Optimasi Komposisi Bahan Baku *Waste Paper* Untuk Menekan *Direct Material Cost* Menggunakan Metode Taguchi (Studi Kasus di PT. Kertas Karawang)

Simpati Samuel Tasane*, Annisa Indah Pratiwi, dan Rizki Amalia Pratiwi
Program Studi Teknik Industri, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang, Indonesia
***ti20.simpatisane@mhs.ubpkarawang.ac.id**

OPEN ACCESS

***Citation*:** Simpati Samuel Tasane, Annisa Indah Pratiwi, dan Rizki Amalia Pratiwi. 2025. Optimasi Komposisi Bahan Baku *Waste Paper* Untuk Menekan *Direct Material Cost* Menggunakan Metode Taguchi (Studi Kasus di PT. Kertas Karawang). *Journal of Research and Technology* Vol. 11 No. 2 Desember 2025: Page 195–209.

Abstract
This research aims to optimize the composition of waste paper raw materials consisting of SOP, SWL, and OMG in the paper production process at PT. Kertas Karawang. The Taguchi method was employed using an L9 (3^3) orthogonal array design with three replications for each factor combination. The ANOVA results indicated that SWL had the most dominant contribution of 39.86%, followed by SOP with 19.36%, while OMG was not significant and therefore pooled into the error term of 40.78%. The optimal setting for cost was achieved with the composition of SOP 10%, SWL 10%, and OMG 80%, resulting in production cost of Rp 1,328,123/ton. Meanwhile, the optimal setting for brightness was obtained at SOP 10%, SWL 40%, and OMG 50%, producing a brightness level of 72.46%. However, a compromise setting of SOP 20%, SWL 30–40%, and OMG 20% was considered more balanced, as it reduced the cost to Rp 1,371,755/ton while maintaining brightness at 72.35%. These findings demonstrate that the Taguchi method is effective in determining the optimal raw material composition, enabling the company to reduce production costs without sacrificing product quality.

***Keywords*:** *OMG, Optimization, Paper, SOP, SWL, Taguchi Method.*

Abstrak
Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan komposisi bahan baku waste paper berupa SOP, SWL, dan OMG dalam proses produksi kertas di PT Kertas Karawang. Metode yang digunakan adalah Taguchi dengan rancangan orthogonal array L9 (3^3) dan tiga kali replikasi pada setiap kombinasi faktor. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa faktor SWL memberikan kontribusi dominan sebesar 39,86%, diikuti oleh SOP sebesar 19,36%, sedangkan pengaruh OMG tidak signifikan dan digabungkan ke dalam error sebesar 40,78%. Setting optimal untuk biaya diperoleh pada kombinasi SOP 10%, SWL 10%, dan OMG 80% dengan biaya Rp 1.328.123/ton, sedangkan setting optimal untuk brightness

dicapai pada SOP 10%, SWL 40%, dan OMG 50% dengan tingkat brightness 72,46%. Namun, setting kompromi yang lebih seimbang dipilih pada SOP 20%, SWL 30–40%, dan OMG 20% karena mampu menurunkan biaya menjadi Rp 1.371.755/ton sekaligus mempertahankan brightness pada 72,35%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Taguchi efektif digunakan untuk memberikan rekomendasi kombinasi bahan baku yang optimal sehingga perusahaan dapat menekan biaya produksi tanpa mengorbankan kualitas kertas yang dihasilkan.

Keywords**:** *OMG, Optimasi, Kertas, SOP, SWL, Metode Taguchi.*

1. Pendahuluan

Indonesia saat ini menempati posisi ke-6 sebagai produsen kertas terbesar di dunia, dengan total 82 industri *pulp* dan kertas yang memiliki kapasitas produksi mencapai 19 juta ton. Hasil produksi tersebut dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun ekspor. Konsumsi kertas dalam negeri sendiri telah mencapai sekitar 26 kg per kapita per tahun, atau setara dengan 5,60 juta ton per tahun [1]. Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir, seiring meningkatnya perhatian global terhadap isu lingkungan, penggunaan kertas sebagai bahan baku industri mengalami perkembangan yang signifikan. Di sisi lain, pemanfaatan kertas daur ulang juga semakin meluas karena ketersediaannya yang mudah, harga yang relatif terjangkau, serta dukungan teknologi yang mampu menghasilkan kertas dengan kualitas baik [2].

Dalam industri kertas, bahan baku memegang peranan penting dalam menentukan besar kecilnya biaya produksi. Umumnya, bahan utama yang digunakan adalah *pulp,* air, serta campuran bahan kimia, dengan pulp sebagai komponen utama. *Pulp* sendiri dapat berasal dari bahan alam, seperti kayu dan bambu, maupun dari bahan daur ulang seperti kertas bekas (*waste paper*). Limbah kertas merupakan sumber selulosa yang melimpah dan sering dimanfaatkan dalam industri daur ulang untuk menghasilkan kertas baru atau produk berbasis biomaterial. Pemanfaatan ini tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga mendukung ekonomi sirkuler [3]. Dengan demikian, penggunaan kertas daur ulang di sektor industri tidak hanya menjadi strategi efisiensi biaya, tetapi juga bagian dari upaya keberlanjutan jangka panjang [4].

