

ANALISIS REGRESI MULTIVARIAT PADA KARAKTERISTIK KUALITAS DALAM DIVERSIFIKASI PRODUK KERTAS

MULTIVARIATE REGRESSION ANALYSIS ON QUALITY CHARACTERISTICS WITHIN PAPER PRODUCT DIVERSIFICATION

Nurilia Fitri Prabawati¹⁾, Arif Rahman²⁾, Lalu Tri Wijaya Nata Kusuma³⁾

Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: nuriliafitrip@gmail.com¹⁾, posku@ub.ac.id²⁾, eltrijw@ub.ac.id³⁾

Abstrak

PT.X adalah suatu perseroan yang bergerak di bidang industri kertas Indonesia. Perusahaan melakukan produksi untuk memenuhi kebutuhan kertas budaya dan kertas industri yang terdiri dari Folding Box Board (termasuk produk FSC Mixed), Solid Bleach Board, dan Duplex Board. Tetapi, sejak Mei 2012, target penjualan kertas PT.X tidak dapat terealisasi. Berdasarkan data loss market analysis, ketidakberhasilan penjualan disebabkan karena spesifikasi produk yang diproduksi oleh PT.X tidak memenuhi spesifikasi konsumen. Berdasarkan permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan, maka diangkat permasalahan sebagai topik analisis berupa bagaimana cara untuk mempercepat pemasaran dengan diversifikasi produk. Pada penelitian ini, proses diversifikasi produk terhadap spesifikasi kertas PT.X tidak dilakukan dengan melanjutkan produk yang sudah ada kemudian disempurnakan untuk ditawarkan ke pasar, melainkan dimulai dari spesifikasi kertas yang dibutuhkan oleh industri hilir yang merupakan akar masalah pemasaran. Diversifikasi produk ini dilakukan dengan menggunakan fungsi regresi multivariat yang merupakan integrasi dari dua fungsi regresi linear berganda. Fungsi regresi estimasi yang digunakan dalam tahap diversifikasi produk, yaitu $Y_1 = 1200,795 - 0,022 x_1 - 436,086 x_{2t} + 0,050 x_3 - 0,719 x_4$ dan $Y_2 = 1378,440 - 0,034 x_1 - 382,343 x_{2t} + 0,050 x_3 - 1,121 x_4$, di mana flow bottom (X_1), flow middle transformasi (X_{2t}), flow top (X_3), speed (X_4) sebagai variabel bebas dan basis weight (Y_1) serta caliper (Y_2) sebagai variabel terikat. Contoh spesifikasi produk baru yang dapat diterapkan di PT.X berdasarkan fungsi regresi estimasi yang merujuk pada karakteristik kualitas produk PT.X yaitu Continuous Pressure Laminates (CPL) dengan gramatur 220 g/m² dan caliper 300 μ m, white back folding box board dengan gramatur 230 g/m² dan caliper 325 μ m, serta CIS art board dengan gramatur 270 g/m² dan caliper 385 μ m.

Kata kunci : kertas, pemasaran, diversifikasi, multivariat, regresi.

1. Pendahuluan

PT.X adalah suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri kertas di Indonesia. PT.X menerapkan kebijakan *mass production*. Waktu kerja perusahaan selama 24 jam/ hari, terbagi dalam tiga *shift* kerja dengan waktu kerja setiap *shift* masing-masing selama 40 jam/minggu (5 hari). Perusahaan lebih memilih untuk melakukan produksi terus-menerus dengan tujuan optimalisasi sumber daya, baik berupa mesin maupun tenaga kerja.

Namun berdasarkan data *loss market analysis*, kebijakan perusahaan nampaknya tidak diimbangi dengan keberhasilan pemasaran. Persepsi ini dibenarkan dengan rentan habisnya kapasitas gudang *inventory* (gudang *intermediate* PT.X) akhir-akhir ini akibat produk PT.X tidak berhasil terjual. Produk yang tidak segera terjual menyebabkan mutu produk tersebut turun dan produk tersebut masih tersimpan di dalam gudang.

Berdasarkan data *loss market analysis* disebutkan bahwa pada November 2011 hingga April 2012 ketidakberhasilan penjualan sebesar 53,62% disebabkan karena harga yang tidak sesuai. Tingginya standard mutu produk PT.X diikuti tingginya biaya produksi sehingga menyebabkan harga produk cenderung tinggi bagi konsumen. Dalam menanggapi hal ini, perusahaan tetap mempertahankan mutu produk meskipun harga jual produk PT.X tinggi karena segmen pasar utama PT.X adalah induk perusahaan yang membutuhkan mutu produk yang telah distandardisasi oleh PT.X selama ini.

Sedangkan pada November 2012 hingga April 2013 ketidakberhasilan penjualan meningkat dari tahun sebelumnya menjadi 11,36% disebabkan oleh ukuran atau barang yang tidak tersedia. Ketidakberhasilan penjualan tersebut menunjukkan bahwa spesifikasi produk yang diproduksi oleh PT.X tidak memenuhi spesifikasi konsumen.

Permasalahan ini menjadi fokus perusahaan karena diharapkan apabila permasalahan terhadap spesifikasi produk dapat diselesaikan maka terdapat kemungkinan permasalahan akibat harga jual produk juga akan ikut terselesaikan.

Berdasarkan permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan, maka diangkat permasalahan sebagai topik analisis berupa bagaimana cara untuk mempercepat pemasaran dengan diversifikasi produk. Topik ini diambil dengan mempertimbangkan masih tingginya permintaan terhadap kertas di PT.X apabila pembuatannya ditujukan untuk segmen pasar yang tepat. Diversifikasi tersebut memberi kemungkinan adanya varian kertas baru sehingga dapat dilakukan penawaran kepada segmen pasar yang baru. Spesifikasi kertas untuk membuat varian baru tersebut hendaknya diperoleh dari konsumen agar dapat mendukung keberhasilan pemasaran. Dalam penelitian ini, spesifikasi diukur dari gramatur dan ketebalan kertas.

Menurut Julianti, E. dan M. Nurminah (2006: 33), dalam proses pembuatan kertas, pulp yang mengandung air 96% dan bahan padat 4% ketika dimasukkan ke dalam alat pengaduk mengalami pemisahan antara serat dan fibril yang disebut proses fibrilisasi, yaitu proses pecahnya lapisan kambium yang mengelilingi serat karena serat-serat membesar dan fibril terbuka. Pengadukan yang sedikit akan menghasilkan kertas dengan daya serap tinggi dan daya sobek tinggi. Tetapi apabila pengadukan dilanjutkan maka kertas menjadi lebih padat dan daya sobek menurun. Penambahan bahan perekat seperti resin, pati, dan tawas ke dalam alat pengaduk bertujuan untuk meningkatkan daya tahan air dan daya ikat tinta sehingga kertas dapat dicetak, selain itu juga mempengaruhi sifat adhesif yang berperan dalam pembuatan kemasan. Bahan lain yang ditambahkan untuk kecerahan dan kekakuan, seperti titanium dioksida, sodium silikat, tanah diatom, kasein, lilin dan kapur. Dari pernyataan ini, maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan pada saat proses pembuatan kertas mempengaruhi sifat kertas di samping jenis dan komposisi serat kertas yang digunakan.

