

Penentuan Kondisi Lingkungan Kerja Fisik yang Optimal Menggunakan Metode Permukaan Respon

Arta Rusidarma Putra¹ dan, Anggar Guritno²

Program Studi Manajemen Fakultas Ekonomi STIE Bina Bangsa,
Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia²
artar.putra@gmail.com, anggar.guritno@yahoo.com

Abstrak -- Banyak akibat yang dapat ditimbulkan oleh kondisi lingkungan kerja yang kurang baik. Hal tersebut bisa diakibatkan oleh kondisi kebisingan, pencahayaan maupun temperatur. Perlu ditentukan nilai optimal dari faktor lingkungan kerja tersebut guna meningkatkan kinerja operator. Hubungan antara kinerja operator dengan faktor lingkungan kerja seperti kebisingan, pencahayaan dan temperature dapat diketahui dengan mengembangkan model empirik untuk menggambarkan hubungan antara kinerja operator dengan faktor lingkungan kerja tersebut. Model tersebut kemudian digunakan untuk mengoptimalkan kinerja operator. Penelitian ini menggunakan metode permukaan respon. Rancangan percobaan menggunakan rancangan komposit pusat. Penelitian dilakukan dengan cara eksperimen di Laboratorium Analisis Perancangan Kerja dan Ergonomi Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Variabel yang diambil adalah kebisingan, pencahayaan dan temperatur. Range untuk kebisingan adalah 40 dB sampai 75 dB, pencahayaan 200 lux sampai 700 lux, dan temperatur antara 20°C sampai 35°C. Percobaan yang dilakukan adalah pencocokan warna resistor selama 5 menit sesuai dengan kombinasi variabel penelitian yang telah ditentukan dalam metode permukaan respon. Output adalah jumlah kebenaran yang terjadi. Dengan menggunakan model optimasi tersebut diperoleh kondisi lingkungan kerja yang optimal untuk kebisingan sebesar 60.5 dB, pencahayaan 354.5 lux dan temperatur sebesar 25.8°.

Kata kunci: Metode Permukaan Respon; Kebisingan; Pencahayaan; dan Temperatur

Abstract -- Many consequences caused by the condition of the work environment is not good. This can be caused by noise, lighting and temperature conditions. We need to determine the optimal value of these work environment factors in order to improve operator performance. The correlation between operator performance with work environment factor such as noise, lighting and temperature are found out by develop empirical model to describe relation between operator performance with work environment factor. The model is used to optimize operator performance. This research use surface response method. The experimental design used a central composite design. The research was conducted by experiments in the Laboratory of Analysis of Work Design and Ergonomics of Islamic University of Indonesia Yogyakarta. Variables taken are noise, lighting and temperature. Range for noise is 40 dB to 75 dB, lighting 200 lux to 700 lux, and temperatures between 20°C to 35°C. The experiment carried out was the resistor color matching for 5 minutes according to the combination of research variables that have been determined in the surface response method. Output is the number of truths that occur. Using this optimization model, optimal working environment conditions for noise of 60.5 dB, 354.5 lux illumination and temperature of 25.8°.

Keywords: Surface Response Method; Noise; Lighting; and Temperature

PENDAHULUAN

Suksesnya suatu sistem produksi dalam industri biasanya dinyatakan dalam bentuk besarnya produktivitas atau besarnya rasio output per input yang dihasilkan. Apa, bagaimana, dan dimana pekerjaan diselenggarakan seharusnya merujuk pada konsep pemilihan alternatif metode kerja yang efektif-efisien dan pengaturan lingkungan fisik kerja yang layak.

Dalam keadaan sehat, manusia mampu beradaptasi dengan situasi dan kondisi

lingkungan fisik yang bervariasi dalam hal temperatur, kelembaban, getaran, kebisingan, dan lainnya. Akan tetapi lingkungan fisik yang tidak terkendali yang disebabkan kurang diperhatikannya prinsip – prinsip ergonomi akan menimbulkan stres kerja, jika tidak ditanggulangi, akan terus berakumulasi dan secara tiba – tiba bisa menyebabkan hal yang fatal.

