilakukan pada variabel *tension* kertas dengan hasil 1.848 dB, 11.76 dB dan 8.336 dB dari level 1, 2 dan 3. Pengaturan level yang terbaik dari variabel *tension* kertas, dilihat dari nilai yang terbesar yaitu level 2. Gambar 4.3 menunjukkan grafik hasil dari analisa rasio *signal to noise* untuk variabel *tension* kertas.



Gambar 4.3. Grafik Rasio *Signal to Noise* untuk Variabel *Tension Kertas*

Dari perhitungan rasio *signal to noise* yang sudah dilakukan, dapat ditentukan pengaturan level dari variabel-variabel proses yang optimal, yaitu tekanan *rider roll* level 1 (940 kg), kecepatan *unwinder* level 2 (650 mpm) dan *tension* kertas level 2 (2,5 lbs/in).

4.2 Analisis Variansi

Langkah berikutnya yaitu membuat tabel analisis variansi (ANOVA) berdasarkan serangkaian hasil perhitungan yang

dilakukan sebelumnya. Dari tabel ANAVA ini dapat dilihat pengaruh dari tiap variabel terhadap respon yang dipilih pada penelitian ini. Besarnya pengaruh ini ditunjukkan pada besarnya persentase kontribusi. Perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah derajat bebas.

$$\begin{aligned} V_{total} &= (\text{total banyak pengukuran} - 1) \times (\text{jumlah kategori} - 1) \\ &= (450 - 1) \times (3 - 1) \\ &= 898 \end{aligned}$$

2. Nilai frekuensi kumulatif dari tiap kategori.

$$f_{(I)} = 402$$

$$f_{(II)} = 421$$

$$f_{(III)} = 450$$

3. Menghitung *fraction defective* dari tiap kategori.

$$P_I = \frac{f_I}{f_I + f_{II} + f_{III}} = \frac{f_I}{f_{(III)}} = \frac{402}{450} = 0,893$$

$$P_{II} = \frac{f_{II}}{f_I + f_{II} + f_{III}} = \frac{f_{II}}{f_{(III)}} = \frac{19}{450} = 0,04$$

$$P_{III} = \frac{f_{III}}{f_I + f_{II} + f_{III}} = \frac{f_{III}}{f_{(III)}} = \frac{29}{450} = 0,064$$

4. Menghitung bobot dari tiap kategori.

$$\omega_I = \frac{f_{(III)}^2}{f_I \times (f_{(III)} - f_I)} = \frac{450^2}{402 \times (450 - 402)} = 10,4944$$

$$\omega_{II} = \frac{f_{(III)}^2}{f_{II} \times (f_{(III)} - f_{II})} = \frac{450^2}{19 \times (450 - 19)} = 24,728$$

5. Menghitung jumlah total kuadrat dari kategori I dan II.

$$S_I = f_{(III)} = 450$$

$$S_{II} = f_{(III)} = 450$$

6. Menghitung jumlah total keseluruhan dari kuadrat kategori I dan II.

$$\begin{aligned} ST &= S_I + S_{II} \\ &= 450 + 450 = 900 \end{aligned}$$

7. Menghitung derajat kebebasan kategori I dan II.

$$v_I = f_{(III)} - 1 = 900 - 1 = 899$$

$$v_{II} = f_{(III)} - 1 = 900 - 1 = 899$$

8. Menghitung derajat kebebasan total.

$$\begin{aligned} v_{total} &= \text{jumlah derajat bebas kelas I dan II} \\ &= (\text{total banyak pengukuran} - 1) \times (\text{banyak kelas} \\ &\quad - 1) \\ &= (450 - 1) \times 2 = 898 \end{aligned}$$

9. Menghitung jumlah kuadrat rata-rata dari tiap kategori.

$$Sm_I = \frac{f_I^2}{f_{(III)}} \times \omega_I = \frac{402^2}{450} \times 10,691 = 3768$$

$$Sm_{II} = \frac{f_{II}^2}{f_{(III)}} \times \omega_{II} = \frac{421^2}{450} \times 26,041 = 9739$$

10. Menghitung total jumlah kuadrat rata-rata.

$$\begin{aligned} SS_m &= \text{jumlah kuadrat rata-rata kelas I dan II} \\ &= SS_{m1} + SS_{m2} = 3768 + 9739 = 13508 \end{aligned}$$

