

**PENENTUAN *SETTING LEVEL* OPTIMAL KUAT TEKAN
PAVING BLOCK BERBAHAN TAMBAHAN ALTERNATIF
FLY ASH DENGAN REKAYASA KUALITAS TAGUCHI
(Studi Kasus di CV. Berlian Sejahtera Kediri Jawa Timur)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**FERI GUNA WIYONO
NIM. 0810670043-67**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENENTUAN *SETTING LEVEL* OPTIMAL KUAT TEKAN
PAVING BLOCK BERBAHAN TAMBAHAN ALTERNATIF
FLY ASH DENGAN REKAYASA KUALITAS TAGUCHI**
(Studi Kasus di CV. Berlian Sejahtera Kediri Jawa Timur)

SKRIPSI

KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

FERI GUNA WIYONO
NIM. 0810670043-67

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.
NIP. 19700914 200501 1 001

Arif Rahman, ST., MT.
NIP. 19740528 200801 1 010

LEMBAR PENGESAHAN

**PENENTUAN *SETTING LEVEL* OPTIMAL KUAT TEKAN
PAVING BLOCK BERBAHAN TAMBAHAN ALTERNATIF
FLY ASH DENGAN REKAYASA KUALITAS TAGUCHI**
(Studi Kasus di CV. Berlian Sejahtera Kediri Jawa Timur)

SKRIPSI **KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

FERI GUNA WIYONO
NIM. 0810670043-67

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 9 Agustus 2012

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Mochammad Choiri, MT.
NIP. 19540104 198602 1 001

Sugiarto, ST., MT.
NIP. 19690417 199512 1 001

Komprehensif

Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.
NIP. 19461110 198103 1 001

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Industri

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.
NIP. 19700914 200501 1 001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil'alamin, segala puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Penentuan *Setting Level Optimal Kuat Tekan Paving Block* Berbahan Tambahan Alternatif *Fly Ash* Dengan Rekayasa Kualitas Taguchi”**. Tidak lupa shalawat dan salam dihaturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Nasir Widha Setyanto, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri sekaligus Dosen Pembimbing I atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberi motivasi, arahan dan ilmu yang sangat berharga.
2. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Industri sekaligus Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan saran-saran yang sangat membantu bagi penulis dalam memperbaiki isi tugas akhir.
3. Ibu Dra. Murti Astuti, MSIE. selaku Dosen KKDK Rekayasa Sistem Industri dan Dosen Pengamat atas kesabaran dalam membimbing penulis selama ini, terus-menerus memberi motivasi, serta ilmu dan saran-saran yang sangat berharga.
4. Bapak Hary Sudjono, S.Si., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas kesabaran dalam membimbing penulis selama masa studi.
5. Bapak Syaifudin, SE., ST selaku Dosen Pembimbing Lapangan sekaligus Direrktur CV. Berlian Sejahtera Kediri atas seluruh waktu yang diluangkan, arahan dan bantuan yang sangat banyak sehingga penulis dapat dengan lancar menyelesaikan tugas akhir.
6. Orang tua tercinta, Agus Wiyono, ST dan Dewi Andariyah atas kasih sayang dan kepercayaan yang tak terbatas, dukungan moral dan materiil, serta saran-saran, demi tercapainya hasil studi yang terbaik bagi penulis. Kakakku tersayang Luckman Hanif Wiyono, SE. dan Fero Guna Wiyono, ST atas doa dan dukungannya.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen pengajar di Program Studi Teknik Industri dan Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

8. Seluruh Bapak dan Ibu karyawan di Program Studi Teknik Industri khususnya bagian *recording* yang telah banyak membantu dalam proses administrasi selama masa studi.
9. Akbar, Yudis, Habib, Uwak dan seluruh saudaraku di Teknik Industri 2008 serta keluarga besar Laboratorium Statistik dan Rekayasa Kualitas, yang terus memberi doa dan motivasi.
10. Wiku, Cecep, Bagus, Yoga, Dimas, Girindra dan Henu sebagai sahabat terbaik atas dukungan moral yang terus diberikan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kesalahan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar tugas akhir ini dapat menjadi lebih sempurna. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi setiap orang yang membacanya.

Malang, Agustus 2012

Penulis



DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Batasan Masalah.....	5
1.7 Asumsi.....	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1 Paving Block	6
2.1.1 Persyaratan Mutu.....	6
2.1.2 Uji Kuat Tekan Paving block Berdasarkan BS 6717 - 1 : 1993.....	7
2.2. Semen Portland.....	8
2.3 Air.....	9
2.4 Faktor Air dan Semen (FAS).....	9
2.5 Agregat	10
2.6 Fly ash	11
2.7 Harga Bahan Baku Pembuatan Spesimen Uji Paving Block	12
2.8 Kualitas.....	12
2.9 Rekayasa Kualitas Taguchi	13
2.9.1 Metode Taguchi.....	13
2.9.2 Orthogonal Array	17
2.9.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas	19

2.9.4 Klasifikasi Faktor	20
2.9.5 Signal to Noise Ratio (SNR)	21
2.9.6 Fungsi Kerugian Kualitas (Quality Loss Function)	23
2.9.7 Analysis of Variance (ANOVA)	24
2.9.8 Interval Kepercayaan	26
2.9.9 Eksperimen Konfirmasi	27
2.9.10 Pengujian Hipotesis Beda Dua Rata-rata	28
2.10 Penelitian Terdahulu	29
2.11 Hipotesa	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Metode Pengumpulan Data	32
3.2 Sumber Data	33
3.3 Tempat dan Waktu	33
3.4 Alat dan Bahan	33
3.5 Metode Pengambilan Sampel dan Pengujian Kuat Tekan (Mpa)	34
3.6 Rancangan Eksperimen	35
3.7 Langkah Penelitian	35
3.8 Diagram Alir Penelitian	39
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Tahap Perencanaan Eksperimen	40
4.1.1 Pengujian Kuat Tekan Paving Block Kondisi Aktual	40
4.1.2 Penetapan Karakteristik Kualitas	42
4.1.3 Identifikasi dan Penetapan Faktor Berpengaruh	42
4.1.4 Penetapan Level Faktor Berpengaruh	43
4.1.5 Penetapan Orthogonal Array dan Jumlah Spesimen	44
4.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen	45
4.2.1 Pembuatan Spesimen Uji Paving block Eksperimen Taguchi	45
4.2.2 Pengujian Kuat Tekan Paving Block Eksperimen Taguchi	46
4.3 Tahap Analisis Hasil Eksperimen	47
4.3.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen	47
4.3.1.1 Perhitungan Rata-rata dan SNR Eksperimen Taguchi	47
4.3.1.2 Perhitungan Anova Nilai Rata-rata Eksperimen Taguchi	49
4.3.1.3 Perhitungan Anova Nilai SNR	53
4.3.2 Penentuan Setting Level Optimal	57

4.3.3. Prediksi Kondisi Optimum.....	58
4.4 Tahap Verifikasi	60
4.4.1 Eksperimen Konfirmasi.....	60
4.4.1.1 Pengujian Kuat Tekan Eksperimen Konfirmasi	60
4.4.1.2 Perhitungan Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi	62
4.4.1.3 Analisis Selang Kepercayaan Kondisi Optimal dan Konfirmasi	62
4.4.2 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfirmasi	63
4.4.3 Perhitungan Quality Loss Function.....	65
4.4.3.1 Perhitungan Quality Loss Function untuk Perusahaan	65
4.4.3.2 Perhitungan Quality Loss Function untuk Konsumen.....	68
BAB V PENUTUP	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