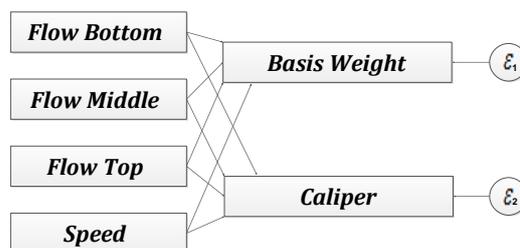
Karena jenis dan komposisi serat kertas selalu dibuat homogen terlebih dahulu, maka spesifikasi produk selanjutnya diatur oleh bagian proses pembuatan lembaran kertas. Berdasarkan kondisi tersebut, maka metode

analisis regresi dapat diterapkan untuk membuat diversifikasi produk dalam penelitian ini dengan menggunakan variabel prediktor berupa sistem kontrol proses pembuatan kertas. Terdapat korelasi antara variabel yang digunakan sebagai kontrol dalam proses pembuatan kertas dengan spesifikasi produk yang akan dibuat. Kontrol tersebut berupa volume buburan pembuat kertas (lt/min) yang disebut *flow* dan kecepatan mesin *wire* (m/min) yang dikenal dengan *speed*. PT.X membuat kertas dalam beberapa lapisan (*multi-ply*) dan *flow* pada setiap lapisan memiliki standard tersendiri sehingga kontrol volume buburan dibedakan menjadi *flow for bottom ply*, *flow for middle ply*, dan *flow for top ply*.

Selanjutnya dalam menentukan variabel terikat, oleh karena spesifikasi produk memberi kemungkinan untuk dijadikan beberapa variabel respon, maka regresi multivariat dapat diterapkan dalam penelitian ini. PT.X melakukan pengendalian pada gramatur (*basis weight*) dan ketebalan (*caliper*) karena dianggap mampu mewakili sifat kertas lainnya. Sehingga pada penelitian ini, akan digunakan *basis weight* dan *caliper* sebagai variabel respon.

2. Metode Penelitian

Menurut Hussey, J. dan R. Hussey (2003: 9), jenis penelitian dibedakan berdasarkan tujuan, proses, logika berpikir, dan keluaran dari penelitian. Penelitian ini termasuk penelitian eksplanatif. Penelitian ini dalam prosesnya menggunakan analisis kuantitatif. Penelitian ini merupakan penelitian terapan, yaitu penelitian yang telah dirancang untuk menerapkan temuannya dengan tujuan memecahkan tertentu (*existing problem*). Pada tahap pengolahan data menjadi model regresi, logika berpikir yang digunakan oleh penelitian ini adalah metode induktif. Metode induktif bergerak dari khusus ke umum. Sedangkan pada tahap diversifikasi produk, penelitian ini menggunakan metode deduktif.



Gambar 1. Konstruk variabel penelitian

Gambar 1. menunjukkan konstruk variabel penelitian ini. Konstruk dalam penelitian ini merupakan bentuk formatif, yaitu variabel terikat dibentuk dari sejumlah indikator.

2.1 Langkah – langkah Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Survei Pendahuluan
Observasi di PT.X dilakukan untuk memperoleh gambaran dari kondisi sebenarnya objek yang akan diteliti. Studi kasus diambil dari masalah yang sedang dihadapi oleh bagian *Finishing* PT.X.
2. Studi Literatur
Studi literatur digunakan untuk mempelajari teori yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Sumber literatur diperoleh dari buku, jurnal, prosiding, serta literatur lainnya yang berisi karakteristik kualitas kertas, *parameter diagram* Taguchi, regresi multivariat, dan *morphological chart*.
3. Identifikasi dan Perumusan Masalah
Identifikasi masalah dilakukan untuk membantu peneliti dalam merumuskan masalah yang akan diteliti. Pada penelitian ini, topik permasalahan yaitu cara melakukan diversifikasi terhadap produk kertas PT.X.
4. Mengumpulkan Data
 - a. Data primer diperoleh dari diskusi dengan pihak perusahaan mengenai permasalahan yang sedang dihadapi serta kebijakan-kebijakan yang diterapkan oleh perusahaan.
 - b. Data sekunder meliputi data-data yang mendukung habisnya kapasitas gudang, data sistem kontrol untuk pembuatan kertas, *Certified of Analysis (COA)*, dan informasi yang mendukung tahapan diversifikasi produk.
5. Pengolahan Data
 - a. Melakukan klasifikasi parameter menggunakan *parameter diagram* Taguchi.
 - b. Membuat model regresi estimasi yaitu regresi linear berganda.
 - c. Melakukan uji linearitas.
 - d. Melakukan uji asumsi klasik terhadap regresi estimasi yang dibuat.
 - e. Melakukan uji simultan (uji-*F*)
 - f. Melakukan uji koefisien individual regresi (uji-*t*)

6. Pengolahan Data
 - a. Menentukan fungsi regresi estimasi beserta respon mutu yang diharapkan.
 - b. Menentukan nilai variabel bebas yang digunakan sebagai pembangkit nilai variabel lainnya.
 - c. Memperoleh nilai variabel yang dibangkitkan dari fungsi regresi estimasi.
 - d. Memperoleh kombinasi *setting level optimal* yang digunakan untuk membuat produk baru.
 - e. Memilih *setting level optimal* yang cocok untuk diterapkan di PT.X. Tahap kelima ini dilakukan oleh perusahaan pada saat implementasi.
7. Memberikan Rekomendasi Perbaikan
Rekomendasi perbaikan pada penelitian ini mengacu pada fungsi regresi multivariat yang dibuat untuk melakukan diversifikasi produk sesuai karakteristik kualitas yang dimiliki oleh PT.X.
8. Kesimpulan dan Saran
Kesimpulan menerangkan jawaban dari rumusan masalah yang telah dibuat berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan. Sedangkan saran berisi rekomendasi sebagai tindak lanjut penelitian agar menjadi lebih baik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Klasifikasi Parameter Penelitian

Menurut Soejanto (2008) *parameter diagram* Taguchi menggambarkan faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas. Dalam penelitian ini *parameter diagram* Taguchi digunakan untuk menjelaskan darimana fungsi regresi multivariat diperoleh. Pembuatan fungsi regresi multivariat mempertimbangkan *signal factors*, *noise factors*, *control factors*, dan *scalling factors*. Klasifikasi parameter penelitian ini ditunjukkan pada Lampiran 1.

Signal factors terdiri dari bahan baku berupa pulp yang pengendaliannya dilakukan oleh bagian *Stock Preparation* di mana pulp yang digunakan hanya berupa jenis NBKP, LBKP, dan CTMP. Sedangkan pembuatan lembaran kertas diatur dengan menggunakan jenis pulp NBKP dan LBKP untuk membuat lapisan kertas bagian atas dan bawah. Lapisan kertas bagian tengah dibentuk dari campuran pulp CTMP dan kertas *broke*. Perbandingan penggunaan NBKP dan LBKP masing-masing untuk lapisan atas dan bawah adalah 20%:80%. Sedangkan untuk lapisan tengah menggunakan

CTMP dengan persentase 80%-55% tergantung persentase kertas *broke* yang dapat digunakan.

Noise factors terdiri dari tiga jenis faktor yang diklasifikasikan sebagai pengganggu dalam suatu desain/ rancangan. *Outer noise* merupakan faktor pengganggu berupa keberagaman yang ada pada lingkungan, termasuk *human errors*. *Inner noise* merupakan faktor pengganggu karena adanya kerusakan atau busuk, termasuk kerusakan pada mesin. Sedangkan *between product noise* adalah ketidaksempurnaan pada saat proses manufaktur sehingga menimbulkan gap antar keluaran (*output*).

