

# OPTIMALISASI LINGKUNGAN KERJA PADA PROSES PERAKITAN PRODUK PADAT KARYA MENGGUNAKAN PENGUJIAN RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Fahri Anwar<sup>1\*</sup>, Erniyani<sup>2</sup>, Achmad Romadin<sup>3</sup>, Vika Puji Cahyani<sup>4</sup>, Siti Ruqaiyah Baharuddin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Makassar

<sup>4</sup>Program Studi Kimia, Universitas Negeri Makassar

<sup>5</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Makassar

Jalan Daeng Tata Raya Parang Tambung, Mannuruki, Kec. Tamalate, Kota Makassar, Sulawesi Selatan

\*email: fahri.anwar@unm.ac.id, erniyani@unm.ac.id, achmadromadin@unm.ac.id,

vika.puji.cahyani@unm.ac.id, siti.ruqaiyah@unm.ac.id

## Abstract

*This research discusses work ergonomics based on influencing factors including noise levels, lighting, and temperature to increase worker productivity to achieve production targets and protect workers from work fatigue on an ongoing basis. Systematic analysis is used with initial experiments to evaluate and then optimize parameters such as lighting, noise, and temperature. These factor dimensions can influence workers' skills and influence work productivity and work fatigue. The response surface method methodology is used to optimize parameters. The findings from the research showed that the optimal level with the scenario was that the most suitable noise level was 55.17 dB, the optimal environmental temperature was 26.35°C, and the optimal lighting level reached 2983 Lux. With this combination of conditions, knitting assembly time can be minimized to 12 seconds per unit. The novelty of this research work lies in its application to labor-intensive industries with skilled workers as production personnel where these factors can influence work productivity. The obtained regression model can be widely used for further research and adjust parameters based on various data such as anthropometry.*

**Keywords:** Optimization, RSM, DOE, Ergonomic design

## 1. Pendahuluan

Sumber daya manusia di dunia industri menjadi salah satu aspek yang berperan penting untuk berjalannya sistem. Namun banyak kendala kesuksesan yang kerap ditemui akibat produktivitas operator semakin menurun dan menimbulkan kerugian (Denadai et al., 2021). Berkurangnya produktivitas pekerja bisa disebabkan oleh kondisi lingkungan kerja yang buruk, mulai dari pencahayaan, kebisingan, suhu, sehingga kelembaban dan lain sebagainya yang berpotensi menyebabkan karyawan mudah jatuh sakit, mudah stres, sulit konsentrasi dan menurunnya produktivitas kerjamerupakan salah satu aspek yang sangat penting berjalannya sistem. Oleh karena itu dibutuhkan pendekatan ergonomi sebagai solusi pada lingkungan kerja untuk meminimalkan hal hal yang tidak diinginkan (S. Chandra & Khan, 2020). Ergonomi adalah ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyelaraskan atau keseimbangan antara seluruh fasilitas yang digunakan baik dalam beraktivitas maupun

istirahatlah dengan segala kesanggupan dan keterbatasan manusia baik secara fisik dan mental sehingga tercapai kualitas hidup yang lebih baik secara keseluruhan.

Penggunaan data empiris atau pembuatan prototipe desain dan perencanaan stasiun kerja manual dan penentuan metode kerja yang tepat untuk digunakana dalam tugas yang lebih kompleks. Hal ini dikarenakan faktor manusia yang mempengaruhi respon terhadap lingkungan fisik ditentukan melalui penelitian mendasar dan terapan, begitu pula pemahamannya interaksi dan kontribusi relatifnya terhadap manusia kesehatan, kenyamanan dan kinerja. Sebagai bagian dari pengembangan pengetahuan dalam bidang ergonomi dan teknik industri, berbagai metode telah dikembangkan untuk mendukung perancangan lingkungan kerja yang lebih efisien. Untuk mencapai hasil yang optimal secara ekonomis dan ergonomis, diperlukan kajian yang komprehensif terhadap tugas-tugas kerja, serta pertimbangan terhadap berbagai parameter dan batasan yang ada. Pendekatan ini umumnya

dilakukan melalui metode rekayasa ergonomi (Hussein & Ketan, 2017; Parsons 1995).

Pendengaran manusia begitu sensitif terhadap hal yang ekstrim dengan frekuensi rendah dan sangat tinggi dan paling banyak kasus dengan sensitif antara 400 dan 4000 Hz. Umumnya kebisingan dengan intensitas yang sama akan menyebabkan lebih banyak gangguan pada frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan frekuensi yang lebih rendah. Kebisingan yang berlebihan menyebabkan kerusakan pendengaran pada frekuensi tinggi (3, 4, dan 6 kHz) yang menyebar ke frekuensi yang lebih rendah (0,5, 1, dan 2 kHz), membatasi kapasitas kerja (Gidikova et al., 2007).

