

PERANCANGAN ULANG PRODUK PAVING STONE UNTUK PENINGKATAN KUALITAS DENGAN PENDEKATAN METODE TAGUCHI DAN REKAYASA NILAI

FATIFATUSSYAM

Supra Alumunium Indonesia
Jalan Raya Surabaya Malang

ABSTRACT

Production goods, in this case paving stone is result from a production process have characteristic depicting performance. Producer as producer of product try the to product performance can fulfill expectation and desire of consumer. To improve the quality of paving stone, operator perform examination by setting change to factors having an effect on according to empirically and manual book. Factors having an effect on the among others : cement portland, water, sand, and also stone ash. Intention of this research is to specify maximum setting of factors in control having an effect on by isn't it to value of variability strong depress paving stone, was so that got by strong measure depress the smallerness and or come near 200 kg/cm². This research was done at process of paving stone. Experiment device the used is experiment device with method of Taguchi with model of matrix orthogonal array of L₂₇ (3¹³). And then done by confirmation experiment is stipulating of optimal setting of experiment of Taguchi. Analysis Data done pursuant to optimise of combination of level strong mean factor depress and paving of Signal Noise Ratio to (Ratio of S/N). Analysis result indicated that cement of portland, water, sand, and stone ash having an effect on by isn't it to strength depress paving stone. Maximum Setting reached at combination cement level 1 (0.37 kg); irrigate level 1 (0.2 lt); sand (1.9 kg) and stone ash of level 1 (0.8 kg). By using maximum setting, confirmation experiment result yield strength depress maximum paving, that is 189.3 kg/cm². Value yielded at composition is 1.283.

Key words: taguchi, value engineering, ortogonal array

PENDAHULUAN

Jumlah permintaan akan bahan bangunan paving stone semakin meningkat dewasa ini, seiring dengan semakin pesatnya perkembangan pembangunan sarana perumahan. Barang-barang produksi yang merupakan hasil dari suatu proses produksi memiliki karakteristik yang menggambarkan *performance*. Pihak produsen sebagai penghasil produk berusaha agar *performance* produk tersebut dapat memenuhi harapan dan keinginan konsumen, sehingga dapat bersaing dengan produk sejenis di pasar. Untuk itu perusahaan menetapkan sebuah batasan atau toleransi.

Demikian halnya yang dialami CV Indah Cemerlang sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri bahan bangunan dengan sifat produksi secara kontinyu. Salah satu jenis bahan bangunan yang dihasilkan adalah *paving stone*. Perusahaan telah menetapkan

karakteristik mutu paving yang diproduksi, yaitu paving stone dengan karakteristik mutu K-200. Berdasarkan SII.08.1983 (Uji Beton Lantai) tegangan hancur rerata (kg/cm²) untuk mutu beton K-200 minimal adalah 170 kg/cm² (Utojo, 1982). Permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan adalah adanya penyimpangan-penyimpangan kuat tekan *paving stone* dari batasan yang telah ditentukan. Dalam kenyataan di lapangan sering terjadi penyimpangan kualitas dari kuat tekan yang disebabkan perhitungan yang tidak sesuai dengan jenis komposisi material yang digunakan, hal ini tentunya akan menimbulkan masalah yang berhubungan dengan spesifikasi produk. Jika produk tetap dalam kondisi seperti itu, maka konsumen sebagai pihak pemakai secara tidak langsung merasa dirugikan, karena mendapatkan produk yang mutunya kurang bagus dan untuk pemakaian produk itu juga tidak tahan lama, maka perlu biaya lagi, dan tentunya konsumen

akan memberikan komplain atas kerugian yang disebabkan oleh hal itu.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas perlu diadakan suatu penelitian untuk mengidentifikasi faktor-faktor kontrol yang berpengaruh terhadap performansi produk dan untuk mendapatkan setting terbaik dalam menghasilkan produk yang sesuai. Salah satunya dengan menggunakan *metode Taguchi*, yaitu suatu metode rekayasa kualitas yang bertujuan untuk menghasilkan suatu produk dengan kualitas tinggi dengan cara melakukan perbaikan kualitas secara terus-menerus (Belavendram, 1995). Dengan digunakannya metode Taguchi ini diharapkan dapat meminimalkan penyimpangan-penyimpangan yang terjadi, dan *metode Rekayasa Nilai* digunakan untuk mendapatkan desain paving stone dengan pertimbangan desain baru tersebut akan memiliki nilai yang lebih baik (Retno, 2003).

