

OPTIMASI PARAMETER PROSES LAMINASI DALAM PEMBUATAN KAYU LAMINA MENGGUNAKAN METODE RESPONSE SURFACE DAN GOAL PROGRAMMING

Oktaviana Vara Ika Putri ^{1*}, Bayu Wiro Karuniawan ², Farizi Rachman ³.

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: Oktavianavara@student.ppns.ac.id^{1*};

Abstract - Kayu laminasi adalah sebuah bahan baku pengganti kayu solid pada industri manufaktur meubel. Agar kualitas produk furniture yang dihasilkan tidak terdapat rongga dan celah sambungan maka harus ada perhatian khusus terhadap parameter laminasi, seperti presentase kuat rekat dan massa jenis. Hasil kayu laminasi yang diharapkan adalah kayu laminasi yang memiliki presentase kuat rekat lebih dari 50% dan memiliki nilai massa jenis yang sebesar - besarnya. Faktor yang akan dianalisa terhadap dua respon tersebut adalah heating time, pressure, temperature. Proses analisa pada penelitian ini menggunakan metode response surface. Dengan mengaplikasikan Box-Behnken Design untuk desain eksperimen penelitian dan menggunakan ANAVA untuk menganalisa data. Kemudian persamaan – persamaan tersebut diolah menggunakan Goal Programming agar mendapatkan hasil yang optimal. Hasil dari penelitian ini adalah Temperature memiliki pengaruh terhadap respon kuat rekat, dan Heating Time memiliki pengaruh terhadap respon massa jenis. Dengan hasil optimal yang diperoleh adalah Temperature 35,27 °C, Heating Time 102,12 detik, dan Pressure 800,1 psi. Dengan optimasi respon yang dihasilkan adalah 51% untuk respon kuat rekat dan 0,3 gr/m³ untuk respon massa jenis.

Keyword: Goal Programming, Laminasi, Optimasi, Presentase Kuat Rekat, Response Surface.

1. PENDAHULUAN

Kayu lamina atau glulam adalah papan yang direkat dengan lem tertentu secara bersama-sama dengan arah serat paralel menjadi satu unit papan. Kayu laminasi terbuat dari potongan-potongan kayu yang relatif kecil yang dibuat menjadi produk baru yang lebih homogen dengan penampang kayu dapat dibuat lebih lebar dan lebih tinggi serta dapat digunakan untuk bahan konstruksi. Balok laminasi memiliki kelebihan dibandingkan dengan kayu gergajian biasa, disamping kekuatan yang tinggi dapat dibuat penampang yang lebih besar dan panjang. Selain itu kayu yang memiliki mutu rendah dapat digunakan sehingga pemakaian kayu yang lebih efisien pemanfaatannya. Mesin atau alat bantu yang umum digunakan dalam proses lamina kayu yaitu mesin *high frequency laminating* dan mesin *rotary laminasi* kayu. Beberapa kualitas mutu pada kayu lamina adalah kuat rekat dan berat jenis. Berat jenis kayu pada umumnya erat hubungannya dengan kekuatan kayu, semakin tinggi berat jenis kayu maka semakin tinggi pula

kekuatan kayu. Kayu laminasi yang baik memiliki presentase kuat rekat lebih dari 50 persen. Untuk mengurangi adanya kegagalan proses sambungan maka diperlukannya perhatian khusus terutama pada proses lamina pada mesin laminasi kayu.

Oleh karena itu perlu adanya desain eksperimen yang sesuai untuk mengidentifikasi parameter proses dalam pembuatan kayu laminasi untuk memberikan nilai kuat rekat dan berat jenis yang optimum. Metode desain eksperimen merupakan dasar utama dalam aktifitas *engineering*. Dalam hal ini optimasi parameter yang menjadi penelitian yaitu pada tekanan *pressing*, *temperature*, dan *heating time* terhadap respon kuat rekat dan berat jenis pada produk laminasi kayu.

Penelitian ini berupaya untuk mencari persamaan yang menghubungkan parameter proses laminasi dan respon. Persamaan – persamaan yang menghubungkan parameter dan respon ditentukan dengan metode response surface dengan menggunakan input hasil data

percobaan dengan berbagai variasi parameter. Optimasi harga respon dicari dengan menggunakan metode *goal programming*. Respon yang akan dicari adalah kualitas hasil rekat sambungan kayu laminasi dengan nilai berat jenis kayu sambungan yang optimal.