Sedangkan *scalling factors* adalah faktor koreksi yang pada proses pembuatan kertas ini dilakukan ketika kertas melalui mesin *calender* dan *gloss calender*. *Responses* merupakan nilai-nilai dari *output* yang menginterpretasikan keseluruhan faktor dalam proses desain.

Dari *parameter diagram* Taguchi tersebut, *control factors* digunakan untuk membuat fungsi regresi multivariat. Pada penelitian ini, fungsi regresi multivariat dibuat dari *control factors* yang digunakan oleh bagian *Board Machine* dalam membuat lembaran kertas. *Control factors* tersebut berupa variabel

flow bottom, *flow middle*, dan *flow top* yang merupakan volume buburan pembuat lapisan kertas (lt/min) serta variabel *speed* yang merupakan kecepatan *wire* (m/min). Sedangkan variabel respon penelitian yang digunakan adalah *basis weight* dan *thickness/ caliper* yang telah diyakini akan mewakili bentuk respon lainnya.

3.1.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan sebagai *input* dalam pengolahan data pada penelitian ini yaitu *flow bottom* (X_1), *flow middle* (X_2), *flow top* (X_3), *Speed* (X_4) sebagai variabel bebas dan *basis weight* (Y_1) serta *caliper* (Y_2) sebagai variabel terikat. Variabel penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

3.1.2 Uji Linearitas

Uji linearitas digunakan untuk menguji variabel bebas agar dapat berhubungan dengan variabel terikat secara linear. Pengujian ini termasuk dalam uji statistik parametrik sebelum membuat fungsi regresi linear. Kelinearitasan data perlu dipenuhi agar dapat memperoleh fungsi regresi estimasi dengan benar.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Jenis Kertas	Flow_Bottom (lt/min)	Flow_Middle (lt/min)	Flow_Top (lt/min)	Speed (m/min)	BW (gr/m ²)	Caliper (μm)
ICB 210	1950	5650,00	1750	400	209,5	289,79
ICB 220	2025	5675,00	2000	400	219,8	299,01
ICB 230	2300	6000,00	2300	400	229,42	314,44
ICB 250	2310	5880,00	2290	370	250,07	345,36
ICB 270	2355	5905,00	2320	340	269,92	368,64
ICB 300	2400	5925,00	2350	290	300,48	416,36
ICB 310	2430	5775,00	2365	290	309,4	435,67
ICB 350	2150	5350,00	2150	240	348,61	500,47
WHI 210	1800	5475,00	1750	400	209	290,48
WHI 230	2250	5850,00	2250	400	229,37	314,29
FSC 210	2050	5325,00	1700	400	209,03	290,03
FSC 220	2125	5350,00	1950	400	219,07	300,23
FSC 230	2400	5675,00	2250	400	229,5	316,2
FSC 250	2410	5555,00	2240	370	249,33	344,83
FSC 270	2455	5580,00	2270	340	269,2	369
FSC 300	2500	5600,00	2300	290	299,3	415,17
FSC 310	2530	5450,00	2315	290	309,37	436,27
FSC 350	2250	5025,00	2100	240	349,17	500,27
PRO 210	1950	5850,00	1800	400	209,43	310,13
SPA 300	2400	5600,00	2300	290	300,65	417,16
SPA 350	2500	5350,00	2400	240	349,9	496,67

Sumber: Departemen Produksi PT.X (2013)

Di dalam penelitian ini, semua variabel bebas telah linear kecuali pada variabel *flow middle*.

Pada data berupa variabel *flow middle* ini dibutuhkan fungsi transformasi yang didasarkan pada fungsi monoton naik dengan turunan pertama yang semakin mengecil guna merapatkan data-data yang berharga besar. Fungsi tersebut berupa nilai x_2^k di mana $k < 1$. Melalui perhitungan secara matematis, nilai $x_2^{0,0625}$ mampu memberikan nilai variabel *flow middle* yang baku sehingga nilai signifikansi menjadi lebih baik.

3.1.3 Fungsi Regresi Estimasi

Fungsi regresi estimasi terhadap Y_1 dibuat berdasarkan variabel *basis weight* sebagai respon. Selanjutnya model ini akan diuji kelayakannya untuk mengetahui seberapa baik model yang dibuat untuk tujuan prediksi dalam penelitian ini. Model regresi estimasi tersebut adalah $Y_1 = 1200,795 - 0,022 x_1 - 436,086 x_{2t} + 0,050 x_3 - 0,719 x_4$.

Sedangkan, fungsi regresi estimasi terhadap Y_2 dibuat berdasarkan variabel *caliper* sebagai respon. Model regresi estimasi tersebut $Y_2 = 1378,440 - 0,034 x_1 - 382,343 x_{2t} + 0,050 x_3 - 1,121 x_4$.

3.1.4 Deteksi Outliers

Tabel 2. Deteksi Outliers

Jenis Kertas	e_{iY_1}	d_{iY_1}	e_{iY_2}	d_{iY_2}
ICB 210	1,328148	0,276647	-4,00394	-0,38103
ICB 220	0,767616	0,159891	-4,8199	-0,45868
ICB 230	1,395344	0,290644	4,891986	0,465544
ICB 250	1,20447	0,250885	3,016763	0,287089
ICB 270	-1,02177	-0,21283	-7,31786	-0,6964
ICB 300	-6,91083	-1,43949	-15,6399	-1,48836
ICB 310	1,914458	0,398772	3,939777	0,374927
ICB 350	5,465148	1,138364	10,11092	0,962201
WHI 210	-6,80869	-1,41822	-12,2658	-1,16727
WHI 230	2,753057	0,573449	5,552549	0,528406
FSC 210	1,18097	0,24599	-1,6484	-0,15687
FSC 220	0,360438	0,075077	-1,48436	-0,14126
FSC 230	6,15903	1,282896	12,59096	1,198213
FSC 250	0,787292	0,163989	4,602305	0,437977
FSC 270	-1,41895	-0,29556	-4,84232	-0,46082
FSC 300	-7,768	-1,61804	-14,7144	-1,40029

Lanjutan Tabel 2. Deteksi Outliers

Jenis Kertas	e_{iY_1}	d_{iY_1}	e_{iY_2}	d_{iY_2}
FSC 310	2,20728	0,459766	6,655319	0,633351
FSC 350	6,347969	1,322252	12,02646	1,144493
PRO 210	-1,24156	-0,25861	13,81602	1,314796
SPA 300	-8,60199	-1,79175	-16,1433	-1,53627
SPA 350	1,900566	0,395879	5,677042	0,540253

Deteksi *outliers* dilakukan dengan mengamati nilai gap pada respon aktual dari hasil pengukuran dengan nilai prediksi menggunakan fungsi regresi estimasi. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sampel. Data dianggap tidak layak ketika data tersebut *outlier* dengan nilai $d_i < -2$ atau $d_i > 2$.

Berdasarkan hasil pada Tabel 2. tersebut dapat diketahui bahwa tidak ada data yang mengalami *outlier*. *Range* d_{iY_1} adalah -1,79175 hingga 1,322252 dan *range* d_{iY_2} adalah -1,53627 hingga 1,314796. Setelah melalui pengujian untuk mendeteksi *outliers* ini, maka semua data sampel layak untuk dimasukkan dalam model.