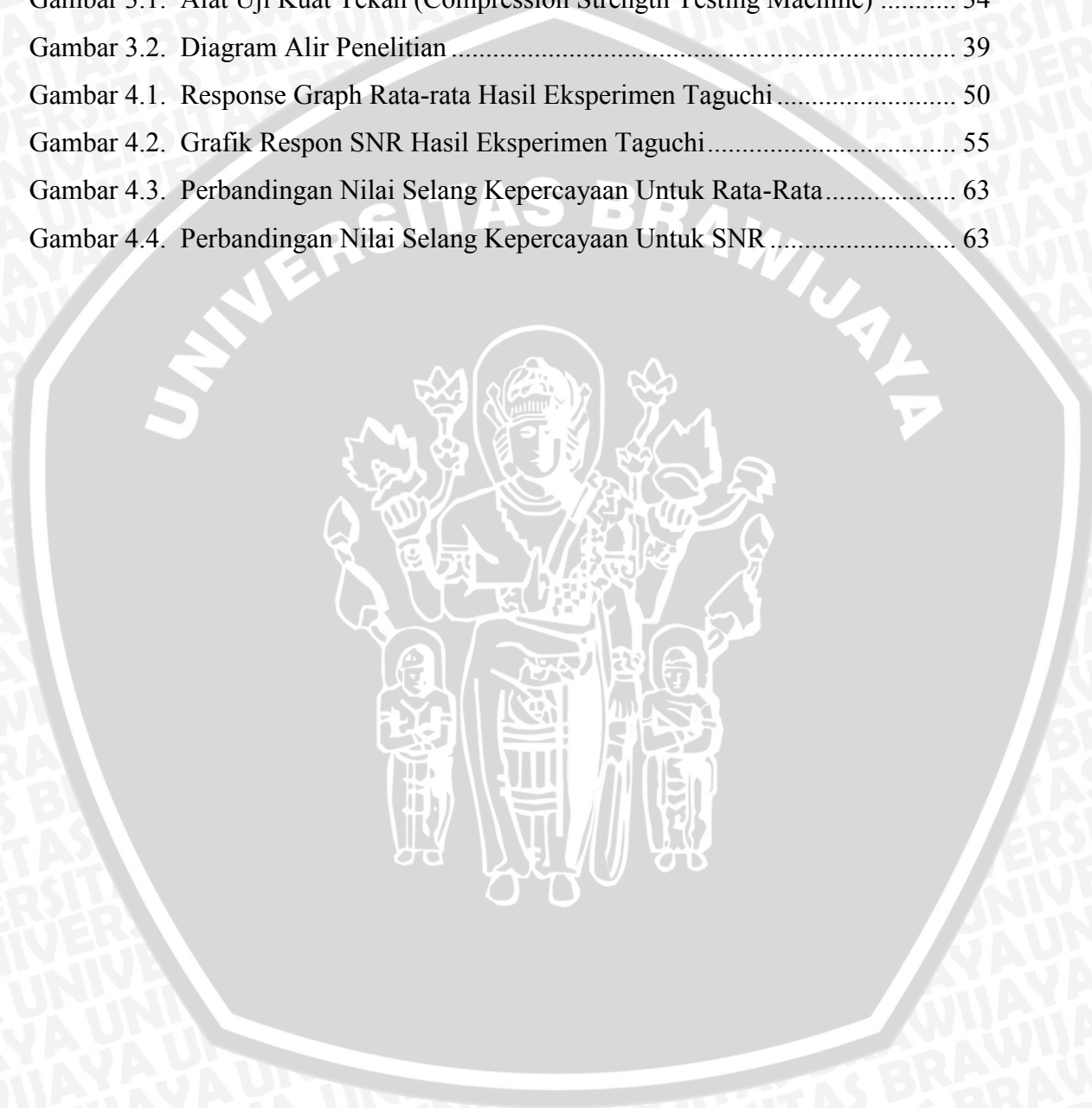
No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1.	Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block Type K-200 Pada Tahun 2010	2
Tabel 2.1.	Persyaratan Mutu Setiap Jenis Paving Block Menurut SNI 03-0691-1996.....	7
Tabel 2.2.	Nilai Faktor Koreksi	8
Tabel 2.3.	Prosentase Agregat dalam Campuran Beton	11
Tabel 2.4.	Daftar Harga Bahan Baku Pembuatan Spesimen Uji Paving Block	12
Tabel 2.5.	Contoh Matrik Orthogonal Array $L_8(2^7)$	19
Tabel 2.6.	Klasifikasi Karakteristik Kualitas	20
Tabel 2.7.	Contoh Tabel Respon	25
Tabel 2.8.	Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Eksperimen Taguchi	28
Tabel 2.9.	Perbedaan Penelitian ini dan Penelitian Terdahulu	31
Tabel 3.1.	Contoh Tabel Rancangan Eksperimen.....	35
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving block Kondisi Aktual.....	40
Tabel 4.2.	Penugasan Level Faktor Berpengaruh.....	44
Tabel 4.3.	Orthogonal Array $L_9(3^4)$	44
Tabel 4.4.	Contoh Perhitungan Berat (kg) Bahan Baku pada Eksperimen ke-4	46
Tabel 4.5.	Hasil Uji Kuat Tekan Paving block Eksperimen Taguchi	47
Tabel 4.6.	Perhitungan Nilai Rata-Rata dan SNR Eksperimen Taguchi	48
Tabel 4.7.	Tabel Respon Untuk Nilai Rata-Rata Eksperimen Taguchi	50
Tabel 4.8.	Analysis Of Variance Nilai Rata-Rata (Mean) Eksperimen Taguchi Sebelum Pooling Up	52
Tabel 4.9.	Analysis Of Variance Nilai Rata-Rata (Mean) Eksperimen Taguchi Setelah Pooling Up	53
Tabel 4.10.	Tabel Respon untuk nilai SNR eksperimen Taguchi.....	54
Tabel 4.11.	Analysis Of Variance Nilai Signal To Noise Ratio	56
Tabel 4.12.	Penentuan Setting Level Factor Optimal.....	57
Tabel 4.13.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Paving Block Eksperimen Konfirmasi	60
Tabel 4.14.	Perbandingan Kondisi Aktual dengan Eksperimen Konfirmasi	63
Tabel 4.15.	Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Perhitungan	

Quality Loss Function Kondisi Aktual dan Kondisi Optimal.....	65
Tabel 4.16. Perhitungan Nilai A_0 Aktual.....	66
Tabel 4.17. Kebutuhan Bahan Baku Berdasarkan Setting Level Optimal.....	67
Tabel 4.18. Perhitungan Nilai A_0 Optimal.....	67
Tabel 4.19. Nilai Quality Loss Function Perusahaan	68
Tabel 4.20. Nilai Quality Loss Function Konsumen	69



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Grafik Ilustrasi Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Perkembangan Kekuatan Beton.....	10
Gambar 3.1.	Alat Uji Kuat Tekan (Compression Strength Testing Machine)	34
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1.	Response Graph Rata-rata Hasil Eksperimen Taguchi	50
Gambar 4.2.	Grafik Respon SNR Hasil Eksperimen Taguchi	55
Gambar 4.3.	Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Untuk Rata-Rata	63
Gambar 4.4.	Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Untuk SNR	63



RINGKASAN

Feri Guna Wiyono, Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2012. *Penentuan Setting level Optimal Kuat Tekan Paving block Berbahan Tambahan Alternatif Fly ash Dengan Rekayasa Kualitas Taguchi (Studi Kasus di CV. Berlian Sejahtera)*, Dosen Pembimbing: Nasir Widha Setyanto dan Arif Rahman

Kuat tekan (Mpa) merupakan salah satu parameter utama kualitas *paving block*. *Fly ash* merupakan material yang mempunyai sifat pozzolan, dengan harga yang murah dan jumlah bahan yang melimpah, *fly ash* bisa dijadikan salah satu bahan tambahan alternatif dalam membuat *paving block*. CV Berlian Sejahtera merupakan salah satu produsen *paving block* untuk type K-200 dengan persyaratan mutu kuat tekan *paving block* adalah sebesar 17,0-20,0 Mpa. Selama ini perusahaan selalu berupaya meningkatkan karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block*, namun saat ini kuat tekan *paving block* belum mampu mencapai nilai yang optimal. Selain itu, biaya material semakin meningkat seiring upaya perbaikan kualitas yang dilakukan perusahaan. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan penerapan rekayasa kualitas dengan metode Taguchi untuk meningkatkan kualitas *paving block* dan penggunaan bahan tambahan alternatif *fly ash* untuk mengurangi biaya material yang dikeluarkan.