2. METODOLOGI .

Pada penelitian ini akan menggunakan *design of experiment* dalam menentukan parameter pressing pressure, temperature dan heating time untuk mendapat respon kuat rekat dan massa jenis yang optimal.

Variable of content yang telah di tentukan kemudian ditentukan desain levelnya, level dan vaktor yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Variabel Bebas dan Level Kendali

Parameter	Temperature (°C)	Heating time (Sec)	Tekanan (Psi)
Level 1	37	120	780
Level 2	42	140	800
Level 3	47	160	820

Sumber: Data mesin

Rancangan penelitian didapat dari parameter-parameter yang telah di tentukan levelnya kemudian dibuat desain yang akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan eksperimen, dalam pembuatan desain ini digunakan software minitab dengan menggunakan desain response surface box benhken. Hasil dari desain tersebut seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Variabel Pelaksanaan Eksperimen

No	Temperature (°C)	Heating Time (Sec)	Tekanan (Psi)
1	37	120	800
2	47	120	800
3	37	160	800
4	47	160	800
5	37	140	780
6	47	140	780
7	37	140	820
8	47	140	820
9	42	120	780
10	42	160	780
11	42	120	820
12	42	160	820
13	42	140	800
14	42	140	800
15	42	140	800

Sumber : Design of Experiment Minitab

2.1. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan proses laminasi dengan besar tekanan

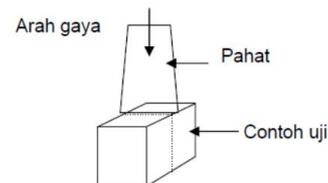
yang berbeda-beda, yaitu 780 psi, 800 psi dan 820 psi. Serta dengan temperature pemanas yang beragam pula, yaitu 37 Celsius, 42 Celsius dan 47 Celsius. selain dengan perbedaan temperature dan tekanan akan dilakukannya variasi terhadap heating time saat proses laminasi yaitu, 120 detik, 140 detik dan terakhir 160 detik. Setelah melakukan proses laminasi dengan tiga variasi parameter yang berbeda, proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan massa jenis kayu dan pengujian kuat rekat kayu.

2.2. Pengukuran dan Pengujian

Menentukan nilai massa jenis kayu lamina dilakukan dengan mengukur volume produk kayu lamina tersebut kemudian menimbang kayu untuk mengetahui berat dari kayu tersebut. Perhitungan massa jenis kayu dilakukan dengan persamaan 1 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\text{Massa Kayu Bentukkan}}{\text{Volume Kayu}} \quad (1)$$

Setelah didapatkan nilai massa jenis kayu, kemudian dilakukan pengujian kuat rekat kayu dengan cara memahat kayu sejajar dengan bidang rekat kayu tersebut, seperti pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Pengujian Kuat Rekat Sambungan (sumber : SNI 01-7255-2006)

Untuk mendapatkan presentase kuat rekat ini yang menjadi fokus adalah seberapa besar kerusakan kayu yang dihasilkan akibat proses pemahatan. Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah mistar dengan ketelitian 0,05 mm, mengukur bidang rekat yang tidak mengalami kerusakan akibat proses pemahatan. Perhitungan pengujian dilakukan dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$\text{Presentase kerusakan} = \frac{\text{luas kerusakan kayu}}{\text{luas bidang rekat}} \times 100\% \quad (2)$$

2.3. Pengujian Hipotesa

Pengaruh Temperatur terhadap kuat rekat kayu

- H0₁= Tidak ada pengaruh temperature terhadap kuat rekat kayu.
- H1₁= Ada pengaruh temperature terhadap kuat rekat kayu.

Pengaruh Heating Time terhadap kuat rekat kayu

- H0₂= Tidak ada pengaruh heating time terhadap kuat rekat kayu.
- H0₂= Ada pengaruh heating time terhadap kuat rekat kayu.

Pengaruh Tekanan terhadap kuat rekat kayu

- $H0_3$ = Tidak ada pengaruh tekanan terhadap kuat rekat kayu.
- $H0_3$ = Ada pengaruh sambungan terhadap kuat rekat kayu.

Pengaruh Temperatur terhadap massa jenis kayu

- $H0_1$ = Tidak ada pengaruh temperature terhadap massa jenis kayu.
- $H1_1$ = Ada pengaruh temperature terhadap massa jenis kayu.

