

Optimizing Paving Block Parameters with Taguchi Method for Higher Compressive Strength: Optimasi Parameter Bata Paving Menggunakan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kekuatan Tekanan

Faranisa Aulia Ar Rahma

Syarifah

Rr. Rochmoeljati

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan

Nasional Veteran Jawa Timur

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan

Nasional Veteran Jawa Timur

General background: The growing demand for high-quality paving blocks in Indonesia requires manufacturers to consistently meet SNI standards, particularly in compressive strength, as it determines durability and safety. **Specific background:** At PT. XYZ, production inconsistencies often lead to cracks during testing, highlighting variability in process parameters. **Knowledge gap:** Although the Taguchi method has been widely applied in manufacturing quality improvement, its systematic integration with multiple critical parameters in paving block production remains underexplored. **Aim:** This study seeks to optimize compressive strength by applying the Taguchi Design of Experiments with an L_9 orthogonal array, focusing on cement-sand ratio, fly ash content, and aggregate size. **Results:** Signal-to-Noise Ratio and ANOVA analyses revealed that cement-sand ratio is the most influential factor, followed by fly ash and aggregate type, with the optimal combination of 3:5 cement-sand ratio, 3% fly ash, and medium aggregate (5-10 mm), producing a compressive strength of 42.16 MPa—exceeding the SNI minimum of 40 MPa. **Novelty:** This research introduces a robust model that integrates Taguchi and ANOVA to validate optimal production parameters specifically for paving block manufacturing. **Implications:** The findings provide practical guidelines for improving product consistency, reducing defects, and supporting cost-effective quality engineering in the paving block industry.

Highlights:

- Taguchi design identified optimal cement-sand ratio, fly ash, and aggregate size.
- Optimal parameters achieved 42.16 MPa, exceeding SNI standards.
- Integration of Taguchi and ANOVA ensures consistent, cost-effective quality control.

Keywords: Paving Block, Compressive Strength, Taguchi Method, ANOVA, Quality Engineering

Pendahuluan

Permintaan terhadap *paving block* berkualitas tinggi di Indonesia terus meningkat seiring dengan perkembangan infrastruktur dan urbanisasi. *Paving block* merupakan material bangunan yang terbuat dari campuran semen *portland* atau bahan pengikat hidrolis sejenis, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan lain yang tidak memengaruhi mutu dari *paving block* tersebut [1]. Kualitas *paving block*, terutama dalam hal kuat tekan, menjadi faktor penting karena berhubungan langsung dengan daya tahan dan keamanannya dalam aplikasi konstruksi. Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0691-1996) menetapkan persyaratan mutu untuk memastikan bahwa *paving block* memiliki ketahanan tekan minimum sesuai klasifikasinya, namun dalam praktiknya banyak produsen menghadapi tantangan untuk mempertahankan kualitas secara konsisten akibat variasi parameter produksi dan pengaruh faktor luar yang sulit dikendalikan.

Metode Taguchi, yang diperkenalkan oleh Genichi Taguchi, merupakan pendekatan statistik untuk peningkatan kualitas dalam produksi dan rekayasa [2]. Penerapannya dalam rekayasa mutu telah menjadi fokus penting di berbagai industri manufaktur [3]. Sebagai teknik perancangan eksperimen, Taguchi memungkinkan evaluasi karakteristik produk dan proses sekaligus menekan kebutuhan biaya dan sumber daya [4]. Metode ini digunakan untuk menguji pengaruh parameter proses terhadap respons karakteristik kualitas [5]. Taguchi juga menekankan pentingnya merancang produk yang kokoh (*robust*) agar tetap berkinerja baik selama pembuatan maupun pemakaian [6]. Desain eksperimen Taguchi relatif lebih efisien karena mampu menangani banyak faktor dan level dengan jumlah percobaan lebih sedikit dibanding desain faktorial penuh [7]. Dalam rekayasa kualitas, pendekatan ini membantu mengidentifikasi faktor dominan yang memengaruhi karakteristik mutu sehingga variabilitas dapat dikendalikan [8]. Secara keseluruhan, tujuan penerapan metode Taguchi adalah mengoptimalkan parameter proses untuk meningkatkan kinerja proses dan mutu produk akhir [9].

Dalam penelitian ini, metode Taguchi dimanfaatkan untuk merancang eksperimen secara sistematis dengan memvariasikan faktor-faktor relevan guna mengidentifikasi pengaruh signifikan terhadap kualitas kuat tekan *paving block* [10]. Tahap perencanaan mencakup penetapan tujuan eksperimen, penentuan dan klasifikasi variabel, pemisahan faktor kontrol dan faktor tak terkendali, penetapan jumlah serta nilai level tiap faktor, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks ortogonal yang sesuai [11]. Tahap pelaksanaan meliputi eksekusi percobaan sesuai rancangan, perhitungan variansi Taguchi, serta evaluasi pengaruh level faktor terhadap nilai rata-rata respon dan variabilitas melalui Rasio S/N. Analisis Varians (ANOVA) kemudian diterapkan untuk menguji signifikansi statistik setiap parameter dan menghitung kontribusinya terhadap karakteristik kualitas yang ditargetkan [12].