Hasil penelitian [5] juga menunjukkan bahwa proses daur ulang kertas berpotensi menekan jumlah sampah di Indonesia hingga 10,2% per tahun. Sebagai upaya efisiensi, PT. Kertas Karawang memanfaatkan waste paper sebagai bahan baku utama, meliputi *Sorted White Ledger* (SWL), *Sorted Office Paper* (SOP), dan *Old Magazine* (OMG). Jenis kertas bekas ini memiliki variasi harga, misalnya SOP sekitar USD 295,51/ton, SWL sekitar USD 267,73/ton, dan OMG sekitar USD 236,69/ton pada triwulan terakhir 2024. Perbedaan harga tersebut menunjukkan bahwa pengaturan komposisi bahan baku menjadi faktor strategis yang harus dioptimalkan. Hal ini sejalan dengan penelitian internasional yang membuktikan bahwa

pemilihan rasio komposisi bahan baku berpengaruh langsung terhadap biaya produksi dan kualitas produk akhir [6].

Untuk memperoleh komposisi bahan baku yang optimal, perusahaan menerapkan metode Taguchi karena metode ini dikenal efisien dan sistematis dalam merancang eksperimen, serta mampu mengevaluasi pengaruh beberapa faktor sekaligus terhadap respon yang diinginkan. Metode ini memungkinkan evaluasi pengaruh beberapa faktor terhadap respon dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit melalui penggunaan orthogonal array (OA).

Dalam penelitian [7], OA L9 (3^4) diterapkan untuk mengoptimasi komposisi bahan baku kertas berbasis pulp, perekat PVAc, dan air, sehingga diperoleh peningkatan kekuatan tarik hingga 0,7595 N/mm² serta kekuatan lentur 4,873 N/mm² hanya dengan sembilan percobaan. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh [8] yang menggunakan OA L9 pada proses ultrafiltrasi limbah produksi kertas, di mana kondisi optimal tercapai pada TMP 2,0 bar, CFV 1,041 m/s, suhu 15 °C, dan MWCO 100 kDa sehingga efisiensi penyaringan meningkat tanpa harus melakukan percobaan yang berlebihan. Kedua penelitian tersebut memperlihatkan bahwa penggunaan OA L9 efektif dalam menekan jumlah eksperimen sekaligus menghasilkan peningkatan kualitas. Dalam penelitian ini [9], menjelaskan bahwa penerapan metode Taguchi mampu mengendalikan bobot produk secara presisi serta meningkatkan efisiensi biaya hingga 2,6 % dalam produksi berbasis material.

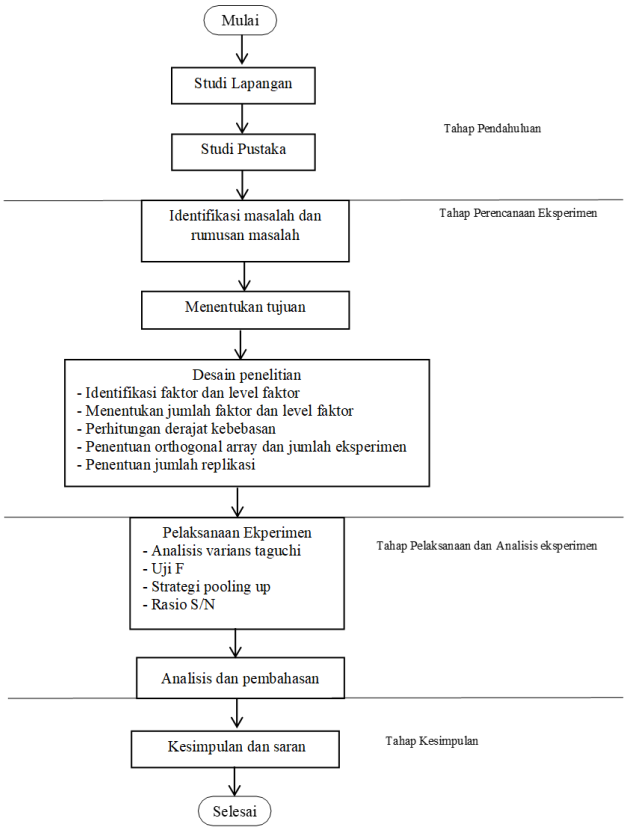
Berbeda dengan penelitian terdahulu yang lebih berfokus pada sifat mekanik atau kondisi proses, penelitian ini menitikberatkan pada optimasi komposisi bahan baku *waste paper* untuk menurunkan direct *material cost* sekaligus menjaga kualitas *brightness pulp*, sehingga kontribusinya lebih spesifik pada aspek efisiensi biaya produksi kertas. Berdasarkan pertimbangan tersebut, PT Kertas Karawang berupaya menekan biaya bahan baku langsung (direct material cost) tanpa menurunkan kualitas produk.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Departemen Deinking Plant PT. Kertas Karawang pada periode Juli–Desember 2024 dengan objek berupa komposisi bahan baku *waste paper* yang terdiri dari *Sorted White Ledger* (SWL), *Sorted Office Paper* (SOP), dan *Old Magazine* (OMG). Fokus penelitian diarahkan untuk menekan *direct material cost* tanpa menurunkan kualitas *pulp*, yang diukur melalui parameter *brightness.* Alur lengkap penelitian digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 1, yang menunjukkan tahapan mulai dari studi pendahuluan hingga penarikan kesimpulan.