Pengaruh Heating Time terhadap massa jenis kayu

- $H0_2$ = Tidak ada pengaruh heating time terhadap massa jenis kayu.
- $H0_2$ = Ada pengaruh heating time terhadap massa jenis kayu.

Pengaruh Tekanan terhadap massa jenis kayu

- $H0_3$ = Tidak ada pengaruh tekanan terhadap massa jenis kayu.
- $H0_3$ = Ada pengaruh sambungan terhadap massa jenis kayu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari percobaan ini adalah seperti yang tertera pada tabel 3, semua percobaan dilakukan secara beruntut dengan tiga kali replika untuk mendapatkan hasil yang beragam. Kemudian dilakukan perhitungan rata – rata dari ketiga replika untuk mendapatkan nilai respon yang sesungguhnya.

Table 3. Data Hasil Percobaan

Temp (°C)	HT (Sec)	Press (psi)	Kuat rekat (%)	massa jenis (gr/mm ³)
37	120	800	55.167	0.0005364
47	120	800	76.167	0.0005331
37	160	800	70.677	0.000562
47	160	800	88.45	0.0005647
37	140	780	51.67	0.000548
47	140	780	61.67	0.0005471
37	140	820	75.17	0.0005444
47	140	820	96.00	0.0005527
42	120	780	69.5	0.0005254
42	160	780	94.48	0.0007491
42	120	820	74.167	0.000543
42	160	820	77.167	0.0006102
42	140	800	95.65	0.000613
42	140	800	96.25	0.0006111
42	140	800	97.5	0.0006181

3.1. Analisa Kuat Rekat

A. Surface Regression

Hasil percobaan yang didapatkan kemudian dianalisa menggunakan *software* minitab. Pengujian pertama adalah dengan melakukan analisa surface regression untuk mengetahui seberapa berpengaruhnya parameter terhadap respon. *Interval confidence* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,10, maka agar parameter dinyatakan berpengaruh maka nilai dari *P value* harus kurang dari α . *Output* dari minitab dapat diketahui bahwa Temperatur memiliki

pengaruh terhadap respon, dengan nilai *P value* 0,080 atau $\alpha > P value$.

Table 4 Surface Regression

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	2727.2	303.02	2.40	0.174
Linear	3	1249.7	416.58	3.30	0.116
Temp (°C)	1	605.8	605.81	4.80	0.080
HT (Sec)	1	388.7	388.74	3.08	0.140
Press (psi)	1	255.1	255.19	2.02	0.214

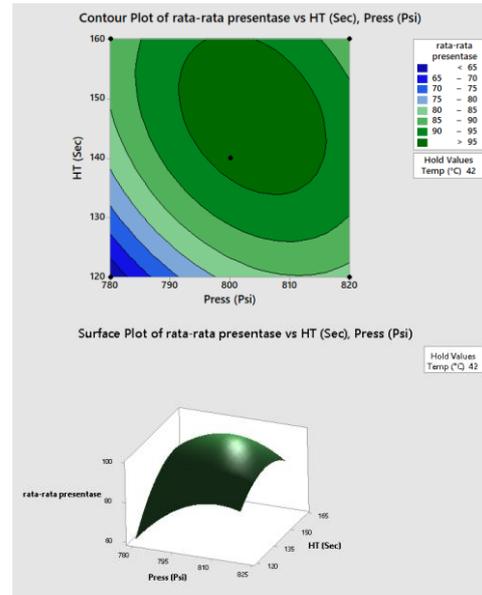
Dengan presentase kesesuaian model mendekati 100% sehingga dapat disimpulkan bahwa model berkualitas baik.

Table 5 Model Summary Kuat Rekat

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11.2310	81.22%	47.41%	0.00%

B. Contour and Surface Plot

Pada setiap *contour* memiliki warna dan ukuran yang berbeda sesuai respon yang dihasilkan. Sedangkan *surface plot* merupakan proyeksi dari *contour plot* dalam bentuk 3 dimensi.

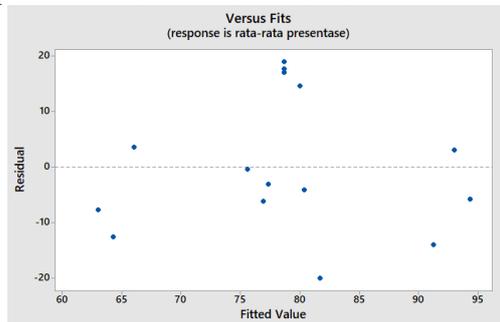


Gambar 2. Surface and Contour Plot

Pada gambar menjelaskan untuk konfigurasi parameter yang menghasilkan respon tertinggi ada pada *setting heating time* 140 – 150 secon dengan gaya tekan kurang dari 825 psi. Dapat diketahui pada *surface* parameter *heating time* dan *pressure* titik tertingginya berada pada nilai tengah level ke 3, dengan pengaturan tersebut dapat menghasilkan presentase kuat rekat 100%.