Pendekatan Taguchi kerap menghasilkan temuan baru karena mampu menguji banyak kombinasi perlakuan secara efisien. Pada eksperimen sebelumnya taguchi digunakan untuk mengetahui tingkat kualitas yang diuji terhadap faktor yang mempengaruhi tekanan bata ringan [13]. Sejauh ini, belum terdapat penelitian yang secara khusus membahas kuat tekan *paving block*, terutama dalam aspek kekuatan tekan yang mengacu pada standar mutu SNI. Selain itu, belum ada kajian yang secara sistematis menggabungkan tiga parameter utama tersebut dalam satu desain eksperimen Taguchi untuk mencapai kekuatan tekan optimal. Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan kebaruan (*novelty*) berupa integrasi metode Taguchi dengan karakteristik *Signal-to-Noise Ratio* “*Larger is Better*” dalam konteks produksi *paving block* di PT. XYZ.

Pentingnya penelitian ini terletak pada upayanya memberikan solusi berbasis data untuk meningkatkan konsistensi mutu produk, mengurangi tingkat kecacatan, serta mendukung penerapan prinsip rekayasa kualitas di industri *paving block*. Dengan memanfaatkan metode Taguchi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang akurat dengan jumlah eksperimen minimal, sehingga lebih efisien dari segi biaya dan waktu. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi kombinasi parameter produksi yang optimal untuk meningkatkan kuat tekan *paving block* menggunakan metode desain eksperimen Taguchi dengan *Orthogonal Array L₉*, serta menganalisis pengaruh faktor-faktor utama terhadap mutu produk melalui pendekatan *Signal-to-Noise Ratio* dan ANOVA.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan di atas, penerapan metode Taguchi pada PT. XYZ diharapkan menjadi solusi dalam mengatasi permasalahan pengendalian kualitas yang terjadi selama proses produksi *paving block*. Dengan penerapan metode ini, hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* sesuai standar SNI serta menjaga konsistensi mutu dan produktivitas perusahaan.

Metode

Penelitian ini dilakukan pada PT. XYZ, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi *paving block*. Permasalahan utama yang dihadapi perusahaan adalah adanya ketidakkonsistenan mutu produk, khususnya pada nilai kuat tekan, yang menyebabkan beberapa produk tidak memenuhi standar SNI. Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung pada proses produksi serta wawancara dengan pihak *Quality Control* dan operator produksi untuk mengetahui parameter-parameter yang paling memengaruhi kualitas *paving block*.

Pengumpulan data dilaksanakan pada bulan Februari 2025 hingga penelitian selesai. Data yang diperoleh berupa variasi parameter produksi (faktor kontrol) yang mencakup rasio campuran semen dan pasir, persentase *fly ash*, dan jenis agregat. Ketiga faktor kontrol tersebut masing-masing terdiri dari tiga level yang ditentukan berdasarkan standar proses produksi di PT. XYZ dan referensi teknis. Variasi faktor dan level yang digunakan dalam eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1.

No	Faktor Kontrol	Level Kontrol		
1	Rasio Semen : Pasir	1:5	2:5	3:5
2	Persentase <i>Fly Ash</i>	1%	3%	5%
3	Jenis Agregat	Halus	Sedang	Kasar

Tabel 1. Faktor Kontrol dan Level

Hasil dan Pembahasan

A. Pelaksanaan Eksperimen Taguchi

Eksperimen dilaksanakan pada rentang waktu 28 Mei 2025 di area produksi PT. XYZ. Pengambilan data dilakukan dengan dua kali replikasi untuk setiap kombinasi faktor pada desain eksperimen Taguchi, sehingga diperoleh data yang lebih akurat dan reliabel. Dari hasil eksperimen tersebut, didapatkan data kuat tekan *paving block* untuk masing-masing kombinasi faktor seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Eksperimen	Faktor			Hasil Percobaan (MPa)	
	A	B	C	Rep 1	Rep 2
1	1:5	1%	Halus (≤ 5 mm)	40,04	39,91
2	1:5	3%	Sedang (5-10 mm)	40,32	40,46
3	1:5	5%	Kasar (≥ 10 mm)	39,27	39,35
4	2:5	1%	Sedang (5-10 mm)	40,91	40,11
5	2:5	3%	Kasar (≥ 10 mm)	40,68	40,83
6	2:5	5%	Halus (≤ 5 mm)	39,76	39,96
7	3:5	1%	Kasar (≥ 10 mm)	40,48	41,06
8	3:5	3%	Halus (≤ 5 mm)	41,92	42,09
9	3:5	5%	Sedang (5-10 mm)	40,46	41,32