Paving merupakan jenis bahan bangunan beton di mana bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau abu batu), air dan semen Portland atau bahan pengikat lainnya yang sejenis, dengan atau tanpa bahan tambahan lain. Campuran daripada agregat halus, air dan semen saja disebut ADUKAN (Mortar) (Utojo, 1982).

Menurut Heinz Frick dan Ch. Koesmartadi (1999) sifat-sifat beton sendiri terpengaruh oleh faktor-faktor sebagai berikut kualitas semen (untuk konstruksi beton bertulang pada umumnya dapat dipakai jenis-jenis semen yang memenuhi syarat-syarat). Dengan kenaikan mutu beton maka tegangan yang diperbolehkan atas ketahanan terhadap air meningkat. Perbandingan campuran semen Portland, bahan tambahan dan air, agregat campuran halus dan kasar, cara mencampur komponen, agregat kasar (kerikil atau abu batu), cara pencoran, ketelitian pekerjaan perawatan, umur beton, serta suhu udara waktu mencampur dan waktu proses pengerasan beton.

Kualitas beton tidak hanya tergantung pada bahan tambahan, air atau kualitas semen Portland, melainkan juga pada persiapan beton, yaitu pada cara campuran komponen-komponen dan pada pekerjaan perawatan lanjutan. Sebagai cara campuran beton dikenal dua kemungkinan, yaitu cara pekerjaan tangan atau secara mesinal.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan paving beton dan menentukan kombinasi faktor-faktor yang dominan. Mendapatkan produk *paving stone* yang sesuai dengan nilai yang tinggi

METODE

Data-data yang ada dalam penelitian ini diperoleh dari survei, wawancara, dokumentasi serta data hasil percobaan adapun data-data yang diperoleh adalah: Data Primer yang digunakan adalah jenis produk, proses produksi, komposisi bahan untuk pembuatan paving stone khususnya untuk mutu K-200, biaya-biaya material. Data Sekunder adalah tentang perusahaan, dan dokumen-dokumen lain dari perusahaan.

Metode pendekatan yang digunakan antara lain: Metode penelitian lapangan (*Field Research*) adapun teknik yang digunakan adalah: Observasi yang dilakukan di sini adalah pengamatan terhadap proses produksi *paving stone*. Wawancara dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan *paving stone* yang terdiri atas Variabel independen faktor kontrol (semen, air, pasir dan abu batu) variabel independen dalam hal ini yang diteliti adalah kuat tekan *paving stone*. Biaya-biaya material, eksperimen dilakukan untuk memperoleh data kuat tekan dari 27 treatment dan masing-masing 3 kali replikasi (Frick, *et al.*, 1999). Metode Studi Kepustakaan untuk mendapatkan informasi-informasi yang terkait dengan permasalahan yang akan diteliti dari literatur-literatur yang mempunyai hubungan langsung dengan permasalahan yang ada. Berdasarkan studi kepustakaan ini akan diperoleh dasar metode-metode untuk melakukan pengolahan data dan literatur mengenai objek pengamatan serta acuan-acuan yang akan dipergunakan dalam penelitian.

Adapun langkah-langkah pemecahan masalah terhadap faktor-faktor yang berpengaruh pada kekuatan tekan paving beton dengan menggunakan metode Taguchi, adalah sebagai berikut: Wawancara tahap ini dimaksudkan untuk mengumpulkan data mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan paving beton. Faktor-faktor tersebut adalah variabel-variabel independen yang diperkirakan berpengaruh pada

kekuatan tekan paving beton. Variabel secara garis besar dikelompokkan menjadi dua, yaitu Variabel bebas ini tidak tergantung pada variabel lain, besarnya nilai variabel ini dapat ditentukan secara bebas tergantung pada kebutuhan yang diinginkan. Berdasarkan penelitian pendahuluan faktor-faktor yang diperkirakan berpengaruh terhadap kekuatan tekan paving beton adalah faktor kontrol adalah parameter-parameter yang nilai-nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor-faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut level. Pada akhir eksperimen, suatu level faktor kontrol yang sesuai akan dipilih. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor kontrol sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*. Faktor kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut banyaknya semen portland yang dibutuhkan, banyaknya air yang dibutuhkan, banyaknya pasir yang dibutuhkan, banyaknya abu batu yang dibutuhkan.