Menurut Oesman (2014) kondisi fisik lingkungan kerja dapat menimbulkan bahaya secara langsung maupun tidak langsung bagi

kesehatan dan keselamatan kerja. Kualitas lingkungan kerja yang rendah secara fisik dan mental dapat menimbulkan tekanan non produktif pada pekerja sehingga banyak muncul kejadian yang mengganggu aktivitas kerja.

Penelitian sejenis tentang lingkungan kerja adalah "Pengukuran Lingkungan Fisik Kerja dan Workstation di Kantor Pos Pusat Samarinda" (Cahyadi & Kurniawan, 2011). Pada penelitian tersebut dibahas tentang penentuan ruang tunggu dan administrasi pelayanan yang sesuai dengan standar tingkat kenyamanan dan kesehatan serta memiliki layout ruangan yang sesuai dengan kebutuhan kerja. Sedangkan penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode *Response Surface* adalah "Optimalisasi Faktor yang Berpengaruh pada Kualitas Lilin di UD X dengan Metode Response Surface" (Octaviani, Dewi, & Asrini, 2017). Penelitian tersebut dilakukan pada pembuatan produk lilin untuk mendapatkan desain eksperimen dengan mengkombinasikan faktor dan level agar didapatkan kualitas lilin yang optimum.

Metode Permukaan Respon (*response surface methodology*) adalah suatu kumpulan dari teknik-teknik statistika dan matematika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dengan respon sebagai pusat perhatian dengan dipengaruhi beberapa variabel dan bertujuan mengoptimalkan respon tersebut (Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2016). Menurut Bachtiyar & Amrillah (2011) metode respon permukaan solusi optimum dapat digunakan untuk kondisi minimum, maksimum, kondisi yang paling diinginkan dan kondisi sepanjang batas bawah dan atas.

Kegunaan Metodologi Permukaan Respon dalam suatu eksperimen adalah untuk mengoptimasi respon (variabel output) yang dipengaruhi oleh beberapa variabel terikat (variabel input) (Hadi & Wahyudi, 2014). Metodologi Permukaan Respon dapat digunakan untuk memprediksi respon yang akan datang dan menentukan nilai dari variabel *independen* yang mampu mengoptimalkan respon yang di harapkan

Berdasarkan latar belakang di atas, maka akan dibahas berapa kondisi optimal dari lingkungan kerja fisik dengan menerapkan metode *response surface* sehingga terjadi efisiensi dan efektifitas kerja. Dimana kondisi optimal tersebut diperoleh dari pencarian titik stasioner, yaitu titik yang mengoptimalkan respon. Dalam penelitian ini, dimana akan dilakukan eksperimen tentang pencocokan warna resistor, respon yang dihasilkan akan dimaksimalkan sehingga mendapatkan jumlah kebenaran yang banyak.

METODE PENELITIAN

Subjek penelitian adalah 10 orang mahasiswa yang telah dilatih sebelumnya. Ada beberapa alat dan fasilitas yang digunakan, seperti ruang iklim sebagai tempat eksperimen yang didalamnya terdapat pencahayaan, kebisingan, dan temperatur yang bisa diatur intensitasnya sesuai kebutuhan. Alat lain yang digunakan adalah lux meter untuk mengetahui berapa intensitas cahaya yang dipancarkan oleh lampu, desibel meter untuk mengetahui tingkat kebisingan, termometer untuk mengetahui suhu ruangan, jam henti (*stop watch*) untuk mengetahui lamanya pekerjaan, resistor dan PCB, serta alat tulis. Range variabel kebisingan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 40 dB sampai 75 dB, pencahayaan 200 lux sampai 700 lux, dan temperatur antara 20°C sampai 35°C. Untuk pencahayaan, range tersebut diambil untuk kategori kerja yang membutuhkan ketelitian, sebagai contoh adalah perakitan sederhana, packing, kerja laboratorium. Sedangkan untuk temperatur, *range* tersebut diambil karena pada 20°C merupakan temperatur yang nyaman untuk bekerja dan 35°C merupakan batas toleransi dari temperatur yang tinggi. Untuk kebisingan, peneliti menggunakan range tersebut karena pada level kebisingan 40 dB merupakan level yang sangat baik untuk konsentrasi sedang pada 75 dB percakapan menggunakan telepon sulit dilakukan, dan pada percakapan tatap muka harus menaikkan volume suara. Perancangan eksperimen yang dilakukan adalah operator melakukan pencocokan warna resistor selama 5 menit sesuai kombinasi variabel yang ditetapkan, hasilnya berupa jumlah kebenaran yang dihasilkan. Data yang telah terkumpul kemudian diolah dengan bantuan *software* dan manual. Pengolahan data pada penelitian ini terbagi dalam dua tahap perhitungan, yaitu perhitungan untuk uji model regresi dan perhitungan untuk memperoleh nilai maksimal dari variabel.