3.2 Uji Asumsi Klasik

3.2.1 Asumsi Normalitas

Nilai residual dalam model regresi linear berganda dengan variabel *basis weight* sebagai respon ditunjukkan oleh Tabel 3. Nilai residual tersebut diuji normalitasnya dengan hipotesis asumsi normalitas residual menggunakan uji *kolmogorov-smirnov*.

$H_0 : F(x) = F_0(x)$, residual model regresi terhadap Y_1 mengikuti distribusi normal

$H_1 : F(x) \neq F_0(x)$, residual model regresi terhadap Y_1 tidak mengikuti distribusi normal

Tabel 3. Residual Model Regresi Estimasi

Jenis Kertas	Residual Y_1	Residual Y_2
ICB 210	1,3281484	-4,0039433
ICB 220	0,7676160	-4,8199014
ICB 230	1,3953442	4,8919862
ICB 250	1,2044700	3,0167627
ICB 270	-1,0217734	-7,3178581
ICB 300	-6,9108257	-15,6398948
ICB 310	1,9144578	3,9397772
ICB 350	5,4651476	10,1109178
WHI 210	-6,8086894	-12,2657817
WHI 230	2,7530569	5,5525492

Lanjutan Tabel 3. Residual Model Regresi Estimasi

Jenis Kertas	Jenis Kertas	Jenis Kertas
FSC 210	1,1809701	-1,6484014
FSC 220	0,3604377	-1,4843595
FSC 230	6,1590303	12,5909579
FSC 250	0,7872917	4,6023047
FSC 270	-1,4189518	-4,8423161
FSC 300	-7,7680040	-14,7143528
FSC 310	2,2072795	6,6553192
FSC 350	6,3479693	12,0264598
PRO 210	-1,2415554	13,8160242
SPA 300	-8,6019863	-16,1432920
SPA 350	1,9005663	5,6770423

Data residual model regresi estimasi terhadap Y_1 pada Tabel 3. memberikan hasil asymp. sig. (2-tailed) pada uji *kolmogorov-smirnov* sebesar 0,370. Tabel 4. menunjukkan hasil uji residual model regresi estimasi terhadap Y_1 . Nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian sebesar 1%, sehingga H_0 diterima. Karena nilai asymp. sig. (2-tailed) berada dalam daerah penerimaan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai sebaran residual model mengikuti distribusi normal.

Tabel 4. One-Sample Kolmogorov-smirnov Test Residual 1

		Residual Model 1
N		21
Normal	Mean	,00000000
Parameters ^{a,b}	Std. Deviation	4,294036648
Most Extreme	Absolute	,200
Differences	Positive	,134
	Negative	-,200
Kolmogorov-Smirnov Z		,917
Asymp. Sig. (2-tailed)		,370

- a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.

Nilai residual dalam model regresi linear berganda dengan variabel *caliper* sebagai respon ditunjukkan oleh Tabel 3. Nilai residual tersebut diuji normalitasnya dengan hipotesis asumsi normalitas residual menggunakan uji *kolmogorov-smirnov*.

$H_0 : F(x) = F_0(x)$, residual model regresi terhadap Y_2 mengikuti distribusi normal

$H_1 : F(x) \neq F_0(x)$, residual model regresi terhadap Y_2 tidak mengikuti distribusi normal

Data residual model regresi estimasi terhadap Y_2 pada Tabel 3. memberikan hasil asymp. sig. (2-tailed) pada uji *kolmogorov-smirnov* sebesar 0,734. Tabel 5. menunjukkan hasil uji residual model regresi estimasi terhadap Y_2 . Nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian sebesar 1%, sehingga H_0 diterima. Karena nilai asymp. sig. (2-tailed) berada dalam daerah penerimaan, maka dapat disimpulkan bahwa nilai sebaran residual model mengikuti distribusi normal.

Tabel 5. One-Sample Kolmogorov-smirnov Test Residual 2

		Residual Model 2
N		21
Normal	,00000000	,00000000
Parameters ^{a,b}	9,398738908	4,294036648
Most Extreme	,150	,200
Differences	,095	,134
	-,150	-,200
Kolmogorov-Smirnov Z		,686
Asymp. Sig. (2-tailed)		,734

- a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data.

3.2.2 Asumsi Homoskedastisitas

Tabel 6. Uji Park Model Regresi Estimasi terhadap Basis weight

Model	t	Sig.
(Constant)	,781	,446
Ln X_1	-,712	,487
1 Ln X_{2t}	-,165	,871
Ln X_3	,538	,598
Ln X_4	-1,575	,135

Hasil uji *park* pada Tabel 6. menunjukkan nilai sig. $\ln X_1$ sebesar 0,487 dan t_{hitung} sebesar -0,712. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *flow bottom* terhadap *basis weight* homogen.

Hasil uji *park* pada Tabel 6. menunjukkan nilai sig. $\ln X_{2t}$ sebesar 0,871 dan t_{hitung} sebesar -0,165. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *flow middle transformasi* terhadap *basis weight* homogen.

Hasil uji *park* pada Tabel 6. menunjukkan nilai sig. $\ln X_3$ sebesar 0,598 dan

t_{hitung} sebesar 0,538. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *flow top* terhadap *basis weight* homogen.

Hasil uji *park* pada Tabel 6. menunjukkan nilai sig. $\ln X_4$ sebesar 0,135 dan t_{hitung} sebesar -1,575. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *speed* terhadap *basis weight* homogen.

Hasil uji *park* ragam galat setiap variabel bebas terhadap *basis weight* memberikan kesimpulan bahwa ragam galat model regresi estimasi ini homogen.

Tabel 7. Uji *Park* Model Regresi Estimasi terhadap *Caliper*

Model	t	Sig.
(Constant)	,404	,692
Ln_X ₁	-1,071	,300
1 Ln_X _{2t}	,226	,824
Ln_X ₃	,882	,391
Ln_X ₄	-1,414	,177

Hasil uji *park* pada Tabel 7. menunjukkan nilai sig. $\ln X_1$ sebesar 0,300 dan t_{hitung} sebesar -1,071. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *flow bottom* terhadap *caliper* homogen.

Hasil uji *park* pada Tabel 7. menunjukkan nilai sig. $\ln X_{2t}$ sebesar 0,824 dan t_{hitung} sebesar 0,226. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *flow middle transformasi* terhadap *caliper* homogen.

Hasil uji *park* pada Tabel 7. menunjukkan nilai sig. $\ln X_3$ sebesar 0,391 dan t_{hitung} sebesar 0,882. Kedua nilai tersebut memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *flow top* terhadap *caliper* homogen.

Hasil uji *park* pada Tabel 7. menunjukkan nilai sig. $\ln X_4$ sebesar 0,177 dan t_{hitung} sebesar -1,414. Kedua nilai tersebut

memberikan hasil yang tidak signifikan pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} 2,921. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa ragam galat variabel *speed* terhadap *caliper* homogen.

Hasil uji *park* ragam galat setiap variabel bebas terhadap *caliper* memberikan kesimpulan bahwa ragam galat model regresi estimasi ini telah homogen.