Pencahayaannya yang tidak memadai bisa berbahaya karena cahaya yang buruk dapat menyebabkan kelelahan mata (Erniyani et al., 2024), sedangkan terlalu banyak cahaya, kilatan dan silau dapat mengalihkan perhatian individu dan membahayakan penglihatan mereka. Oleh karena itu, jumlahnya cukup cahaya harus jatuh pada permukaan di mana karyawan bekerja. Baik pencahayaan alami maupun buatan digunakan di tempat kerja. Karena cahaya alami adalah sangat bergantung pada faktor eksternal (seperti hari, malam, dan kondisi cuaca), dengan cahaya buatan hampir seluruhnya digunakan dalam konteks pencahayaan dalam industri manufaktur (Selena et al., 2020; Heschong et al., 2013; Knez, 1995; Mott dkk., 2012). Dalam upaya mengatasi keberlanjutan lingkungan industri, optimalisasi sistem iluminasi dipandang sebagai hal yang sangat penting (Abdollahi, 2024). Cahaya yang lebih baik dengan konsumsi daya yang lebih sedikit, dan masa pakai yang lebih lama merupakan karakteristik sistem iluminasi terbaik untuk industri (Mahmoudzadeh et al., 2024; Nurkihsan et al., 2002; M. R. Chandra et al., 1999). Metode kreatif untuk mengoptimalkan pencahayaan secara efisien di lingkungan industri memerlukan banyak pengetahuan spesialisasi teknik, termasuk ergonomi, teknik keselamatan, dan dasar-dasar arsitektur penerangan (Karlen & Benya, 2024). Sehingga desain penerangan industri sering kali menekankan tingkat bahaya yang tinggi, fitur visual yang rendah, dan efisiensi energi. Hal ini membantu kita memahami cara membuat sistem penerangan buatan agar bekerja sebaik mungkin. Sebenarnya fungsi utama dari pencahayaan bertujuan untuk meningkatkan penglihatan pekerja, dan persepsi, kesehatan mental, dan kondisi emosional karyawan semuanya dapat terkena dampaknya oleh pencahayaan yang dirancang dengan baik (Newman et al., 2016). Relaksasi visual adalah salah satu komponen kunci yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas sistem iluminasi (Firmansyah, n.d.; Mahmoudzadeh et al., 2024).

Ketidaksesuaian dalam kondisi lingkungan kerja, seperti pencahayaan, kebisingan, dan suhu, dapat menyebabkan pekerja merasa cepat lelah, stres, dan kesulitan berkonsentrasi, sebagaimana dijelaskan dalam literatur sebelumnya. Oleh karena itu, selain pendekatan ergonomi yang diperlukan untuk menyesuaikan kondisi lingkungan kerja, penelitian ini juga bertujuan untuk mencari nilai optimal berdasarkan waktu proses yang efisien dalam proses pembuatan knitting.

Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ, sebuah perusahaan yang bergerak dalam produksi bulu mata tiruan. Salah satu proses kunci dalam produksi adalah pembuatan *knitting*, yang merupakan tahap awal yang menentukan kualitas dan efisiensi proses selanjutnya. Berdasarkan pengamatan awal, ditemukan adanya variasi signifikan pada waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan knitting. Variasi yang terjadi dalam waktu proses pembuatan *knitting* dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan kerja, seperti pencahayaan, suhu, dan kebisingan.

Sehubungan dengan tujuan penelitian ini, maka diperlukan analisis yang sistematis untuk mengidentifikasi kombinasi kondisi lingkungan kerja yang optimal guna meningkatkan efisiensi kerja operator. Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan desain eksperimen (*Design of Experiment/DOE*) dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) melalui *Central Composite Design* (CCD) untuk mengeksplorasi pengaruh serta interaksi antar faktor, serta untuk menentukan kondisi optimal yang dapat mempengaruhi waktu proses sebagai variabel respon.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Sistem Penerangan Tempat Kerja

Perkembangan industri dewasa ini lebih mengedepankan perkembangan teknologi. Hal ini dapat menjadi keuntungan dan juga tantangan untuk selalu bertransformasi demi keberlanjutan industri yang lebih menguntungkan dimasa mendatang. Salah satu cara untuk mencapai kunci keberlanjutan dalam desain pencahayaan tempat kerja adalah melalui penerapan alat simulasi dan optimasi (Wu et al., n.d.). Pencahayaan berperan penting dalam membantu manusia melihat objek dengan jelas dan cepat tanpa kesalahan (Zaqi et al., 2017). Ketajaman penglihatan terhadap suatu objek dipengaruhi oleh ukuran objek, tingkat kontras antara objek dan latar belakangnya, luminasi (kecerahan), serta durasi pengamatan sesuai dengan jenis aktivitas yang dilakukan (Firmansyah, n.d.). Berdasarkan Keputusan

Menteri Kesehatan (KEPMENKES) No. 1405/MENKES/SK/XI/2002 digunakan sebagai acuan untuk mengurangi risiko keluhan mata pada pekerja dengan intensitas cahaya yang di anjurkan sesuai dengan standar. Literatur lain juga bahwa menurut, ISHN (n.d.) menyebutkan bahwa pencahayaan untuk proses *glove manufacturing* meliputi tahap *knitting and sorting* dengan pencahayaan antara **1000-2000 lux**, sementara untuk tahap *pressing, cuffing, and sewing* membutuhkan pencahayaan yang lebih tinggi, yaitu **2000-3000 lux**. Untuk lebih jelas mengenai konfigurasi pekerjaan dapat dilihat pada tabel 1. Penelitian lain yang lebih spesifik dilakukan oleh Nurkihsan et al. (2002) menyatakan dengan menerapkan konsep ergonomi dan Keselamatan serta Kesehatan Kerja dengan tujuan untuk mengevaluasi intensitas pencahayaan dan faktor pendukung keluhan mata serta memberikan rekomendasi terhadap perusahaan dengan pencahayaan yang tidak memenuhi standar.

