

# Robust Design Of Experiment (DOE) to Improve Brown Sugar Production Productivity

## [Robust Design Of Experiment (DOE) Untuk Meningkatkan Produktivitas Produksi Gula Merah]

Sinta Ika Adelia<sup>1)</sup>, Indah Apriliana Sari Wulandari <sup>\*.2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: indahapriliana@umsida.ac.id

**Abstract.** *Muhajir Sugar Cane MSME experiences a 5% monthly defect rate due to color inconsistency, high moisture, and bitter taste. This study determines optimal process parameters using the method Design Of Experiment with an L9 (3<sup>4</sup>) orthogonal array. Factors include temperature, cooking time, lime mixture, and sap concentration. SNR (larger is better) and ANOVA show all factors are significant ( $p < 0.05$ ), with temperature and sap concentration as dominant variables. The optimal setting is 115°C, 20 minutes, 0.5 gram lime mixture, and level 3 sap concentration. The model shows high fit ( $R^2 = 97.87\%$ ), indicating the DOE method effectively improves production quality.*

**Keywords** – Brown Sugar; Design of Experiment; Quality Control

**Abstrak.** *UMKM Muhajir Sugar Cane mengalami tingkat kecacatan gula merah sebesar 5% per bulan akibat ketidakseragaman warna, kadar air tinggi, dan rasa pahit. Penelitian ini bertujuan menentukan parameter proses optimal menggunakan metode Design Of Experiment dengan orthogonal array L9 (3<sup>4</sup>). Faktor yang diuji meliputi suhu, lama pemasakan, campuran kapur, dan konsentrasi nira. Analisis SNR (larger is better) dan ANOVA menunjukkan seluruh faktor signifikan ( $p < 0,05$ ), dengan suhu dan konsentrasi nira sebagai faktor dominan. Kombinasi optimal diperoleh pada suhu 115°C, waktu 20 menit, campuran kapur 0,5 gram, dan konsentrasi nira level 3. Model memiliki kecocokan tinggi ( $R^2 = 97,87\%$ ), sehingga metode DOE efektif meningkatkan kualitas produksi.*

**Kata Kunci** – Gula Merah; Design of Experiment; Pengendalian Kualitas

## I. PENDAHULUAN

Industri gula merah merupakan industri tradisional yang diwariskan secara turun-temurun dan umumnya masih menggunakan peralatan sederhana sebagai industri skala kecil[1]. Berdasarkan Kementerian Pertanian tahun 2023, Indonesia termasuk produsen utama gula merah di Asia Tenggara, dengan kontribusi 12% terhadap produksi global[2]. Gula merah menjadi sumber pendapatan penting bagi UMKM yang beroperasi di pusat produksinya[3]. Muhajir *Sugar Cane* adalah industri rumahan atau UMKM yang berdiri sejak tahun 2007 dengan 15 karyawan. Berlokasi di Dusun Sadeng, Desa Sambijajar, Kec. Sumbergempol, Kab. Tulungagung. Kapasitas produksinya mencapai 1000-1500 kg per hari atau sekitar 26.000-39.000 kg per bulan. Produk yang dihasilkan berupa gula merah tebu sebagai bahan baku industri kecap dan tidak ditujukan untuk konsumsi langsung oleh konsumen akhir.

Proses produksi di Muhajir *Sugar Cane* belum memiliki standar baku dalam penyortiran kualitas tebu, terutama terkait standar rasa dan proses pembersihan tebu masih kurang memadai, sehingga menyebabkan produk cacat. Permasalahan utama yang muncul meliputi ketidakseragaman warna, tingginya kadar air, dan rasa pahit yang mengakibatkan proses produksi ulang (*reprocessing*). Data produksi menunjukkan tingkat kecacatan mencapai 5% per bulan, sehingga hanya 95% target produksi yang terpenuhi, dengan sekitar 1300-1950 kg per bulan produk tidak sesuai standar dan memerlukan perbaikan. Kondisi ini mengakibatkan peningkatan waktu siklus produksi dan penurunan efisiensi biaya operasional. Faktor utama penyebab kecacatan adalah ketidakakuratan prediksi kelembaban oleh operator dan variabilitas kualitas bahan baku tebu.