11. Menghitung jumlah kuadrat tiap faktor.

$$SS_A = \frac{(f_{I A1}^2 + f_{I A2}^2 + f_{I A3}^2) \times \omega_I + (f_{II A1}^2 + f_{II A2}^2 + f_{II A3}^2) \times \omega_{II}}{3n} - Sm$$

$$= 2,508$$

$$SS_B = \frac{(f_{I B1}^2 + f_{I B2}^2 + f_{I B3}^2) \times \omega_I + (f_{II B1}^2 + f_{II B2}^2 + f_{II B3}^2) \times \omega_{II}}{3n} - Sm$$

$$= 4,336$$

$$SS_C = \frac{(f_{I C1}^2 + f_{I C2}^2 + f_{I C3}^2) \times \omega_I + (f_{II C1}^2 + f_{II C2}^2 + f_{II C3}^2) \times \omega_{II}}{3n} - Sm$$

$$= 25,95$$

12. Melakukan analisis variansi.

Tabel 4.6 menunjukkan hasil perhitungan analisis variansi.

Tabel 4.6. Analisa Variansi

FAKTOR	SS	v	MS	SS'	F	P (%)
A	2.507943	2	1.253972	0.650795	1.359572	0.072311
B	4.336627	2	2.168314	2.479479	2.350914	0.275498
C	25.95112	2	12.97556	24.09398	14.06827	2.677109
e	867.2043	892	0.972202	-	-	96.97508
ST	900	898		900		100

Nilai persentase kontribusi eror yang besar (96,9%) menunjukkan beberapa kemungkinan yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Kemungkinan ada faktor lain yang terabaikan dan berpengaruh terhadap respon yang dipilih.
2. Pemilihan level dari masing-masing variabel mungkin kurang tepat untuk menghasilkan pengaruh yang signifikan terhadap respon yang dipilih.

4.3 Interval Keyakinan Rata-rata Prediksi

Perhitungan interval keyakinan untuk perkiraan rata-rata proses sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah pengamatan efektif.

$$\begin{aligned}
 n_{\text{eff}} &= \text{banyak pengamatan efektif} \\
 &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat bebas yang digunakan}} \\
 &= \frac{v_{\text{total}}}{1 + v_A + v_B + v_C} \\
 &= \frac{898}{1 + 2 + 2 + 2} \\
 &= 128,286
 \end{aligned}$$

2. Menghitung μ_{prediksi} dari rasio *signal to noise*.

$$S/N_{A1} = 7,137 \text{ dB}$$

$$S/N_{B2} = 7,7815 \text{ dB}$$

$$S/N_{C2} = 11,761 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned} S/N \text{ rata-rata} &= (S/N_{A1} + S/N_{B2} + S/N_{C2}) / 3 \\ &= 8,893 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S/N_{\text{prediksi}} &= S/N \text{ rata-rata} + (S/N_{A1} - S/N \text{ rata-rata}) + (S/N_{B2} - \\ S/N &\text{ rata-rata}) + (S/N_{C2} - S/N \text{ rata-rata}) \\ &= S/N_{A1} + S/N_{B2} + S/N_{C2} - 2 \times S/N \text{ rata-rata} \\ &= 8,893 \text{ dB} \end{aligned}$$

3. Menghitung interval keyakinan.

$$\begin{aligned} CI &= \sqrt{\frac{1}{n_{\text{eff}}} \times V_e \times F_{2;892;0,05}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{128,286} \times (0,968) \times (3,002)} \\ &= \pm 0.150 \end{aligned}$$

4. Interval keyakinan rata-rata.

$$\begin{aligned} S/N_{\text{prediksi}} - CI &\leq S/N_{\text{prediksi}} \leq S/N_{\text{prediksi}} + CI \\ 8,893 - 0.150 &\leq S/N_{\text{prediksi}} \leq 8,893 + 0.150 \\ 8,742 &\leq S/N_{\text{prediksi}} \leq 9,118 \end{aligned}$$

4.4 Eksperimen Konfirmasi

Setelah melakukan perhitungan rasio signal to noise, dilakukan eksperimen konfirmasi untuk menguji apakah hasil yang diperoleh dan perhitungan yang dilakukan sesuai dengan harapan. Langkah-langkah dalam melakukan eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pengaturan mesin optimal dari tiap faktor.

Pengaturan mesin yang digunakan yaitu: tekanan *rider roll* level 1 (940 kg), kecepatan *unwinder* level 2 (650 mpm) dan *tension* kertas level 2 (2,5 lbs/in).

2. Melakukan pengambilan data sebanyak 100 gulungan dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil Eksperimen Konfirmasi

Faktor			Hasil		
A	B	C	Baik	Sedang	Cacat
1	2	2	91	5,5	3,5

3. Menghitung rasio *signal to noise* dari hasil eksperimen konfirmasi.

$$\begin{aligned}
 \eta &= -10 \log \frac{1}{n} \sum y_1^2 \\
 &= -10 \log \frac{1}{n} [3,5^2] \\
 &= 9,118 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung interval keyakinan dari eksperimen konfirmasi.