Faktor *noise* adalah faktor penghambat, nilainya tidak dapat dikontrol oleh operator. Dengan adanya keterbatasan peralatan penelitian maka dalam penelitian ini faktor *noise* diabaikan dengan cara melakukan pengulangan untuk masing-masing perlakuan sebanyak tiga kali. Data-data faktor di atas didapat dari pengumpulan informasi sebanyak-banyaknya dan melalui diskusi (*Brainstorming*) dengan orang-orang yang dianggap mengerti permasalahan yang dihadapi (di antaranya para karyawan dan teknisi perusahaan bagian produksi dan kualitas) untuk kemudian dikonfirmasi dengan literatur atau sumber-sumber tertulis. Variabel terikat/respons sebuah variabel yang ditentukan oleh faktor atau beberapa faktor lain disebut variabel tak bebas atau variabel terikat atau variabel respons. Di dalam penelitian ini variabel respons yang menjadi tujuan perbaikan adalah kekuatan tekan paving beton. Kekuatan tekan paving beton mempunyai karakteristik mutu semakin besar nilainya semakin baik (*larger-the-better*).

Diagram Ishikawa (Diagram Sebab Akibat) dari hasil penentuan faktor pada tahap sebelumnya dapat dilakukan penggambaran dengan diagram Ishikawa, sehingga diketahui faktor-faktor yang diperkirakan berpengaruh terhadap kekuatan

tekan paving beton. Pada diagram Ishikawa ini akan digambarkan faktor-faktor dominan yang didapat dari hasil identifikasi faktor. Perumusan karakteristik kualitas, karakteristik kualitas pada penelitian paving ini adalah karakteristik kualitas *larger-the-better*, yaitu semakin besar kekuatan tekan paving semakin baik kualitasnya. Karakteristik kualitas *larger-the-better* sendiri adalah karakteristik non negatif yang dapat diukur yang mempunyai kondisi ideal atau target ∞ (*infinity*). Alternatif faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan tekan paving diperoleh melalui *brainstorming*. Faktor-faktor tersebut adalah semen portland, air, pasir, serta abu batu. Penetapan level faktor kendali level faktor yang digunakan adalah 3 level. Digunakannya 3 level karena terdapat ketidakpastian tentang banyak level yang harus dipilih untuk faktor tertentu, maka faktor dengan 3 level mungkin telah memberikan informasi yang cukup. Adapun nilai faktor yang digunakan dapat disimak pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Level Faktor pada Proses Pembuatan Paving

Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
Semen Portland	0,37 kg	0,32 kg	0,27 kg
Air	0,2 lt	0,25 lt	0,3 lt
Pasir	1,8 kg	1,9 kg	2 kg
Abu Batu	0,8 kg	0,9 kg	1,0 kg

Berdasarkan faktor dan level yang telah ditentukan di atas, kemudian dilakukan perhitungan derajat kebebasan dari keseluruhan faktor untuk mendasari pemilihan jenis *Orthogonal Array* yang akan digunakan. Derajat kebebasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

Derajat kebebasan faktor adalah $n - 1$, karena digunakan dua level faktor, maka:

$$4 \text{ faktor (A, B, C, D) } 3 \text{ level} =$$

$$4 \times (3 - 1) = 8$$

$$2 \text{ interaksi (AXB, AXC) } 3 \text{ level} =$$

$$2 \times (3 - 1) \times (3 - 1) = 8$$

Jadi derajat kebebasan total faktor dan interaksi = 16.

Berdasarkan jumlah level yang ada pada faktor kontrol dan interaksinya adalah 3 level dengan derajat kebebasan total faktor dan interaksi sebesar 16, maka *Orthogonal Array* yang digunakan adalah

$L_{27}(3^{13})$, karena mempunyai 26 derajat kebebasan dengan 27 kali percobaan.

Pelaksanaan Percobaan Sejumlah percobaan (*trial*) disusun untuk meminimasi kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun level yang tepat untuk percobaan. Prinsip randomisasi juga harus diperhatikan dalam masalah ini. Pada tahap ini juga meliputi penentuan jumlah replikasi (pengulangan percobaan untuk 1 kali percobaan) karena penentuan jumlah sampel yang digunakan untuk penelitian ini tergantung pada replikasi yang dilakukan. Jumlah replikasi tergantung pada biaya penelitian yang tersedia. Karena keterbatasan fasilitas dan biaya yang tersedia maka pada penelitian ini dilakukan 3 replikasi.

Analisis Hasil Percobaan dengan Anova dari hasil pengolahan data pada tahap sebelumnya, maka perlu dilakukan analisis sebagai dasar untuk mempresentasikannya. Analisis yang dilakukan meliputi analisis hasil eksperimen, untuk menguji apakah hipotesa awal diterima atau ditolak. Analisis ini akan dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA).