Penelitian terdahulu menunjukkan metode *Design of Experiment* banyak digunakan dalam pengendalian kualitas. Kombinasi metode taguchi dan *six sigma* diterapkan untuk menganalisis kecacatan kerupuk tahu[4]. Metode DOE juga digunakan untuk meningkatkan kualitas produk *Masterbatch White* melalui penyesuaian formulasi bahan dengan komposisi 70% pigmen, 23% resin, dan 7% aditif[5]. Selain itu, DOE dimanfaatkan untuk mengolah kembali produk *defect* tinta cetak menjadi produk bernilai tambah dengan hasil terbaik 99.7% dan terburuk 96,6% dari 40 sampel[6]. Penerapan DOE dalam peningkatan efisiensi proses cetakan plastik injeksi mampu menurunkan biaya material dasar sebesar 30% dari Rp378.129.000 menjadi Rp263.402.000[7]. Selanjutnya, DOE Juga diterapkan pada proses produksi tangki transportasi BBM dengan optimalisasi penggunaan elektroda oven pada suhu 260°C–425°C selama 1 jam untuk mengurangi kelembaban dan porositas[8]. Secara keseluruhan berbagai penelitian tersebut

menunjukkan bahwa metode DOE berperan penting dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi di berbagai jenis industri dan manufaktur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kecacatan produk gula merah di umkm muhajir sugar cane, mengidentifikasi faktor setting produksi yang paling optimal, serta memberikan usulan perbaikan guna meminimalkan terjadinya kecacatan produk dalam proses produksi.

## II. METODE

### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di UMKM Muhajir *Sugar Cane*, berlokasi di Dusun Sadeng, Desa Sambijajar, Kec. Sumbergempol, Kab. Tulungagung. Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2025 sampai Desember 2025.

### B. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data untuk menyelesaikan studi kasus yang dilakukan di Muhajir Sugar Cane. Jenis data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder.

#### 1. Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung dari sumber aslinya melalui observasi dan wawancara.

- a. Observasi dilakukan untuk mengumpulkan data produksi dan jenis cacat produk gula merah, pengamatan dilakukan dengan memantau secara menyeluruh pada setiap proses produksi, hasil pengamatan didokumentasikan dan mengidentifikasi objek utama penelitian.
- b. Wawancara

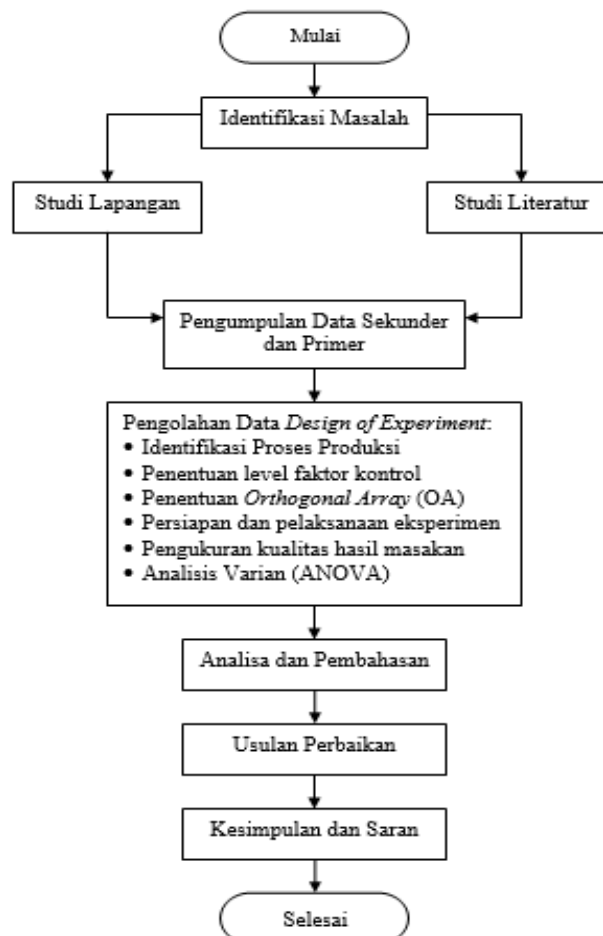
Wawancara dilakukan dengan melibatkan pemilik pabrik dan dua staff produksi. Informasi yang didapat mencakup informasi mengenai data jumlah produksi dan jenis cacat pada produk gula merah.

#### 2. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder diperoleh melalui kajian pustaka berupa referensi seperti jurnal dan buku.

### C. Alur Penelitian

Langkah-langkah metodologi penelitian yang digunakan digambarkan melalui *flowchart* pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk menganalisis kendala yang terjadi di Muhajir *Sugar Cane* melalui pencatatan dan dokumentasi data hasil observasi aktivitas produksi untuk mengidentifikasi akar permasalahan.

2. Observasi Lapangan dan Studi Literatur

Observasi lapangan dilakukan untuk memetakan proses produksi secara detail serta mengidentifikasi mesin yang digunakan, Selanjutnya, studi literatur dilakukan dengan menganalisis jurnal ilmiah dan buku sebagai referensi terdahulu sebagai dasar penelitian.

3. Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan metode *Design of Experiment* untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi dari parameter proses, kuantitas, tingkat dan kombinasi untuk mendapatkan hasil yang diinginkan[6]. Oleh karena itu, desain eksperimen berfungsi sebagai alat perencanaan yang penting untuk meningkatkan kinerja proses manufaktur[9].

a. Penentuan Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas[10]. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah produksi dan jenis cacat.

b. Penentuan Level Faktor Kontrol

Pada tahap ini, bertujuan mengidentifikasi faktor yang dapat dikendalikan dan tidak dapat dikendalikan dalam proses produksi[11].

c. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk memastikan jumlah minimum percobaan yang diperlukan serta sebagai dasar pemilihan matriks *orthogonal*[12][13].

d. Perhitungan *Orthogonal Array*

*Orthogonal array* digunakan untuk memastikan jumlah eksperimen memenuhi atau melebihi derajat kebebasan yang dibutuhkan dan sebagai dasar penentuan kombinasi faktor dan level optimal guna meminimalkan *error*[14][15]. Berikut merupakan contoh perhitungan *degree of freedom*:

- *Degree of Freedom*

$D_f$  faktor A –  $n_{A-1=2-1=1}$

$D_f$  faktor B –  $n_{B-1=2-1=1}$

- Total *degree of freedom*

Total  $D_f$  –  $D_f$  A +  $D_f$  faktor B = 1 + 1 = 2.....(1)

Sumber [16]

4. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap analisis dan pembahasan, perhitungan melalui dua pendekatan utama yaitu *Analysis of Varians* (ANOVA) dan perhitungan analisa varian *Signal to Noise Ratio* (SNR).

a. Analysis of Varians (ANOVA)

Analisis varian berfungsi untuk mengukur pengaruh pengaruh level faktor terhadap suatu hasil. Dengan membandingkan nilai rata-rata pada setiap tingkat faktor, memungkinkan untuk menentukan akurasi perkiraan terhadap data yang ada[17].

1. Menghitung nilai rata-rata seluruh percobaan menggunakan rumus:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \dots \dots \dots (2)$$

Sumber [16]

2. Menghitung nilai total *Sum of Squares* menggunakan rumus berikut:

$$ST = \sum y^2 \dots \dots \dots (3)$$

Sumber [16]

3. Menghitung nilai total *Sum of Squares Mean* menggunakan rumus:

$$SM = n\bar{y}^2 \dots \dots \dots (4)$$

Sumber [16]

4. Menghitung *Sum of Square due to factors* menggunakan rumus:

$$SSA = \left[ \frac{A1^1}{nA1} + \frac{A2^2}{nA2} \right] - \frac{r^2}{n} \dots \dots \dots (5)$$

Sumber [16]

5. Menghitung *Sum of Squares due to error* menggunakan rumus:

$$SSe = ST - SM - SSA - SSB - SSC - SSD \dots \dots \dots (6)$$

Sumber [16]

6. Menghitung *Mean Sum of Squares* menggunakan rumus:

$$MS = \frac{S_A}{V_A} \dots \dots \dots (7)$$

Sumber [16]

- b. Analisis Signal to Noise (SNR)

Data hasil eksperimen dan pengukuran nilai kualitas dalam metode taguchi akan diolah dan ditransformasikan ke dalam bentuk SNR[18]. *Signal to Noise* digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi suatu respon[19]. Jenis SNR yang digunakan pada perhitungan ini adalah larger the better, rumus yang digunakan yaitu:

$$S/N_L = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Sumber [20][21]

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengumpulan Data

Data yang didapatkan dari penelitian ini adalah data proses produksi dan data faktor penyebab cacat. Berdasarkan wawancara dan observasi penelitian, didapatkan kontrol faktor dan level faktor yang mempunyai kontribusi terhadap kecacatan produk dan yang akan dipakai pada eksperimen pada tabel berikut:

**Tabel 1.** Kombinasi Faktor dan Level Faktor

| Kode | Faktor Kontrol   | Level Faktor |          |          |
|------|------------------|--------------|----------|----------|
|      |                  | 1            | 2        | 3        |
| A    | suhu pemasakan   | 105°         | 110°     | 115°     |
| B    | lama pemasakan   | 15 menit     | 20 menit | 25 menit |
| C    | campuran kapur   | 0,5 g        | 1 g      | 1,5 g    |
| D    | konsentrasi nira | 12° brix     | 14° brix | 16° brix |

Berdasarkan kontrol faktor dan level faktor yang digambarkan pada tabel 1, selanjutnya akan disatukan sebagai percobaan menggunakan *orthogonal array* yang dipilih,

#### Pemilihan Matriks Orthogonal Array

*Orthogonal array* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 level faktor sehingga menghasilkan tabel sebagai berikut:

**Tabel 2.** Matriks Orthogonal Array

| Orthogonal Array L9 |        |   |   |   |
|---------------------|--------|---|---|---|
| Experiment Number   | Faktor |   |   |   |
|                     | A      | B | C | D |
| 1                   | 1      | 1 | 1 | 1 |
| 2                   | 1      | 2 | 2 | 2 |
| 3                   | 1      | 3 | 3 | 3 |
| 4                   | 2      | 1 | 2 | 3 |
| 5                   | 2      | 2 | 3 | 1 |
| 6                   | 2      | 3 | 1 | 2 |
| 7                   | 3      | 1 | 3 | 2 |
| 8                   | 3      | 2 | 1 | 3 |
| 9                   | 3      | 3 | 2 | 1 |

*Orthogonal array* pada tabel 2 berfungsi untuk menetapkan urutan percobaan yang disesuaikan dengan kontrol faktor dan level faktor yang diidentifikasi sebelumnya.