C. Uji Asumsumsi Identik

Uji Asumsi dapat diketahui dengan membuat plot antara residual dengan \hat{y} estimasi. Apabila pada plot tersebut tidak menunjukkan naik atau turun (nilai residual menyebar secara acak) maka dapat diartikan bahwa residual bersifat identik.

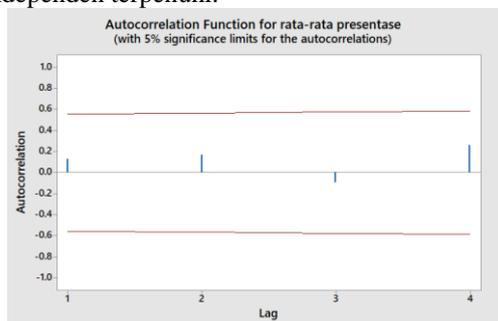


Gambar 3 Residual-fitted value kuat rekat

Pada Gambar 3 di atas dapat dijelaskan bahwa nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik maupun turun sehingga residual bersifat identik.

D. Uji Asumsi Independen

Jika ada, maka plot residual dengan \hat{y} estimasi akan menunjukkan penyebaran yang tidak merata. Hasil dari pengujian independen jika tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi.

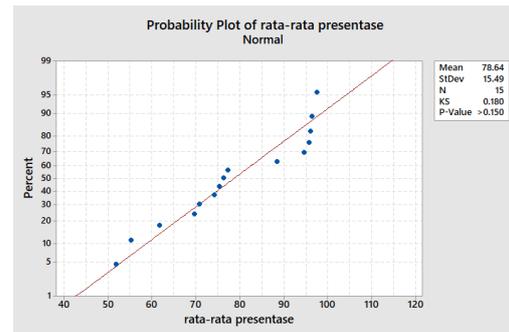


Gambar 4 Uji Asumsi Independen Kuat Rekat

Gambar 4 menunjukkan bahwa tidak terdapat lag (garis berwarna biru) yang melewati batas signifikan (garis berwarna merah) sehingga asumsi independen terpenuhi.

E. Uji Distribusi Normal

Nilai α (taraf signifikansi) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,10. Hasil dari uji distribusi ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5. Uji Distribusi Normal

Seperti yang telah tertera pada Gambar 5 bahwa pengujian *Kolmogorov-smirnov* menghasilkan P_{value} sebesar 0,150. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai P_{value} lebih besar dari α sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 diterima yang berarti residual berdistribusi normal.

3.1. Analisa Massa Jenis

A. Surface Regression

Interval confidence yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,10, maka agar parameter dinyatakan berpengaruh maka nilai dari P_{value} harus kurang dari α . Output dari minitab dapat diketahui bahwa *Heating Time* memiliki pengaruh terhadap respon, dengan nilai P_{value} 0,032 atau $\alpha > P_{value}$.

Table 6. Surface Regression

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.000000	0.000000	2.36	0.178
Linear	3	0.000000	0.000000	3.22	0.120
Temp (°C)	1	0.000000	0.000000	0.00	0.956
HT (Sec)	1	0.000000	0.000000	8.64	0.032
Press (Psi)	1	0.000000	0.000000	1.02	0.360

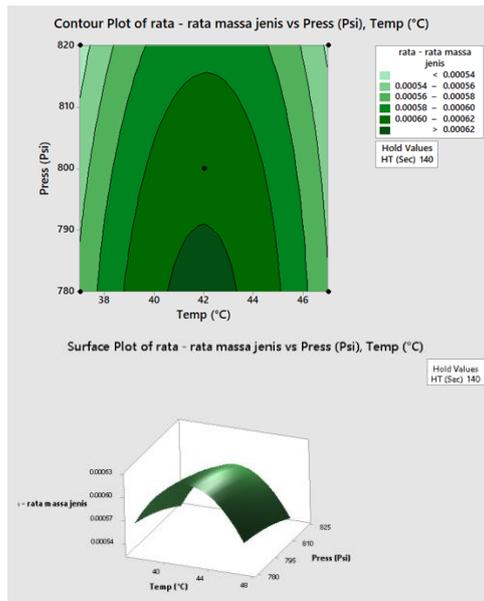
Dengan presentase kesesuaian model mendekati 100% sehingga dapat disimpulkan bahwa model berkualitas baik.