Selain untuk menguji hipotesa menyangkut apakah suatu variabel mempunyai pengaruh terhadap kekuatan tekan paving beton, ANOVA juga dilakukan untuk melihat faktor-faktor manakah yang berpengaruh terhadap variabilitas kekuatan tekan *paving stone*, yaitu ANOVA untuk *S/N Ratio*. Besarnya kontribusi yang diberikan tiap faktor terhadap rata-rata kekuatan tekan paving beton dapat dilihat pada persen kontribusi pada ANOVA.

Penentuan kombinasi faktor yang optimal dalam memberikan pengaruh pada kuat tekan dan pada variabilitas kuat tekan, serta rata-rata yang dihasilkan pada kondisi optimum.

Percobaan konfirmasi dilakukan sebagai upaya pembuktian dari hasil eksperimen terdahulu. Dengan eksperimen konfirmasi ini akan dibuktikan apakah penetapan kombinasi faktor dan level pada eksperimen awal adalah akurat dan valid. Pembuktian rata-rata pada kondisi optimal yang dihasilkan dari kombinasi level yang optimal ini diuji dalam suatu interval kepercayaan yang ditentukan, untuk mengetahui apakah hasil yang didapatkan dari eksperimen awal (kombinasi faktor dan level) akan memberikan hasil yang tidak berbeda dengan hasil dari eksperimen konfirmasi.

Perhitungan bobot performansi pada tahap ini dilakukan perhitungan bobot performansi terhadap desain hasil konfirmasi. Besarnya performansi dari desain lama dan desain baru dilakukan melalui kuesioner kepada konsumen. Sebelum menghitung performansi maka dilakukan uji keseragaman dan kecukupan data untuk mengetahui apakah data kuesioner yang diberikan kepada konsumen sudah cukup atau belum, jika belum mencukupi maka dilakukan kuesioner tambahan sehingga $N' < N$. Nilai performansi dihitung dari rata-rata semua data hasil kuesioner (Sujanto, 2002).

Perhitungan Nilai desain lama dan desain baru di hitung untuk dibandingkan guna mengetahui desain *paving stone* manakah yang lebih baik.

Analisis dilakukan pada hasil pengolahan data yang berupa faktor-faktor apa saja yang secara signifikan berpengaruh terhadap kuat tekan *paving stone* serta analisis hasil perhitungan rata-rata dan variabilitas pada eksperimen Taguchi dan eksperimen Konfirmasi. Dalam tahap ini hasil perancangan dibandingkan dengan kondisi awalnya di mana nilai yang lebih tinggi di jadikan dasar untuk pengambilan keputusan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan *paving stone* untuk meningkatkan kuat tekannya, serta menganalisis bagaimana nilai dari produk *paving stone* hasil pengolahan dengan pendekatan metode taguchi dan rekayasa nilai. Dalam membandingkan produk pada kondisi awal dengan hasil rancangan parameter yang digunakan adalah kuat tekan *paving stone* dan nilainya. Di mana produk *paving stone* dengan kuat tekan dan nilai (*value*) yang lebih tinggi itulah yang direkomendasikan pada perusahaan.

Dalam eksperimen ini bertujuan untuk meningkatkan karakteristik kualitas dari *paving stone*, yaitu kuat tekan untuk itu dalam eksperimen ini jenis rasio S/N yang digunakan adalah lebih tinggi lebih baik. Analisis desain eksperimen tentang komposisi campuran material untuk mendapatkan kuat tekan paving stone yang tinggi dan *robust* terhadap *noise*, di mana faktor-faktor yang diteliti adalah faktor kontrol, yaitu semen, air, pasir dan abu batu. Percobaan ini dilakukan

Tabel 2. Respons Rata-rata Kuat Tekan (kg/cm²) dari Pengaruh Faktor

	A	B	A × B	A × B (1)	C	A × C	A × C (1)	D
Level 1	183.741	181.741	180.778	181.000	179.963	180.185	180.852	181.222
Level 2	179.370	180.926	181.074	179.963	181.000	179.889	180.407	179.148
Level 3	178.037	178.481	179.296	180.185	180.185	181.074	180.037	180.778
Selisih	5.704	3.259	1.481	1.037	1.037	1.185	0.815	2.074
Rank	1	2	4	6	7	5	8	3

dengan setting faktor yang mempunyai 4 faktor kontrol dan 3 level, dengan dua interaksi yang di teliti yaitu interaksi antara faktor A (semen) dan faktor B (air) serta interaksi antara faktor A (semen) dan faktor C (pasir). Ortogonal array yang digunakan dalam eksperimen ini adalah $L_{27}(3^{13})$ di mana ini menunjukkan bahwa terdapat dua puluh tujuh eksperimen yang dilakukan, ada tiga belas kolom faktor dan masing-masing mempunyai tiga level.