Analisis hasil perhitungan dan pengolahan data yang digunakan dalam studi kasus ini dilakukan dengan cara melihat nilai simpangan dari model tersebut, apakah terdapat penyimpangan (*lack of fit*) atau tidak. Bila tidak terdapat penyimpangan (dalam studi kasus ini digunakan taraf $\alpha = 5\%$), maka model tersebut dapat diandalkan untuk menerangkan keadaan percobaan (hasil percobaan). Selanjutnya dilakukan uji overall. Uji ini dilakukan apakah semua variabel *independent* bersama-sama dapat berpengaruh terhadap variabel *dependent*, atau sebaliknya. Selanjutnya dilakukan uji parsial guna menguji masing-masing koefisien regresi

dalam model.

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Data yang telah terkumpul kemudian diolah dengan bantuan *software* dan manual. Pengolahan data pada penelitian ini terbagi dalam dua tahap perhitungan, yaitu perhitungan untuk uji model regresi yang meliputi penentuan koefisien persamaan ordo kedua, mencari faktor koreksi, jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat regresi, jumlah kuadrat galat, jumlah kuadrat galat murni, jumlah kuadrat simpangan dari model,

menghitung kuadrat total regresi, galat simpangan dari model, galat murni, menghitung F hitung regresi dan simpangan dari model, mencari R^2 serta perhitungan uji *lack of fit*, uji *overall* dan uji parsial. Dan juga perhitungan untuk memperoleh nilai maksimasi dari variabel yang meliputi pengkodean, penentuan titik tengah diantara kedua taraf faktor, penentuan hubungan variabel kode dengan variabel asli, penentuan taraf faktor yang bersesuaian dengan nilai α , penentuan titik X_1 , X_2 , X_3 yang mengoptimalkan fungsi respons.

Tabel 1. Rerata Hasil Percobaan Tiga Faktor Bersifat Ketelitian Seragam (k=3)

Variabel	Simbol		Range dan level		
	Asli	Code	-1	0	1
<i>kebisingan</i>	z_1	x_1	40	57.5	75
<i>pencahayaannya</i>	z_2	x_2	200	450	700
<i>temperatur</i>	z_3	x_3	20	27.5	35

Variabel Kode			Variabel Asli			Y
X_1	X_2	X_3	Kebisingan (desibel)	Pencahayaannya (lux)	Temperatur ($^{\circ}C$)	
-1	-1	-1	40	200	20	10
-1	-1	1	40	200	35	11
-1	1	-1	40	700	20	11
-1	1	1	40	700	35	12
1	-1	-1	75	200	20	11
1	-1	1	75	200	35	11
1	1	-1	75	700	20	12
1	1	1	75	700	35	10
0	0	0	57.5	450	27.5	12
0	0	0	57.5	450	27.5	13
0	0	0	57.5	450	27.5	13
0	0	0	57.5	450	27.5	12
0	0	0	57.5	450	27.5	12
0	0	0	57.5	450	27.5	11
-1.682	0	0	28.065	450	27.5	12
1.682	0	0	86.935	450	27.5	14
0	-1.682	0	57.5	29.5	27.5	6
0	1.682	0	57.5	870.5	27.5	12
0	0	-1.682	57.5	450	14.885	12
0	0	1.682	57.5	450	40.115	11

Perhitungan uji model regresi

Langkah – langkah perhitungan uji model regresi adalah sebagai berikut:

Penentuan koefisien persamaan ordo kedua

Catatan : X_0 bernilai 1, merupakan variabel dummy untuk menduga parameter β_0

$$X' = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.682 & 1.682 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.682 & 1.682 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.682 & 1.682 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.829 & 2.829 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.829 & 2.829 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.829 & 2.829 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks $X'X$ serta $X'Y$ dapat ditentukan sebagai berikut :

$$X'X = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 0 & 0 & 13.6580 & 13.6580 & 13.6580 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 13.6582 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13.6582 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13.6582 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 13.6580 & 0 & 0 & 0 & 24.0065 & 8 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 13.6580 & 0 & 0 & 0 & 8 & 24.0065 & 8 & 0 & 0 & 0 \\ 13.6580 & 0 & 0 & 0 & 8 & 8 & 24.0065 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 228 \\ 3.36 \\ 12.09 \\ -1.68 \\ 161.55 \\ 138.99 \\ 153.06 \\ -2 \\ -4 \\ -2 \end{bmatrix}$$

Langkah selanjutnya yaitu menentukan $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}(X'Y)$, dimana nilai $(X'X)^{-1}$:

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.1663 & 0 & 0 & 0 & -0.0568 & -0.0568 & -0.0568 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0732 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0732 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0732 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0568 & 0 & 0 & 0 & 0.0694 & 0.0069 & 0.0069 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0568 & 0 & 0 & 0 & 0.0069 & 0.0694 & 0.0069 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0568 & 0 & 0 & 0 & 0.0069 & 0.0069 & 0.0694 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 \end{bmatrix}$$

Jadi $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}(X'Y)$ didapat sebesar :

$$\begin{matrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \\ b_7 \\ b_8 \\ b_9 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.1663 & 0 & 0 & 0 & -0.0568 & -0.0568 & -0.0568 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0732 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0732 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0732 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0568 & 0 & 0 & 0 & 0.0694 & 0.0069 & 0.0069 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0568 & 0 & 0 & 0 & 0.0069 & 0.0694 & 0.0069 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0568 & 0 & 0 & 0 & 0.0069 & 0.0069 & 0.0694 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.125 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 228 \\ 3.36 \\ 12.09 \\ -1.68 \\ 161.55 \\ 138.99 \\ 153.06 \\ -2 \\ -4 \\ -2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12.17 \\ 0.246 \\ 0.885 \\ -0.123 \\ 0.272 \\ -1.141 \\ -0.258 \\ -0.25 \\ -0.5 \\ -0.25 \end{bmatrix}$$

Dengan demikian persamaan respons ordo kedua dapat diduga sebagai berikut :

$$\hat{Y} = 12.17 + 0.246 X_1 + 0.885 X_2 - 0.123 X_3 + 0.272 X_1^2 - 1.142 X_2^2 - 0.258 X_3^2 - 0.25 X_1 X_2 - 0.5 X_1 X_3 - 0.25 X_2 X_3 \dots \dots \dots \text{persamaan 1}$$

Penentuan faktor koreksi

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = \frac{(\sum Y)^2}{n} = \frac{(228)^2}{20} = 2599.2$$

Penentuan Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum Y^2 - FK = 2648 - 2599.2 = 48.8$$

dengan derajat bebas (db) total = $n - 1 = 20 - 1 = 19$

Penentuan Jumlah Kuadrat Regresi (JKR)

Jumlah Kuadrat Regresi (JKR)

$$\begin{matrix} 12.17 \\ 0.246 \\ 0.885 \\ -0.123 \\ 0.272 \\ -1.141 \\ -0.258 \\ -0.25 \\ -0.5 \\ -0.25 \end{matrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.682 & 1.682 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.682 & 1.682 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.682 & 1.682 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.829 & 2.829 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.829 & 2.829 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.829 & 2.829 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{matrix} 10 \\ 11 \\ 11 \\ 11 \\ 12 \\ 11 \\ 11 \\ 12 \\ 10 \\ 12 \\ 13 \\ 13 \\ 12 \\ 12 \\ 11 \\ 12 \\ 14 \\ 6 \\ 12 \\ 12 \\ 11 \end{matrix} - (20 \times 129.96)$$