3.2.3 Asumsi Non-autokorelasi

Hipotesis asumsi non-autokorelasi untuk model regresi estimasi Y_1 adalah

H_0 : $d_U < d_W < 4 - d_U$, model regresi estimasi Y_1 tidak mengandung autokorelasi

H_1 : $d_W < d_L$ atau $d_W > 4 - d_L$, model regresi estimasi Y_1 mengandung autokorelasi

Tabel 8. Model Summary Regresi Estimasi terhadap *Basis weight*

Model	Adjusted R-Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,991	4,80088	2,230

a. Predictors: (Constant), X_{2t}, X₃, X₄, X₁

b. Dependent Variable: Y₁

Pada nilai α sebesar 1% untuk 21 data dengan empat variabel, batas bawah *durbin-watson* yaitu 0,718 dan batas atas *durbin-watson* adalah 1,554. Nilai *durbin-watson* pada Tabel 8. sebesar 2,230 menunjukkan bahwa pada taraf keberartian sebesar 1% nilai $d_U < d_W < 4 - d_U$, yaitu $1,554 < 2,230 < 2,4660$. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa data sampel tidak mengandung autokorelasi. Kesimpulan ini sesuai dengan kondisi nyata di mana variabel bebas dapat dikendalikan secara independen untuk menentukan nilai respon tertentu tanpa harus dipengaruhi variabel bebas lainnya.

Tabel 9. Model Summary Regresi Estimasi terhadap *Caliper*

Model	Adjusted R-Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,980	10,50811	2,195

a. Predictors: (Constant), X_{2t}, X₃, X₄, X₁

b. Dependent Variable: Y₂

Hipotesis asumsi non-autokorelasi untuk model regresi estimasi Y_2 adalah

H_0 : $d_U < d_W < 4 - d_U$, model regresi estimasi Y_2 tidak mengandung autokorelasi

H_1 : $d_W < d_L$ atau $d_W > 4 - d_L$, model regresi estimasi Y_2 mengandung autokorelasi

Pada nilai α sebesar 1% untuk 21 data dengan empat variabel, batas bawah *durbin-watson* yaitu 0,718 dan batas atas *durbin-*

watson adalah 1,554. Nilai *durbin-watson* pada Tabel 9. sebesar 2,195 menunjukkan bahwa pada taraf keberartian sebesar 1% nilai $d_U < d_W < 4 - d_U$, yaitu $1,554 < 2,195 < 2,4660$. Sehingga H_0 diterima dan disimpulkan bahwa data sampel tidak mengandung autokorelasi. Kesimpulan ini sesuai dengan kondisi nyata di mana variabel bebas dapat dikendalikan secara independen untuk menentukan nilai respon tertentu tanpa harus dipengaruhi variabel bebas lainnya.

3.2.4 Asumsi Non-multikolinearitas

Tabel 10. Uji Asumsi Non-multikolinearitas terhadap Y_1

Model	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
(Constant)		
1 X ₁	,127	7,878
X ₃	,105	9,518
X ₄	,398	2,512
X _{2t}	,464	2,156

a. Dependent Variable: Y1

Berdasarkan hasil uji asumsi Tabel 10., dalam model regresi estimasi terhadap Y_1 , variabel *flow bottom* memiliki nilai VIF 7,878 dan toleransi 0,127. Kedua nilai tersebut dapat menerima H_0 dan memberikan kesimpulan bahwa variabel X_1 tidak mengalami multikolinearitas dengan variabel bebas lainnya.

Hasil uji asumsi Tabel 10., dalam model regresi estimasi terhadap Y_1 , variabel *flow middle transformasi* memiliki nilai VIF 2,156 dan toleransi 0,464. Kedua nilai tersebut dapat menerima H_0 dan memberikan kesimpulan bahwa variabel X_{2t} tidak mengalami multikolinearitas dengan variabel bebas lainnya.

Hasil uji asumsi Tabel 10., dalam model regresi estimasi terhadap Y_1 , variabel *flow top* memiliki nilai VIF 9,518 dan toleransi 0,105. Kedua nilai tersebut dapat menerima H_0 dan memberikan kesimpulan bahwa variabel X_3 tidak mengalami multikolinearitas dengan variabel bebas lainnya.

Hasil uji asumsi Tabel 10., dalam model regresi estimasi terhadap Y_1 , variabel *speed* memiliki nilai VIF 2,512 dan toleransi 0,398. Kedua nilai tersebut dapat menerima H_0 dan memberikan kesimpulan bahwa variabel X_4 tidak mengalami multikolinearitas dengan variabel bebas lainnya.

Hasil uji asumsi non-multikolinearitas setiap variabel bebas terhadap *basis weight* memberikan kesimpulan bahwa asumsi non-multikolinearitas terpenuhi. Artinya, setiap variabel bebas tidak berkorelasi dengan variabel bebas lainnya. Hasil uji non-multikolinearitas ini mendukung hasil uji non-autokorelasi. Selain itu, kesimpulan ini juga sesuai dengan kondisi nyata di mana variabel bebas dapat dikendalikan secara independen untuk menentukan nilai respon tertentu tanpa harus dipengaruhi variabel bebas lainnya.

Tabel 11. Uji Asumsi Non-multikolinearitas terhadap Y_2

Model	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
(Constant)		
1 X ₁	,127	7,878
X ₃	,105	9,518
X ₄	,398	2,512
X _{2t}	,464	2,156

a. Dependent Variable: Y2

Hasil uji asumsi non-multikolinearitas setiap variabel bebas terhadap *caliper* pada Tabel 11. juga memberikan kesimpulan bahwa asumsi non-multikolinearitas terpenuhi. Artinya, setiap variabel bebas tidak berkorelasi dengan variabel bebas lainnya. Hasil uji non-multikolinearitas ini mendukung hasil uji non-autokorelasi. Selain itu, kesimpulan ini juga sesuai dengan kondisi nyata di mana variabel bebas dapat dikendalikan secara independen untuk menentukan nilai respon tertentu tanpa harus dipengaruhi variabel bebas lainnya.

3.3 Analisis Regresi

3.3.1 Uji Signifikansi Regresi Y_1

Tabel 12. ANOVA^a Model Regresi terhadap Y_1

Model	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	12363,822	536,428	,000 ^b
Residual	23,048		
Total			

a. Dependent Variable: Y1

b. Predictors: (Constant), X_{2t}, X₃, X₄, X₁

Hipotesis uji simultan untuk model regresi linear berganda terhadap Y_1

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0, \text{ minimal ada satu variabel bebas}$$

Menurut Efendi (2006: 77), uji signifikansi regresi diperlukan untuk

mengetahui apakah terdapat hubungan linear antara respon y dengan tiap prediktor x_1, x_2, \dots, x_k . Di mana keputusan menolak H_0 apabila nilai $F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$. Menolak $H_0: \beta_j = 0$ berarti bahwa minimal masih ada satu prediktor x_1, x_2, \dots, x_k yang berkontribusi secara signifikan pada model.

Dari Tabel 12. diketahui nilai sig. dari fungsi estimasi adalah 0,000 dan F_{hitung} sebesar 536,428. Nilai tersebut akan menolak H_0 pada taraf keberartian 1% dan F_{tabel} 4,773 untuk derajat bebas regresi 4 dan derajat bebas residual 16. Nilai sig. $< \alpha$ yaitu $0,000 < 0,01$ dan $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $536,428 > 4,773$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa minimal ada satu variabel bebas yang signifikan terhadap model regresi linear berganda atau variabel *basis weight* memiliki hubungan linear minimal dengan satu variabel bebas dalam model. Sehingga, uji ANOVA Tabel 12. memberikan hasil bahwa variabel bebas berpengaruh secara simultan terhadap *basis weight*. Dari Tabel 8. diketahui nilai *adjusted R-square* sebesar 99,1%. Artinya, model regresi linear berganda dapat menjelaskan variabel *basis weight* sebesar 99,1%.