Analisis respons rata-rata kuat tekan (kg/cm²) dari pengaruh faktor. Dari hasil perhitungan kombinasi level faktor yang memberikan kuat tekan yang optimum didapatkan dari rata-rata kuat tekan paving dengan nilai lebih kecil dan atau mendekati 200 kg/cm². hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bila campuran semen (factor A) dinaikkan dari A_2 (0,32 kg) ke A_1 (0,27 kg) kuat tekan paving akan naik dari 179,370 kg/cm² menjadi 183,741 kg/cm². Begitu juga faktor-faktor yang lain dapat dibandingkan dengan cara yang sama. Kondisi optimal dapat dipilih dari rata-rata yang mempunyai peringkat tertinggi karena karakteristik kualitas yang dipilih untuk kuat tekan paving adalah "larger the better". Berdasarkan Tabel 2 maka level faktor yang optimal adalah A_1 , B_1 , D_1 dan interaksi antara $A \times B$. Untuk menentukan interaksi mana yang harus dipilih maka dilakukan pemecahan interaksi karena interaksi $A \times B$ mempunyai 9 kombinasi, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemecahan Interaksi $A \times B$

Interaksi	B_1	B_2	B_3
A_1	186,111	184,556	180,556
A_2	181,222	179,444	177,4446
A_3	177,889	178,778	177,444

Berdasarkan Tabel 3 yang memberikan nilai paling tinggi adalah interaksi antara $A_1 \times B_1$ (interaksi antara semen pada level 1 dan air pada level 1). Sehingga kombinasi level factor optimum adalah A_1 (semen 0,37 kg), B_1 (air 0,2 lt), D_1 (abu batu 0,8 kg) serta $A_1 \times B_1$ yaitu interaksi antara semen pada level 1 dan air pada level 1. Pada kondisi ini diperoleh nilai prediksi rata-rata proses pada kondisi optimum sebesar 187,938 dan interval kepercayaan $\pm 1,584$

Setelah dilakukan analisis variansi rata-rata kuat tekan paving dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 90% didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.

Secara statistik faktor yang memberikan pengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan paving hanyalah faktor A, faktor B saja, serta faktor D, ini dapat dilihat dari $F_{hit} > F_{tabel}$. Akan tetapi jika dilihat dari persen kontribusi faktor A, B, D dan interaksi $A \times B$ memberikan pengaruh masing-masing sebesar 33,118, 9,693, 3,143% dan 0,541%, di mana faktor A (semen) memberikan kontribusi yang paling besar.

Analisis Rasio S/N (*signal to noise*). Berdasarkan hasil perhitungan rasio S/N ini didapatkan hasil rasio untuk masing-masing level faktor adalah sebagaimana Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 rasio S/N dapat dianalisis bahwa:

Faktor A level yang memiliki rasio S/N terbesar adalah level satu, ini berarti di antara level yang lain level satu mempunyai pengaruh pada kuat tekan yang paling tinggi.

Faktor B level yang memiliki rasio S/N terbesar adalah level satu, ini berarti di antara level yang lain level satu mempunyai pengaruh pada kuat tekan yang paling tinggi.

Faktor D level yang memiliki rasio S/N terbesar adalah level satu, ini berarti di antara level yang lain

Tabel 4. ANOVA Rata-rata Kuat Tekan Paving Stone

Sumber	SS	Dk	MS	F _{hit}	F _{tabel}	SS'	P(%)
A	480.691	2	240.346	23.180	2.4	459.954	33.118
B	155.358	2	77.679	7.492	2.4	134.621	9.693
A × B	48.988	4	12.247	1.181	2.05	7.513	0.541
A × B (1)	16.099	4	4.025	0.388	2.05	-25.376	-1.827
C	16.099	2	8.049	0.776	2.4	-4.638	-0.334
A × C	20.543	4	5.136	0.495	2.05	-20.931	-1.507
A × C (1)	6.025	4	1.506	0.145	2.05	-35.450	-2.552
D	64.395	2	32.198	3.105	2.4	43.658	3.143
e	580.641	56	10.369	1.000	-	829.487	59.725
Total	1388.838	80	17.360	-	-	-	-

Tabel 5. Respons Rata-rata Rasio S/N

	A	B	A × B	A × B(1)	C	A × C	A × C(1)	D
Level 1	45,2803	45,1849	45,1389	45,1011	45,1011	45,1011	45,1356	45,1607
Level 2	45,0729	45,1477	45,1538	45,1501	45,1502	45,1502	45,1226	45,0632
Level 3	45,0094	45,0299	45,0698	45,1113	45,1113	45,1113	45,1044	45,1388
Selisih	0,2709	0,155	0,084	0,049	0,0491	0,0491	0,0312	0,0975
Ranking	1	2	4	7	5	6	8	3

level satu mempunyai pengaruh pada kuat tekan yang paling tinggi. Interaksi faktor A × B level yang memiliki level faktor terbesar adalah level dua ini berarti di antara level yang lain level dua mempunyai pengaruh kuat tekan yang paling tinggi.