Penelitian ini menerapkan langkah-langkah metode eksperimen Taguchi dengan karakteristik kualitas adalah kuat tekan (Mpa) *paving block* berdasarkan standar pengujian *British Standard Institution BS 6717:1:1993*. Faktor yang diduga berpengaruh terhadap kuat tekan (Mpa) *paving block* adalah rasio berat agregat:air semen, faktor air semen (fas), rasio berat semen:fly ash, dan rasio berat pasir:kerikil. Matrik *ortogonal array* yang digunakan adalah $L_9(3^4)$ dengan 3 kali replikasi. Pengolahan data menggunakan dua analisis variansi (Anova) untuk menentukan *setting level* optimal, terdiri dari *analysis of mean* dan *analysis of signal to noise ratio* (SNR), kemudian dilakukan eksperimen konfirmasi untuk menguji nilai prediksi *setting level* faktor pada kondisi optimal.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa semua faktor berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan *paving block*, namun faktor semen:fly ash memiliki pengaruh yang paling kecil dibanding dengan faktor yang lainnya. *Setting level* optimalnya yaitu rasio agregat:air semen (80%:20%) dan faktor air semen (45%:55%). Hasil eksperimen konfirmasi didapatkan nilai rata-rata 19,406 Mpa. Perhitungan selang kepercayaan diperoleh bahwa *setting level* optimal dapat diterima. Hasil uji hipotesis dua rata-rata antara kondisi aktual dengan eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa kuat tekan *paving block setting level* optimal berbeda signifikan terhadap kondisi aktual. Hasil perhitungan *quality loss function* untuk perusahaan pada kondisi sebenarnya sebesar Rp. 499,05625,- dan nilai *quality loss function* untuk kondisi optimal sebesar Rp. 374,02452,- sehingga penghematan perusahaan sebesar Rp. 125.03173,-. *Quality loss function* konsumen sebelum optimasi sebesar Rp 1152,93474 dan nilai *quality loss function* setelah *setting level* optimal diterapkan pada proses sebenarnya sebesar Rp. 866,45969 sehingga penghematan yang dapat dilakukan mencapai Rp 286,47505 per produk

Kata Kunci : Kuat Tekan (Mpa), *Paving block*, metode Taguchi, *Fly ash*

SUMMARY

Feri Guna Wiyono, Departement of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, August 2012. *Determination Optimum Setting Level Of The Paving Block's Compressive Strength by Adding Fly ash Material and The Using Of Taguchi Method. (Case Study: CV. Berlian Sejahtera)*, Academic Supervisors: Nasir Widha Setyanto and Arif Rahman

Compressive strength (MPa) is one of the main quality parameters of paving block. *Fly ash* is a material that has pozzolan characteristic, such as a low prices and abundant material, *fly ash* can be used as an additional material alternative to make paving block. CV. Berlian Sejahtera is one of paving block manufacturing company with its K-200 type product and it has product quality requirements of paving block's compressive strength is 17.0 to 20.0 MPa. For this long terms, the company always try to improve the quality of the paving block's compressive strength, but still, it has not show an optimum result of value. Beside that, the costs of material using keep increasing simultaneously with the company's efforts of quality improvement. Based on these problems, it necessary to apply a quality engineering process by using Taguchi method to improve the quality of paving block and the using of an additional material alternative such as *fly ash* to reduce the cost of material using.

This study apply the Taguchi experimental method which has quality characteristics such as the paving block's compressive strength (MPa), according to the measurement of British Standard Institution BS 6717:1:1993. Other Factors suspected strongly affect the paving block's compressive strength (MPa) is the proportion between weight ratio of aggregate:cement water, water cement factor (wcf), the weight ratio of cement:*fly ash*, and the weight ratio of sand:gravel. $L_9(3^4)$ orthogonal array matrix is used on this experiment with 3 times replication. The data processing is using two analysis of variance (ANOVA) to determine the optimum setting level, consist of analysis of mean and the signal to noise ratio (SNR), then performed a confirmation experiment to test the predictive value of factors in optimum setting level.

The results of data processing indicates that all of these factors significantly affect the compressive strength of paving blocks, but the proportion factor of cement:*fly ash* has the smallest effect compared with other factors. The optimum setting level is when the ratio of the aggregate:cement water is (80%: 20%) and cement water factor is (45%: 55%). The confirmation experiment results indicates that the average value of paving block's compressive strength is 19.406 MPa. The measurement of confidence intervals indicated that the optimum setting level is acceptable. The mean hypothesis result of two mean actual conditions compare to confirmation experiment indicates that the compressive strength of paving blocks in optimum setting level differ significant to actual conditions. The results of quality loss function calculation for company at actual conditions is Rp. 499.05625,-, and the quality loss function for the optimum conditions is Rp. 374.02452,-, thus the company saving amount would be Rp.125.03173,-. While quality loss function of consumers before optimizing is Rp.1152.93474,- and the quality loss function after the optimum setting level applied is Rp.866.45969,-, so the savings which can be achieved is up to Rp 286.47505 per product.

Keywords : Compressive strength (Mpa), Paving blocks, Taguchi methods, *Fly ash*

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian ini, serta diuraikan batasan masalah dan asumsi yang digunakan untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar lebih terfokus.

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, penggunaan *paving block* untuk pengerasan jalan lingkungan perumahan, tempat parkir, taman dan sebagainya semakin meluas. Hal ini membuat setiap produsen *paving block* dituntut untuk selalu menghasilkan produk *paving block* yang berkualitas dengan harga yang terjangkau oleh konsumen. Selain dapat memenuhi harapan dan keinginan konsumen, upaya ini terus dilakukan agar produk *paving block* yang dihasilkan oleh setiap produsen dapat bersaing dengan produk sejenis di pasaran

CV. Berlian Sejahtera Kediri adalah perusahaan yang bergerak di bidang perencanaan dan pelaksana teknik bangunan, teknik lingkungan, teknik listrik serta perdagangan umum. Salah satu usaha yang dijalankan oleh CV. Berlian Sejahtera adalah produksi *paving block*. *Paving block* yang diproduksi oleh perusahaan yaitu type K-200 atau *paving block* jenis B. salah satu parameter kualitas *paving block* adalah kuat tekan (Mpa). Berdasarkan SNI 03-0691-1996 bahwa persyaratan kualitas *paving block* untuk type K-200 atau jenis B harus memiliki kuat tekan sebesar 17 - 20 Mpa..

Untuk memenuhi keinginan dan harapan konsumen terhadap produk *paving block* yang berkualitas, perusahaan selalu berupaya meningkatkan karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* secara terus menerus. Namun demikian, permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan saat ini adalah kuat tekan *paving block* belum mampu mencapai nilai yang optimal sesuai yang diharapkan. Selain itu, biaya material yang terus meningkat seiring dengan upaya peningkatan kualitas produk yang dilakukan oleh perusahaan, sehingga hal ini berdampak pada meningkatnya biaya produksi yang dikeluarkan perusahaan. Berikut adalah data hasil pengujian kuat tekan *paving block* yang pernah dilakukan oleh perusahaan pada tahun 2010.