Dengan demikian $JKR = 2635.4 - (20)(129.96) = 36.2$

dengan derajat bebas (db) regresi = $k - 1 = 10 - 1 = 9$

Perhitungan Penentuan Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$\text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} = JKT - JKR = 48.8 - 36.2 = 12.6$$

dengan derajat bebas (db) galat = db total - db regresi = 19 - 9 = 10

Perhitungan Jumlah Kuadrat Galat Murni (JKGM)

$$\text{Jumlah Kuadrat Galat Murni (JKGM)} = \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right) = \left(891 - \frac{5329}{6} \right) = 2.833$$

dengan derajat bebas (db) galat murni = banyaknya ulangan pada $X_1, X_2, X_3 (0,0,0)$ dikurangi 1 = 6 - 1 = 5

Penentuan Jumlah Kuadrat Simpangan dari Model (JKSDM)

$$\text{Jumlah Kuadrat Simpangan dari Model (JKSDM)} = \text{JKG} - \text{JKGM} = 12.6 - 2.833 = 9.767$$

derajat bebas (db) simpangan dari model = db galat - db galat murni = 10 - 5 = 5

$$\text{Kuadrat Total (KT) Regresi} = \frac{JKR}{db \text{ Regresi}} = \frac{36.2}{9} = 4.02$$

$$\text{Kuadrat Total (KT) Galat} = \frac{JKG}{db \text{ Galat}} = \frac{12.6}{10} = 1.26$$

$$\text{Kuadrat Total (KT) SDM} = \frac{JKSDM}{db \text{ SDM}} = \frac{9.767}{5} = 1.953$$

$$\text{Kuadrat Total (KT) GM} = \frac{JKGM}{db \text{ GM}} = \frac{2.833}{5} = 0.567$$

$$F \text{ hitung regresi} = \frac{KT \text{ regresi}}{KT \text{ galat}} = \frac{4.02}{1.26} = 3.19$$

$$F \text{ hitung SDM} = \frac{KT \text{ SDM}}{KT \text{ GM}} = \frac{1.9533}{0.5667} = 3.45$$

$$\text{Perhitungan } R^2 = \frac{JKT}{JKR} = \frac{48.8}{36.2} = 1.348$$

Uji Lack Of Fit (penyimpangan dari model)

Hipotesis : Ho: Tidak ada Lack of Fit; H¹ : Ada Lack of Fit

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df_1 = 5$ $df_2 = 5$ $F_{\text{tabel}} = 5.05$

Daerah kritis: Bila $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka Ho ditolak; Bila $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka Ho diterima

$$\text{Statistik Uji : } F_{\text{hitung}} = \frac{1.9533}{0.5667} = 3.45$$

Kesimpulan: Karena $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ yaitu $3.45 < 5.05$ maka Ho diterima yang berarti tidak ada lack of fit (tidak ada penyimpangan dari model).

Uji Overall (Uji Regresi)

Hipotesis :

Ho: Semua variabel *independent* tidak mempengaruhi variabel *dependent*

H¹ : Minimal ada satu variabel *independent* yang mempengaruhi variabel

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df_1 = 9$ $df_2 = 10$ $F_{\text{tabel}} = 3.02$

Daerah kritis: Bila $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ maka Ho ditolak; Bila $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$ maka Ho diterima

$$\text{Statistik Uji : } F_{\text{hitung}} = \frac{4.02}{1.26} = 3.19$$

Kesimpulan:

Karena $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ yaitu $3.19 < 3.02$ maka H_0 ditolak yang berarti minimal ada satu variabel *independent* yang mempengaruhi variabel

Uji Parsial

1. Pengujian koefisien regresi prediktor kebisingan (b_1)

Hipotesis : $H_0: b_1 = 0$; $H_1: b_1 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 20 - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\alpha/2}$ maka H_0 diterima; Bila $t_{\text{hitung}} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{\text{hitung}} > t_{\alpha/2}$ maka H_0 ditolak

$$\text{Perhitungan : } t_{\text{hitung}} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{0.246}{0.3041} = 0.808$$

Kesimpulan: H_0 diterima

2. Pengujian koefisien regresi prediktor pencahayaan (b_2)

Hipotesis : $H_0: b_2 = 0$; $H_1: b_2 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\alpha/2}$ maka H_0 diterima; Bila $t_{\text{hitung}} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{\text{hitung}} > t_{\alpha/2}$ maka H_0 ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{\text{hitung}} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{0.885}{0.3041} = 2.911$$