Untuk memperoleh pengaruh interaksi faktor A dan B mana yang terbesar, maka dilakukan pemecahan interaksi A × B seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemecahan Interaksi A × B

Interaksi	A ₁	A ₂	A ₃
B ₁	45,3917	45,1604	45,0027
B ₂	45,3204	45,078	45,0448
B ₃	45,1289	44,9803	44,9807

Berdasarkan Tabel 6 ternyata faktor A₁ dan B₁ mempunyai nilai yang paling besar ini berarti interaksi faktor A pada level 1 dan B pada level 1 mempunyai pengaruh terhadap kuat tekan paving yang paling tinggi. Kombinasi level factor maksimum dicapai pada level faktor tertinggi dari setiap faktor, yaitu A₁ (semen 0,37 kg), B₁ (air 0,2 lt), dan D₁ (0,8 kg). pada kondisi ini di hasilkan nilai taksiran respons maksimum 45,3443 dan interval kepercayaan ± 0,101.

Analisis variansi juga dilakukan pada rasio S/N untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variasi kuat tekan paving

kuat tekan paving. Setelah dilakukan polling up sebanyak tiga kali dengan menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 90% maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 7.

Secara statistik faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variansi kuat tekan adalah faktor A dan faktor B saja ini dapat dilihat dari $F_{hit} > F_{tabel}$. Besarnya persen kontribusi yang diberikan pada masing-masing faktor A, B, dan D adalah 41,5306%, 10,5619% dan 1,5866%, faktor A memberikan pengaruh yang paling besar terhadap kuat tekan *paving stone*. Besarnya kontribusi *error* menunjukkan bahwa masih ada faktor penting yang terabaikan.

Berdasarkan analisis di atas faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan rata-rata maksimum dan rasio S/N maksimum dapat dilihat pada Tabel 8 tanda (V) menunjukkan adanya pengaruh dan tanda (X) menunjukkan tanda tidak ada pengaruh faktor atau interaksi.

Tabel 8 menunjukkan bahwa faktor A dan B mempunyai pengaruh terhadap rata-rata kuat tekan dan variansi di mana kondisi maksimumnya didapatkan pada level 1. Faktor D hanya mempengaruhi pada rata-rata kuat tekan saja, sehingga yang dipilih untuk mendapatkan kondisi maksimum adalah yang mempunyai rata-rata paling tinggi, yaitu pada level 1. Faktor C tidak mempunyai pengaruh pada rata-rata maupun

Tabel 7. ANOVA

Sumber	Dk	SS	MS	F _{hit}	F _{Tabel}	SS'	P (%)
A	2	0,3614	0,1807	10.4089	2.81		41,5306
B	2	0,1178	0,0589	3.3929	2.81	0,32668	10,5619
D	2	0,0472	0,0236	1.3594	2.81	0,08308	1,5866
A × B	4	0,0362	0,0091	0.5213	2.48	0,01248	- 4,2258
A × C	4	0,0157	0,0039	0.2264	2.48	- 0,03324	- 6,8319
Error	12	0,2083	0,01736	-	-	- 0,05374	57,3786
Total	26	0,7866	0,03025	-	-		100,00

Tabel 8. Adanya Pengaruh dan Tidak Adanya Pengaruh

Faktor/Interaksi	Pengaruh pada	
	Rata-Rata	Variansi
A	V1	V1
B	V1	V1
A × B1	X	X
A × B1 (1)	X	X
C	X	X
A × C 1	X	X
A × C 1 (1)	X	X
D	V1	X

variansi, ini bukan berarti faktor C tidak penting tetapi tidak signifikan mempunyai pengaruh terhadap kuat tekan paving. Pada kondisi seperti ini disarankan kondisi maksimum dipilih dengan dasar bahan lebih murah atau lebih mudah. Tetapi dalam hal ini faktor C yang dipilih untuk menentukan kondisi maksimum didasarkan pada level yang menunjukkan rata-rata dan variansi yang maksimum, dan ini ditunjukkan pada level 2. Sedangkan untuk interaksi antara faktor A × B1, A × B1 (1), A × C1, dan A × C1 (1) semuanya tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap rata-rata dan variansi kuat tekan *paving stone*.