Untuk mempermudah pemahaman, langkah-langkah penelitian disajikan dalam bentuk flowchart yang menggambarkan alur dari tahap awal hingga kesimpulan. Penelitian diawali dengan studi lapangan dan pustaka, dilanjutkan dengan identifikasi serta perumusan masalah, penetapan tujuan, dan perancangan desain penelitian. Desain tersebut mencakup penentuan faktor, level, derajat kebebasan, pemilihan *Orthogonal Array* (OA), jumlah eksperimen, serta replikasi. Tahap berikutnya adalah pelaksanaan eksperimen yang meliputi analisis variansi Taguchi, uji F, strategi *pooling-up*, dan perhitungan rasio S/N. Hasil analisis digunakan untuk menentukan *setting* level optimal sebelum penarikan kesimpulan dan saran. Proses penelitian

ini mengacu pada prinsip desain eksperimen yang sistematis, yang banyak digunakan pada industri proses dan manufaktur modern untuk optimasi komposisi material dan efisiensi biaya [10]. Metode penelitian menggunakan pendekatan Taguchi dengan tiga faktor bahan baku, yaitu SWL, SOP, dan OMG pada tiga level, menggunakan rancangan OA L9 (3^3) dengan total 27 percobaan yang efisien namun tetap representatif.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Untuk menggambarkan proses perhitungan menggunakana metode taguchi yang bertujuan untuk mengenai komposisi optimal penggunaan SWL, SOP, dan OMG dan mendapatkan *design of* eksperimen dalam permecahan masalah yang terjadi, berikut merupakan langkah-langkah eksperimen taguchi dilakukan:

1. Perumusan masalah
   Menentukan permasalahan utama yang akan dipecahkan, yaitu optimasi komposisi bahan baku *waste paper* (SWL, SOP, OMG) untuk menekan *direct material cost*.
2. Menentukan tujuan eksperimen
   Menemukan komposisi bahan baku optimal yang efisien secara biaya tetapi tetap memenuhi standar kualitas.
3. Menentukan faktor penelitian
   Faktor utama yang diteliti adalah jenis *waste paper* (SWL, SOP, OMG) dengan masing-masing tiga level.
4. Pemisahan faktor kontrol dan faktor *noise*

Faktor kontrol adalah variabel yang dapat diatur, sedangkan faktor *noise* tidak dapat dikendalikan (misalnya variasi kualitas kertas bekas).

5. Menentukan karakteristik kualitas
   Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *'Smaller is Better'* untuk *direct material cost* dan *'Nominal is Best'* untuk kualitas *brightness*.
6. Menentukan jumlah faktor dan level
   Dengan 3 faktor dan masing-masing 3 level, rancangan eksperimen yang dipilih adalah *Orthogonal Array* L9 (3^3).
7. Pemilihan tabel *Orthogonal Array* (OA)
   Pemilihan tabel Orthogonal Array (OA) ditentukan berdasarkan jumlah faktor dan jumlah level. Hubungan tersebut dapat dituliskan menggunakan rumus pada persamaan (1):
   $$L_a(b^c) \quad (1)$$
   dengan keterangan:
   L : Tabel *Orthogonal*
   a : Jumlah eksperimen
   b : Jumlah level
   c : Jumlah faktor
8. Mengisi kolom faktor dan interaksi ke dalam matriks orthogonal
9. Melaksanakan eksperimen
10. Mendapatkan dan menganalisis hasil eksperimen analisis variansi taguchi
    - Merumuskan matriks data variabel
    - Hitung nilai rata-rata untuk setiap percobaan eksperimental
    - Buat matriks ANOVA dua arah dengan cara berikut:

Tabel 1. Format Umum ANOVA

Sumber Variasi	SS	DOF	MS	F-Ratio	SS'	Rho%	F-tabel
Faktor A	SSA	DOFA	MSA	FA	MSA/MSE	SS'A/SST	Fα (DOF A; DOFTotal)
Faktor B	SSB	DOFB	MSB	FB	MSB/MSE	SS'B/SST	Fα (DOF B; DOFTotal)
Faktor X	SSX	DOFX	MSX	FX	MSX/MSE	SS'X/SST	Fα (DOF X; DOFTotal)
Error	SSE	DOFE	MSE	-	-	SS'E/SST	-
Total	SST	DOFT	-	-	SST	100%	-

Sesuai dengan data yang disajikan pada Tabel 1, perhitungan selanjutnya dilakukan:

a) Menghitung rata-rata eksperimen
$$y = \sum \bar{y} \quad (2)$$
b) Menghitung derajat bebas (DOF)
DOF faktor X = (jumlah level faktor X–1) (3)
$DOF_{Total} = DOF_A + DOF_B + \ldots + DOF_X$
$DOF_E = DOF_T - \Sigma DOF_X$
c) Menghitung rata-rata level faktor ($\bar{x}1$)
$$X1 = \frac{\bar{y} \text{ respon level X1}}{\sum \text{Level}} \quad (4)$$
d) Menghitung kuadrat faktor (*Sum of Square*)
$$SSx = \frac{\sum x}{nx1} + \frac{\sum x^2}{nx2} + \frac{\sum x^3}{nx3} - \frac{\sum \bar{y}^2}{n}, \quad (5)$$

e) Menghitung kuadrat total (SST)

$SS_T = \sum(\bar{y})\ 2$ (6)

f) Menghitung rata-rata kuadrat (SSM)

$SS_M = n\ .\ \bar{y}\ 2$ (7)

g) Menghitung kuadrat faktor (SSF)

$SS_F = \Sigma SS_X$ (8)

h) Menghitung kuadrat *error* (SSE)

$SS_E = SS_T - SS_M - SS_{Faktor}$ (9)

i) Menghitung rata-rata kuadrat faktor (MS_X)

$$MSx = \frac{SSx}{\mathrm{DOFx}} \quad (10)$$

j) Menghitung rata-rata kuadrat *error* (MS_E)

$$MSe = \frac{SSe}{\mathrm{DOFe}} \quad (11)$$

k) Menghitung nilai f–ratio faktor (FX)

$$FX = \frac{MSx}{\mathrm{MSe}} \quad (12)$$

l) Menghitung *pure sum of square* faktor (SS'x)