Tabel 13. *Coefficients^a* Model Regresi terhadap Y_1

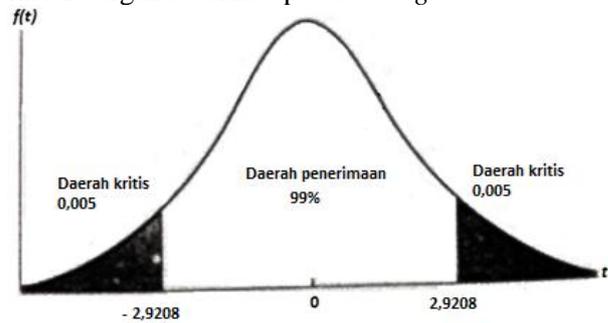
Model	Unstandardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error		
(Constant)	1200,795	442,441	2,714	,015
X1	-,022	,014	-1,523	,147
X3	,050	,014	3,450	,003
X4	-,719	,027	-26,135	,000
X2t	-436,086	263,731	-1,654	,118

a. Dependent Variable: Y_1

Hipotesis uji variabel *flow bottom* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *basis weight*, yaitu $H_0: \beta_1 = 0$ dan $H_1: \beta_1 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 13. diketahui pengaruh variabel *flow bottom* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,147 dan t_{hitung} -1,523. Nilai tersebut membuat H_0 diterima pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *flow bottom* tidak berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *basis weight*.

Hipotesis uji variabel *flow middle transformasi* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *basis weight*,

yaitu $H_0: \beta_2 = 0$ dan $H_1: \beta_2 \neq 0$. Hasil uji parsial pada Tabel 13. menunjukkan pengaruh variabel *flow middle transformasi* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,118 dan t_{hitung} -1,654. Nilai tersebut membuat H_0 diterima pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *flow middle transformasi* tidak berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *basis weight*.



Gambar 2. Interval kepercayaan 99%

Hipotesis uji variabel *flow top* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *basis weight*, yaitu $H_0: \beta_3 = 0$ dan $H_1: \beta_3 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 13. diketahui pengaruh variabel *flow top* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,003 dan t_{hitung} 3,450. Meskipun nilai sig. tidak berarti pada $\alpha = 1\%$, namun nilai t_{hitung} membuat H_0 ditolak pada t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Karena nilai $|t_{hitung}| > t_{tabel}$, maka dapat disimpulkan bahwa variabel *flow top* berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *basis weight*. Gambar 2. menunjukkan signifikansi variabel *flow top* dengan nilai berada di sebelah kanan batas signifikansi positif terendah.

Hipotesis uji parsial variabel *speed* terhadap model regresi, yaitu $H_0: \beta_4 = 0$ dan $H_1: \beta_4 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 13. diketahui pengaruh variabel *speed* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,000 dan t_{hitung} -26,135. Nilai tersebut membuat H_0 ditolak pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *speed* berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *basis weight*. Gambar 2. menunjukkan signifikansi variabel *speed* dengan nilai berada di sebelah kiri batas signifikansi negatif tertinggi.

3.3.2 Uji Signifikansi Regresi Y_2

Hipotesis uji simultan untuk model regresi linear berganda terhadap Y_2

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$
 $H_1: \beta_j \neq 0$, minimal ada satu variabel bebas
 Di mana keputusan untuk menolak H_0
 apabila nilai $F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$.

Tabel 14. ANOVA^a Model Regresi terhadap Y_2

Model	Mean Square	F	Sig.
Regression	26590,436	240,811	,000 ^b
1 Residual	110,420		
Total			

a. Dependent Variable: Y2
 b. Predictors: (Constant), X2t, X3, X4, X1

Dari Tabel 14. diketahui nilai sig. dari fungsi estimasi adalah 0,000 dan F_{hitung} sebesar 240,811. Nilai tersebut akan menolak H_0 pada taraf keberartian 1% dan F_{tabel} 4,773 untuk derajat bebas regresi 4 dan derajat bebas residual 16. Nilai sig. $< \alpha$ yaitu $0,000 < 0,01$ dan $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $240,811 > 4,773$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa minimal ada satu variabel bebas yang signifikan terhadap model regresi linear berganda atau variabel *caliper* memiliki hubungan linear minimal dengan satu variabel bebas dalam model. Sehingga, uji ANOVA Tabel 14. memberikan hasil bahwa variabel bebas berpengaruh secara simultan terhadap *caliper*. Dari Tabel 9. diketahui nilai *adjusted R-square* sebesar 98,0%. Artinya, model regresi linear berganda dapat menjelaskan variabel *caliper* sebesar 98,0%.

Tabel 15. *Coefficients*^a Model Regresi terhadap Y_2

Model	Unstandardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error		
(Constant)	1378,440	968,409	1,423	,174
X1	-,034	,031	-1,089	,292
1 X3	,050	,032	1,589	,132
X4	-1,121	,060	-18,632	,000
X2t	-382,343	577,253	-,662	,517

a. Dependent Variable: Y2

Hipotesis uji variabel *flow bottom* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *caliper*, yaitu $H_0: \beta_1 = 0$ dan $H_1: \beta_1 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 15. diketahui pengaruh variabel *flow bottom* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,292 dan t_{hitung} -1,089. Nilai tersebut membuat H_0 diterima pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga

dapat disimpulkan bahwa variabel *flow bottom* tidak berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *caliper*.

Hipotesis uji variabel *flow middle transformasi* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *caliper*, yaitu $H_0: \beta_2 = 0$ dan $H_1: \beta_2 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 15. diketahui pengaruh variabel *flow middle transformasi* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,517 dan t_{hitung} -0,662. Nilai tersebut membuat H_0 diterima pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *flow middle transformasi* tidak berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *caliper*.

Hipotesis uji variabel *flow top* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *caliper*, yaitu $H_0: \beta_3 = 0$ dan $H_1: \beta_3 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 15. diketahui pengaruh variabel *flow top* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,132 dan t_{hitung} 1,589. Nilai tersebut membuat H_0 diterima pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *flow top* tidak berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *caliper*.

Hipotesis uji variabel *speed* terhadap model regresi linear berganda dengan respon variabel *caliper*, yaitu $H_0: \beta_4 = 0$ dan $H_1: \beta_4 \neq 0$. Berdasarkan hasil uji parsial pada Tabel 15. diketahui pengaruh variabel *speed* pada model memberikan nilai sig. sebesar 0,000 dan t_{hitung} -18,632. Nilai tersebut membuat H_0 ditolak pada taraf keberartian 1% dan t_{tabel} dengan nilai 2,9208. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *speed* berpengaruh signifikan pada model regresi linear berganda terhadap *caliper*. Gambar 2. menunjukkan signifikansi variabel *speed* dengan nilai berada di sebelah kiri batas signifikansi negatif tertinggi.

3.4 Diversifikasi Produk

3.4.1 Interval Model Regresi

Model regresi yang digunakan untuk memprediksi amatan baru Y dibuat berdasarkan nilai kontrol pembuatan kertas yang digunakan oleh PT.X. Interval prediksi untuk amatan baru adalah

$$\hat{y}_0 - t_{\alpha/2, n-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (1 + x_0' (X'X)^{-1} x_0)} \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{\alpha/2, n-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (1 + x_0' (X'X)^{-1} x_0)}$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai variabel respon yang optimum dengan menggunakan kombinasi kontrol pembuatan kertas adalah kombinasi untuk membuat spesifikasi jenis kertas SPA 350 yang menghasilkan nilai optimum *basis weight* sebesar 363,2825 gr/m² dan jenis kertas ICB 350 yang menghasilkan nilai optimum *caliper* sebesar 526,4864 µm. Sedangkan nilai variabel respon yang minimum dengan menggunakan kombinasi kontrol pembuatan kertas adalah kombinasi untuk membuat spesifikasi kertas FSC 210 yang menghasilkan nilai minimum *basis weight* sebesar 191,0391 gr/m² dan nilai minimum *caliper* sebesar 254,8851 µm.