**Tabel 1.** Tingkat Pencahayaan Minimal (lux)

Jenis kegiatan	Tingkat Pencahayaan Minimal (lux)	Keterangan
pekerjaan kasar dan tidak terus menerus	100	Ruang penyimpanan dan peralatan atau instalasi yang memerlukan pekerjaan kontinyu
pekerjaan kasar dan terus menerus	200	Pekerjaan dengan mesin dan perakitan kasar
pekerjaan rutin	300	Ruang administrasi, ruang kontrol, pekerjaan mesin dan perakitan
pekerjaan agak halus	500	Pembuatan gambar atau bekerja dengan mesin kantor, pemeriksaan atau pekerjaan dengan mesin
pekerjaan halus	1000	Pemilihan warna,

pekerjaan sangat halus	1500 (tidak menimbulkan bayangan)	pemrosesan tekstil, pekerjaan mesin halus dan perakitan halus Mengukir dengan tangan, pemeriksaan pekerjaan mesin, dan perakitan yang sangat halus
pekerjaan terinci	3000 (tidak menimbulkan bayangan)	Pemeriksaan pekerjaan, perakitan sangat halus

(Sumber: (KEPMENKES) No. 1405/MENKES/SK/XI/2002)

pemerintah telah menetapkan standar bagi industri melalui regulasi yang jelas seperti SNI 7062:2019 dan SNI 7391:2008, masih terdapat Salah satu industri yang kurang memahami atau bahkan mengabaikan arahan tersebut Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh hidayat (2025) dengan hasil pengukuran intensitas pencahayaan di salah satu plant di Perusahaan Suku Cadang Otomotif menunjukkan nilai sebesar 125,1 lux. Hasil tersebut menunjukkan bahwa masih belum memenuhi standar sesuai SNI 7062:2019. Hal ini dapat disebabkan oleh kurangnya sosialisasi, keterbatasan sumber daya, atau rendahnya kesadaran akan pentingnya penerapan standar tersebut. Metode ini dapat meningkatkan keselamatan di tempat kerja, meningkatkan fungsi dan desain lingkungan, serta mengembangkan lingkungan yang dapat beradaptasi dan mengubah penggunaannya berdasarkan jenis aktivitas yang dilakukan (M. R. Chandra et al., 1999). Kata "simulasi" dalam iluminasi mengacu pada gagasan desain iluminasi yang lebih komprehensif yang menghitung metrik kinerja iluminasi secara internal melalui simulasi (Shojaee & Gendler, 2024). Model komputer adalah representasi fitur atau operasi utama dari proses atau sistem fisik yang dipilih. Karena ketatnya persyaratan untuk mensimulasikan dunia nyata secara akurat dan rumitnya persyaratan bagi banyak pengguna di sektor terkait, penerapan simulasi iluminasi menjadi sulit (Firmansyah, n.d.) .Akibatnya, risiko terhadap kesehatan dan keselamatan pekerja tetap tinggi, yang berpotensi menurunkan produktivitas serta meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Oleh karena itu, diperlukan pengawasan yang lebih ketat serta edukasi yang berkelanjutan agar setiap

industri dapat menerapkan standar yang telah ditetapkan secara optimal.

### 2.2 Noise

Kondisi ergonomis di tempat kerja penting untuk kinerja perusahaan. Khususnya di industri manufaktur, tenaga kerja sangat dibutuhkan untuk memiliki kondisi tempat kerja yang nyaman. Jika hal ini tidak terjadi, kemungkinan besar hal tersebut terjadi mengalami penurunan efisiensi kerja, peningkatan beban kerja, dan negatif dampaknya terhadap kesehatan karyawan. Dalam penelitian ini, kami mengevaluasi dua ergonomi kondisi, pencahayaan dan tingkat kebisingan di berbagai bagian logam pabrik pengolahan (Caymaz, 2022). Kebisingan ditimbulkan dari suara yang diluar batas kemampuan pendengaran Kondisi suara dan batas tingkat kebisingannya disajikan pada tabel 2 berdasarkan Kepmennaker No. 51 tahun 1999.

**Tabel 2.** Tingkat Kebisingan

No	Tingkat kebisingan	Pemaparan Harian
1	85	8 jam
2	88	4 jam
3	91	2 jam
4	94	1 jam
5	97	30 menit
6	100	15 menit

(Sumber : Kepmennaker No. 51 tahun 1999.)

### 2.3 Temperatur

Suhu optimal di tempat kerja yang mendukung produktivitas tinggi berkisar antara 24°C hingga 27°C. Pengaruh suhu terhadap tubuh manusia selama bekerja dapat bervariasi (Al farizty, 2022; Wignjosoebroto, 2008).

**Tabel 3.** Pengaruh suhu terhadap tubuh manusia

No	Suhu	Keterangan
1	+49°C	Temperatur dapat ditahan sekitar 1 jam, tetapi jauh diatas tingkat kemampuan fisik dan mental.
2	+30°C	Aktivitas mental dan daya tanggap mulai menurun dan cenderung untuk membuat kesalahan dalam

pekerjaan, timbul kelelahan fisik.