$SS'_X = SS_X - (DOF_X \times MS_E)$ (13)

m) Menghitung persentase kontribusi masing - masing faktor (Rho%)

$$Rho\%X = \frac{SSx}{\mathrm{SSt}}\ x\ 100\% \quad (14)$$

n) Melakukan pengujian f

Tes F dilakukan dengan mengevaluasi varians yang terkait dengan setiap faktor dalam hubungannya dengan varians kesalahan. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut: Ho: Tidak ada pengaruh perlakuan H1: Ada pengaruh perlakuan

o) *Signal to noise ratio* (rasio s/n)

Rasio *signal-to-noise* (S/N) berfungsi untuk memusatkan identifikasi variabel yang secara signifikan berkontribusi pada minimalisasi variabilitas dalam respons tertentu. Nilai rasio S/N yang digunakan bergantung pada karakteristik spesifik yang digunakan dalam lingkup penyelidikan. Dengan ini saya memilih *Smaller The Better*:

$$\frac{S}{N_1} = -10log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_1\ 2\right) \quad (15)$$

p) Strategi *pooling up*

Pendekatan ini diterapkan ketika variabel yang diamati tidak memiliki signifikansi statistik, sehingga memerlukan agregasi data menggunakan rumus berikut:

1. *Sum of Square Pooled*

$SS_{Pooled} = SS_E + SS_X$ (16)

2. *Derajat Kebebasan Pooled*

$DOF_{Pooled} = DOFE + DFC$ (17)

3. *Mean Square Pooled*

$$MSpooled = \frac{SSpooled}{\mathrm{DOF}pooled} \quad (18)$$

4. *Pure Sum of Square Pooled*

$SS'X_{\ Pooled} = SSX + (DOF_X\ .\ MS_{Pooled})$ (19)

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan, dimulai dari perhitungan nilai *Signal to Noise (S/N)* ratio untuk menentukan kombinasi faktor optimal berdasarkan karakteristik "*smaller-the-better*" pada direct material cost dan "*nominal-the-best*" pada kualitas brightness. Selanjutnya, dilakukan analisis varians (ANOVA) untuk melihat pengaruh signifikan tiap faktor, dilanjutkan strategi *pooling-up* bila terdapat faktor kurang signifikan, serta eksperimen konfirmasi untuk memvalidasi hasil optimal. Melalui tahapan ini, penelitian diharapkan dapat menentukan komposisi terbaik SWL, SOP, dan OMG yang menekan biaya material sekaligus menjaga kualitas pulp sesuai standar industri

3. Hasil dan Diskusi

a) Variabel *Input*

Penelitian ini menggunakan tiga variabel input utama, yaitu SOP, SWL, dan OMG, dengan total komposisi selalu 100%. Faktor OMG dihitung sebagai sisa dari total campuran, yaitu 100% − SOP − SWL. Variasi level SOP ditetapkan pada 10%, 25%, dan 40%, sedangkan SWL pada 10%, 20%, dan 40%, sementara OMG menyesuaikan kombinasi keduanya. Rentang level tersebut dipilih berdasarkan penggunaan aktual bahan baku di perusahaan dan disesuaikan dengan batas kemampuan proses produksi. Variabel input penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Input Penelitian

Factor	*Role*	*Level 1*	*Level 2*	*Level 3*	*Units*
SOP	*Mixture component*	10	25	40	%
SWL	*Mixture component*	10	20	40	%
OMG (*computed*)	*Mixture component*	100 − SOP − SWL	–	–	%

b) Variabel *Output*

Variabel output dalam penelitian ini terdiri dari dua metrik utama, yaitu *Direct Material Cost* (Rp/ton pulp) dan *Brightness Pulp* (%). *Direct Material Cost* mencerminkan efisiensi biaya bahan baku dengan kriteria *smaller-the-better*, sehingga semakin rendah nilainya semakin baik. Sementara itu, *Brightness Pulp* menunjukkan tingkat kecerahan sebagai indikator kualitas produk dengan kriteria *larger-the-better*, artinya semakin tinggi nilainya semakin baik. Kedua variabel ini digunakan untuk menilai keseimbangan antara efisiensi biaya dan kualitas hasil produksi. Variabel output penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel *Output*

Variabel *Output*	Deskripsi	Kriteria Penilaian
Direct Material Cost (Rp/ton pulp)	Efisiensi biaya bahan baku dalam produksi pulp	*Smaller-the-better* (semakin kecil semakin baik)
Brightness Pulp (%)	Tingkat kecerahan pulp sebagai indikator kualitas	*Larger-the-better* (semakin besar semakin baik)

c) Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas dalam penelitian ini adalah *Direct Material Cost* dan *Brightness Pulp*. Kedua respon dipengaruhi langsung oleh variasi proporsi SOP, SWL, dan OMG. Untuk keperluan analisis Taguchi, kedua respon tersebut ditransformasikan ke dalam bentuk *Signal-to-Noise* (S/N) ratio sesuai dengan kriteria masing-masing.

d) Penentuan Variabel Bebas

Variabel bebas adalah faktor input yang diatur dalam percobaan, yaitu SOP, SWL, dan OMG dengan tiga level proporsi. Variasi faktor inilah yang menyebabkan perbedaan hasil respon (*Cost dan Brightness*) dalam setiap kombinasi percobaan.

e) Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Masing-masing faktor ditetapkan memiliki tiga level proporsi (Level 1 = rendah, Level 2 = sedang, Level 3 = tinggi). Penentuan level didasarkan pada kondisi aktual penggunaan bahan baku di pabrik serta batasan teknis proses.