Tabel 2. Data Hasil Eksperimen Taguchi

B. Pengolahan Data

Berdasarkan data eksperimen yang telah dikumpulkan, tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan nilai rata-rata serta *Signal to Noise Ratio* (SNR). Perhitungan rata-rata bertujuan untuk menentukan kombinasi parameter yang paling optimal agar variasi terhadap nilai target dapat ditekan. Di sisi lain, analisis SNR dimanfaatkan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki pengaruh dominan terhadap kualitas *paving block* dengan menekan tingkat penyimpangan seminimal mungkin [14].

1. Perhitungan Rata-Rata

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (40,04 + 39,91)$$

$$\mu = 39,98$$

Perhitungan dilakukan dengan cara yang sama sampai dengan eksperimen 9, hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3.

2. Perhitungan *Signal to Noise Ratio*

Data kemudian diubah ke dalam bentuk rasio S/N (*Signal to Noise*) untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi variasi karakteristik kualitas, di mana semakin besar nilai S/N pada karakteristik kualitas, maka hasilnya semakin baik, yang dinyatakan dengan konsep *Larger-The-Better*. Rumus serta contoh perhitungan untuk eksperimen 1 ditampilkan sebagai berikut.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (2)$$

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{40,04^2} + \frac{1}{39,91^2} \right) \right]$$

$$S/N = 32,04$$

Dengan metode perhitungan yang serupa, nilai SNR untuk setiap percobaan selanjutnya dapat ditentukan. Ringkasan hasil perhitungan nilai rata-rata (mean) dan SNR dari masing-masing percobaan disajikan pada Tabel 3.

Eksperimen	Faktor			Hasil Percobaan (MPa)		Mean Kuat Tekan <i>Paving Block</i> (MPa)	Rasio S/N Kuat Tekan <i>Paving Block</i> (MPa)
	A	B	C	Rep 1	Rep 2		
1	1:5	1%	Halus (≤ 5 mm)	40,04	39,91	39,98	32,04
2	1:5	3%	Sedang (5-10 mm)	40,32	40,46	40,39	32,13
3	1:5	5%	Kasar (≥ 10 mm)	39,27	39,35	39,31	31,89
4	2:5	1%	Sedang (5-10 mm)	40,91	40,11	40,51	32,15
5	2:5	3%	Kasar (≥ 10 mm)	40,68	40,83	40,76	32,20
6	2:5	5%	Halus (≤ 5 mm)	39,76	39,96	39,86	32,01
7	3:5	1%	Kasar (≥ 10 mm)	40,48	41,06	40,96	32,25
8	3:5	3%	Halus (≤ 5 mm)	41,92	42,09	42,01	32,47
9	3:5	5%	Sedang (5-10 mm)	40,46	41,32	41,39	32,34
Total						40,57	32,16

Tabel 3. Hasil Perhitungan Rata-Rata (*Mean*) dan SNR

3. Perhitungan Pengaruh Faktor terhadap Respon Rata Rata (*mean*) dan *Signal to Noise Ratio*

Berpedoman pada kriteria *Larger-the-Better*, semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan oleh kombinasi level tiap faktor, semakin baik mutu *paving block*. Sebagai contoh, perhitungan rata-rata respons untuk Faktor A (rasio semen:pasir) pada Level 1 (*A*1) dilakukan dengan mengumpulkan nilai kuat tekan dari seluruh percobaan yang memuat level tersebut; langkah rinci disajikan di bawah. Prosedur yang sama diterapkan untuk level lainnya serta untuk Faktor B (kadar *fly ash*) dan Faktor C (ukuran agregat).

$$\bar{A}_1 = \frac{(39,98+40,39+39,31)}{3} \quad (3)$$

$$\bar{A}_1 = 39,89$$

Perhitungan respons S/N mengikuti tahapan serupa. Data setiap percobaan dikonversi menggunakan rumus S/N dengan karakteristik *Larger-the-Better*, kemudian dirata-ratakan per level faktor. Rekapitulasi nilai kuat tekan *paving block* untuk semua kombinasi faktor utama, yaitu semen:pasir, *fly ash*, dan agregat akan ditampilkan pada Tabel 4, sedangkan ringkasan nilai S/N untuk kombinasi yang sama disajikan pada Tabel 5.