Berdasarkan analisis di atas, yang digunakan untuk eksperimen konfirmasi adalah kombinasi level faktor A1, B1, C2 dan D1. Kemudian hasil eksperimen taguchi dan eksperimen konfirmasi dilakukan perbandingan. Jika rata-rata dan variansi kuat tekan eksperimen konfirmasi masih berada pada interval rata-rata yang diprediksikan maka artinya eksperimen tersebut dapat diterima dan mempunyai sifat aditif sehingga dapat diperluas untuk skala industri, akan tetapi jika rata-rata dan variansi kuat tekan eksperiment konfirmasi berada di luar interval kepercayaan eksperimen Taguchi atau yang sudah diprediksi maka eksperimen tersebut tidak dapat diterima

dan sifat aditifitasnya rendah sehingga tidak bisa diperluas untuk skala industri.

Analisis eksperimen konfirmasi. Dalam hal ini digunakan faktor dan level pada kondisi optimal yaitu semen Portland 0,37 kg (A₁), Air 0,2 lt (B₁), Pasir 1,9 kg (C₂) dan Abu batu 0,8 kg (D₁). Berdasarkan hasil eksperimen konfirmasi dihasilkan nilai rata-rata dan interval kepercayaan 189,3 ± 2,326, sedangkan nilai rasio S/N dihasilkan 45,46 ± 0,1259.

Berdasarkan hasil perhitungan interval kepercayaan pada tingkat kepercayaan 90% untuk eksperimen Taguchi kemudian dibandingkan dengan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi didapat bahwa rata-rata pada eksperimen konfirmasi berada pada interval kepercayaan eksperimen Taguchi. Interval kepercayaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Berdasarkan interpretasi hasil kuat tekan pada Tabel 9, yaitu eksperimen Taguchi ke eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan pada rata-ratanya dan variabilitasnya. Hasil kekuatan tekan paving yang diperoleh lebih kecil dan atau mendekati 200 kg/cm². Dengan demikian kombinasi optimal faktor-faktor tersebut di atas terbukti meningkatkan rata-rata kuat tekan paving lebih kecil dan atau mendekati 200 kg/cm². Dari perbandingan eksperimen taguchi dan eksperimen konfirmasi pada rata-rata dan variabilitasnya dapat di gambarkan seperti pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa interval kepercayaan suatu eksperimen tumpang tindih dengan interval kepercayaan dari mean yang sudah diperkirakan. Ini menunjukkan bahwa nilai yang diperkirakan dapat diterima dan eksperimen tersebut dapat diproduksi untuk skala industri.

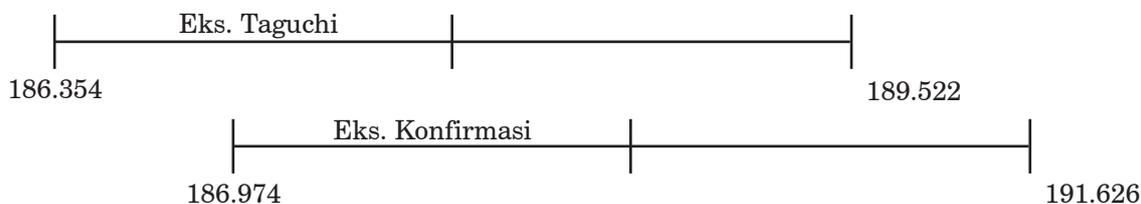
Analisis perbandingan produk paving stone lamadenganproduk pavingstonebaru. Berdasarkan analisis di atas dari hasil eksperimen konfirmasi di

Tabel 9. Interpretasi Hasil Ukuran Kuat Tekan Paving

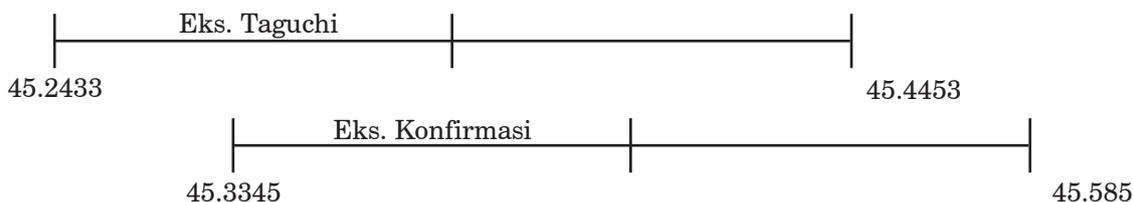
Respons (kuat tekan paving)		Prediksi	Optimal
Eksperimen Taguchi	Rata-rata (μ)	187,938	187,938 \pm 1,584
	Variabilitas (S/N)	45,3443	45,4315 \pm 0,101
Eksperimen Konfirmasi	Rata-rata (μ)	189,3	189,3 \pm 2,326
	Variabilitas (S/N)	45,460	45,460 \pm 0,1259