Tabel 3. Penilaian Kuantitas Tingkat Hierarkis dan Signifikansi Tingkat Faktorial

Factor	*Role*	*Level 1*	*Level 2*	*Level 3*	*Units*
SOP	*Mixture component*	10	25	40	%
SWL	*Mixture component*	10	20	40	%
OMG (*computed*)	*Mixture component*	100 − SOP − SWL	–	–	%

f) Perhitungan Derajat Kebebasan

Dalam penelitian ini digunakan rancangan eksperimen *Orthogonal Array* (OA) L9 dengan total 9 run percobaan yang masing-masing direplikasi sebanyak 3 kali sehingga menghasilkan 27 observasi. Derajat kebebasan (*Degree of Freedom*/DOF) total yang diperoleh adalah sebesar 27 – 1 = 26. Setiap faktor memiliki 3 level variasi, sehingga DOF untuk masing-masing faktor adalah 3 – 1 = 2. Dengan adanya tiga faktor utama, maka jumlah DOF faktor adalah 2 × 3 = 6. Sisa derajat kebebasan dialokasikan sebagai DOF *error,* yaitu sebesar 26 – 6 = 20. Perhitungan ini menunjukkan keseimbangan antara faktor yang diuji dengan error, sehingga model percobaan dapat diolah lebih lanjut menggunakan *analisis variansi* (ANOVA).

g) Pemilihan Matriks *Orthogonal*

Matriks *Orthogonal Array* yang dipilih adalah OA L9 (3^3) karena sesuai dengan jumlah faktor (3 faktor × 3 level). OA ini mampu merepresentasikan kombinasi percobaan dengan efisien tanpa harus mencoba seluruh 27 kombinasi penuh.

h) Penempatan Kolom Faktor dan Interaksi

Dalam metode Taguchi, *Orthogonal Array* (OA) digunakan untuk menyusun kombinasi percobaan secara efisien agar seluruh faktor terwakili dengan jumlah percobaan minimal. Pada desain OA L9, tiga faktor utama ditempatkan pada kolom pertama hingga ketiga, yaitu SOP (A), SWL (B), dan OMG (C), sedangkan satu kolom tambahan digunakan untuk interaksi antar

faktor, seperti A×B. Susunan percobaan dengan tiga faktor utama dan satu interaksi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penentuan Level Faktor

Run	***SOP (%)***	***Level SOP***	***SWL (%)***	***Level SWL***	***Respon (OMG %)***
1	10	L1	20	L1	70
2	10	L1	10	L2	80
3	10	L1	40	L3	50
4	25	L2	10	L1	65
5	25	L2	20	L2	55
6	25	L2	40	L3	35
7	40	L3	10	L1	50
8	40	L3	20	L2	40
9	40	L3	40	L3	20

Kolom interaksi di atas dihitung berdasarkan kombinasi level faktor A dan B sesuai aturan standar OA L9. Perlu dicatat bahwa pemilihan kolom interaksi tidak sepenuhnya bebas karena terdapat potensi konfounding, yaitu kondisi di mana efek interaksi dapat tercampur dengan efek faktor lain. Oleh karena itu, pemilihan interaksi yang akan dianalisis sebaiknya disesuaikan dengan tujuan utama eksperimen.

i) Pelaksanaan Eksperimen Taguchi

Dalam metode Taguchi, desain *Orthogonal Array* (OA) L9 digunakan untuk menguji tiga faktor pada tiga level secara efisien. Penempatan kolom dalam OA mengikuti aturan standar agar keseimbangan kombinasi level tetap terjaga. Dalam penelitian ini, tiga faktor utama yang digunakan adalah SOP (A), SWL (B), dan OMG (C), yang masing-masing ditempatkan pada kolom 1–3, sedangkan kolom 4 digunakan untuk interaksi antar faktor, seperti A×B (SOP×SWL). Namun, OA L9 memiliki keterbatasan berupa *confounding*, di mana beberapa interaksi tidak sepenuhnya terpisah dari faktor utama, sehingga pemilihan interaksi harus mempertimbangkan faktor yang paling berpengaruh. Rincian desain OA L9 beserta perhitungan OMG disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. OA L9 dengan OMG Dihitung (Komposisi Total = 100%)

Run	*SOP (A) level*	*SWL (B) level*	*OMG (computed) = 100 − SOP − SWL (%)*
1	10	20	70.0
2	10	10	80.0
3	10	40	50.0
4	25	10	65.0
5	25	20	55.0
6	25	40	35.0
7	40	10	50.0
8	40	20	40.0
9	40	40	20.0

j) Perhitungan Hasil Eksperimen

Dalam penelitian ini digunakan *Orthogonal Array* L9 (OA L9) untuk mengatur kombinasi level faktor SOP, SWL, dan OMG. Setiap run merepresentasikan kombinasi unik dari ketiga faktor tersebut sehingga diperoleh sembilan eksperimen dengan nilai respon berupa *Cost* (Rp)

dan *Brightness.* Dari hasil percobaan, dilakukan perhitungan nilai rata-rata (mean) untuk masing-masing respon serta transformasi ke dalam bentuk *Signal-to-Noise Ratio* (S/N ratio), baik untuk *Cost* maupun *Brightness.* Hasil perhitungan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan hasil eksperimen