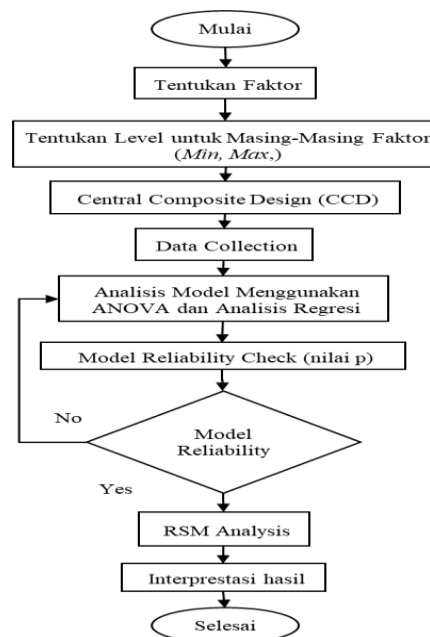
3	+24°C	Kondisi optimum.
4	+10°C	Kelakuan fisik yang extreme mulai muncul.

### 3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini mengkaji kondisi pencahayaan (*lightness*), kebisingan (*noise*) dan suhu (*temperature*) pada PT XYZ salah satu perusahaan padat karya produksi bulu mata tiruan yang terletak di daerah Jawa tengah, Indonesia. Dua bagian metodologi penelitian ini melibatkan pengukuran dan simulasi yang dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi yang berbeda di mana para pekerja memiliki kontak langsung dengan faktor-faktor tersebut.

#### 3.1 Prosedur

Langkah awal pada penelitian ini adalah penyebaran kuesioner sebelum menjalankan percobaan, Lingkungan diamati dengan memperhatikan kondisi cuaca kapan lingkungan pengamatan menggunakan bantuan lampu atau tidak. Para peserta tidak diinstruksikan untuk mengubah penyesuaian peralatan apa pun. Setelah desain eksperimen ditentukan,



**Gambar 1.** Flowchart Penelitian

langkah pertama adalah memulai percobaan dengan mengikuti kombinasi faktor yang telah ditetapkan. Pada desain *Central Composite*, percobaan akan dilakukan pada beberapa titik: titik pusat, titik dengan level faktor tinggi dan rendah, serta titik tambahan yang disebut "star points" yang terletak di luar level tinggi dan rendah. Setiap titik percobaan mewakili kombinasi khusus dari faktor-faktor yang diuji, dan eksperimen harus dijalankan dengan tepat sesuai dengan level yang sudah ditentukan untuk masing-masing faktor. Berikut tabel 4 menjelaskan design data faktor yang digunakan

dan tabel 5 menjelaskan deksripsi operasional variabel terkait variabel bebas dan terikat.

**Tabel 4.** *Factors design data*

No	Factors	Factor design data		
		Label	Min (-1)	Max (1)
1	Kebisingan (Noise)	A	40	75
2	Pencahayaan (Lightness)	B	1500	3500
3	Suhu (Temperature)	C	20	37

**Tabel 5.** Variabel Bebas dan Terikat dalam Penelitian

No	Jenis Variabel	Nama Variabel	Label	Satuan	Deskripsi
1	Bebas (Independent)	Kebisingan	X	dB	Tingkat suara lingkungan yang dapat memengaruhi konsentrasi operator.
2	Bebas (Independent)	Pencahayaan	X	Lux	Intensitas cahaya yang berpengaruh pada visibilitas saat bekerja.
3	Bebas (Independent)	Suhu	X	°C	Temperatur ruang yang dapat memengaruhi kenyamanan dan performa.
4	Terikat (Dependent)	Waktu proses	Y	Menit	Hasil pengamatan berupa performa kerja operator dalam kondisi eksperimental.

Penelitian ini menggunakan tiga variabel bebas, yaitu kebisingan yang diukur dalam dB untuk menilai pengaruh suara lingkungan terhadap konsentrasi kerja, pencahayaan dalam lux untuk mengukur intensitas cahaya yang memengaruhi visibilitas saat bekerja, dan suhu dalam °C yang mencerminkan kenyamanan termal di ruang kerja. Variabel terikatnya adalah waktu proses (menit), yang mencatat durasi pengerjaan sebagai indikator performa kerja dalam kondisi eksperimental.

### 3.2 Karakteristik Umum

Dimensi meja pada industri bulu mata tiruan yang disiapkan untuk penelitian adalah sebagai berikut: 300 cm × 80 cm × 70 cm. Dengan rata-rata operator adalah perempuan dengan tinggi rata-rata 155 cm. kondisi area kerja dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Kondisi area workstation

### 3.3 Analisis Data Eksperimental

#### 3.3.1 Analisis Statistik

Kajian statistik bertujuan untuk memadatkan sejumlah besar data ke dalam format yang mudah dibaca dan dipahami, teknik ini sangat penting dalam bidang teknik. Kumpulan data iluminasi eksperimental dalam penyelidikan ini dianalisis menggunakan teknik ini. Statistik berikut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Minitab versi 18. Nilai  $P > 0,05$  digunakan untuk pengujian ini menunjukkan bahwa data eksperimen tidak normal. Untuk menilai apakah terdapat variasi yang mencolok antara data iluminasi dan nilai iluminasi standar yang ditetapkan untuk setiap tempat kerja, digunakan uji-t. Tempat kerja dikategorikan menggunakan analisis cluster berdasarkan tingkat pencahayaan. Nilai  $P > 0,05$  dianggap signifikan untuk pengujian ini.