	A _i	B _i	C _i
Level 1	39,89	40,48	40,61
Level 2	40,37	41,05	40,76
Level 3	41,45	40,18	40,34
Selisih	1,56	0,87	0,42
Rank	1	2	3

Tabel 4. Respon Rata-Rata Kuat Tekan *Paving Block*

	A _i	B _i	C _i
Level 1	32,02	32,14	32,17
Level 2	32,12	32,26	32,20
Level 3	32,35	32,0	32,11
Selisih	0,33	0,18	0,09
Rank	1	2	3

Tabel 5. Respon *Signal to Noise* Kuat Tekan *Paving Block*

Orthogonal array L₉ (3³) memiliki tiga derajat kebebasan, sehingga dapat diambil sekitar setengah dari jumlah derajat kebebasan tersebut sebagai faktor yang paling berpengaruh. Pada penelitian ini hanya digunakan sembilan kolom, sehingga tiga faktor utama sudah dianggap cukup mewakili pengaruh signifikan. Berdasarkan tabel respons, kombinasi level faktor yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sekaligus menjadi kombinasi optimal, yaitu faktor rasio campuran semen dan pasir₃ (A3), faktor *Fly ash*₂ (B2), faktor Agregat₂ (C2).

4. Perhitungan Analisa ANOVA dan *Pooling Up*

Untuk menganalisis faktor-faktor yang memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan *paving block*, nilai respon rata-rata dan rasio S/N yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan metode Analisis Varians (ANOVA). Pendekatan ANOVA digunakan untuk memisahkan dan menghitung kontribusi masing-masing faktor terhadap variasi hasil uji kuat tekan. Dengan cara ini, dapat diidentifikasi faktor dominan yang paling memengaruhi kualitas *paving block*. Rekapitulasi hasil perhitungan ANOVA disajikan pada Tabel 6 untuk nilai respon rata-rata dan pada Tabel 7 untuk nilai rasio S/N, yang menjadi dasar penentuan signifikansi parameter proses.

Sumber	Sq	V	Mq
Campuran semen-pasir (A)	0,425	2	0,213
Kadar fly ash (B)	0,128	2	0,064
Ukuran agregat (C)	0,030	2	0,015
Error	4,82	2	2,91
St	5,40	8	0,67
Mean	14815,35	1	-
ST	14820,75	9	-

Tabel 6. ANOVA Rata-Rata Kuat Tekan *Paving Block*

Sumber	Sq	V	Mq
Campuran semen-pasir (A)	0,019	2	0,010
Kadar fly ash (B)	0,006	2	0,003
Ukuran agregat (C)	0,001	2	0,001
Error	0,22	2	0,11
St	0,25	8	0,03
Mean	9310,09	1	-
ST	9310,33	9	-

Tabel 7. ANOVA Rasio S/N Kuat Tekan *Paving Block*

Pooling dilakukan untuk memperbaiki estimasi galat (*error*) dalam ANOVA ketika terdapat faktor yang tidak signifikan dan derajat bebas error terlalu kecil. Prosesnya dimulai dengan memilih faktor tidak signifikan yang

memiliki nilai jumlah kuadrat (*Sum of Squares/SS*) paling kecil, lalu menambahkan SS dan derajat bebas faktor tersebut ke komponen *error*. Dalam analisis ini, faktor Agregat memiliki SS terkecil di antara faktor yang tidak signifikan sehingga dipool-kan ke dalam *error*. Setelah penggabungan, struktur ANOVA berubah: nilai SS *error* bertambah, derajat bebas galat meningkat, dan *Mean Square error* yang baru digunakan untuk menghitung ulang F-ratio setiap faktor. Rekap hasil *pooling* untuk respon rata-rata disajikan pada Tabel 8, sedangkan *pooling* untuk rasio S/N ditunjukkan pada Tabel 9. Jika diperlukan penggabungan lanjutan, prosedur yang sama dapat diterapkan secara bertahap.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio
Campuran semen dan pasir (A)	0,425	2	0,213	0,176
Kadar fly ash (B)	0,128	2	0,064	0,053
Ukuran agregat (C)			POOLING	
Error	4,816	4	1,204	-
St	5,399	8	-	-
Mean	14815,35	1	-	-
ST	14820,75	9	-	-

Tabel 8. ANOVA Rata-Rata Kuat Tekan *Paving Block*

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari tabel ANOVA Rata-Rata Kuat Tekan *Paving Block* setelah dilakukan *pooling* terhadap faktor agregat adalah sebagai berikut:

a) H_0 = Tidak ada pengaruh faktor campuran semen dan pasir terhadap kuat tekan *paving block*.

H_1 = Ada pengaruh faktor campuran semen dan pasir terhadap kuat tekan *paving block*.

Kesimpulan: $F_{hit} = 0,176 < F (0,05;2;4) = 6,94$ maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh campuran semen dan pasir terhadap rata-rata kuat tekan *paving block*.

b) H_0 = Tidak ada pengaruh faktor *fly Ash* terhadap kuat tekan *paving block*.