3.4.2 Continuous Pressure Laminates

Continuous Pressure Laminates (CPL) adalah kertas dekorasi yang diresapi resin dan bergabung dengan beberapa lapisan menggunakan panas dan tekanan sehingga terikat pada inti lapisan berupa kayu. Penerapan produk ini terdapat pada barang-barang furnitur untuk ruang kerja dan dapur hingga *wall system furniture*. Perusahaan Egger di Tyrol (Austria) memberikan spesifikasi dalam pembuatan CPL, *basis weight* kertas yang digunakan untuk membuat CPL berada dalam *range* 70-300 g/m² dengan *range thickness* CPL 0,15-1,50 mm atau 150-1.500 µm.

Berdasarkan spesifikasi yang dicontohkan oleh Perusahaan Egger, maka spesifikasi kertas di PT.X dengan gramatur hingga 300 g/m² dapat digunakan untuk membuat CPL. Berikut merupakan contoh prosedur untuk membuat CPL dengan gramatur 220 g/m² dengan *caliper* 300 µm menggunakan karakteristik kualitas PT.X.

Dua nilai variabel bangkitan dalam setiap *setting level* yang ditunjukkan oleh Lampiran 2. merupakan hasil dari perhitungan fungsi regresi multivariat. Kedua fungsi regresi linear berganda terintegrasi dalam pembentukan *setting level optimal*.

Hasil perhitungan dari percobaan untuk membangkitkan bermacam-macam kombinasi variabel menggunakan contoh perhitungan yang dilakukan menunjukkan bahwa dalam pembuatan produk CPL dengan spesifikasi *basis weight* 220 gr/m² dan *caliper* setebal 300 µm umumnya dapat dilakukan apabila nilai *flow middle* sebesar 5100,234-5867,528 lt/min. Apabila variabel *speed* menggunakan nilai maksimum yang ada pada karakteristik kualitas di PT.X yaitu sebesar 400 m/min, maka akan

memberi kemungkinan adanya nilai variabel bebas berupa *flow bottom* yang dibangkitkan dengan nilai sebesar 2357,865 lt/min (contoh kedua) apabila nilai *flow top* 2050 lt/min maupun nilai *flow bottom* yang dibangkitkan 2419,792 lt/min (contoh ketiga) apabila nilai *flow middle* 1,72¹⁶ lt/min. Produk CPL yang bergramatur 220 g/m² dan memiliki *caliper* 300 µm pada contoh perhitungan dapat dibuat apabila nilai variabel *speed* mendekati nilai maksimum kontrol pembuatan kertas yang digunakan oleh PT.X yaitu 400 m/min. Sedangkan nilai *flow bottom* terletak pada *range* 2357,865-2530 lt/min dan nilai *flow top* berada dalam *range* 2029,932-2191,819 lt/min

3.4.3 White Back Folding Box Board

White back folding box board adalah kertas kemasan dengan bagian belakang berwarna putih. Iggesund Paperboard, sebuah perusahaan di Eropa yang tergabung dalam Holmen Group menyebut produknya berupa *white back folding box board* dengan nama *Incada Silk*. *Incada Silk* dirancang untuk kualitas kemasan dan aplikasi grafis yang membutuhkan dampak visual sangat baik. Produk ini dapat digunakan dalam cetak padat, setengah ilustrasi, maupun cetak tinggi dan *varnish gloss*. Produk ini digunakan untuk kemasan kosmetik, kartu perawatan medis, serta kemasan coklat dan permen. Iggesund Paperboard memberikan spesifikasi produk dengan gramatur terendah seberat 220 g/m² dengan *caliper* 325 µm.

Berdasarkan interval variabel respon diketahui bahwa jenis kertas PT.X berupa ICB 220 gsm memiliki spesifikasi dengan nilai interval *basis weight* 203,857-234,2078 g/m² dan *caliper* 270,6141-337,0457 µm. Sedangkan FSC 220 gsm memiliki spesifikasi dengan nilai interval *basis weight* 203,4262-233,9929 g/m² dan *caliper* 268,2623-335,1664 µm. Kedua jenis kertas tersebut mampu menerapkan spesifikasi *white back folding box board* yang diproduksi oleh Iggesund Paperboard. Iggesund Paperboard menerapkan toleransi untuk *basis weight* sebesar 4%. Artinya, kertas gramatur (220+4%.220) g/m² dengan *caliper* 325 µm masih termasuk dalam spesifikasi produk Iggesund Paperboard. Oleh karena produk yang penjualannya paling cepat pada PT.X adalah kertas dengan gramatur 230 gsm dan spesifikasi *white back folding box board* (220+4%.220) g/m² mendekati 230 gsm, maka contoh produk

pada Lampiran 2. menggunakan spesifikasi 230 g/m² dan caliper setebal 325 µm.

3.4.4 Art Board

Ningbo Zhonghua Paper adalah perusahaan yang tergabung dalam Sinar Mas Group. Perusahaan ini berada di Duantang Town, China. Salah satu produknya adalah *Coated One Side (CIS) Art Board*, yaitu kertas dengan lapisan *coating* hanya satu sisi. Penerapan produk ini digunakan pada kartu ucapan, label (*tags*), kalender, poster, kemasan multi-media (DVD, CD), hingga *paper bag* untuk produk bergramatur mulai dari 210 gsm. Ningbo Zhonghua Paper memberikan spesifikasi untuk produk bergramatur 310 g/m² memiliki *caliper* 385 µm. Menggunakan ketebalan yang sama dengan produk yang ditawarkan oleh Ningbo Zhonghua Paper, pada perhitungan pada Lampiran 2. dilakukan percobaan apabila PT.X hendak melakukan produksi *CIS art board* dengan gramatur yang lebih ringan, yaitu 270 g/m².

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Fungsi diversifikasi diperoleh dari fungsi regresi multivariat. Fungsi regresi multivariat dalam penelitian ini diperoleh dari dua fungsi regresi linear berganda. Pada tahapan diversifikasi produk, kedua fungsi regresi estimasi tersebut disatukan sehingga mampu digunakan untuk membangkitkan nilai variabel-variabel bebas yang akan dicari level optimalnya. Fungsi regresi linear berganda awalnya dibentuk dari variabel bebas yang merupakan *control factors* pada *parameter diagram* Taguchi dan variabel respon berupa *basis weight* serta *caliper*. Fungsi diversifikasi tersebut, yaitu:
 - (a) $Y_1 = 1200,795 - 0,022 x_1 - 436,086 x_{2t} + 0,050 x_3 - 0,719 x_4$
 - (b) $Y_2 = 1378,440 - 0,034 x_1 - 382,343 x_{2t} + 0,050 x_3 - 1,121 x_4$
2. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa kedua model regresi estimasi layak karena secara simultan variabel bebas berpengaruh signifikan terhadap model. Sedikitnya terdapat satu variabel bebas yang berpengaruh signifikan dan dapat menjelaskan model. Sedangkan, pada uji parsial diketahui variabel bebas yang