### Penentuan Jumlah *Experiment* dan Replikasi

Penelitian ini menerapkan 4 kontrol faktor dimana setiap faktor terdiri dari 3 level faktor, menghasilkan 9 kali eksperimen dan 3 kali pengulangan. Berikut tabel rancangan percobaan:

**Tabel 3.** Penentuan Jumlah *Experiment*

| Experimen Number | Faktor |          |       |          |
|------------------|--------|----------|-------|----------|
|                  | A      | B        | C     | D        |
| 1                | 105°   | 15 menit | 0,5 g | 12° brix |
| 2                | 105°   | 20 menit | 1 g   | 14° brix |
| 3                | 105°   | 25 menit | 1,5 g | 16° brix |
| 4                | 110°   | 15 menit | 1 g   | 16° brix |
| 5                | 110°   | 20 menit | 1,5 g | 12° brix |
| 6                | 110°   | 25 menit | 0,5 g | 14° brix |
| 7                | 115°   | 15 menit | 1 g   | 14° brix |
| 8                | 115°   | 20 menit | 0,5 g | 16° brix |
| 9                | 115°   | 25 menit | 1,5 g | 12° brix |

Tabel diatas akan menjadi refrensi dasar untuk melaksanakan eksperimen yang telah ditentukan menggunakan *orthogonal array*.

### Penilaian Menggunakan Metode Skoring

Penilaian kualitas dilakukan menggunakan metode skoring dengan rentang nilai 0-100 oleh 3 expert, dimana skor yang lebih tinggi menunjukkan kualitas gula merah yang lebih baik. Parameter yang dinilai dapat dilihat pada tabel 4:

**Tabel 4.** Penilaian Metode Skoring

| No    | Parameter | Indikator Penilaian   | Skala | Bobot (%) |
|-------|-----------|---|-------|-----------|
| 1     | Warna     | Keseragaman warna coklat, tidak terlalu gelap, tidak gosong   | 0-100 | 35%       |
| 2     | Tekstur   | Tingkat kekerasan, tidak rapuh, tidak terlalu lunak           | 0-100 | 35%       |
| 3     | Moisture  | Tingkat kekeringan produk, tidak lengket, tidak terlalu basah | 0-100 | 30%       |
| Total |           |   |       | 100%      |

Cara Perhitungan Skor Akhir

$$\text{Skor Akhir} = (\text{warna} \times 0,35) + (\text{tekstur} \times 0,35) + (\text{moisture} \times 0,30)$$

**Tabel 5.** Penilaian *Expert* 1

| Replikasi 1 | Warna | Tekstur | Moisture | Hasil |
|-------------|-------|---------|----------|-------|
| 1           | 70    | 65      | 69       | 68    |
| 2           | 74    | 70      | 72       | 72    |
| 3           | 77    | 73      | 75       | 75    |
| 4           | 82    | 78      | 80       | 80    |
| 5           | 76    | 72      | 74       | 74    |
| 6           | 80    | 76      | 78       | 78    |
| 7           | 85    | 81      | 83       | 83    |
| 8           | 90    | 86      | 88       | 88    |
| 9           | 78    | 74      | 76       | 76    |

### Perhitungan Replikasi 1

$$\begin{aligned} 1. &= (70 \times 0,35) + (65 \times 0,35) + (69 \times 0,30) \\ &= (24,5) + (22,75) + (20,7) \\ &= 67,95 = 68 \end{aligned}$$

2. =  $(74 \times 0,35) + (70 \times 0,35) + (72 \times 0,30)$   
=  $(25,9) + (24,5) + (21,6)$   
= 72
3. =  $(77 \times 0,35) + (73 \times 0,35) + (75 \times 0,30)$   
=  $(26,95) + (25,55) + (22,5)$   
= 75
4. =  $(82 \times 0,35) + (78 \times 0,35) + (80 \times 0,30)$   
=  $(28,7) + (27,3) + (24)$   
= 80
5. =  $(76 \times 0,35) + (72 \times 0,35) + (74 \times 0,30)$   
=  $(26,6) + (25,2) + (22,2)$   
= 74
6. =  $(80 \times 0,35) + (76 \times 0,35) + (78 \times 0,30)$   
=  $(28) + (26,6) + (23,4)$   
= 78
7. =  $(85 \times 0,35) + (81 \times 0,35) + (83 \times 0,30)$   
=  $(29,75) + (28,35) + (24,9)$   
= 83
8. =  $(90 \times 0,35) + (86 \times 0,35) + (88 \times 0,30)$   
=  $(31,5) + (30,1) + (26,4)$   
= 88
9. =  $(78 \times 0,35) + (74 \times 0,35) + (76 \times 0,30)$   
=  $(27,3) + (25,9) + (22,8)$   
= 76