H_1 = Ada pengaruh faktor *fly Ash* terhadap kuat tekan *paving block*.

Kesimpulan: $F_{hit} = 0,053 < F (0,05;2;4) = 6,94$ maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh campuran semen dan pasir terhadap rata-rata kuat tekan *paving block*.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio
Campuran semen-pasir (A)	0,019	2	0,010	0,176
Kadar fly ash (B)	0,006	2	0,003	0,053
Ukuran agregat (C)			POOLING	
Error	0,220	4	0,055	-
St	0,246	8	-	-
Mean	9310,09	1	-	-
ST	9310,33	9	-	-

Tabel 9. ANOVA Rasio S/N Kuat Tekan *Paving Block*

Pengujian hipotesa dan kesimpulan yang diperoleh dari tabel ANOVA Rasio S/N Kuat Tekan *Paving Block* setelah dilakukan *pooling* terhadap faktor agregat adalah sebagai berikut:

a) H_0 = Tidak ada pengaruh faktor campuran semen dan pasir terhadap kuat tekan *paving block*.

H_1 = Ada pengaruh faktor campuran semen dan pasir terhadap kuat tekan *paving block*.

Kesimpulan: $F_{hit} = 0,176 < F (0,05;2;4) = 6,94$ maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh campuran semen dan pasir terhadap rata-rata kuat tekan *paving block*.

b) H_0 = Tidak ada pengaruh faktor *fly Ash* terhadap kuat tekan *paving block*.

H_1 = Ada pengaruh faktor *fly Ash* terhadap kuat tekan *paving block*.

Kesimpulan: $F_{hit} = 0,053 < F (0,05;2;4) = 6,94$ maka H_0 diterima, artinya tidak ada pengaruh campuran semen dan pasir terhadap rata-rata kuat tekan *paving block*.

5. Perhitungan Persen Kontribusi Terhadap Rata-Rata

Berapa besar sumbangan masing-masing faktor terhadap rata-rata kuat tekan *paving block* dihitung melalui nilai kontribusi (SS'), yaitu perbandingan antara *Sum of Squares* faktor dengan *Sum of Squares* total (setelah *pooling* bila diperlukan). Langkah perhitungannya disajikan di bawah ini:

$$SS'_A = SS_A - MS_e (VB) = 0,425 - 1,203 (2) = -1,982 \quad (3)$$

$$SS'_B = SS_B - MS_e (VB) = 0,128 - 1,203 (2) = -2,279 \quad (4)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{SS' \text{ faktor}}{St} \times 100\% \quad (5)$$

$$P_A = \frac{-1,982}{5,399} \times 100\% = -36,718\%$$

$$P_B = \frac{-2,279}{5,399} \times 100\% = -42,215\%$$

Berdasarkan perhitungan SS' dan Persen kontribusi masing-masing faktor dirangkum dalam Tabel 10. sebagai berikut.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio	SS'	P (%)
Campuran Semen-Pasir (A)	0,425	2	0,213	0,176	-1,983	-36,72
Kadar Fly Ash (B)	0,128	2	0,064	0,053	-2,280	-42,22
Ukuran Agregat (C)					<i>POOLING</i>	
Error	4,815	4	1,204	-	-	-
St	5,399	8	-	-	-	-
Mean	14815,35	1	-	-	-	-
ST	14820,75	9	-	-	-	-

Tabel 10. Persen Kontribusi Rata-Rata Kuat Tekan *Paving Block*

Hasil rekapitulasi kontribusi menunjukkan bahwa Faktor A (rasio campuran semen:pasir) memberikan pengaruh terbesar terhadap variasi rata-rata kuat tekan, dengan kontribusi sekitar -36,72% sedangkan faktor lainnya memberikan kontribusi yang lebih kecil.

Dari analisis efek rata-rata diketahui bahwa kombinasi level optimum untuk menghasilkan kuat tekan *paving block* tertinggi adalah A3 (3:5), B2 (3% *fly ash*), dan C2 (agregat 5–10 mm). Dengan demikian, model prediksi rata-rata kuat tekan *paving block* pada kondisi optimum dapat dirumuskan berdasarkan efek level optimum masing-masing faktor sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{B}_2 - \bar{Y}) + (\bar{C}_2 - \bar{Y}) \\ &= 40,57 + (41,45 - 40,57) + (41,05 - 40,57) + (40,76 - 40,57) \\ &= 42,12 \end{aligned} \quad (6)$$