Kesimpulan: H_0 ditolak

3. Pengujian koefisien regresi prediktor temperatur (b_3)

Hipotesis : $H_0: b_3 = 0$; $H_1: b_3 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\alpha/2}$ maka H_0 diterima; Bila $t_{\text{hitung}} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{\text{hitung}} > t_{\alpha/2}$ maka H_0 ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{\text{hitung}} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{-0.123}{0.3041} = -0.405$$

Kesimpulan: H_0 diterima

4. Pengujian koefisien regresi prediktor kebisingan*kebisingan (b_4)

Hipotesis : $H_0: b_4 = 0$; $H_1: b_4 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{\text{hitung}} \leq t_{\alpha/2}$ maka H_0 diterima; Bila $t_{\text{hitung}} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{\text{hitung}} > t_{\alpha/2}$ maka H_0 ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{\text{hitung}} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{0.272}{0.2960} = 0.920$$

Kesimpulan: Ho diterima

5. Pengujian koefisien regresi prediktor pencahayaan*pencahayaan (b_5)

Hipotesis : Ho: $b_5 = 0$; H¹: $b_5 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{hitung} \leq t_{\alpha/2}$ maka Ho diterima; Bila $t_{hitung} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{hitung} > t_{\alpha/2}$ maka Ho ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{hitung} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{-1.142}{0.2960} = -3.858$$

Kesimpulan: Ho ditolak

6. Pengujian koefisien regresi prediktor temperatur*temperatur (b_6)

Hipotesis : Ho: $b_6 = 0$; H¹: $b_6 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{hitung} \leq t_{\alpha/2}$ maka Ho diterima; Bila $t_{hitung} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{hitung} > t_{\alpha/2}$ maka Ho ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{hitung} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{-0.258}{0.2960} = -0.872$$

Kesimpulan: Ho diterima

7. Pengujian koefisien regresi prediktor kebisingan*pencahayaan (b_7)

Hipotesis : Ho: $b_7 = 0$; H¹: $b_7 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{hitung} \leq t_{\alpha/2}$ maka Ho diterima; Bila $t_{hitung} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{hitung} > t_{\alpha/2}$ maka Ho ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{hitung} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{-0.250}{0.3973} = -0.629$$

Kesimpulan: Ho diterima

8. Pengujian koefisien regresi prediktor kebisingan*temperatur (b_8)

Hipotesis : Ho: $b_8 = 0$; H¹: $b_8 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{hitung} \leq t_{\alpha/2}$ maka Ho diterima; Bila $t_{hitung} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{hitung} > t_{\alpha/2}$ maka Ho ditolak

$$\text{Statistik Uji : } t_{hitung} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{-0.500}{0.3973} = -1.258$$

Kesimpulan: Ho diterima

9. Pengujian koefisien regresi prediktor pencahayaan*temperatur (b_9)

Hipotesis : Ho: $b_9 = 0$; H¹: $b_8 \neq 0$

Tingkat signifikansi: $\alpha = 0.05$ $df = n - 2 = 18$ $t_{\alpha/2} = 2.101$

Daerah kritis: Bila $-t_{\alpha/2} \leq t_{hitung} \leq t_{\alpha/2}$ maka Ho diterima; Bila $t_{hitung} < -t_{\alpha/2}$ atau $t_{hitung} > t_{\alpha/2}$ maka Ho ditolak

$$\text{Statistik Uji: } t_{hitung} = \frac{\text{koefisien}}{SE_koefisien} = \frac{-0.250}{0.3973} = -0.629$$

Kesimpulan: Ho diterima

Perhitungan untuk memperoleh nilai maksimasi dari variabel
Penentuan taraf faktor (pemberian kode untuk masing-masing faktor)

Faktor kebisingan (K): 40 desibel (kode $X_1 = -1$) dan 75 desibel (kode $X_1 = 1$)

Faktor pencahayaan (P) : 200 lux (kode $X_2 = -1$) dan 700 lux (kode $X_2 = 1$)

Faktor temperatur (T) : 20 °C (kode $X_3 = -1$) dan 35 °C (kode $X_3 = 1$)

Penentuan taraf faktor yang bersesuaian dengan titik pusat

Faktor kebisingan (K) dengan titik pusat : $\frac{40+75}{2} = 57.5$ (kode $X_1 = 0$)