**Tabel 6.** Penilaian *Expert 2*

| Replikasi 2 | Warna | Tekstur | Moisture | Hasil |
|-------------|-------|---------|----------|-------|
| 1           | 72    | 68      | 70       | 70    |
| 2           | 75    | 71      | 73       | 73    |
| 3           | 76    | 72      | 74       | 74    |
| 4           | 84    | 80      | 82       | 82    |
| 5           | 75    | 71      | 73       | 73    |
| 6           | 79    | 75      | 77       | 77    |
| 7           | 86    | 82      | 84       | 84    |
| 8           | 89    | 85      | 87       | 87    |
| 9           | 77    | 73      | 75       | 75    |

**Perhitungan Replikasi 2**

1. =  $(72 \times 0,35) + (68 \times 0,35) + (70 \times 0,30)$   
=  $(25,2) + (23,8) + (21)$   
= 70
2. =  $(75 \times 0,35) + (71 \times 0,35) + (73 \times 0,30)$   
=  $(26,25) + (24,85) + (21,9)$   
= 73
3. =  $(76 \times 0,35) + (72 \times 0,35) + (74 \times 0,30)$   
=  $(26,6) + (25,2) + (22,2)$   
= 74
4. =  $(84 \times 0,35) + (80 \times 0,35) + (82 \times 0,30)$   
=  $(29,4) + (28) + (24,6)$   
= 82
5. =  $(75 \times 0,35) + (71 \times 0,35) + (73 \times 0,30)$   
=  $(26,25) + (24,85) + (21,9)$   
= 73
6. =  $(79 \times 0,35) + (75 \times 0,35) + (77 \times 0,30)$

$$\begin{aligned}
 &= (27,65) + (26,25) + (23,1) \\
 &= 77 \\
 7. &= (86 \times 0,35) + (82 \times 0,35) + (84 \times 0,30) \\
 &= (30,1) + (28,7) + (25,2) \\
 &= 84 \\
 8. &= (89 \times 0,35) + (85 \times 0,35) + (87 \times 0,30) \\
 &= (31,15) + (29,75) + (26,1) \\
 &= 87 \\
 9. &= (77 \times 0,35) + (73 \times 0,35) + (75 \times 0,30) \\
 &= (26,95) + (25,55) + (22,5) \\
 &= 75
 \end{aligned}$$

**Tabel 7.** Penilaian *Expert 3*

| Replikasi 3 | Warna | Tekstur | Moisture | Hasil |
|-------------|-------|---------|----------|-------|
| 1           | 71    | 67      | 69       | 69    |
| 2           | 73    | 69      | 71       | 71    |
| 3           | 78    | 74      | 76       | 76    |
| 4           | 83    | 79      | 81       | 81    |
| 5           | 77    | 73      | 75       | 75    |
| 6           | 81    | 77      | 79       | 79    |
| 7           | 84    | 80      | 82       | 82    |
| 8           | 91    | 87      | 89       | 89    |
| 9           | 79    | 75      | 77       | 77    |

**Perhitungan Replikasi 3**

$$\begin{aligned}
 1. &= (71 \times 0,35) + (67 \times 0,35) + (69 \times 0,30) \\
 &= (24,85) + (23,45) + (20,7) \\
 &= 69 \\
 2. &= (73 \times 0,35) + (69 \times 0,35) + (71 \times 0,30) \\
 &= (25,55) + (24,15) + (21,3) \\
 &= 71 \\
 3. &= (78 \times 0,35) + (74 \times 0,35) + (76 \times 0,30) \\
 &= (27,3) + (25,9) + (22,8) \\
 &= 76 \\
 4. &= (83 \times 0,35) + (79 \times 0,35) + (81 \times 0,30) \\
 &= (29,05) + (27,65) + (24,3) \\
 &= 81 \\
 5. &= (77 \times 0,35) + (73 \times 0,35) + (75 \times 0,30) \\
 &= (26,95) + (25,55) + (22,5) \\
 &= 75 \\
 6. &= (81 \times 0,35) + (77 \times 0,35) + (79 \times 0,30) \\
 &= (28,35) + (26,95) + (23,7) \\
 &= 79 \\
 7. &= (84 \times 0,35) + (80 \times 0,35) + (82 \times 0,30) \\
 &= (29,4) + (28) + (24,6) \\
 &= 82 \\
 8. &= (91 \times 0,35) + (87 \times 0,35) + (89 \times 0,30) \\
 &= (31,85) + (30,45) + (26,7) \\
 &= 89 \\
 9. &= (79 \times 0,35) + (75 \times 0,35) + (77 \times 0,30) \\
 &= (27,65) + (26,25) + (23,1) \\
 &= 77
 \end{aligned}$$