Selanjutnya dihitung interval kepercayaan dari kombinasi taraf faktor optimum (dari Tabel 10 diketahui $F_{(0,5;2;4)} = 6,94$; $Mse = 1,203$)

$$\begin{aligned} Cl &= \sqrt[±]{F_{(0,5;2;4)} \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}} \\ &= \sqrt[±]{6,94 \times 1,203 \times \frac{1}{3,857}} \\ &= ±1,083 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{prediksi}} - Cl \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + Cl$$

$$42,12 - 1,08 \leq 42,12 \leq 42,12 + 1,08$$

$$41,03 \leq 42,12 \leq 43,20$$

6. Perhitungan Persen Kontribusi Terhadap Rasio S/N

Berapa besar sumbangan masing-masing faktor terhadap rasio S/N kuat tekan *paving block* dihitung melalui nilai kontribusi (SS'), yaitu perbandingan antara *Sum of Squares* faktor dengan *Sum of Squares* total (setelah *pooling* bila diperlukan). Langkah perhitungannya disajikan di bawah ini:

$$SS'A = SSA - MSe (VB) = 0,019 - 0,055 (2) = -0,090 \quad (8)$$

$$SS'B = SSB - MSe (VB) = 0,006 - 0,055 (2) = -0,104 \quad (9)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{SS' \text{ faktor}}{St} \times 100\% \quad (10)$$

$$P_A = \frac{-0,090}{0,246} \times 100\% = -36,73\%$$

$$P_B = \frac{-0,104}{0,246} \times 100\% = -42,19\%$$

Berdasarkan perhitungan SS' dan Persen kontribusi masing-masing faktor dirangkum dalam **Tabel 11**. sebagai berikut.

Sumber	Sq	V	Mq	F-ratio	SS'	P (%)
Campuran semen-pasir (A)	0,019	2	0,010	0,176	-0,090	-36,73
Kadar fly ash (B)	0,006	2	0,003	0,053	-0,104	-42,19
Ukuran agregat (C)				<i>POOLING</i>		
Error	0,220	4	0,055	-	-	-
St	0,246	8	-	-	-	-
Mean	9310,09	1	-	-	-	-
ST	9310,33	9	-	-	-	-

Tabel 11. Persen Kontribusi Ratio S/N Kuat Tekan *Paving Block*

Hasil rekapitulasi kontribusi menunjukkan bahwa Faktor A (rasio campuran semen:pasir) memberikan pengaruh terbesar terhadap variasi rasio S/N kuat tekan, dengan kontribusi sekitar -36,73% sedangkan faktor lainnya memberikan kontribusi yang lebih kecil.

Dari analisis efek rata-rata diketahui bahwa kombinasi level optimum untuk menghasilkan kuat tekan *paving block* tertinggi adalah A3 (3:5), B2 (3% *fly ash*), dan C2 (agregat 5–10 mm). Dengan demikian, model prediksi rata-rata kuat tekan *paving block* pada kondisi optimum dapat dirumuskan berdasarkan efek level optimum masing-masing faktor sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{Y} + (\bar{A}_3 - \bar{Y}) + (\bar{B}_2 - \bar{Y}) + (\bar{C}_1 - \bar{Y}) \quad (11) \\ &= 32,16 + (32,35 - 32,16) + (31,26 - 32,16) + (31,20 - 32,16) \\ &= 32,49 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung interval kepercayaan dari kombinasi taraf faktor optimum (dari Tabel 11 diketahui $F_{(0,5;2;4)} = 6,94$; $Mse = 0,055$)

$$\begin{aligned} Cl &= \sqrt[±]{F_{(0,5;2;4)} \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}} \quad (12) \\ &= \sqrt[±]{6,94 \times 0,055 \times \frac{1}{3,857}} \\ &= ±0,049 \end{aligned}$$

$$\mu_{\text{prediksi}} - Cl \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + Cl$$

$$32,49 - 0,05 \leq 32,49 \leq 32,49 + 0,05$$

$$32,44 \leq 32,49 \leq 31,54$$

7. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memvalidasi hasil kombinasi parameter optimum yang diperoleh pada tahap analisis Taguchi sebelumnya, tujuan utamanya adalah memastikan bahwa setelan tersebut benar-benar meningkatkan kuat tekan sesuai prediksi model dan berada dalam rentang kepercayaan yang dapat diterima [15]. Pada tahap ini seluruh faktor dikunci pada level optimum: rasio campuran semen:pasir Level 3 (A3 = 3:5), kadar *fly ash* Level 2 (B2 = 3%), dan ukuran agregat Level 2 (C2 = 5–10 mm). Sebanyak 9 sampel *paving block* diproduksi di bawah kondisi ini, kemudian diuji kuat tekannya. Nilai rata-rata dan rasio S/N dihitung untuk dibandingkan dengan hasil prediksi sebelumnya. Ringkasan hasil percobaan konfirmasi disajikan pada Tabel 12.