Dalam ANOVA, total variasi (SST) dihitung sebagai jumlah kuadrat selisih antara setiap observasi  $Y_{1j}$  dan rata-rata total ( $\bar{Y}$ ). Variasi antar kelompok (SSB) dihitung dengan mengalikan jumlah observasi dalam setiap kelompok  $n_j$  dengan kuadrat selisih antara rata-rata kelompok ( $\bar{Y}_j$ ) dan rata-rata total ( $\bar{Y}$ ), kemudian dijumlahkan untuk semua kelompok. Sementara itu, variasi dalam kelompok (SSW)

adalah jumlah kuadrat selisih antara setiap observasi dalam kelompok ( $Y_{iJ}$ ) dan rata-rata kelompok ( $Y_{.J}$ ).

$$SST = \sum (Y^1 - \bar{Y})^1 \quad (1)$$

$$SSB = \sum n_j (Y^1 - \bar{Y})^1 \quad (2)$$

$$SSW = \sum n_j (Y_{IJ} - \bar{Y}_J)^1 \quad (3)$$

Derajat kebebasan untuk variasi antar kelompok  $Df_{between}$  adalah jumlah kelompok  $k$  dikurangi satu  $k - 1$  sementara derajat kebebasan untuk variasi dalam kelompok  $Df_{within}$  adalah total jumlah observasi ( $N$ ) dikurangi jumlah kelompok  $k$ . Derajat kebebasan total  $Df_{total}$  adalah total jumlah observasi dikurangi satu ( $N - 1$ ).

Untuk menghitung *mean square*, kita bagi variasi antar kelompok (SSB) dengan derajat kebebasan antar kelompok  $Df_{between}$  untuk mendapatkan  $MSB = SSB / Df_{between}$  dan variasi dalam kelompok (SSW) dibagi dengan derajat kebebasan dalam kelompok ( $Df_{within}$ ) untuk mendapatkan  $MSW = SSW / Df_{within}$ . Nilai  $F$  dihitung dengan membagi MSB dengan MSW  $F = MSB / MSW$ . Jika nilai  $F$  lebih besar dari nilai kritis  $F$  pada tingkat signifikansi tertentu, maka kita dapat menyimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata kelompok yang dibandingkan.

### 3.3.2 Metode Response Surface

RSM yang mendefinisikan korelasi antara respons dan faktor kontrol, telah dijelaskan diterapkan secara luas untuk penelitian optimasi pertanian (Ahmad et al., 2016; Basri et al., 2007; Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2016). Metode ini memodelkan dan menganalisis hubungan antara beberapa variabel input (faktor) dan variabel output (respon). Metode ini terutama digunakan untuk mencari kondisi optimal dalam sistem atau proses yang melibatkan variabel yang berinteraksi. RSM membantu dalam menemukan pola atau hubungan yang kompleks antara faktor-faktor input dan respon yang diinginkan. CCD adalah desain eksperimen yang sangat efektif, terutama ketika tujuan utama adalah untuk membangun model respons kuadratik dan mengoptimalkan proses atau sistem. Desain ini sangat berguna karena dapat menangkap efek linier (garis lurus), interaksi antar faktor, dan efek kuadratik (relasi melengkung) antara faktor-faktor yang diuji. CCD terdiri dari tiga bagian utama:

titik faktorial, titik aksial, dan titik tengah. Titik faktorial digunakan untuk menguji kombinasi nilai minimum dan maksimum dari faktor-faktor, titik aksial digunakan untuk menangkap efek kuadratik dengan menguji nilai di luar rentang faktor yang ada, dan titik tengah diulang untuk mengukur kesalahan eksperimen.

Dengan menggunakan *Minitab design of experiment* (DOE), menghasilkan kombinasi faktor dan level pada tabel 6 yang diperlukan dalam eksperimen. Desain ini membantu peneliti dalam mengidentifikasi pengaruh masing-masing faktor terhadap variabel respon dan memungkinkan pencarian kondisi optimal dalam suatu sistem dengan data dapat dilihat pada tabel 6. Melalui pendekatan ini, kita dapat lebih memahami dan mengoptimalkan proses yang melibatkan beberapa faktor yang saling berinteraksi, seperti pada eksperimen yang melibatkan Pencahayaan (Lightness) dan Suhu (Temperature) sebagai faktor-faktor utama, dengan waktu proses sebagai variabel respon yang ingin dioptimalkan.

**Tabel 6.** Desain Eksperimen *Central Composite Design*

Percobaan ke -	Lightness	Temperature	Noise
1	2250	29	57.5
2	3000	20	75.0
3	1500	20	40.0
4	2250	29	57.5
5	2250	29	57.5
6	3000	37	40.0
7	3000	20	40.0
8	2250	29	86.9
9	1500	37	75.0
10	3000	37	75.0
11	1500	37	40.0
12	2250	29	40.0
13	2250	29	57.5
14	2250	29	57.5
15	3511	29	57.5
16	2250	20	57.5
17	2250	33	57.5
18	1500	20	75.0
19	1500	29	57.5
20	2250	29	57.5

Metode ini mengkombinasikan titik pusat, titik sudut, dan titik tengah untuk

menghasilkan model yang efisien dalam menganalisis interaksi faktor dan meminimalkan jumlah eksperimen yang diperlukan. Desain ini sangat berguna dalam penelitian yang melibatkan banyak variabel dan bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya eksperimen (Abdellah Dbik).