Tabel 1.1. Data Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Type K-200 Pada Tahun 2010

No.Pengamatan	Kuat Tekan		No.Pengamatan	Kuat Tekan	
	Mpa	Kg/Cm ²		Mpa	Kg/Cm ²
1	17.12	171.2	11	17.22	172.2
2	17.25	172.5	12	17.19	171.9
3	17.07	170.7	13	17.11	171.1
4	17.13	171.3	14	16.92	169.2
5	16.98	169.8	15	17.01	170.1
6	17.24	172.4	16	17.23	172.3
7	16.93	169.3	17	17.18	171.8
8	16.99	169.9	18	17.14	171.4
9	17.28	172.8	19	16.99	169.9
10	17.04	170.4	20	17.14	171.4

Sumber: CV. Berlian Sejahtera (2010)

Tabel 1.1. di atas, menjelaskan bahwa hasil pengujian kuat tekan *paving block* untuk type K-200 yang pernah dilakukan perusahaan pada tahun 2010, menunjukkan nilai kuat tekan *paving block* masih belum mencapai nilai yang optimal yang diharapkan yaitu 200 kg/cm² atau 20 Mpa. Berdasarkan hasil studi lapangan bahwa perhitungan komposisi bahan baku *paving block* yang kurang tepat bisa menjadi alasan mengapa kuat tekan *paving block* belum mencapai nilai yang diharapkan. Sedangkan, peningkatan biaya produksi bisa disebabkan oleh penggunaan bahan utama semen portland dalam komposisi pembuatan *paving block* yang terus di tambah. Penambahan jumlah semen portland dalam komposisi pembuatan *paving block* memang dapat meningkatkan karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block*, namun mengingat harga semen portland yang cukup mahal, maka hal ini menyebabkan peningkatan pada biaya material yang dikeluarkan perusahaan sehingga biaya produksi terus meningkat. Apabila kondisi ini tetap terjadi, maka perusahaan akan menanggung kerugian kualitas maupun biaya yang semakin besar. Selain itu, produk yang dihasilkan perusahaan kurang bisa bersaing dengan produk sejenis, karena kualitas produknya kurang optimal, dan masyarakat sebagai pihak konsumen secara tidak langsung juga akan merasa dirugikan, apabila produk yang kualitasnya kurang bagus tersebut sampai ke tangan konsumen.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas, perlu dilakukan suatu penelitian yang bertujuan memberikan solusi terbaik dalam upaya peningkatan kualitas *paving block*. Peningkatan karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* dapat dilakukan

dengan memperhatikan perhitungan komposisi bahan baku pembuatan *paving block* yang tepat. Dengan menerapkan metode eksperimen taguchi yang merupakan bagian dari rekayasa kualitas yang bertujuan menghasilkan suatu produk dengan kualitas tinggi dengan cara melakukan perbaikan kualitas secara terus-menerus (Belavendram, 1995), bisa menjadi solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan perusahaan tersebut.

Penggunaan bahan baku tambahan alternatif dapat dilakukan dengan menggunakan bahan baku yang banyak tersedia dengan harga yang murah. Dengan tidak mengurangi kualitas *paving block* diharapkan penggunaan bahan baku alternatif ini dapat menghemat penggunaan material penyusun utama *paving block* yaitu semen portland yang harganya cukup mahal, sehingga biaya material yang dikeluarkan dapat dikurangi. Bahan tambahan alternatif yang bisa digunakan salah satunya adalah *Fly ash*. *Fly ash* adalah material berupa butiran halus ringan, bundar, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolan, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperature normal dengan adanya air. *Fly ash* dianggap sebagai bahan tambah alternatif yang tepat dalam pembuatan *paving block* yang dapat mengurangi penggunaan semen dengan tanpa mengurangi kualitas *paving block*.

Oleh sebab itu, melalui rekayasa kualitas taguchi, eksperimen yang dilakukan terhadap faktor-faktor yang berpengaruh diharapkan mampu menghasilkan *setting level* faktor yang optimal sehingga kuat tekan dari produk *paving block* dapat ditingkatkan. Penggunaan bahan tambahan alternatif *fly ash* sebagai salah satu bahan tambahan alternatif dalam pembuatan *paving block*, diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen portland dengan tanpa mengurangi kualitas *paving block* itu sendiri sehingga biaya material yang dikeluarkan oleh perusahaan diharapkan akan semakin murah.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi bahwa permasalahan yang sedang dihadapi oleh perusahaan adalah karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* belum mencapai nilai yang optimal sesuai harapan perusahaan dan biaya material pembuatan *paving block* yang terus meningkat seiring dengan upaya peningkatan kualitas yang dilakukan perusahaan selama ini, sehingga diperlukan suatu solusi dan metode yang tepat untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan masalah yang menjadi fokus permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Apakah penambahan *fly ash* dalam komposisi pembuatan *paving block* mempengaruhi karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* ?
2. Faktor-faktor apa saja yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* ?
3. Bagaimana menentukan *setting level* optimal dari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block* menggunakan rekayasa kualitas taguchi ?
4. Bagaimana perbandingan *quality loss function* untuk perusahaan dan konsumen pada kondisi aktual dan kondisi optimal dengan adanya penambahan *fly ash* ?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukanya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* dalam komposisi pembuatan *paving block*.
2. Menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block*.
3. Menentukan *setting level* terbaik dari faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block*.
4. Menentukan perbandingan *quality loss function* untuk perusahaan dan konsumen pada kondisi aktual dan kondisi optimal dengan adanya penambahan *fly ash*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi terbaik bagi CV. Berlian Sejahtera dalam mengatasi permasalahan yang sedang di hadapi.
2. Mengembangkan pemanfaatan limbah abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan tambahan alternatif pada komposisi pembuatan *paving block*.
3. Mendapatkan produk *paving block* yang memiliki kuat tekan optimal dengan biaya material yang murah.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar lebih terfokus, batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* yang dituju adalah *larger the better*
2. *Paving block* yang menjadi objek dalam penelitian adalah *paving block* mutu K-200 atau jenis B.
3. Tidak membahas secara detail sifat fisik dan sifat kimia sebelum atau sesudah proses pembuatan *paving block*.
4. Metode pengambilan sampel dan pengujian kuat tekan *paving block* mengacu pada *British Standar Institution- BS 6717-1:1993*
5. Dalam penelitian ini hanya akan mengikutsertakan faktor-faktor berpengaruh terkendali.
6. Tidak membahas masalah biaya selain biaya material dan biaya-biaya untuk menghitung *quality loss function*.

1.7 Asumsi

Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Sampel uji (*paving block*) mewakili keadaan sebenarnya di perusahaan
2. Umur sampel uji (*paving block*) diasumsikan sama.
3. Harga bahan baku *paving block* mengikuti harga yang digunakan oleh perusahaan.
4. Taraf nyata (α) ditentukan sebesar 5%.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menguraikan beberapa teori yang mendukung dalam penelitian ini, teori-teori yang diuraikan hanya yang berkaitan dengan pokok permasalahan yang di bahas sehingga perhitungan, analisis dan pembahasan dapat dilakukan secara teoritis dan benar. Uraian lebih lengkap akan dijelaskan dalam subbab berikut.

2.1 Paving Block

Paving block adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis atau sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu (SNI 03-0691-1996).

Paving block yang banyak ditemui di pasaran memiliki berbagai macam bentuk dan dimensi. Pada umumnya *paving* di buat dengan panjang 200 – 250 mm, lebar 100 – 112 mm dan ketebalan berkisar antara 60, 80, 100, 120 mm, dan seterusnya. Pada dasarnya terdapat beberapa bentuk *paving block*, yaitu *horizontally interlocking blocks*, *verrically interlocking blocks* dan *grass stones and grids*. Namun yang sering digunakan di pasaran adalah tipe *horizontally interlocking blocks*, karena bentuk dan dimensinya yang relatif sederhana dan murah untuk produksi serta mudah dalam pemasangannya.