Run	*SOP (%)*	*SWL (%)*	*OMG (%)*	*Mean Cost (Rp)*	*Mean Bright (%)*	*S/N Cost (dB)*	*S/N Bright (dB)*
1	10	20	70	1.371.755	72,35	-122,746	37,189
2	10	10	80	1.328.123	71,84	-122,465	37,127
3	10	40	50	1.459.019	72,29	-123,281	37,182
4	25	10	65	1.390.059	71,90	-122,861	37,134
5	25	20	55	1.433.691	72,31	-123,129	37,184
6	25	40	35	1.520.955	72,18	-123,642	37,168
7	40	10	50	1.451.995	71,92	-123,239	37,137
8	40	20	40	1.495.627	71,42	-123,496	37,076
9	40	40	20	1.582.891	71,89	-123,989	37,133

Tabel di atas, memperlihatkan bagaimana kombinasi level faktor memberikan pengaruh berbeda terhadap nilai *Cost* maupun *Brightness*. Perbedaan yang terlihat pada nilai *mean* serta variasi pada nilai *S/N ratio* menjadi dasar untuk melakukan analisis lebih lanjut, seperti perhitungan kontribusi faktor melalui ANOVA. Dengan cara ini, faktor yang paling dominan dalam memengaruhi respon dapat diidentifikasi secara lebih objektif dan terukur.

Hasil Pengaruh level dan Faktor

Analisis pengaruh faktor dalam metode Taguchi dilakukan menggunakan nilai rata-rata *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) pada tiap level untuk mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh dan menentukan tingkat optimal. Besarnya pengaruh relatif diukur melalui nilai delta (selisih SNR tertinggi dan terendah), sedangkan ranking ditentukan berdasarkan delta terbesar. Berdasarkan hasil perhitungan S/N dengan kriteria *smaller-the-better* pada variabel *Direct Material Cost*, faktor SOP memiliki pengaruh dominan dengan delta 0,3802, diikuti SWL 0,7826, dan OMG 1,5243. Kombinasi level optimal untuk meminimalkan biaya diperoleh pada SOP3–SWL2–OMG1, dengan urutan kontribusi faktor ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. *Cost (Smaller-the-Better)*

Faktor	Level 1 (avg S/N)	Level 2 (avg S/N)	Level 3 (avg S/N)	Delta (max–min)	Ranking
SOP	-122,831	-123,211	-122,831	0,3802	3
SWL	-122,855	-123,124	-123,638	0,7826	2
OMG	-123,989	-123,260	-122,465	1,5243	1

Selain biaya, analisis rasio S/N juga dilakukan pada variabel *Brightness Pulp* dengan kriteria larger-the-better. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh dalam meningkatkan kualitas kecerahan pulp. Sementara itu, untuk respon *Brightness* (*larger-the-better*), faktor SOP kembali menjadi faktor yang paling dominan meskipun selisih pengaruh antar faktor relatif kecil. SOP memiliki delta (0,0505), diikuti SWL (0,0282) dan OMG (0,0321). Level terbaik untuk memaksimalkan brightness dicapai pada kombinasi SOP1 – SWL3 – OMG2. Serta ranking kontribusi faktor ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. *Brightness (Larger-the-Better)*

Faktor	Level 1 (avg S/N)	Level 2 (avg S/N)	Level 3 (avg S/N)	Delta (max–min)	Ranking
SOP	37,166	37,162	37,115	0,0505	1
SWL	37,133	37,150	37,161	0,0282	3
OMG	37,150	37,159	37,127	0,0321	2

Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor SOP konsisten menjadi variabel yang paling berpengaruh terhadap kedua respon, meskipun arah level optimum berbeda untuk masing-masing respon sehingga memunculkan *trade-off* yang perlu dikelola dalam optimasi multi-respon.

k) Analisis *Varians*

Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh faktor SOP, SWL, dan OMG terhadap respon *S/N Cost* dan *S/N Brightness*. Nilai *Sum of Squares* (SS) dihitung dari rata-rata S/N tiap level faktor untuk memperoleh *Mean Square* (MS), nilai F-hitung, dan persentase kontribusi. Hasil analisis *S/N Cost* (Tabel 9) menunjukkan faktor OMG paling dominan dengan kontribusi 56,34% (F-hitung 83,75), diikuti SWL 28,93% (F-hitung 43,00) dan SOP 14,05% (F-hitung 20,89), sedangkan error hanya 0,67%. Ini menandakan efisiensi biaya terutama dipengaruhi oleh komposisi OMG. Sementara itu, hasil *S/N Brightness* (Tabel 10) menunjukkan faktor SOP memiliki pengaruh terbesar sebesar 38,74% (F-hitung 2,58), diikuti OMG 24,63% (F-hitung 1,64) dan SWL 21,60% (F-hitung 1,44), dengan error 15,03%, yang berarti kualitas kecerahan pulp lebih dipengaruhi oleh SOP meskipun ketiga faktor relatif seimbang.

Tabel 9. *Anova – Direct Material Cost*

Sumber Variasi	DOF	SS	MS	F-hitung	Kontribusi (%)
SOP	2	0,3802	0,190098	20,88988	14,05%
SWL	2	0,7826	0,391306	43,00062	28,93%
OMG	2	1,5243	0,762127	83,75025	56,34%
Error	2	0,0182	0,0091		0,67%
Total	8	2,7053			100%