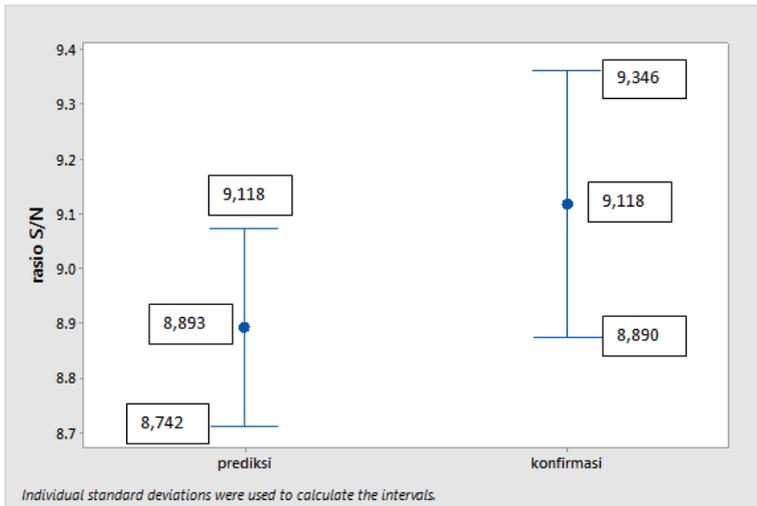
$$\begin{aligned}
 \text{CI} &= \sqrt{\left[\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r} \right] x V_e x F_{v1, v2, \alpha}} \\
 &= \sqrt{\left[\frac{1}{128,286} + \frac{1}{100} \right] x (0,968) x (3,00216)} \\
 &= \pm 0.227
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S/N_{\text{konfirmasi}} - \text{CI} &\leq S/N_{\text{konfirmasi}} \leq S/N_{\text{konfirmasi}} + \text{CI} \\
 9,118 - 0.227 &\leq S/N_{\text{konfirmasi}} \leq 9,118 + 0.227 \\
 8,890 &\leq S/N_{\text{konfirmasi}} \leq 9,346
 \end{aligned}$$

5. Perbandingan interval keyakinan rata-rata prediksi dengan konfirmasi.

Dari hasil perhitungan interval keyakinan untuk perkiraan rata-rata proses optimum dan interval keyakinan eksperimen konfirmasi, kemudian dapat diperkirakan apakah hasil eksperimen konfirmasi dapat diterima dan selanjutnya dapat

direproduksi. Jika rata-rata dari eksperimen konfirmasi berada di luar interval keyakinan prediksi, maka hasil eksperimen konfirmasi tidak dapat diterima. Hal ini dapat terjadi karena adanya kesalahan penentuan faktor dan/atau level atau memiliki eror yang terlalu besar sehingga membutuhkan eksperimen tambahan. Faktor dan level lain perlu digunakan pada eksperimen selanjutnya (Ross, 1989). Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan interval keyakinan rata-rata antara prediksi dan konfirmasi pada penelitian ini.

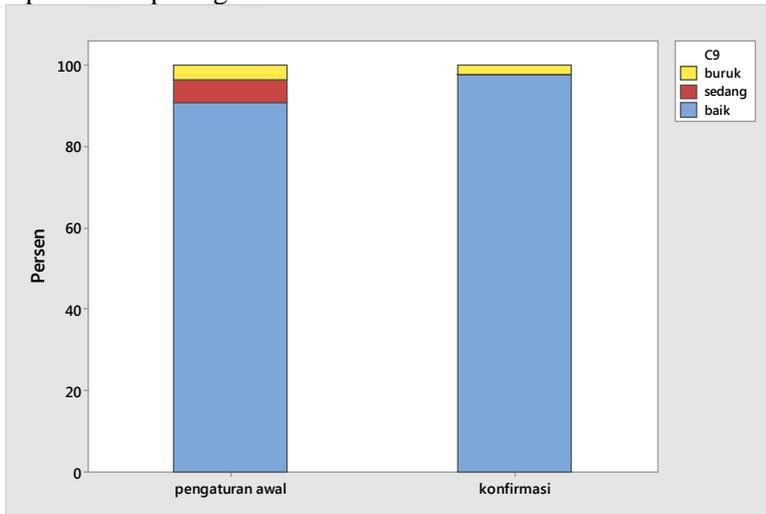


Gambar 4.4. Perbandingan Interval Keyakinan Prediksi dengan Konfirmasi

Dari hasil perbandingan interval keyakinan, nilai rata-rata dari eksperimen konfirmasi masih dalam batas interval keyakinan prediksi sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen dapat dilaksanakan.