2.1.1 Persyaratan Mutu

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 klasifikasi *paving block* (bata beton) dibedakan menurut kelas penggunaanya sebagai berikut :

1. Bata beton jenis A : digunakan untuk jalan
2. Bata beton jenis B : digunakan untuk pelataran parkir
3. Bata beton jenis C : digunakan untuk pejalan kaki
4. Bata beton jenis D : digunakan untuk taman dan pengguna lain

Persyaratan mutu untuk masing-masing jenis dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Persyaratan Mutu Setiap Jenis Paving Block Menurut SNI 03-0691-1996

Jenis	Kuat Tekan (Mpa)		Penyerapan air rata-rata maks
	Rata-rata	Minimum	
A	40	35	3
B	20	17	6
C	15	12,5	8
D	10	8,5	10

Sumber: SNI 03-0691-1996

Keterangan : MPa = mega pascal, 1 MPa = 10 kg/cm²

2.1.2 Uji Kuat Tekan Paving block Berdasarkan BS 6717 - 1 : 1993

Kualitas *paving block* menurut BS 6717-1:1993 ditentukan berdasarkan uji kuat tekan (N/mm²). Pengujian kuat tekan yang dilakukan sama dengan pengujian kuat tekan beton pada umumnya. Prosedur pengujian kuat tekan *paving block* menggunakan *compression testing machine* berdasarkan BS 6717-1:1993 sebagai berikut:

1. Ukur dimensi dari *paving block* dan hitung luas penampangnya, kemudian simpan dalam air selama 24 ± 4 jam. Fungsi dari penyimpanan atau perendaman ke dalam air ini adalah agar saat diuji suhu *paving block* berada pada kisaran 20 ± 5 °C.
2. Sebelum melakukan pengujian, pastikan *compression testing machine* dalam keadaan baik dan bersih dari kotoran.
3. Lapiasi masing – masing *paving block* yang akan di uji dengan *plywood* pada kedua sisi atas dan bawah.
4. Letakkan *paving block* dengan posisi horizontal pada dasar mesin sedemikian rupa posisinya menjadi sejajar.
5. Berikan beban ke *paving block* dengan tanpa ada getaran dan naikan beban secara bertahap atau kontinyu pada besaran 15 ± 3 N sampai *paving block* tidak mampu menahan beban yang diberikan atau sampai *paving block* hancur.
6. Catat beban maksimum yang diberikan ke *paving block*.

Untuk menghitung kuat tekan (*compressive strength*) *paving block* berdasarkan *British Standard 6717 – 1 :1993* dapat digunakan persamaan berikut:

$$\text{Compressive strength} = \frac{\text{The maximum load}}{\text{the plan area}} \cdot \text{appropriate factor} \quad (2-1)$$

Dimana,

Compressive Strength = Kuat Tekan dengan satuan (N/mm²)

The Maximum Load = Beban maksimum dengan satuan (N)

The Plan Area = Luas Penampang (mm²)

Appropriate faktor = Faktor Koreksi

1 N/mm² = 1 MPa

1 Mpa = 10 kg/cm²

Tabel 2.2. Nilai Faktor Koreksi

Tebal (mm)	Blok Datar	Blok Chamfer
60 atau 65	1.00	1.06
80	1.12	1.18
100	1.18	1.24

Sumber : BS 6717-1:1993

2.2. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling terak semen portland yang terdiri dari kalsium silikat hidrat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Unsur yang terkandung dalam semen portland adalah kapur (CaO), alumunia (Al₂O₃), silica (SiO₂), besi dan lain - lainnya. Kandungan silica dan alumunia yang terkandung dalam semen portland jika bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras.

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton dan merupakan semen hidrolik. Menurut (SNI 15-2049-1994). Semen portland diklasifikasikan dalam lima jenis, yaitu :

1. Jenis I : Semen portland yang tidak memerlukan persyaratan khusus,
2. Jenis II : Semen portland yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalori hidrasi sedang,
3. Jenis III : Semen portland yang memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi,
4. Jenis IV : Semen portland yang memerlukan kalori hidrasi rendah, dan
5. Jenis V : Semen portland yang memerlukan kalori hidrasi tinggi terhadap sulfat.

Semen portland yang banyak digunakan oleh masyarakat sebagai bahan campuran beton adalah semen portland jenis I. keunggulan dari semen portland jenis I

ini adalah dapat meningkatkan kekuatan dan mengeras melalui suatu reaksi kimia dengan air yang disebut proses hidrasi.

2.3 Air

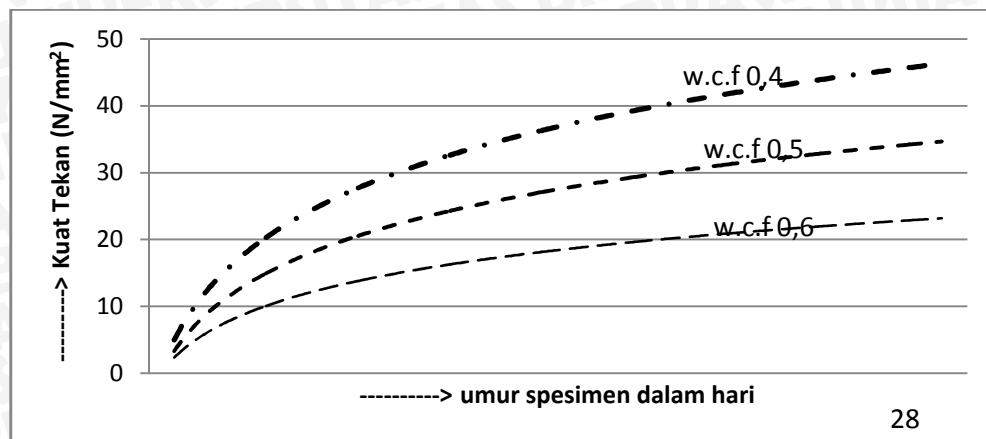
Air diperlukan pada pembuatan *paving block* (bata beton) untuk memicu proses kimiawi semen, proses ini pada umumnya disebut reaksi hidrasi yaitu proses pengikatan semen oleh air berdasarkan reaksi kimiawi tertentu. Karena pengerasan beton berdasarkan reaksi antara semen dan air, maka sangat diperlukan agar memeriksa apakah air yang akan digunakan memenuhi syarat-syarat tertentu. Air yang dapat diminum pada umumnya dapat digunakan sebagai campuran dalam pembuatan *paving block* atau beton sejenisnya. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran pembuatan beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Tri Mulyono, 2004).

Agar proses hidrasi bisa terjadi secara sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai perbandingan air dan semen (*water cement ratio*) 0,4 – 0,6 tergantung mutu beton yang akan dicapai. Semakin tinggi mutu beton yang ingin dicapai umumnya menggunakan nilai perbandingan air dan semen rendah (istimawan, 1999).

2.4 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen atau *water cemen factor* (w.c.f) adalah perbandingan antara berat air terhadap semen dalam campuran, jumlah air tidak termasuk terserap dalam agregat. Hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton pertama dipelajari oleh Abrams (1919) yang menyatakan bahwa pada bahan-bahan dan keadaan pengujian tertentu, jumlah campuran air yang dipakai menentukan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan. Hukum tersebut memberikan arti, bahwa beton yang dipadatkan sempurna dengan agregat yang baik dan pada kadar semen tertentu, kekuatannya tergantung pada faktor air semen. Dengan demikian, semakin besar air semen (FAS) semakin rendah kuat tekan beton dan sebaliknya.