Table 5. Kesesuaian Model

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0000419	80.96%	46.70%	0.00%

B. Contour and Surface Plot

Pada setiap *contour* memiliki warna dan ukuran yang berbeda sesuai respon yang dihasilkan. Sedangkan *surface plot* merupakan proyeksi dari contour plot dalam bentuk 3 dimensi.

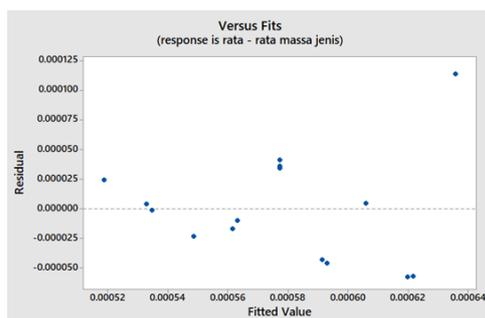


Gambar 6. Surface and Contour Plot Massa Jenis

Pada Gambar 6. menggambarkan *surface plot* dimana tidak selalu semakin besar pengaturan parameter yang diberikan akan memberikan respon massa jenis yang semakin besar juga. Pada gambar menjelaskan untuk konfigurasi parameter yang menghasilkan respon tertinggi ada pada *setting temperature* level kedua dengan *setting parameter* 41-43°C, dengan gaya tekan kurang lebih 790 psi pada level pertama *setting parameter*. Dengan pengaturan tersebut dapat menghasilkan massa jenis 0,00063.

C. Uji Asumsi Identik.

Uji Asumsi dapat diketahui dengan membuat plot antara residual dengan \hat{y} estimasi. Apabila pada plot tersebut tidak menunjukkan naik atau turun (nilai residual menyebar secara acak) maka dapat diartikan bahwa residual bersifat identik.

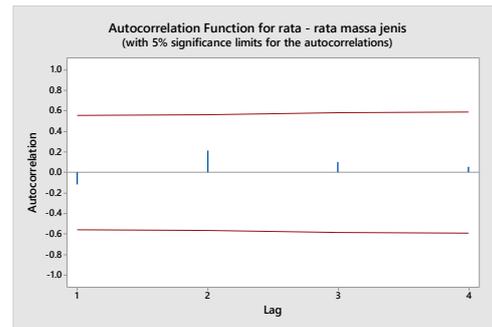


Gambar 7. Uji Asumsi Identik Massa Jenis

Pada Gambar 7. di atas dapat dijelaskan bahwa nilai residual menyebar secara acak tidak cenderung naik maupun turun sehingga residual bersifat identik.

D. Uji Asumsi Independen

Hasil dari pengujian independen jika tidak terdapat lag yang keluar dari batas signifikan menunjukkan bahwa asumsi independen terpenuhi

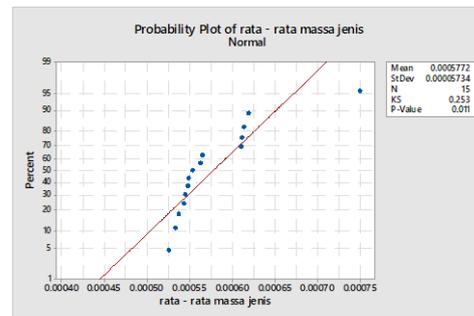


Gambar 8. Autocorrelation Grafik Massa Jenis

Gambar 8 menunjukkan bahwa tidak terdapat lag (garis berwarna biru) yang melewati batas signifikan (garis berwarna merah) sehingga asumsi independen terpenuhi.

E. Uji Distribusi Normal

Nilai α (taraf signifikansi) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,10. Hasil dari uji distribusi ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai berikut:



Gambar 9. Probability Plot Massa Jenis

Seperti yang telah tertera pada Figure 5 bahwa pengujian Kolmogorov-smirnov menghasilkan Pvalue sebesar 0,011. Sehingga dapat menunjukkan bahwa nilai Pvalue lebih kecil dari α sehingga keputusan yang dapat diambil adalah H_0 ditolak yang berarti residual tidak berdistribusi normal. Akibat dari residual tidak berdistribusi normal adalah karena data yang terdapat pada pengujian respon massa jenis ini memiliki nilai angka mendekati nol (0) sehingga distribusi data akan mengalami skewness ke kanan dan kiri.