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_i x_i^2 + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (4)$$

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Uji Pendahuluan

Uji Pendahuluan merupakan salah satu pengujian faktor yang penting dalam proses eksperimen. Uji pendahuluan dilakukan dengan melakukan beberapa percobaan sesuai yang telah di tetapkan pada tabel 6 berdasarkan Referensi *level-factor* dari studi literature menggunakan alat ukur dengan masing masing level selama 1 jam.

**Tabel 7.** Hasil uji pendahuluan proses pembuatan knitting berdasar data DOE

Percobaan ke-	Lightness	Temperature	Noise	Time
1	2250	29	57.5	16
2	3000	20	75.0	14
3	1500	20	40.0	21
4	2250	29	57.5	12
5	2250	29	57.5	10
6	3000	37	40.0	19
7	3000	20	40.0	15
8	2250	29	86.9	18
9	1500	37	75.0	31
10	3000	37	75.0	19
11	1500	37	40.0	29
12	2250	29	40.0	10
13	2250	29	57.5	14
14	2250	29	57.5	13
15	3511	29	57.5	9
16	2250	20	57.5	13
17	2250	33	57.5	17
18	1500	20	75.0	30
19	1500	29	57.5	26
20	2250	29	57.5	10

Ketika suhu divariasikan, semua faktor mempengaruhi proses eksperimen. Setelah melakukan percobaan berdasar data eksperimen, pada proses pembuatan *knitting* dengan melibatkan variabel *kebisingan*, *temperature* dan *lightness*. Hasil waktu yang

dapat diselesaikan oleh responden dalam proses pembuatan *knitting* tersebut ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 6 di atas menunjukkan bahwa waktu tercepat untuk menyelesaikan perakitan pembuatan *knitting* bulu mata selama 9 Menit, sedangkan waktu terlama sebesar 29 menit.

#### 4.2 ANOVA

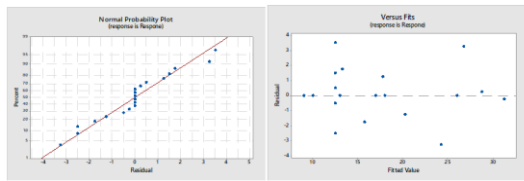
Langkah selanjutnya memasuki tahap analisis *analysis of variance* (ANOVA) dan menghitung nilai R-Square.

**Tabel 8.** ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Status
Model	9	830.73	92.304	12.56	0	Significant
Linear	3	511.7	170.568	23.22	0	Significant
Noise	1	24.456	24.456	3.33	0.098	Not Significant
Lightness	1	420.07	420.066	57.18	0.000	Significant
Temperature	1	61.843	61.843	8.42	0.016	Significant
Square	3	350.17	116.723	15.89	0	Significant
Noise*Noise	1	6.278	6.278	0.85	0.377	Not Significant
Lightness*Lightness	1	75.376	75.376	10.26	0.009	Significant
Temperature*Temperature	1	92.447	92.447	12.58	0.005	Significant
2-Way Interaction	3	22.5	7.5	1.02	0.424	Not Significant
Noise*Lightness	1	18	18	2.45	0.149	Not Significant
Noise*Temperature	1	4.5	4.5	0.61	0.452	Not Significant
Lightness*Temperature	1	0	0	0	1	Not Significant
Error	10	73.467	7.347			
Lack-of-Fit	5	45.967	9.193	1.67	0.293	Significant
Pure Error	5	27.5	5.5			
Total	19	904.2				

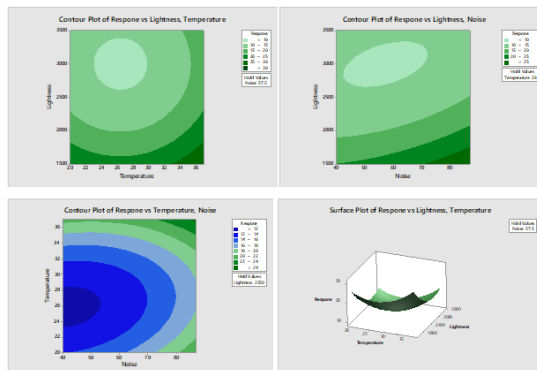
Berdasarkan tabel 8 menunjukan bahwa efek linear pada variasi noise sendiri tidak cukup kuat untuk mempengaruhi variabel dependen dan *lightness* dan *temperature* bervariasi sangat kuat mempengaruhi variabel *dependent Task completion time*. Sementara efek kuadratik atau square term dari *noise* tidak cukup kuat. Sedangkan variasi kuadratik dari *lightness* dan *temperature* berpengaruh signifikan. Ini menunjukkan bahwa peningkatan atau penurunan *lightness* dan *temperature* dalam pola kuadratik berdampak pada variabel dependen. Hal ini berbeda dengan *Two-Way Interaction* tidak ada interaksi yang signifikan antara kombinasi faktor ini dalam mempengaruhi variabel dependen. Hasilnya juga menentukan bahwa *noise*, *lightness* dan *temperature* menyediakan kontribusi sekunder terhadap waktu respons operator. Nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,8759 yaitu mendekati 1 yang diinginkan. Nilai ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi hubungan antar faktor tersebut. Plot diagnostik dari plot probabilitas normal dan plot nilai residual versus prediksi adalah diilustrasikan pada Gambar 3. Plot probabilitas normal menunjukkan plot acak penyebaran 20 titik data sisa sepanjang garis regresi yang menunjukkan kesalahan dalam modelnya terdistribusi secara normal. Selain itu, plot residual versus plot yang diprediksi

menunjukkan titik-titik sisa tersebar secara acak tanpa pola yang jelas.