Untuk menghasilkan campuran adukan beton yang baik untuk dicor dan mudah dikerjakan, maka rasio berat air terhadap semen berkisar antara 0,4 – 0,7. Selain faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu : pemadatan, jenis dan kualitas semen, jenis agregat dan gradasinya, perawatan suhu dan umur beton.



Gambar 2.1. Grafik Ilustrasi Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Perkembangan Kekuatan Beton

Sumber: Sagel *et al* (1997:148).

2.5 Agregat

Agregat adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat semen. Agregat yang umum dipakai adalah pasir, kerikil dan batu-batu pecah. Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Jika ukuran agregat $< 4,75$ mm disebut agregat halus atau pasir, agregat halus ini bisa diperoleh dari sungai atau danau. Jika ukuran agregat $> 4,75$ mm disebut agregat kasar (kerikil/batu pecah), ukuran maksimum agregat kasar bisa mencapai 200 mm, namun pada pengerjaan beton pada umumnya, ukuran maksimum agregat kasar dibatasi hanya sampai 40 mm (Indra cahya, 1984). Tabel 2.3. berikut ini menjelaskan prosentase (%) jumlah agregat yang umumnya digunakan dalam membuat campuran beton.

Tabel 2.3. Prosentase Agregat dalam Campuran Beton

UKURAN AGREGAT (mm)	KOMPOSISI (%)
0 - 4.75	50
4.75 - 9.50	15
9.5 - 19.0	35

Sumber: Wahyu kartini (2008)

Karena fungsi agregat sebagai bahan pengisi utama dalam campuran beton, maka umumnya prosentase jumlahnya selalu lebih banyak. Pemilihan agregat yang tepat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton, karena agregat juga akan mempengaruhi kekuatan beton yang akan dibuat.

2.6 Fly Ash

Fly ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk haslus, bundar dan bersifat pozzolan (SNI 03 – 6863-2002). Sifat pozzolan yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperature normal dengan adanya air. Saat ini *fly ash* banyak dipakai untuk campuran beton, mengingat *fly ash* mengandung bahan pozzolan yaitu silica dan alumina serta sedikit unsur kalsium. Dengan penggunaan *fly ash* sebanyak 20 – 30 % dari berat semen akan dapat meningkatkan kuat tekan beton (andoyo, 2006). Dengan mengurangi penggunaan semen artinya biaya material beton dapat dikurangi.

Andoyo (2006), menyebutkan spesifikasi *fly ash* sebagai bahan tambah campuran beton di bedakan menjadi 3 jenis *fly ash*, yaitu :

1. *Fly ash* jenis N, yaitu *fly ash* hasil kalsinasi dari pozzolan alam, misalnya tanah *diatomite*, *shole*, *tuft*, dan batu apung.
2. *Fly ash* jenis F, yaitu *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit pada suhu kurang lebih 1560°C.
3. *Fly ash* jenis C, yaitu *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran lignit/batubara dengan kadar karbon sekitar 60%, *fly ash* jenis ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10%.

2.7 Harga Bahan Baku Pembuatan Spesimen Uji Paving Block

Harga bahan baku nantinya akan terkait dengan biaya material yang akan dikeluarkan dan berpengaruh dalam perhitungan besarnya *quality loss function*. Harga-harga bahan baku yang akan digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini, mengikuti harga yang biasa digunakan CV. Berlian Sejahtera dan sesuai dengan kondisi harga dipasaran. Berikut adalah daftar harga bahan baku pembuatan specimen uji *paving block*.

Tabel 2.4 Daftar Harga Bahan Baku Pembuatan Spesimen Uji Paving Block

No.	Nama Bahan	Satuan	Harga/satuan
1	Pasir	M ³	Rp. 85.000
2	Semen	40Kg/zak	Rp. 48.000
3	Kerikil	M ³	Rp. 125.000
4	Fly ash	30Kg/zak	Rp. 10.000 (CV.ZPJ Malang)

Sumber: CV. Berlian Sejahtera (2012)

Untuk keperluan konversi satuan dari m^3 ke satuan lain misal satuan Kg, maka perlu diketahui massa jenis dari masing-masing bahan yaitu Pasir (kering) 1600 Kg/m^3 , Kerikil dan Abu Batu 1800 Kg/m^3 .

Sedangkan harga jual produk setiap 44 *paving block* adalah Rp 49.500,- sehingga setiap 1 *paving block* harganya adalah Rp 1.125,-

2.8 Kualitas

Ada banyak sekali definisi dan pengertian kualitas dimana pada dasarnya pengertian kualitas yang satu hampir sama dengan pengertian lain. Menurut Dorothea (2004), beberapa ahli mendefinisikan kualitas sebagai berikut:

1. Juran (1962) "Kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya."
2. Crosby (1979) "Kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa mendatang."
3. Feigenbaum (1991) "Kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture, dan maintenance*, dalam mana produk dan jasa tersebut dalam pemakainya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan."
4. Scherkenbach (1991) "Kualitas ditentukan oleh pelanggan, pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut."
5. Elliot (1993) "Kualitas adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda dan tergantung pada waktu dan tempat, atau dikatakan sesuai dengan tujuan."
6. Goetch dan Davis (1995) "Kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan."

2.9 Rekayasa Kualitas Taguchi

Rekayasa kualitas adalah proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Kerangka dasar dari rekayasa kualitas merupakan suatu hubungan antara dua disiplin ilmu yaitu teknik perancangan dan manufaktur, dimana mencakup seluruh aktifitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses, perancangan produksi, dan kepuasan konsumen.

2.9.1 Metode Taguchi

Ide atau gagasan dari Dr. Genichi Taguchi mengenai *quality engineering* atau rekayasa kualitas telah digunakan selama beberapa tahun di Jepang. Pada tahun 1980-an ide beliau mengenai desain eksperimen telah diperkenalkan di dunia Barat. Sasaran *quality engineering* atau rekayasa kualitas adalah merancang kualitas ke dalam tiap-tiap produk dan proses yang sesuai. Usaha peningkatan kualitas ini dikenal sebagai metode *off-line quality kontrol*.

Metode Taguchi merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya kualitas dan *resources* seminimal mungkin. Metode Taguchi sangat efektif dalam perbaikan/peningkatan kualitas dan juga mengurangi biaya. Rekayasa kualitas yang diusulkan oleh Taguchi bertujuan agar performansi produk/prosesnya tidak sensitif atau tangguh terhadap faktor yang sulit dikendalikan.

Filosofi metode Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimalkan deviasi dari target, produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Biaya Kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh tahapan setiap produk.

Kelebihan metode Taguchi dibandingkan dengan metode desain eksperimen lain, meliputi:

1. Metode Taguchi lebih efisien karena memungkinkan untuk melaksanakan percobaan yang melibatkan banyak faktor tetapi jumlah unit percobaan yang diperlukan relatif kecil.
2. Metode Taguchi memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk lebih konsisten dan kurang sensitif (*robust*) terhadap variabilitas yang disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan (*noise*). Hal ini disebabkan karena *robust design* memperhatikan pengaruh faktor kontrol dan faktor *noise* terhadap rata-rata dan variabilitas suatu performansi secara bersamaan.
3. Metode Taguchi menghasilkan kesimpulan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap suatu respon dan kesimpulan mengenai taraf-taraf faktor terbaik yang akan menghasilkan respon yang optimal.

Taguchi memperkenalkan sebuah metode perancangan terintegrasi yang dikenal sebagai tiga tahapan metode Taguchi sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem (*System Design*)

Tahapan ini bergantung pada fase produk selama siklus hidupnya. Sebagai contoh, selama fase penelitian, dan pengembangan, perancangan sistem meliputi pengembangan suatu prototipe dan penentuan material, *part*, komponen, dan sistem perakitan. Didalam fase rekayasa produksi, tercakup penentuan proses manufakturing.