3.2. Optimasi Respon

Metode yang digunakan dalam optimasi respon pada percobaan ini adalah metode *goal programming*, dalam penyelesaian optimasi respon dengan goal programming digunakan perangkat lunak statistik yaitu *software Lingo*. Sebelum menggunakan *software Lingo* hasil percobaan yang terdapat pada Tabel 4.5 dilakukan pengujian pada software Minitab untuk mendapatkan persamaan regresi. Formula matematis secara lengkap yang didapatkan dari metode *response surface* dapat dituliskan sebagai berikut:

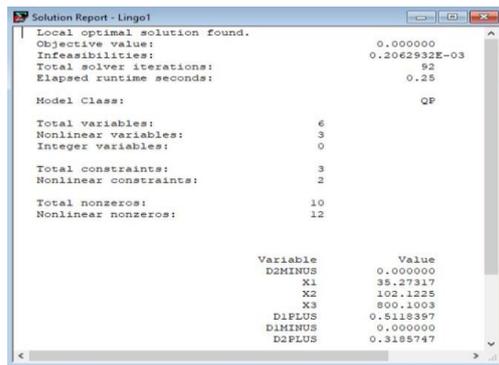
$$Y_1 = -17737 + 34.2 \cdot X_1 + 17.3 \cdot X_2 + 39.3 \cdot X_3 - 0.631 \cdot X_1^2 - 0.0202 \cdot X_2^2 - 0.0239 \cdot X_3^2 - 0.0080 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.0271 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.0137 \cdot X_2 \cdot X_3$$

$$Y_2 = -20.2 + 0.188 \cdot X_1 + 0.0819 \cdot X_2 + 0.028 \cdot X_3 - 0.002478 \cdot X_1^2 - 0.000008 \cdot X_2^2 - 0.000010 \cdot X_3^2 + 0.000015 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.000023 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.000098 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Batasan – batasan:

- $X_1 \geq -2$
- $X_1 \leq 2$
- $X_2 \geq -2$
- $X_2 \leq 2$
- $X_3 \geq -2$
- $X_3 \leq 2$

Dimana Y_1 adalah presentase kuat rekat, Y_2 adalah massa jenis, X_1 adalah *temperature*, X_2 adalah *heating time*, X_3 adalah *pressure*. Kemudian dilakukan analisa menggunakan software Lingo, dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 10. Output Optimasi Respon

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 pada perhitungan statistik berikut menghasilkan nilai optimasi respon d_1^+ 0,51 atau 51% dengan nilai $d_1^- = 0$ yang berarti optimasi pada kendala pertama terpenuhi. Sama halnya dengan nilai $d_2^- = 0$ terdapat nilai d_2^+ dengan nilai 0,32 atau melebihi dari nilai fungsi tujuan.

Sehingga dari semua perhitungan didapatkan optimasi kombinasi parameter *temperature* (X_1) = 35,27°C; *heating time* (X_2) = 102,12 detik; *pressure* (X_3) = 800,1 psi, dengan optimasi respon presentase kuat rekat 51% dan respon massa jenis 0,3 gr/m³.

3.3. Persen Kontribusi

Untuk mencari nilai presentase kontribusi kuat rekat dapat dihitung dengan membandingkan nilai MS dengan nilai total SS yang ada pada minitab:

- a. $Temperature = \frac{605,81}{3357,9} \times 100\% = 18,04\%$
- b. $Heating Time = \frac{388,74}{3357,9} \times 100\% = 11,5\%$

- c. $Pressure = \frac{255,19}{3357,9} \times 100\% = 7,60\%$

Untuk mencari nilai presentase kontribusi massa jenis juga sama, dapat dihitung dengan membandingkan nilai MS dengan nilai total SS yang ada pada minitab:

- a. $Temperature = \frac{6 \times 10^6}{0,046} \times 100\% = 0,013\%$
- b. $Heating Time = \frac{0,01515}{0,046} \times 100\% = 32,935\%$
- c. $Pressure = \frac{0,0018}{0,046} \times 100\% = 3,913\%$