Tabel 10. Anova – *Brightness*

Sumber Variasi	DOF	SS	MS	F-hitung	Kontribusi (%)
SOP	2	0,0505	0,025253	2,576834	38,74%
SWL	2	0,0282	0,014079	1,436651	21,60%
OMG	2	0,0321	0,016055	1,638278	24,63%
Error	2	0,0196	0,0098		15,03%
Total	8	0,1304			100%

l) Strategi *Pooling Up*

Analisis varians (ANOVA) untuk respon *Direct Material Cost* (Tabel 11) menunjukkan bahwa faktor SWL memiliki kontribusi dominan sebesar 39,86% dengan nilai F 1,95, sehingga berpengaruh signifikan terhadap biaya produksi. Faktor SOP hanya berkontribusi 19,36% dengan nilai F 0,95, sedangkan sisa variasi 40,78% termasuk dalam *error* yang mencakup pengaruh OMG dan kemungkinan kesalahan eksperimen. Sementara itu, pada respon *S/N Brightness* (Tabel 12), faktor SOP memberikan pengaruh terbesar dengan kontribusi 39,95% dan nilai F 2,12, diikuti SWL sebesar 22,27% (F 1,18) dan error sebesar 37,78%. Hasil ini menunjukkan bahwa SOP berperan penting dalam meningkatkan kualitas kecerahan *pulp*, sedangkan SWL lebih berpengaruh terhadap efisiensi biaya, sehingga keduanya perlu diperhatikan dalam penetapan komposisi bahan baku yang optimal.

Tabel 11. *Strategi pooling up (respon: s/n cost)*

Sumber Variasi	DOF	SS	MS	F	% Kontribusi
SOP	2	0,3802	0,190098	0,949527	19,36%
SWL	2	0,7826	0,391306	1,954546	39,86%
Error (OMG + Err)	4	0,8008	0,200203		40,78%
Total	8	1,9636			100%

Tabel 12. *Strategi Pooling Up (Respon: S/N Brightness)*

Sumber Variasi	DOF	SS	MS	F	% Kontribusi
SOP	2	0,0505	0,025253	2,115062	39,95%
SWL	2	0,0282	0,014079	1,179201	22,27%
Error (OMG + Err)	4	0,0478	0,01194		37,78%
Total	8	0,1264			100,00%

Analisis pooling up menunjukkan bahwa faktor SOP menjadi variabel dominan yang memengaruhi *Direct Material Cost* maupun *Brightness Pulp*, sementara faktor OMG berkontribusi pada tingkat menengah dan SWL relatif kecil sehingga digabungkan dengan error. Hasil perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dengan kriteria *smaller-the-better* untuk biaya dan larger-the-better untuk brightness memperlihatkan adanya trade-off. Kombinasi pada Run 2 (SOP 10%, SWL 10%, OMG 80%) memberikan performa terbaik dari sisi efisiensi biaya, sedangkan Run 6 (SOP 25%, SWL 40%, OMG 35%) menghasilkan kualitas brightness tertinggi. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan kompromi, seperti *Grey Relational Analysis* atau metode pembobotan, untuk memperoleh kombinasi faktor yang optimal secara keseluruhan. Rincian nilai SNR pada setiap run percobaan ditampilkan pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. *Signal-to-Noise Ratio (S/N ratio),*

Run	Mean Cost (Rp)	Mean Bright (%)	S/N Cost (dB)	S/N Bright (dB)
1	1.371.755	72,35	-122,746	37,189
2	1.328.123	71,84	-122,465	37,127
3	1.459.019	72,29	-123,281	37,182
4	1.390.059	71,90	-122,861	37,134
5	1.433.691	72,31	-123,129	37,184

Run	Mean Cost (Rp)	Mean Bright (%)	S/N Cost (dB)	S/N Bright (dB)
6	1.520.955	72,18	-123,642	37,168
7	1.451.995	71,92	-123,239	37,137
8	1.495.627	71,42	-123,496	37,076
9	1.582.891	71,89	-123,989	37,133

m) Pemilihan Kombinasi Level Faktor Optimal

1. Penetapan Setting Awal

Sebelum penerapan optimasi menggunakan metodologi Taguchi, konfigurasi awal dibuat yang secara akurat mencerminkan kondisi yang berlaku dalam perusahaan mengenai pemanfaatan bahan baku. Konfigurasi awal ini berasal dari konsumsi rata-rata bahan baku kertas bekas selama jangka waktu Juli hingga Desember 2024. Proporsi yang digunakan terdiri dari SOP pada 30%, SWL pada 40%, dan OMG pada 30%. Konfigurasi awal ini berfungsi sebagai tolak ukur dasar atau referensi untuk evaluasi hasil yang dicapai dari konfigurasi level optimal.

Tabel 14. Penetapan *Setting* Awal

Faktor	Deskripsi	Setting Awal (%)
SOP	*Sorted Office Paper*	30
SWL	*Sorted White Ledger*	40
OMG	*Old Magazine*	30

2. Penetapan Setting Level Optimal

Hasil analisis Taguchi selanjutnya digunakan untuk menetapkan level faktor yang menghasilkan kondisi optimal. Berdasarkan perhitungan, diperoleh kombinasi proporsi bahan baku yang memberikan hasil terbaik terhadap respon penelitian. Rincian setting level optimal ditunjukkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Penetapan *Setting* Level Optimal

Faktor	Deskripsi	*Setting* Optimal
SOP	*Sorted Office Paper*	10
SWL	*Sorted White Ledger*	10
OMG	*Old Magazine*	80

3. Hasil dari Penetapan Setting Level dan Faktor Optimal

Berdasarkan hasil analisis rasio S/N dan ANOVA untuk kedua respon, ditetapkan level faktor yang menghasilkan kondisi optimal. Penentuan setting optimal mempertimbangkan tiga skenario, yaitu optimasi untuk menekan *Direct Material Cost*, meningkatkan *Brightness Pulp*, serta kompromi antara keduanya untuk mencapai keseimbangan efisiensi biaya dan kualitas. Perbandingan antara setting awal dan setting optimal disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Penetapan *Setting* Level dan Faktor Optimal