2. Perancangan Parameter (*Parameter Design*)

Pada tahapan ini, akan dipilih tingkatan *level* (atau nilai) dari faktor-faktor yang dapat meminimumkan efek dari faktor-faktor gangguan terhadap karakteristik fungsional produk.

3. Perancangan Toleransi (*Tolerance Design*)

Tahapan ini dilaksanakan jika reduksi variasi dari karakteristik fungsional yang dicapai dengan dilaksanakannya perancangan parameter tidak mencukupi. Sehingga harus ditetapkan toleransi yang sempit untuk deviasi parameter rancangan yang berkaitan dengan tingkatan (*level*) yang telah ditentukan pada tahapan perancangan parameter.

Eksperimen menggunakan metode Taguchi, harus memperhatikan beberapa langkah yang merupakan kunci pokok keberhasilan eksperimen. Langkah-langkah desain eksperimen Taguchi sebagai berikut:

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Mendefinisikan dengan jelas permasalahan yang akan diteliti untuk kemudian dilakukan suatu upaya perbaikan/peningkatan kualitas

2. Penentuan tujuan penelitian

Dalam penentuan tujuan penelitian ini yaitu mengidentifikasi karakteristik kualitas dan tingkat performansi dari eksperimen

3. Menentukan metode pengukuran

Dalam menentukan metode pengukuran yaitu dengan menentukan bagaimanakah parameter-parameter yang di amati akan diukur dan bagaimana cara pengukurannya, serta peralatan yang dibutuhkan.

4. Identifikasi faktor

Yaitu dengan melakukan pendekatan yang sistematis guna menentukan penyebab terjadinya permasalahan.

5. Memisahkan faktor kontrol dan faktor *Noise*

Hal-hal yang harus diketahui untuk memulai langkah dalam desain parameter Taguchi, adalah jenis-jenis faktor yang mempengaruhi karakteristik proses atau produk. Taguchi membedakan faktor ke dalam dua golongan yaitu faktor kontrol dan faktor *noise*.

6. Menentukan *level* dari faktor dan nilai faktor

Pada penentuan *level* ini adalah untuk menentukan jumlah derajat kebebasan yang akan digunakan dalam pemilihan *Orthogonal Array*.

7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi

Suatu interaksi terjadi apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari *level* faktor lain. Dengan kata lain interaksi terjadi apabila kumpulan pengaruh dari dua atau lebih faktor berbeda dari jumlah masing-masing faktor secara individu. Adanya interaksi ini juga turut mempengaruhi jumlah derajat bebas.

8. Memilih *Orthogonal Array*

Pemilihan *Orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai *level* dari tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan jenis *Orthogonal Array* yang dipilih.

9. Pemasukan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom

10. Melakukan eksperimen

Dalam melakukan eksperimen ini sejumlah percobaan disusun untuk meminimasi kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun *level* yang tepat untuk percobaan.

11. Analisa hasil eksperimen

Dalam menganalisa hasil eksperimen dari Taguchi ini juga menggunakan metode Anova yaitu perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat terhadap rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat error. Beberapa hal yang dilakukan dalam analisa eksperimen yaitu:

a. Persen Kontribusi

Bagian dari total variasi yang menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi yang signifikan untuk mengurangi variasi pada metode Taguchi dinyatakan dalam persen kontribusi.

b. Rasio Signal terhadap *Noise* (*SNR Ratio*) atau *Signal to noise ratio*

Taguchi memperkenalkan pendekatan *SNR* guna meneliti pengaruh faktor *Noise* terhadap variasi yang timbul. Taguchi memperkenalkan transformasi dari pengulangan data kepada nilai yang lain yang mengukur variabilitas yang ada. *SNR* ratio menggabungkan beberapa pengulangan pada satu point data yang mencerminkan jumlah variasi yang ada.

12. Interpretasi hasil eksperimen

Yaitu mengevaluasi faktor mana yang berpengaruh dan tidak berpengaruh terhadap karakteristik kualitas yang dikehendaki.

13. Pemilihan *level* faktor untuk kondisi proses optimal

Apabila percobaan terdiri dari banyak faktor dan tiap-tiap faktor terdiri dari beberapa *level*, maka untuk menentukan kombinasi *level* yang optimal adalah dengan membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari *level-level* yang ada. Faktor dengan perbedaan rata-rata percobaan dari *level-level*nya besar, maka faktor tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan.

14. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal

setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *Orthogonal Array*, kita dapat memperkirakan rata-rata proses pada kondisi yang optimal. Hal ini didapat dengan menjumlahkan pengaruh dari ranking faktor yang lebih tinggi. pengaruh dari faktor yang signifikan adalah pengaruhnya pada ratarata eksperimen.

15. Menjalankan eksperimen konfirmasi.

Eksperimen konfirmasi dimaksudkan bahwa faktor dan *level* yang dimaksud memberikan hasil seperti yang diharapkan

2.9.2 Orthogonal Array

Orthogonal Array (OA) adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena *level-level* dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Jadi *Orthogonal Array* adalah matriks seimbang dari faktor dan *level* sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau *level* tidak baur (*confounded*) dengan pengaruh faktor dan *level* lain.

Dalam melaksanakan metode Taguchi dalam penelitian, penentuan *Orthogonal Array* sangatlah penting dan merupakan hal yang tidak dapat diabaikan. Karena *Orthogonal Array* merupakan suatu matrik pemetaan dari *level-level* masing-masing

faktor untuk mempermudah dalam melakukan pengamatan. Agar dapat menentukan *Orthogonal Array* yang sesuai dengan penelitian, maka perlu dilakukan prosedur sebagai berikut:

1. Definisikan jumlah faktor dan *level*-nya.

Pengamatan secara langsung terhadap parameter-parameter yang terdapat dalam suatu proses produksi atau suatu mesin produksi perlu dilakukan. Selain pengamatan secara langsung wawancara kepada pihak-pihak yang ahli dalam bidang tersebut diperlukan untuk menguatkan hasil pengamatan yang dilakukan. Dari parameter-parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan untuk tiap faktor yang ada, sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan.

2. Tentukan derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang mendeskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Untuk pemilihan *orthogonal array* yang sesuai untuk eksperimen ditentukan dengan cara membandingkan *total degrees of freedom level faktor* (v_{fl}) dengan *degrees of freedom orthogonal array* (v_{oa}). v_{oa} harus sama dengan atau lebih besar dari v_{fl} , secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$v_{oa} \geq v_{fl}$$

$$v_{oa} = \text{jumlah eksperimen} - 1$$

$$v_{fl} = \text{Jumlah faktor} \times (\text{jumlah level} - 1) \quad (2-2)$$

3. Memilih *Orthogonal Array*

Dalam memilih *orthogonal array* yang cocok atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari *orthogonal array* tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model *orthogonal array* adalah sebagai berikut:

$$L_a(b^c) \quad (2-3)$$

(Soejanto, 2008)

Dimana,

a = banyak eksperimen

b = banyak level

c = banyak faktor/kolom

Dengan *Orthogonal Array* akan dapat dikurangi perlakuan yang dilakukan sehingga akan mengurangi waktu dan biaya. *Orthogonal Array* telah menyediakan

berbagai matriks untuk pengujian faktor-faktor dengan dua taraf dan tiga taraf dengan kemungkinan pengembangan untuk pengujian lebih dari tiga taraf. Tabel 2.4. berikut ini adalah contoh matrik *orthogonal array* $L_8(2^7)$.