Selanjutnya, dari data yang didapat pabrik, dapat dihitung persentase cacat yang terjadi dalam proses produksi sebelumnya. Persentase cacat ini kemudian dibandingkan dengan persentase cacat yang dihitung berdasarkan hasil pengambilan sampel dari

eksperimen konfirmasi. Hasil perbandingan persentase cacat dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Persentase Cacat

Dari hasil yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat adanya penurunan persentase produk cacat. Jumlah cacat dengan pengaturan awal 2,35% menjadi 3,5%. Dengan demikian, eksperimen yang dilakukan belum berhasil mengurangi produk cacat yang terjadi.

Lampiran A1

Tabel frekuensi kumulatif faktor kecepatan *rewinder*

Tabel frekuensi kumulatif faktor kecepatan *rewinder* level 1

B	baik	sedang	cacat	I	II	III
1	42	3	5	42	45	50
1	47	2	1	47	49	50
1	45	2	3	45	47	50

Tabel frekuensi kumulatif faktor kecepatan *rewinder* level 2

B	baik	sedang	cacat	I	II	III
2	49	1	0	49	50	50
2	45	2	3	45	47	50
2	43	3	4	43	46	50

Tabel frekuensi kumulatif faktor kecepatan *rewinder* level 3

B	baik	sedang	cacat	I	II	III
3	44	4	2	44	48	50
3	40	2	8	40	42	50
3	47	0	3	47	47	50

Lampiran A2

Tabel frekuensi kumulatif faktor *tension* kertas

Tabel frekuensi kumulatif faktor *tension* kertas level 1

C	baik	sedang	cacat	I	II	III
1	42	3	5	42	45	50
1	40	2	8	40	42	50
1	43	3	4	43	46	50

Tabel frekuensi kumulatif faktor *tension* kertas level 2

C	baik	sedang	cacat	I	II	III
2	49	1	0	49	50	50
2	47	2	1	47	49	50
2	47	0	3	47	47	50

Tabel frekuensi kumulatif faktor *tension* kertas level 3

C	baik	sedang	cacat	I	II	III
3	44	4	2	44	48	50
3	45	2	3	45	47	50
3	45	2	3	45	47	50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Kontribusi dari variabel-variabel proses yang berpengaruh terhadap kegembosan gulungan kertas adalah sebagai berikut:
 - a. Tekanan *rider roll* : 0,106 %
 - b. Kecepatan *rewinder* : 0,349 %
 - c. *Tension* kertas : 2,934 %
2. Pengaturan dari level-level variabel proses rewinding agar dapat menghasilkan kegembosan gulungan kertas yang minimum adalah sebagai berikut:
 - a. Tekanan *rider roll* sebesar 940 kg.
 - b. Kecepatan *rewinder* sebesar 650 mpm.
 - c. *Tension* kertas sebesar 2,5 lbs/in.
3. Tidak terjadi penurunan persentase cacat pada produk *test liner* yang diproduksi melalui penentuan pengaturan level dari variabel-variabel proses yang didapat dari pengolahan data hasil eksperimen yang dilakukan. Hal ini terjadi karena persentase kontribusi yang kecil sehingga masing-masing variabel kurang berpengaruh terhadap cacat kegembosan gulungan kertas.

DAFTAR PUSTAKA\

Ross, P. J., (1989), *Taguchi Techniques for Quality Engineering: Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*, McGraw-Hill International Edition, New York.

Kazancoglu, Y., Esme, U., Bayramoglu, M., Guven, O., dan Ozgun, S., (2011), "Multi-Objective Optimization of the Cutting Forces in Turning Operation Using the Grey-Based Taguchi Method," *Journal of Materials and Technology*, Vol.45, pp.105–110.

BIODATA PENULIS



Kristanto Soewandi, lahir di Semarang pada tanggal 21 November 1992. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Edy Soesanto Soewandi dan Ibu Ina Irawati. Pendidikan sekolah dasar ditempuh di SD Marsudirini Pemuda Semarang dan lulus pada tahun 2004. Pendidikan Menengah Pertama ditempuh di SMP PL Domenico Savio, lulus pada tahun 2006. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMA Kolese Loyola Semarang dan lulus pada tahun 2009. Penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Di jurusan Teknik Mesin ini, penulis mengambil bidang studi manufaktur.