### 10. Perhitungan Hasil *Experiment*

Setelah pelaksanaan eksperimen sesuai dengan apa yang dirancang, data pada replikasi 1-3 adalah data penilaian dari 3 *expert* diatas yang berkaitan dengan hasil uji eksperimen taguchi telah dikompilasi.

**Tabel 8.** Hasil *Experiment*

| Percobaan | A<br>(suhu) | B (waktu) | C<br>(gram) | D<br>(brix) | rep 1 | rep 2 | rep 3 | jumlah | rata-rata |
|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------|-------|-------|--------|-----------|
| 1         | 105°        | 15 mnt    | 0,5 g       | 12°         | 68    | 70    | 69    | 207    | 69,00     |
| 2         | 105°        | 20 mnt    | 1 g         | 14°         | 72    | 73    | 71    | 216    | 72,00     |
| 3         | 105°        | 25 mnt    | 1,5 g       | 16°         | 75    | 74    | 76    | 225    | 75,00     |
| 4         | 110°        | 15 mnt    | 1 g         | 16°         | 80    | 82    | 81    | 243    | 81,00     |
| 5         | 110°        | 20 mnt    | 1,5 g       | 12°         | 74    | 73    | 75    | 222    | 74,00     |
| 6         | 110°        | 25 mnt    | 0,5 g       | 14°         | 78    | 77    | 79    | 234    | 78,00     |
| 7         | 115°        | 15 mnt    | 1 g         | 14°         | 83    | 84    | 82    | 249    | 83,00     |
| 8         | 115°        | 20 mnt    | 0,5 g       | 16°         | 88    | 87    | 89    | 264    | 88,00     |
| 9         | 115°        | 25 mnt    | 1,5 g       | 12°         | 76    | 75    | 77    | 228    | 76,00     |
| Jumlah    |             |           |             |             |       |       |       | 2088   | 696,0     |
| Rata-Rata |             |           |             |             |       |       |       | 232    | 77,33     |

Sesuai tabel 5 yang disajikan didapatkan data hasil 9 kali eksperimen dengan 3 kali replikasi dan diperoleh data nilai rata-rata 77,33 yang selanjutnya akan digunakan untuk memastikan rasio S/N dengan karakteristik *large is better*.

#### Perhitungan Nilai Rasio S/N

Hasil uji dan replikasi eksperimen dihitung nilai respon rasio S/N sehingga didapatkan sebagai berikut:

#### Response Table for Signal to Noise Ratios

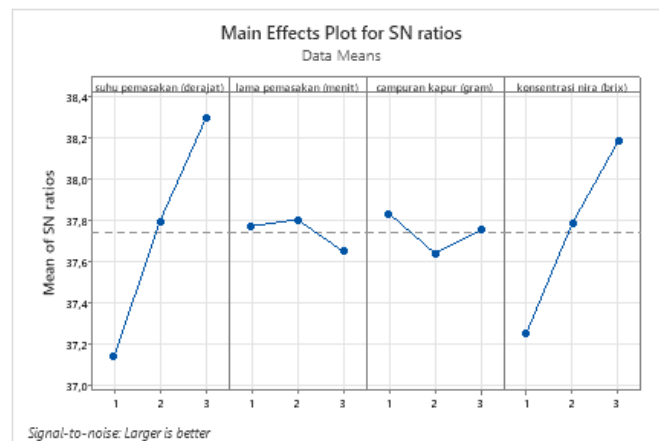
Larger is better

| Level | suhu pemasakan<br>(derajat) | lama pemasakan<br>(menit) | campuran kapur<br>(gram) | konsentrasi nira<br>(brix) |
|-------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1     | 37,14                       | 37,77                     | 37,83                    | 37,26                      |
| 2     | 37,80                       | 37,81                     | 37,64                    | 37,79                      |
| 3     | 38,29                       | 37,65                     | 37,75                    | 38,19                      |
| Delta | 1,15                        | 0,15                      | 0,19                     | 0,93                       |
| Rank  | 1                           | 4                         | 3                        | 2                          |

**Gambar 2.** Response Table for Signal to Noise Ratios

Berdasarkan gambar 2, respon table signal to noise ratio dengan karakteristik *larger is better*, faktor suhu pemasakan memiliki nilai delta sebesar 1,15 sehingga menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas gula merah. Pemilihan level optimal dilakukan berdasarkan S/N ratio tertinggi pada masing-masing faktor, sehingga diperoleh kombinasi optimal pada suhu pemasakan level 3, lama pemasakan level 2, campuran kapur level 1, dan konsentrasi nira level 3. Nilai S/N ratio yang lebih tinggi menunjukkan bahwa variasi respon semakin kecil dan sistem menjadi *robust* terhadap faktor gangguan.