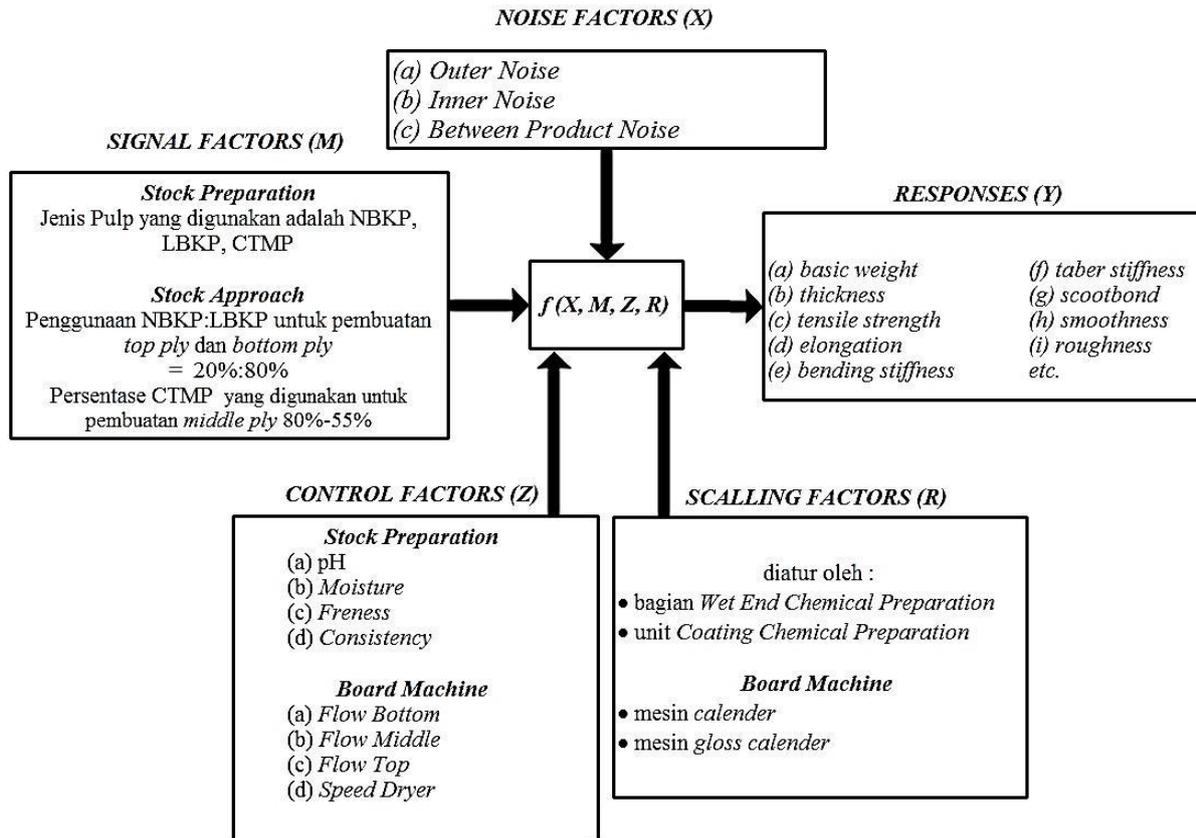
berkontribusi secara signifikan terhadap model regresi estimasi Y_1 adalah *flow top* dan *speed*. *Flow top* berkontribusi sebesar 0,050 dan *speed* sebesar -0,719. Sedangkan dari hasil uji-*t* terhadap model regresi estimasi Y_2 diketahui variabel bebas yang berkontribusi signifikan adalah *speed*. Variabel *speed* berkontribusi sebesar -1,121.

3. Level karakteristik yang dikendalikan agar menghasilkan respon mutu yang diharapkan untuk contoh produk baru berupa *white back folding box board* dengan *basis weight* 230 g/m² dan *caliper* 325 µm adalah dengan mengendalikan nilai X_1 sebesar 1800 lt/min, nilai X_{2t} 1,710171¹⁶ lt/min, nilai X_3 1747,858 dan, nilai X_4 380 m/min. Level karakteristik dengan nilai optimal untuk produk baru berupa *Continuous Pressure Laminates (CPL)*, *white back folding box board*, dan *CIS art board* masing-masing ditunjukkan oleh Lampiran 2.

Daftar Pustaka

- Departemen Produksi. (2013). *Standard for Papermaking*. Badan Penerbit-PT.X.
- Efendi, Achmad. (2006). *Pengantar Analisis Regresi*. Malang: Badan Penerbit-UB.
- Egger. (2009). *Technical Leaflet: Comparison Between CPL and HPL*. Hjortsberga: Direktlaminat AB.
- Hussey, J. and R. Hussey. (2003). *Business Research: A Practical Guide for Undergraduate and Post Graduate Students*. London: Macmillan Business.
- Iggesund Paperboard. (2013). *Product Catalogue 2013-14*. Stockholm: Holmen.
- Julianti, E. dan M. Nurminah. (2006). *Teknologi Pengemasan*. Medan: Badan Penerbit-USU.
- Ningbo Zhonghua Paper. (2012). *C1S Art Board*. Ningbo: Ningbo Zhonghua.
- Soejanto, Irwan. (2008). *Rekayasa Kualitas : Eksperimen dengan Teknik Taguchi*. Surabaya: Yayasan Humaniora.

Lampiran 1. Parameter Diagram Taguchi Penelitian



Lampiran 2. Morphological Chart

Morphological Chart Continuous Pressure Laminates

bangkitan	Y ₁	Y ₂	x ₁ (lt/min)	x _{2t} (lt/min)	x ₃ (lt/min)	x ₄ (m/min)
x ₂ ,x ₄	220	300	2400	1,711489	2100	399,3785
x ₁ ,x ₂			2357,865	1,706843	2050	400
x ₁ ,x ₃			2419,792	1,72	2191,819	400
x ₁ ,x ₄			2380,175	1,71	2084	399,7715
x ₂ ,x ₃			2530	1,708777	2070,193	395
x ₃ ,x ₄			2400	1,705	2029,932	398,4418

Morphological Chart White Back Folding Box Board

bangkitan	Y ₁	Y ₂	x ₁ (lt/min)	x _{2t} (lt/min)	x ₃ (lt/min)	x ₄ (m/min)
x ₂ ,x ₄	230	325	1800	1,705738	1700	379,3602
x ₁ ,x ₂			2432,373	1,705973	1700	360
x ₁ ,x ₃			2451,329	1,71	1743,411	360
x ₁ ,x ₄			2053,969	1,71	1745	372,1865
x ₂ ,x ₃			1800	1,710171	1747,858	380
x ₃ ,x ₄			1800	1,72	1853,993	381,4189

Morphological Chart CIS Art Board

bangkitan	Y ₁	Y ₂	x ₁ (lt/min)	x _{2t} (lt/min)	x ₃ (lt/min)	x ₄ (m/min)
x ₂ ,x ₄	270	385	1800	1,706895	1800	329,9545
x ₁ ,x ₂			2168,815	1,716293	1900	320
x ₁ ,x ₃			2186,264	1,72	1939,96	320
x ₁ ,x ₄			1884,164	1,706	1790	327,2441
x ₂ ,x ₃			2530	1,709899	1829,517	308
x ₃ ,x ₄			1800	1,71	1833,527	330,4027