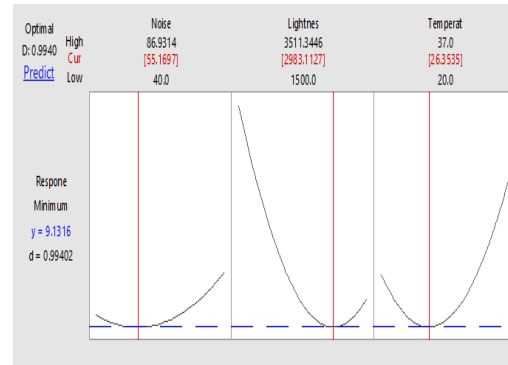
**Gambar 3.** Normal Probability vs Residual dan Residual vs Fits

Pada Gambar 4 menunjukkan counter plot dan permukaan 3D untuk reaksi operator saat pengujian RSM dalam hal *lightness* – *temperature* - *noise*. Faktor-faktor tetap di asumsikan konstan pada tingkat pusat dengan kisaran eksperimental yang dilakukan ditampilkan pada gambar plot. Dikarenakan ini menggunakan target minimasi maka peneliti melihat berdasarkan warna hijau yang lebih redup dengan mekanisme warna hijau terang adalah yang paling tinggi dan warna hijau kurang terang adalah tingkat yang rendah sehingga didapatkan simulasi optimasi berdasar plot tersebut. Sementara pada gambar plot 3 menampilkan gambar plot dengan mekanisme warna yang paling biru sebagai titik plot paling optimal.



**Gambar 4.** Counter plot dan permukaan 3D

Selanjutnya merupakan prediksi dari nilai optimal variabel *noise*, *temperature* dan *lightness*. Berikut merupakan hasil prediksi nilai optimal dalam meminimasi waktu perakitan proses knitting. Dari hasil analisis yang ditunjukkan pada Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa untuk meminimalkan waktu perakitan dalam proses knitting, diperlukan kondisi optimal dari tiga variabel utama, yaitu tingkat kebisingan (*noise*), suhu lingkungan (*temperature*), dan tingkat pencahayaan (*lightness*).



**Gambar 5.** Nilai optimal

Berdasarkan hasil optimasi, diperoleh bahwa tingkat kebisingan yang paling sesuai adalah sebesar 55,17 dB, suhu lingkungan optimal berada pada 26,35°C, dan tingkat pencahayaan optimal mencapai 2983 Lux. Dengan kombinasi kondisi tersebut, waktu perakitan knitting dapat diminimalkan hingga mencapai 12 detik per unit. Jika dibandingkan dengan waktu perakitan terlama yang pernah terjadi dalam proses perakitan resistor, yakni 31 detik per unit, maka dapat dilihat adanya penurunan waktu produksi yang signifikan sebesar 61,3%. Artinya, terjadi penghematan waktu sebesar 23 detik per unit, yang tentunya akan berkontribusi secara signifikan terhadap efisiensi proses produksi secara keseluruhan. Dengan peningkatan efisiensi ini, kapasitas produksi dapat meningkat, konsumsi energi dapat ditekan, serta produktivitas tenaga kerja dapat lebih optimal, sehingga memberikan dampak positif terhadap keseluruhan sistem manufaktur.

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini berkaitan dengan simulasi dan analisis eksperimental dalam mengoptimalkan lingkungan kerja dengan skema *noise*, *lightness*, dan *temperature* yang optimal di tempat kerja sektor bulu mata pada perakitan *knitting*. Melalui pendekatan ergonomi dan penerapan metode RSM dengan CCD, diperoleh kombinasi kondisi lingkungan optimal untuk meminimalkan waktu proses pembuatan knitting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimal terdiri dari tingkat kebisingan sebesar 55,17 dB, suhu lingkungan sebesar 26,35°C, dan tingkat pencahayaan sebesar 2983 Lux. Dengan kondisi tersebut, waktu perakitan knitting dapat ditekan hingga 12 detik per unit, yang berarti terjadi efisiensi waktu sebesar 61,3% dibandingkan waktu terlama sebelumnya. Efisiensi ini berimplikasi positif terhadap peningkatan kapasitas produksi, pengurangan konsumsi energi, dan optimalisasi produktivitas tenaga kerja. Oleh karena itu, penyesuaian kondisi lingkungan kerja melalui pendekatan

ergonomi terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja sistem produksi secara keseluruhan. Untuk memenuhi kebutuhan ini, tempat kerja mungkin mengganti sistem iluminasi yang ada saat ini (terutama lampu neon kompak) dengan sistem yang lebih baik, seperti dioda pemancar cahaya (LED).