4. KESIMPULAN

- Pada penelitian ini menggunakan *interval confidence* (α) 10% atau 0,10, dengan nilai α tersebut pada respon kuat rekat terdapat satu parameter yang memiliki pengaruh, yaitu parameter *temperature* dengan nilai P_{value} 0,080. Parameter tersebut dinyatakan berpengaruh karena memiliki nilai $P_{value} < \alpha$, sehingga dapat memenuhi syarat penerimaan hipotesa. Sedangkan pada parameter *heating time* dan *pressure* memiliki nilai P_{value} yang melebihi nilai α , sehingga parameter tidak memiliki pengaruh terhadap respon kuat rekat. Presen kontribusi parameter terhadap respon kuat rekat adalah, *temperature* 18,04%; *heating time* 11,57%; *pressure* 7,60%.
- Pada respon massa jenis juga terdapat satu parameter yang memiliki pengaruh terhadap respon, yaitu parameter *heating time* dengan nilai P_{value} 0,032 atau $P_{value} < \alpha$, sehingga parameter *heating time* dinyatakan memenuhi syarat penerimaan hipotesa dan secara statistic dapat dinyatakan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh terhadap respon massa jenis. Untuk parameter *temperature* dan *press* memiliki nilai P_{value} yang lebih dari α , sehingga dinyatakan parameter tersebut tidak memiliki respon terhadap massa jenis. Sedangkan persen kontribusi parameter terhadap respon massa jenis adalah *temperature* 0,013%; *heating time* 32,93%; dan *pressure* 3,91%.
- Kombinasi parameter yang optimum dicari dengan melakukan analisa goal programming untuk mendapatkan konfigurasi yang tepat dari tiga parameter untuk mendapatkan nilai optimum dari kedua parameter secara bersamaan. Dari hasil analisa didapati kombinasi parameter yang optimal adalah sebagai berikut, *Temperature*: 35,27°C ; *Heating Time*: 102,12 detik ; *Pressure*: 800,1 psi. Dari kombinasi parameter tersebut dihasilkan nilai respon (Y) kuat rekat 51%, dan massa jenis 0,3 gr/m³. Dengan fungsi tujuan kuat rekat 50% dan massa jenis 0,007 gr/m³, dapat dinyatakan bahwa konfigurasi

parameter tersebut optimum karena nilai (Y) yang dihasilkan sudah melebihi fungsi tujuan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Bayu Wiro Karuniawan, S.T.,M.T dan Bapak Farizi Rachman, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang berkenan membantu penulis memberi bimbingan, saran dan arahan sehingga penulis. Bapak Pranowo Sidi, S.T, M.T., Bapak Bayu Wiro Karuniawan S.T., M.T., Bapak Farizi Rachman S.Si.,M.Si., dan Bapak Rizal Indrawan S.S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memvalidasi penelitian pada sidang tugas akhir. Bapak Hendro Prasetyo selaku pembimbing OJT yang membantu dalam penyediaan sarana prasarana dan bimbingan ilmu mengenai penelitian ini.

6. PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional, B. S. (2006). Kayu Bentukkan. Jakarta: SNI 01-7255-2006.
- [2] Jihannanda, P. (2013). Studi Kuat Lentur Balok Laminasi Kayu Sengon Dengan Kayu Kelapa di Daerah Gunung Pati Semarang. Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- [3] Montgomery, D. (1997). Design and Analysis of Experiment 4th edition. New York: Jhon Willey and Sons.
- [4] Myers, R. (2002). Response Surface Methodology : Process and Product Optimization Using Designed Experiment. United States of America: A Willey-Interscience Publication.
- [5] Nugroho, I. A. (2014). Aplikasi Metode Respon Permukaan dan Goal Programming Untuk Optimasi Sifat Fisik Dan Mekanik Tablet Obat. Prosiding Seminar Nasional Teknologi XXI. Surabaya.
- [6] Nurmaya, U. M. (2013). Optimasi Multirespon Dengan Menggunakan Metode Hybrid Fuzzy Goal Programming dan Genetic Algorithm. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVIII. Surabaya.
- [7] Patria, A. A. (2017). Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangunan Kapal Ikan Tradisional Ukuran <10 GT Berbahan Kayu Utuh Dengan Teknologi Laminasi Kayu Mahoni. LP2M, Jurnal Teknik ITS, Vol 6, Iss 1, Pp 35-41. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [8] Siswanto. (2007). Operation Research. Erlangga, Jakarta.