Faktor pencahayaan (P) dengan titik pusat : $\frac{200+700}{2} = 450$ (kode $X_2 = 0$)

Faktor temperatur (T) dengan titik pusat : $\frac{20+35}{2} = 27.5$ (kode $X_3 = 0$)

Penentuan hubungan antara variabel kode X_1, X_2, X_3 dan variabel asli

$$X_1 = \frac{\text{Kebisingan} - 57.5}{17.5} \Rightarrow \text{Kebisingan} = 17.5X_1 + 57.5 \dots\dots\dots \text{persamaan 2}$$

$$X_2 = \frac{\text{Pencahayaan} - 450}{250} \Rightarrow \text{Pencahayaan} = 250X_2 + 450 \dots\dots\dots \text{persamaan 3}$$

$$X_3 = \frac{\text{Temperatur} - 27.5}{7.5} \Rightarrow \text{Temperatur} = 7.5X_3 + 27.5 \dots\dots\dots \text{persamaan 4}$$

Penentuan taraf faktor yang bersesuaian dengan nilai-nilai α

Untuk $X_1 = -1.68$, maka $K = 17.5(-1.68) + 27.5 = 28.068$

Untuk $X_1 = 1.68$, maka $K = 17.5(1.68) + 27.5 = 86.935$

Untuk $X_2 = -1.68$, maka $P = 250(-1.68) + 450 = 29.5$

Untuk $X_2 = 1.68$, maka $P = 250(1.68) + 450 = 870.5$

Untuk $X_3 = -1.68$, maka $T = 7.5(-1.68) + 27.5 = 14.885$

Untuk $X_3 = 1.68$, maka $T = 7.5(1.68) + 27.5 = 40.115$

Penentuan titik X_1, X_2, X_3 yang mengoptimalkan fungsi respons

a. Syarat perlu

Dari persamaan 4.1 apabila didiferensiasikan untuk memenuhi syarat perlu, maka akan diperoleh hasil berupa sistem persamaan linear sebagai berikut :

- 1) $0.544 X_1 - 0.25 X_2 - 0.25 X_3 = 0.246$
- 2) $-0.25 X_1 - 2.282 X_2 - 0.25 X_3 = 0.885$
- 3) $-0.5 X_1 - 0.25 X_2 - 0.516 X_3 = -0.123$

Perhitungan persamaan di atas :

$$\begin{array}{r}
 1) \quad 0.544 X_1 - 0.25 X_2 - 0.25 X_3 = 0.246 \\
 2) \quad -0.25 X_1 - 2.282 X_2 - 0.25 X_3 = 0.885 \quad - \\
 \hline
 0.794 X_1 + 2.032 X_2 \quad \quad = -0.639 \quad \dots\dots\dots \text{persamaan a}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 1) \quad 0.544 X_1 - 0.25 X_2 - 0.25 X_3 = 0.246 \quad (\times 0.516) \\
 3) \quad -0.5 X_1 - 0.25 X_2 - 0.516 X_3 = -0.123 \quad (\times 0.25) \\
 \hline
 0.281 X_1 - 0.129 X_2 - 0.129 X_3 = 0.127 \\
 -0.125 X_1 - 0.0625 X_2 - 0.129 X_3 = 0.03075 \quad - \\
 \hline
 0.406 X_1 - 0.0665 X_2 \quad \quad = 0.09625 \dots\dots\dots \text{persamaan b}
 \end{array}$$

Dari hasil persamaan regresi dengan mengeliminasi konstanta X_3 kemudian dilakukan proses eliminasi yang kedua, misalkan X_1 di nol-kan :

$$\begin{array}{r}
 \text{persamaan a} \quad 0.794 X_1 + 2.032 X_2 = -0.639 \quad (\times 0.406) \\
 \text{persamaan b} \quad 0.406 X_1 - 0.0665 X_2 = 0.09625 \quad (\times 0.794) \\
 \hline
 0.322 X_1 + 0.825 X_2 = -0.259 \\
 0.322 X_1 - 0.0528 X_2 = 0.0764 \quad - \\
 \hline
 0.8778 X_2 = -0.3354 \\
 X_2 = -0.382
 \end{array}$$