No.	Hasil Eksperimen (MPa)
1	42,18
2	42,10
3	42,16
4	42,13
5	42,20
6	42,21
7	42,14
8	42,16
9	42,15

Tabel 12. Hasil Percobaan Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut kemudian dihitung rata-ratanya dan ditransformasikan ke dalam bentuk rasio S/N.

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata-rata (mean)} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} & (13) \\ &= \frac{42,18+42,10+42,16+\cdots+42,14+42,16+42,15}{9} \\ &= 42,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai rasio S/N} &= -10 \log \left[\frac{1}{10} \left(\frac{1}{42,18^2} + \frac{1}{42,10^2} + \frac{1}{42,16^2} + \cdots + \frac{1}{42,15^2} \right) \right] & (14) \\ &= 32,95 \end{aligned}$$

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut harus berada dalam interval kepercayaan informasi.

1. Interval kepercayaan rata-rata untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$Cl = \pm \sqrt{F_{(0,5;2;4)} \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}} \quad (15)$$

Dari Tabel 8 diketahui $F_{(0,5;2;4)} = 6,94$; MSe = 1,203

$$\begin{aligned} Cl &= \pm \sqrt{6,94 \times 1,203 \times \frac{1}{3,857} + \frac{1}{9}} \\ &= \pm 1,137 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah:

$$42,16 - 1,14 \leq \mu_{prediksi} \leq 42,16 + 1,14$$

$$41,02 \leq \mu_{prediksi} \leq 43,30$$

2. Interval kepercayaan rasio S/N untuk eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$Cl = \pm \sqrt{F_{(0,5;2;4)} \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}} \quad (16)$$

Dari Tabel 9 diketahui $F_{(0,5;2;4)} = 6,94$; MSe = 0,055

$$Cl = \pm \sqrt{6,94 \times 0,055 \times \frac{1}{3,857} + \frac{1}{9}} \\ = \pm 0,105$$

Interval kepercayaan untuk rata-rata adalah:

$$32,95 - 0,10 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 32,95 + 0,10$$

$$32,85 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 33,05$$

C. Parameter Optimal

Berdasarkan hasil analisis pada tahap sebelumnya, diperoleh bahwa kombinasi faktor yang memengaruhi rata-rata maupun variansi pada proses produksi kuat tekan *paving block* adalah sama. Kombinasi optimal tersebut terdiri dari rasio campuran semen dan pasir pada Level 3 (A3) sebesar 3:5, kadar *fly ash* pada Level 2 (B2) sebesar 3%, serta ukuran agregat pada Level 2 (C2) dengan kisaran 5–10 mm. Kombinasi ini terbukti memberikan respons kuat tekan paling tinggi dibandingkan variasi faktor lainnya.

Hasil perhitungan interval kepercayaan pada tingkat 95% dari eksperimen Taguchi kemudian dibandingkan dengan interval kepercayaan hasil eksperimen konfirmasi. Perbandingan ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata pada eksperimen konfirmasi masih berada di dalam interval kepercayaan yang diperoleh dari eksperimen Taguchi. Hal ini mengindikasikan bahwa model dan kombinasi faktor yang dipilih valid untuk mencapai kualitas yang diharapkan. Interval kepercayaan lengkap ditampilkan pada Tabel 13.

Respon (Kuat Tekan <i>Paving Block</i>)		Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	Rata-Rata (μ)	42,12 MPa	42,12±1,08
	Variabilitas (S/N)	32,49 MPa	32,49±0,05
Eksperimen Konfirmasi	Rata-Rata (μ)	42,04 MPa	42,16±1,14
	Variabilitas (S/N)	32,93 MPa	32,95±0,10

Tabel 13. Interpretasi Hasil Ukuran Kuat Tekan *Paving Block*

Interpretasi hasil pada Tabel 13 juga menunjukkan bahwa terdapat peningkatan pada nilai rata-rata maupun variabilitas kuat tekan *paving block* dari eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi. Peningkatan ini membuktikan bahwa kombinasi faktor optimal (A3, B2, C2) efektif dalam menghasilkan kualitas *paving block* yang lebih konsisten dan kuat tekan yang lebih tinggi.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode Taguchi efektif dalam mengoptimalkan parameter produksi *paving block* untuk meningkatkan kuat tekan produk. Berdasarkan hasil analisis S/N Ratio, ANOVA, dan eksperimen konfirmasi, kombinasi optimal diperoleh pada rasio semen:pasir 3:5 (A3), kadar *fly ash* 3% (B2), dan ukuran agregat 5–10 mm (C2), dengan capaian kuat tekan sebesar 42,16 MPa, yang melebihi standar SNI 40 MPa. Hasil interval kepercayaan pada tingkat 95% juga menunjukkan bahwa eksperimen konfirmasi selaras dengan prediksi eksperimen Taguchi, sehingga validitas model terjamin. Peningkatan kuat tekan dan konsistensi kualitas ini menegaskan bahwa desain eksperimen Taguchi dengan karakteristik *Larger-the-Better* mampu mengurangi variabilitas proses produksi dan memberikan rekomendasi parameter yang optimal. Temuan ini dapat menjadi acuan praktis bagi produsen dalam menerapkan strategi rekayasa kualitas yang lebih efisien, terukur, dan berorientasi pada hasil.