Berdasarkan tiga faktor didapatkan hubungan tidak signifikan terhadap *noise* artinya kebisingan yang masih dalam range 40 dB sampai 75 dB dikategorikan masih dalam batas wajar konsentrasi dan tidak mengganggu pekerja. Tetapi hal ini membutuhkan kajian yang berkelanjutan dikarenakan memiliki aspek keselamatan jangka panjang. Sedangkann studi eksperimen ini didapatkan bahwa secara tidak langsung semakin meningkatnya iluminasi lampu maka temperature sekitar akan menjadi naik. Hal ini bakal mempengaruhi kenaikan berjenjang sesuai waktu pemakaian dengan skema lampu akan semakin panas.

#### Daftar Pustaka

- Al Faritsy, A. Z., & Nugroho, Y. A. (2017). Pengukuran lingkungan kerja fisik dan operator untuk menentukan waktu istirahat kerja. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 16(2), 108-114.
- Ahmad, M., Zahir, Z. A., Asghar, H. N., & Asghar, M. (2016). Optimization of organic fertilizer dose using response surface methodology for improving maize yield. *Journal of Plant Nutrition*, 39(5), 694-703.
- Erniyani, E., & Yanasim, N. (2024). Analisis kelelahan mata dan keluhan musculoskeletal disorders pada pengguna laptop. *JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri*, 5(1), 196-203. <https://doi.org/10.37373/jenius.v5i1.1150>
- Basri, M., Rahman, M. B. A., Rahman, R. N. Z. R. A., Salleh, A. B., & Raja Abd Rahman, R. N. Z. (2007). Optimized production of lipase from a newly isolated strain of *Bacillus* sp. using response surface methodology. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82(6), 567-572.
- Caymaz, T., Çalışkan, S., & Botsalı, A. R. (2022). Evaluation of ergonomic conditions using fuzzy logic in a metal processing plant. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 8(1), 19-24.
- Chandra, M. R., Pertanian, D. T., & Padjajaran, U. (1999). Analisis Ergonomi Lingkungan Kerja Fisik Berdasarkan Temperatur , Pencahayaan Dan Tingkat Kebisingan Mesin Studi Kasus PTPN VIII Dayeuhmanggung. 585-595.
- Chandra, S., & Khan, I. (2020). Organizational Ergonomics and its Framework. 6, 776-784. <https://doi.org/10.35940/ijrte.F7285.038620>
- Denadai, M. S., Alouche, S. R., Valentim, D. P., & Padula, R. S. (2021). An ergonomics educational training program to prevent work-related musculoskeletal disorders to novice and experienced workers in the poultry processing industry: A quasi-experimental study. *Applied Ergonomics*, 90(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103234>
- Firmansyah, M. A. (n.d.). Pengaruh tingkat pencahayaan terhadap visus hasil pemeriksaan refraksi subjektif di dalam ruangan.
- Gidikova, P., Prakova, G., Ruev, P., & Sandeva, G. (2007). Hearing impairment among workers occupationally exposed to excessive levels of noise. 2(3), 313-318. <https://doi.org/10.2478/s11536-007-0034-2>
- Hussein, P., & Ketan, S. (2017). Improvement of Workstation Design Based on Ergonomics ' Principles. 3.
- Hidayat, A. (2025). *Evaluasi Intensitas Pencahayaan di Plant Produksi Perusahaan Suku Cadang Otomotif*. *Jurnal Teknik Industri Indonesia*, 12(1), 45-53.
- ISHN. (n.d.). *Glove manufacturing: Knitting and sorting (1000-2000 lux); pressing, cuffing, and sewing (2000-3000 lux)*. *Industrial Safety and Hygiene News*. Retrieved May 4, 2025, from <https://www.ishn.com>
- Mahmoudzadeh, P., Hu, W., Davis, W., & Durmus, D. (2024). Spatial efficiency: An outset of lighting application efficacy for indoor lighting. *Building and Environment*, 255(March), 111409. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111409>
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* (4th ed.). Wiley.
- Newman, W. P., Rebman, J., Srvhv, Z. H., Wr, S., Ioxruhvfhw, V., Skdvh, V., Wkh, R. I., Dqg, H. S., & Lqghshqghqw, W. K. H. (2016). The Effects of Increased Color Rendering Index on Stress and Depression. 58-60.
- Nurkihsan, R., Putra, G., Nugraha, A. E., & Herwanto, D. (2002). Analisis Pengaruh Intensitas Pencahayaan Terhadap Kelelahan Mata Pekerja. 15(1405), 81-97.
- Papamichael, K., Andersen, M., Ashdown, I., Bos, J., Brentrup, D., Cai, H., ... & Tanteri, M. (2013). Recommended Practice for Daylighting Buildings

- Parsons, L. M. (1995). Inability to reason about an object's orientation using an axis and angle of rotation. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 21(6), 1259.
- Shojaee, S., & Gendler, S. (2024). Heliyon Sustainable illumination: Experimental and simulation analysis of illumination for workers wellbeing in the workplace. *Heliyon*, 10(24), e40745.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40745>
- Wu, Y., Chen, X., Li, H., Zhang, X., Yan, X., Dong, X., & Li, X. (n.d.). Influence of thermal and lighting factors on human perception  
Influence of thermal and lighting factors on human perception.
- Zaqi, A., Faritsy, A., & Nugroho, Y. A. (2017). Pengukuran Lingkungan Kerja Fisik dan Operator Untuk Menentukan Waktu Istirahat Kerja. 10–11.  
<https://doi.org/10.23917/jiti.v16i2.3379>