Dari *persamaan* di atas diperoleh titik stasioner

$$\begin{array}{l}
 X_1 = -0.382 \\
 X_2 = 0.172 \\
 X_3 = -0.2276
 \end{array}$$

b. Syarat cukup

Berikutnya perlu diperiksa apakah titik stasioner itu bersifat maksimum dengan jalan memeriksa syarat cukup. Dari persamaan regresi 1 juga dapat diturunkan matriks *Hessian*, H, sebagai berikut :

$$H = \begin{bmatrix} 0.544 & -0.25 & -0.25 \\ -0.25 & -2.282 & -0.25 \\ -0.5 & -0.25 & -0.516 \end{bmatrix}$$

Dari matriks H dapat ditentukan nilai-nilai determinan minor utama yaitu :

$$D_1 = 0.544$$

$$D_2 = (0.544)(-2.282) - (-0.25)(-0.25) = -1.3035$$

$$D_3 = \text{Det}|H| = 0.8883$$

Berdasarkan persamaan 2, 3 dan 4, maka dapat kita tentukan nilai-nilai kebisingan, pencahayaan dan temperatur berdasarkan nilai-nilai titik stasioner yang diperoleh, dimana :

$$\text{Kebisingan} = 17.5X_1 + 57.5 \rightarrow 17.5(-0.382) + 57.5 = 60.51$$

$$\text{Pencahayaan} = 250X_2 + 450 \rightarrow 250(0.172) + 450 = 354.5$$

$$\text{Temperatur} = 7.5X_3 + 27.5 \rightarrow 7.5(-0.2276) + 27.5 = 25.793$$

Jadi, dari perhitungan di atas dapat ditarik kesimpulan untuk pengolahan data ini seperti terlihat dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2. Daftar Analisis Ragam Pengujian Ketepatan Model Ordo Kedua

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F _{hitung}	F _{tabel (5%)}
Regresi	9	36.2	4.02	3.19	3.02
Galat	10	12.6	1.26		
- SDM	5	9.767	1.953	3.45	5.05
- GM	5	2.833	0.567		
Total	19	48.8			

Tabel 3. Hasil Pengolahan Data

Titik Stasioner	Persamaan		Nilai Maksimal
$X_1 = -0.382$	Kebisingan	$17.5X_1 + 57.5$	60.51
$X_2 = 0.172$	Pencahayaan	$250X_2 + 450$	354.5
$X_3 = -0.2276$	Temperatur	$7.5X_3 + 27.5$	25.793

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa titik stasioner yang memaksimalkan respons (banyaknya kebenaran yang terjasi) yang didapat dari hasil pengolahan data adalah $X_1 = -0.382$, $X_2 = 0.172$ dan $X_3 = -0.2276$, titik stasioner didapat nilai kebisingan sebesar 60.51 dB, sedangkan pencahayaan sebesar 354.5 lux dan temperatur sebesar 25.793 °C dengan respon maksimum yang diduga untuk hasil output adalah sebesar 12. Pada penelitian ini variabel yang paling berpengaruh terhadap kerja operator adalah pencahayaan dengan nilai koefisien sebesar 0.885.

DAFTAR PUSTAKA

Bachtiyar, C., & Amrillah, R. (2011). Setting Parameter Mesin Press Dengan Metode Respon Permukaan pada Pabrik Kelapa

- Sawit. *Jurnal Riset Industri*, V(2), 153–160.
- Cahyadi, D., & Kurniawan, A. (2011). Pengukuran Lingkungan Fisik Kerja Dan Workstation Di Kantor Pos Pusat Samarinda. *Jurnal Eksis*, 7(2), 1931–1938.
- Hadi, Y., & Wahyudi, S. (2014). Aplikasi Metode Objective Matrix dan Response Surface Methodology. *Jemis*, 2(1), 26–33.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Octaviani, M. A., Dewi, D. R. S., & Asrini, L. J. (2017). Optimaliasi Faktor yang Berpengaruh pada Kualitas Lilin di UD X dengan Metode Response Surface. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, 26(1), 29–38.
- Oesman, T. I. (2014). Evaluasi Kondisi Lingkungan Kerja Pada Bagian Proses Pegecoran Di Industri Kerajinan Cor Aluminium “ Ed ” Jogjakarta. *INASEA* 15(1), 71–78.