Referensi

- [1] D. Kurniati, I. T. Saputro, E. F. Nurhidayatullah, C. D. Saputro, and A. Asyifa, “Kekuatan Tekan Paving Block Dengan Memanfaatkan Limbah Las Asetelin,” *Jurnal Karkasa*, vol. 7, no. 2, pp. 49–53, 2021.
- [2] N. A. Miftah, D. S. E. Atmaja, and A. Oktafiani, “Optimasi Multi-Objektif Proses Pemesinan Milling Dengan Metode Taguchi Kolaborasi Grey Relational Analysis,” *Jurnal Sistem Cerdas*, vol. 5, no. 2, pp. 117–127, 2022.

[3] Musdalifah and R. Malik, "Rekayasa Mutu Beton Dengan Menggunakan Metode Taguchi di PT. Sucofindo," *Jurnal Aplikasi dan Pengembangan Sistem Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 18–26, 2023.

[4] A. Umar, S. Uslianti, and Y. E. Prawatya, "Desain Eksperimen Batako Menggunakan Metode Taguchi Pada Usaha Batako Karya Sepakat," *Integrated Industrial Engineering and Management System*, vol. 7, no. 2, pp. 154–159, 2023.

[5] B. Ariandini, P. Astuti, and D. Sugiarto, "Perbaikan Kualitas Water-Based Paint Dengan Metode Taguchi," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 11, no. 1, pp. 8–16, 2021.

[6] D. Indrawati, A. Sutoni, and B. E. Putro, "Penerapan Desain Eksperimen Taguchi Untuk Optimasi Kuat Tekan Batako (Studi Kasus TB. Intan Jaya)," in *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC*, vol. 2, no. 2, pp. 1–8, 2021.

[7] A. Susanty, M. Y. Damayanti, B. Purwanggono, and R. Purwaningsih, "Optimalisasi Parameter Proses Produksi Untuk Meminimalkan Jumlah Batu Bata Patah Menggunakan Metode Taguchi (Studi Kasus Sentra Industri Batu Bata Blancir, Semarang)," *Jurnal PASOPATI*, vol. 2, no. 3, pp. 167–177, 2020.

[8] P. Halimah and Y. Ekawati, "Penerapan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan Pada UD. XY Malang," *Journal of Industrial Engineering and Management System*, vol. 13, no. 1, pp. 13–26, 2020, doi: 10.30813/jiems.v13i1.1694.

[9] A. Fanya and E. Haruman, "Optimasi Parameter Karburisasi Temperatur Rendah Pada Baja Tahan Karat Austenitik Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 513–521, 2022.

[10] S. D. Anggraini, A. R. Sari, E. Santoso, A. R. Hidayat, and Y. W. Pratiwi, "Desain Eksperimen TUF Dalam Peningkatan Kualitas Garam Olahan Limbah Produksi Es Dengan Metode Taguchi di PT. Putra Maesa Persada," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 69–82, 2023.

[11] R. Ferdiansyah, I. Bachtiar, and Selamat, "Pengendalian Kualitas Dengan Metode Taguchi Pada Produk Cat Tembok di PT. XYZ," *Jurnal Riset Teknik Industri*, vol. 3, no. 2, pp. 129–138, 2023.

[12] J. S. Pribadi, Yulianto, and B. A. Girawan, "Optimasi Parameter Pemesinan Menggunakan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Kebulatan Pada Pembubutan Internal Material S45C," *Jurnal Infotekmesin*, vol. 11, no. 1, pp. 31–36, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i1.104.

[13] A. B. Pamungkas and A. S. Cahyana, "Uji Viskositas Penanganan Limbah B3 Liquid Pada Oli Bekas Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 1, pp. 144–154, 2023.

[14] Azmi, W. Febrina, and A. Abrar, "Rekayasa Kualitas Batu Bata Merah Dengan Menggunakan Metode Design of Experiment (Metode Taguchi)," *Journal of Industrial and Manufacturing Engineering (JIME)*, vol. 8, no. 1, pp. 49–58, 2024.

[15] S. Zuhri, Ilyas, and Faradilla, "Kombinasi Optimal Pemanggangan Kopi Pada Biji Kopi Arabika Dengan Tingkat Kematangan Sangrai Medium Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal TEKSAGRO*, vol. 2, no. 3, pp. 24–33, 2021.