Tabel 10. Produk Paving Stone dengan Komposisi Baru dan Lama

Faktor	Desain Lama		Desain Baru	
	Komposisi	Kuat tekan rata-rata	Komposisi	Kuat tekan rata-rata
Semen	0,27 kg	170.2 kg/cm ²	0,37 kg	189,3 kg/cm ²
Air	0,2 lt		0,2 lt	
Pasir	1,67 kg		1,9 kg	
Abu batu	1,13 kg		0,8 kg	



Gambar 1. Respons kuat tekan paving untuk nilai rata-rata



Gambar 2. Respons kuat tekan paving untuk nilai variabilitas

dapatkan produk paving stone dengan komposisi yang baru, dan perbandingan antara produk lama dengan produk baru dapat dilihat pada Tabel 10.

Pada produk *paving stone* baru komposisi campuran semen dan pasirnya lebih banyak yaitu sebesar 0,37 kg dan 1,9 kg. Untuk campuran abu batu desain *paving stone* baru lebih sedikit, yaitu 0,8 kg sedangkan campuran air untuk produk lama dan produk baru tetap. Dari komposisi tersebut kuat tekan rata-rata *paving stone* meningkat dari 170,2 kg/cm² menjadi 189,3 k/cm².

Untuk perbandingan nilai, biaya, dan performansi dari produk paving stone lama dengan produk baru dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan performansi, biaya serta nilai produk lama dan produk baru

	Produk Lama	Produk Baru	Peningkatan/penurunan
Performansi	53.3333	78	+ 46,26%
Biaya	Rp331,54	Rp377,90	+ 13,98%
Nilai	1	1.283	+ 28,33%

Tabel 11 menunjukkan bahwa produk baru mengalami peningkatan dari segi performansi, biaya dan nilainya. Performansi produk baru meningkat sebesar 46,26% dari produk lama, sedangkan biaya nya mengalami peningkatan sebesar 13,98%. Karena peningkatan performansi

produk baru lebih besar dari pada biayanya maka nilai yang dihasilkan untuk produk baru juga meningkat. Peningkatan yang dihasilkan untuk produk baru adalah sebesar 28,33%, sehingga produk *paving stone* dengan komposisi yang baru inilah yang direkomendasikan kepada perusahaan untuk diproduksi.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas maka dapat disimpulkan faktor-faktor terkendali yang berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan paving sebagai berikut: Semen kuat tekan rata-rata 0,37 kg; rasio S/N kuat tekan 0,37 kg. Air kuat tekan rata-rata 0,2 lt; rasio S/N kuat tekan 0,2 lt. Batu kuat tekan rata-rata 0,8 kg.

Dan komposisi yang menghasilkan kuat tekan maksimum dan rasio S/N kuat tekan maksimum adalah semen portland (0,37 kg), air (0,2 lt), pasir (1,9 kg) dan abu batu (0,8 kg).

Nilai yang dihasilkan pada produk baru 1.283 dengan komposisi produk paving stone yang terbukti meningkatkan kuat tekan maksimum adalah semen portland 0,37 kg; air 0,2 lt; pasir 1,9 kg; dan abu batu 0,8 kg

DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N., 1995. *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. New York: Prentice Hall.
- Frick, Heinz dan Koesmartadi, Ch., 1999. *Ilmu Bahan Bangunan: Eksploitasi, Pembuatan, Penggunaan dan Pembuangan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Frick, H., 1980. *Ilmu Konstruksi Bangunan I*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Retno, P.D., 2003. *Diktat Rekayasa Nilai*, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Ross, P.J., 1988. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, 1st ed. New York.
- Soejanto, I., 2002. *Rancangan Eksperimen*. Surabaya: Penerbit Yayasan Humaniora.
- Sudjana, 2004. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Penerbit Tarsito.
- Sudjana, 1996. *Metoda Statistika*. Penerbit Tarsito, Edisi ke-6. Bandung.
- Utojo, R., dan Harun N., 1953. *Bangunan dalam Beton Tekan*. Jakarta: Penerbit Buku Teknik H. STAM.
- Utojo, R., dan Harun N., 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung. 1982.
- Utojo, R., dan Harun N., *Manual Pemeriksaan Bahan Jalan*. Direktorat Jenderal Bina Marga.