Setting	SOP	SWL	OMG	*Cost* (Rp)	*Brightness* (%)	Perubahan *Cost*	Perubahan *Brightness*
Awal (*Baseline*)	30%	40%	30%	1.520.955	72.18	–	–

Setting	**SOP**	**SWL**	**OMG**	***Cost* (Rp)**	***Brightness* (%)**	**Perubahan *Cost***	**Perubahan *Brightness***
Optimal *Cost*	10%	10%	80%	1.328.123	71.84	↓ 4.4%	↓ 0.34%
Optimal *Brightness*	10%	40%	50%	1.459.019	72.46	↑ 0.25%	↑ 0.28%
Optimal Kompromi	10%	20%	70%	1.371.755	72.35	↓ 2.5%	↑ 0.17%

4. Kesimpulan

Penelitian ini membahas perencanaan dan pengendalian komposisi bahan baku waste paper (SOP, SWL, dan OMG) dalam proses produksi kertas di PT Kertas Karawang dengan pendekatan metode Taguchi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa faktor SWL memberikan kontribusi terbesar terhadap respon biaya maupun kualitas dengan pengaruh sebesar 39,86%, diikuti oleh faktor SOP dengan kontribusi 19,36%, sedangkan faktor OMG tidak signifikan dan digabungkan ke dalam error. Analisis kombinasi level menunjukkan bahwa setting optimal untuk biaya diperoleh pada komposisi SOP 10%, SWL 10%, dan OMG 80% dengan *cost* Rp 1.328.123/ton, sedangkan setting optimal untuk *brightness* diperoleh pada komposisi SOP 10%, SWL 40%, dan OMG 50% dengan brightness 72,46%. Namun, untuk mendapatkan keseimbangan antara efisiensi biaya dan kualitas produk, setting kompromi pada komposisi SOP 10%, SWL 20%, dan OMG 70% dinilai lebih tepat karena mampu menekan biaya hingga Rp 1.371.755/ton sekaligus mempertahankan brightness pada 72,35%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode Taguchi mampu memberikan rekomendasi kombinasi bahan baku yang optimal dalam menekan biaya tanpa mengorbankan kualitas, serta menjadi dasar pengendalian persediaan bahan baku yang lebih efisien di PT. Kertas Karawang.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Kertas Karawang yang telah memberikan izin dan mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Widayanti and I. Rostika, "Analisis Mutu Proses Produksi Kertas Dupleks dengan Mempertimbangkan Waktu Kerusakan untuk Meminimumkan Biaya Cacat, J," *J. Selulosa*, vol. 9, no. 2, pp. 87–96, 2019.

[2] M. I. A. Nuruddin and K. Nadliroh, "Analisa Pemilihan Bahan Baku Kertas Daur Ulang Jenis Test Liner Di PT X," *J. Mesin Nusant.*, vol. 5, no. 1, pp. 53–64, 2022, Accessed: Aug. 31, 2025. [Online]. Available: http://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/JMN/article/view/17523

[3] R. C. Rapati, A. Victor, A. R. Raharjo, and A. Nuraisyah, "Plastic waste management to support the circular economy in the pulp and paper industry," *Bus. Rev. Case Stud.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–1, 2023, Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: https://journal.ipb.ac.id/index.php/brcs/article/view/46581

[4] A. I. Suryani *et al.*, "Pemanfaatan Sampah Kertas Menjadi Kertas Daur Ulang Bernilai Ekonomi Dan Keberlanjutan," *J. Pengabdi. UntukMu NegeRI*, vol. 8, no. 3, pp. 428–488, 2024, Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: https://ejurnal.umri.ac.id/index.php/PengabdianUMRI/article/view/7780

[5] P. D. Santosa and W. Widiasih, "ANALISIS PERAWATAN PAPER MACHINE UNTUK MENGURANGI KERTAS PUTUS PADA PT. X PAPER MILLS DI JAWA TIMUR," *Tabaos*, vol. 4, no. 1, pp. 17–26, 2024.

[6] V. Gyliene, A. Brasas, A. Ciuplys, and J. Jablonskyte, "Optimization of the Surface Roughness and Chip Compression Ratio of Duplex Stainless Steel in a Wet Turning Process Using the Taguchi Method," *Machines*, vol. 12, no. 7, p. 437, 2024, Accessed: Sept. 11, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2075-1702/12/7/437

[7] P. Pangestu, A. H. Q. Ayun, R. T. Wulandari, E. Nabilah, and E. Pujiyanto, "Multi-response Characteristics Optimization of a Paper-based Composite using Taguchi Method and Particle Swarm Optimization," *J. Tek. Ind. J. Keilmuan Dan Apl. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 1, pp. 55–64, 2020, Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: http://jurnalindustri.petra.ac.id/index.php/ind/article/view/22494

[8] M. R. S. Sousa, J. Lora-García, M.-F. López-Pérez, A. Santafé-Moros, and J. M. Gozálvez-Zafrilla, "Operating conditions optimization via the Taguchi method to remove colloidal substances from recycled paper and cardboard production wastewater," *Membranes*, vol. 10, no. 8, p. 170, 2020, Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2077-0375/10/8/170

[9] G.-B. Chen, C.-Y. Chang, C.-T. Chen, and K.-C. Huang, "A Study of Catalytic Copyrolysis of Sewage Sludge and Waste Plastics Using Taguchi Method," *Int. J. Energy Res.*, vol. 2024, no. 1, p. 8667049, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/8667049.

[10] M. Dai *et al.*, "Advancing sustainability in China's pulp and paper industry requires coordinated raw material supply and waste paper management," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 198, p. 107162, 2023, Accessed: Oct. 06, 2025. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923002975.