Grafik level faktor untuk respon kualitas gula merah berdasarkan *software Minitab2021* ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut.



**Gambar 3.** Grafik Respon Kualitas Gula Merah Rasio S/N

### Perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA)

#### Analysis of Variance

| Source           | DF | Adj SS | Adj MS  | F-Value | P-Value |
|------------------|----|--------|---------|---------|---------|
| suhu pemasakan   | 2  | 482,00 | 241,000 | 241,00  | 0,000   |
| lama pemasakan   | 2  | 14,00  | 7,000   | 7,00    | 0,006   |
| campuran kapur   | 2  | 18,00  | 9,000   | 9,00    | 0,002   |
| konsentrasi nira | 2  | 314,00 | 157,000 | 157,00  | 0,000   |
| Error            | 18 | 18,00  | 1,000   |         |         |
| Total            | 26 | 846,00 |         |         |         |

**Gambar 4.** Perhitungan *Analysis of Variance*

Berdasarkan hasil analisis varians (ANOVA), diperoleh bahwa seluruh faktor kontrol yaitu suhu pemasakan, lama pemasakan, campuran kapur, dan konsentrasi nira memiliki pengaruh signifikan terhadap respon karena nilai P-Value < 0,05. Faktor yang paling dominan mempengaruhi respon adalah suhu pemasakan ( $F = 241,00$ ) dan konsentrasi nira ( $F = 157,00$ ). Nilai  $R^2$  sebesar 97,87% menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data, sehingga model dinyatakan sangat baik dan layak digunakan dalam penentuan kombinasi parameter optimal.

### 11. Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil ANOVA yang menunjukkan p-value < 0,05 pada seluruh faktor serta analisis SNR dengan kriteria *Larger is Better*, dilakukan standarisasi proses produksi dengan menetapkan suhu pada level 3, lama pemasakan pada level 2, campuran kapur pada level 1, serta penggunaan konsentrasi nira level 3 secara konsisten, sehingga diperoleh kombinasi parameter yang optimal sebagai berikut:

**Tabel 9.** Usulan Perbaikan Proses

| Faktor           | Level Optimal | Dasar Penentuan                    | Nilai Statistik                |
|------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Suhu Pemasakan   | 3             | Delta SNR tertinggi dan F terbesar | $\Delta = 1,15$ ; $F = 241,00$ |
| Lama Pemasakan   | 2             | Rata-rata SNR tertinggi            | $\Delta = 0,15$ ; $F = 7,00$   |
| Campuran Kapur   | 1             | Rata-rata SNR tertinggi            | $\Delta = 0,19$ ; $F = 9,00$   |
| Konsentrasi Nira | 3             | Delta besar dan signifikan         | $\Delta = 0,93$ ; $F = 157,00$ |

#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di UMKM Muhajir *Sugar Cane*, kecacatan produk gula merah berupa ketidakseragaman warna, kadar air tinggi, dan rasa pahit disebabkan oleh variasi parameter proses produksi, terutama suhu pemasakan dan konsentrasi nira. Melalui metode DOE, seluruh faktor terbukti berpengaruh signifikan ( $p < 0,05$ ), dengan faktor dominan adalah suhu dan konsentrasi nira. Kombinasi setting produksi optimal diperoleh pada suhu  $115^{\circ}\text{C}$ , lama pemasakan 20 menit, campuran kapur 0,5 gram, dan konsentrasi nira level 3. Penerapan setting optimal ini serta standarisasi proses produksi direkomendasikan sebagai usulan perbaikan untuk meminimalkan kecacatan dan meningkatkan kualitas produk secara konsisten.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan UMKM Muhajir *Sugar Cane* atas kesempatan dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian.

#### REFERENSI

- [1] R. C. Nugroho, A. Madjid, P. N. Jember, and P. Korespondensi, "Kajian Proses Pembuatan Gula Merah dari Macam Bahan Baku," vol. 2, no. 2, pp. 287–299, 2025.
- [2] S. I. Mahmud, A. M. Morad, I. A. Negara, and S. Mujahidin, "Pemberdayaan Masyarakat Melalui Pengembangan Industri Gula Merah: Meningkatkan Ekonomi Lokal dan Kemandirian Desa," vol. 4, no. 6, pp. 647–651, 2024.
- [3] H. Zulkifli, "Pola Distribusi Pemasaran Gula Merah Di Kabupaten Enrekang ( Studi Kasus Penrajang Gula Merah Desa Batu Mila Kec. Maiwa )," vol. 02, no. 1, pp. 24–30, 2021.
- [4] S. Kasus, U. D. Sanusi, R. B. Erlangga, and H. C. Wahyuni, "Application of Quality Control using Six Sigma and Taguchi Method on MSMEs Kerupuk Tahu Bangil in Pandemic Period ( Case Study: UD . Sanusi ) Penerapan Pengendalian Kualitas menggunakan Metode Six Sigma dan Metode Taguchi pada UMKM Kerupuk Tahu Bangil dalam Masa Pandemi," vol. 3, no. December, 2022.
- [5] P. Design, O. F. Experiment, D. O. E. Di, and P. T. Xyz, "Jurnal Taguchi Failure Mode Effect Analysis ( Fmea ) Dengan," pp. 229–241, 2024.
- [6] M. Design, P. T. Xyz, and E. Supriyadi, "Pemanfaatan Produk Defect Tinta Cetak dengan Menggunakan," vol. 8, pp. 180–191, 2023.
- [7] P. Astra and P. Astra, "Juni 2025 Vertical Lifter Design Of Experiment In Improving Mold Efficiency," vol. 16, pp. 79–85, 2025.
- [8] A. M. Putra, A. Anizar, and N. Panjaitan, "Jurnal Sistem Teknik Industri Quality Optimization of Fuel Transportation Tank Production Process Using Design of Experiment ( DoE ) at PT . Sejahtera Mandiri Pekanbaru," vol. 27, no. 2, pp. 105–116, 2025.
- [9] D. Eksperimen, P. Suhu, and L. Pengeringan, "Talenta Conference Series Desain Eksperimen Pengaruh Suhu Pengeringan , Lama Pengeringan , dan," vol. 6, no. 1, 2023, doi: 10.32734/ee.v6i1.1776.
- [10] P. Promosi, K. Pelayanan, D. A. N. Kepercayaan, and M. F. Arsyian, "Sebagai Variabel Intervening ( Studi Pada Pelanggan Shopeepay Semarang )," vol. 11, pp. 1–12, 2022.
- [11] C. V. C. Laundry, "Peningkatan Kualitas Jasa Pewarnaan Produk Celana Jeans dengan Penerapan Six Sigma & Eksperimen Taguchi Attribute Characteristic ( Kasus," vol. 20, no. 01, pp. 52–62, 2021.
- [12] A. F. Wafiq *et al.*, "E-ISSN : 2746-0835 Volume 6 No 1 ( 2025 ) Justi ( Jurnal Sistem Dan Teknik Industri ) Penerapan Metode Taguchi Dalam Optimasi Desain Mobil Mainan Penggerak Karet Untuk Desain Yang Tangguh ( Robust Design ) Keywords : Quality Engineering , Taguchi Method ," vol. 6, no. 1, pp. 68–76, 2025.
- [13] D. Pt and S. Permata, "Pengendalian Kualitas Pada Proses Produksi Cetak Dengan Menggunakan Metode Taguchi," vol. 3, no. 1, pp. 62–66, 2022.
- [14] P. Metode, T. Di, and P. T. Rems, "Jurnal Taguchi," pp. 52–57, 2025.
- [15] N. A. Miftah *et al.*, "Optimasi Multi-Objektif Proses Pemesinan Milling dengan Metode Taguchi Kolaborasi Grey Relational Analysis," vol. 05, no. 02, pp. 117–127, 2022.
- [16] T. A. Aziz, I. Apriliana, and S. Wulandari, "Quality Control Analysis of Flat Roof Tile Products Using the Taguchi Method Analisis Pengendalian Kualitas Produk Genteng Flat Menggunakan Metode Taguchi," *Prozima*, pp. 1–8, 2025.
- [17] F. Ariani *et al.*, "Peningkatan Kualitas Batu Bata Denga Menggunakan Metode," vol. 9, no. 1, pp. 14–19, 2021.
- [18] R. R. Prasetya and Y. C. Winursito, "Analisis Pengaruh Parameter Mesin Cnc Flame Cutting Terhadap Kualitas Pemotongan Baja SS400," vol. 12, no. 2, pp. 249–258, 2025.

- [19] R. P. Candra, M. Y. Bustomi, and A. R. Aisy, "Neutral : Journal of Engineering Analisa Parameter Proses Oven Terhadap Kualitas Cat Dengan Metode Taguchi Neutral : Journal of Engineering," vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [20] A. Haslindah and R. Syarifuddin, "Dengan Menggunakan Metode Taguchi Studi Kasus ( Pt . Sermani Steel ) Makassar," vol. 02, no. 1, pp. 16–23, 2021.
- [21] M. Taguchi *et al.*, "Hasil Proses Broaching Pada Lubang Arm Rear Brake Menggunakan," vol. 02, no. 01, pp. 12–19, 2022.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*