Tabel 2.5. Contoh Matrik *Orthogonal Array* $L_8(2^7)$

EKSPERIMEN	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Sumber: Belavendram (1995)

2.9.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas (variabel respon) adalah obyek yang menarik dari produk atau proses. Sebagai contoh keausan alat, keausan ban, kekuatan las, daya mesin, dan sebagainya. Karakteristik kualitas dapat dikelompokkan menurut nilai targetnya sebagai berikut:

1. *Nominal the best*

Karakteristik kualitas *nominal the best* adalah karakteristik terukur dengan nilai target yang ditentukan secara spesifik. Nilai tersebut dapat positif maupun negatif.

2. *Smaller the better*

Karakteristik kualitas *smaller the better* adalah karakteristik terukur non-negatif yang mempunyai kondisi ideal atau nilai target nol (0).

3. *Larger the better*

Karakteristik *larger the better* adalah karakteristik terukur non-negatif yang mempunyai kondisi ideal atau nilai target *infinite* (tak terbatas).

4. *Signed target,*

Karakteristik kualitas *signed target* adalah karakteristik terukur yang mempunyai kondisi ideal atau nilai target nol (0). Ini berbeda dengan *smaller the better* dimana karakteristik kualitas *signed target* dapat mempunyai nilai negatif.

5. *Classified attribute.*

Karakteristik kualitas *classified attribute* bukan merupakan variabel kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan menjadi skala diskrit. Karakteristik ini sering berdasarkan penilaian subyektif misalnya baik atau jelek.

Tabel 2.6. Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik	Target	Contoh
<i>Nominal the best</i>	Terpusat pada nilai tertentu	Voltage TV
<i>Smaller the better</i>	Sekecil mungkin (nol)	Keausan alat, kekasaran permukaan
<i>Larger the better</i>	Sebesar mungkin (~)	Kekuatan las, keiritan bahan baku
<i>Signed target</i>	Nol	Residual carrant
<i>Classified attribute</i>	-	Rendah, menengah, tinggi

Sumber: Soejanto (2008)

2.9.4 Klasifikasi Faktor

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (variabel respon) dari suatu produk dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Faktor *Noise*

Faktor *noise* adalah suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Faktor *noise* dapat menyebabkan pengaruh pada karakteristik secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Faktor *noise* biasanya sulit, mahal dan tidak menjaadi sasaran pengendalian, tetapi untuk tujuan eksperimen, mereka perlu dikendalikan dalam skala kecil

2. Faktor Kontrol

Faktor kontrol adalah parameter-parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut *level*. Pada akhir eksperimen, *level* yang sesuai dalam faktor terkendali akan dipilih.

Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi *level* optimal untuk faktor terkendali sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*

3. Faktor *Signal*

Faktor *signal* adalah faktor-faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor *signal* mempunyai nilai konstan (dalam hal ini tidak dimasukkan sebagai faktor) disebut karakteristik statis. Jika faktor *signal* dapat mengambil banyak signal, maka karakteristik mempunyai sifat dinamik. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan hasil yang diinginkan.

4. Faktor *Scaling*

Faktor *scaling* atau faktor skala adalah faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata *level* karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Faktor *scaling* disebut juga faktor penyesuaian.

Dalam menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dalam eksperimen beserta *setting level* ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1. *Faktor levels*, merupakan jumlah *level* atau atribut yang diberikan oleh faktor-faktor yang berpengaruh dalam eksperimen, baik faktor terkendali, faktor *noise*, faktor *signal*, atau faktor skala.
2. *Number of faktor levels*, jumlah *level* dan seting *level* yang dipilih tergantung pada sejauh mana kita mengetahui proses atau produk yang akan diteliti.
3. *Range of faktor levels*, semakin luas jarak yang digunakan dalam eksperimen, maka kemungkinan ditemukannya efek dari faktor yang ada dalam penentuan karakteristik kualitas akan semakin baik
4. *Feasibility of faktor levels*, dalam pemilihan *level* untuk tiap faktornya perlu mempertimbangkan apakah *level* yang dipilih memungkinkan atau dapat dijalankan dalam membuat kombinasi eksperimen.

2.9.5 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to noise ratio (SNR) adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik. Dalam hal ini SNR bertindak sebagai indikator mutu selama perancangan untuk mengevaluasi akibat perubahan suatu perancangan parameter tertentu terhadap unjuk kerja produk. Maksimasi ukuran performansi ditunjukkan dengan tingginya nilai *signal* dan rendahnya *noise*, karena itu karakteristik kualitas perlu dikelompokkan

terlebih dahulu agar diperoleh konsistensi dalam mengambil keputusan terhadap hasil eksperimen.

Signal to noise ratio (SNR) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon. Taguchi menciptakan transformasi dari pengulangan data ke nilai lain yang merupakan ukuran dari variasi yang ada. Transformasinya adalah *signal to noise ratio*. Perhitungan SNR yang dilakukan tergantung dari karakteristik kualitas yang dituju. Karakteristik kualitas adalah hasil dari proses yang berkaitan dengan kualitas. Soejanto (2008), menerangkan bahwa karakteristik dari *signal to noise ratio* sebagai berikut

1. *Nominal is The Best*

Merupakan karakteristik kualitas yang dapat diukur yang mempunyai nilai target yang secara spesifik telah ditentukan sebelumnya, nilainya dapat positif maupun negatif. Sebagai contoh suplai voltage output televisi berwarna dalam kasus Sony Amerika dan Sony Jepang. Targetnya adalah nilai nominal 115 ± 20 volt. Nilai SNR untuk *nominal is the best* adalah:

$$SNRR = 10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (2-4)$$

Dengan :

n = banyaknya ulangan dalam setiap eksperimen.

y = nilai pada setiap run

μ = rata-rata dari setiap run

σ^2 = deviasi dari setiap run

2. *Lower is Better* atau *Smaller the Better*

Merupakan karakteristik terkur non-negatif dengan nilai ideal nol. Karakteristik dimana nilai yang dituju adalah suatu nilai terkecil, artinya semakin kecil nilai yang dituju semakin baik. Sebagai contoh: jumlah produk cacat/gagal, pemborosan energi, kebisingan, limbah dan lain-lain. Nilai SNR untuk karakteristik kualitas *lower is better* adalah:

$$SNR = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right| \quad (2-5)$$

3. *Higher is Better* atau *larger the better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga, artinya semakin besar nilai yang dituju semakin baik. Sebagai contoh: kekuatan bangunan, ketahanan terhadap korosi, umur pemakaian produk, dan lainnya.

Nilai SNR untuk karakteristik kualitas *larger the better* adalah

$$SNR = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right| \quad (2-6)$$

4. *Signed target*

Karakteristik kualitas dapat positif atau negatif. Nilai target untuk karakteristik kualitas adalah nol. Jika tidak, nilai target dapat dibuat nol dengan memilih nilai referensi yang sesuai untuk karakteristik kualitas. Disini dapat diperoleh faktor penyesuaian yang dapat menggerakkan rata-rata (*mean*) tanpa mengubah simpangan baku. Fungsi obyektif yang akan dimaksimalkan dala hal ini sebagai berikut:

$$SNR = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right| \quad (2-7)$$

5. *Fraction defective*

Memiliki karakteristik kualitas yang sebanding dan dinyatakan dalam nilai pecahan antara 0 sampai 1. Sehingga *signal to noise ratio* dapat dihitung dengan rumus:

$$SNR = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{p} - 1 \right| \quad (2-8)$$

Dengan, p = nilai kecacatan produk dalam pecahan.

2.9.6 Fungsi Kerugian Kualitas (Quality Loss Function)

Tujuan dari fungsi kerugian kualitas (*quality loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan oleh adanya variasi. Belavendram (1995) menjelaskan, terdapat tiga tipe target karakteristik kualitas yaitu *nominal the best*, *smaller the best* dan *larger the better* sebagai berikut:

1. Fungsi kerugian *nominal the best*

Jika Y nilai-nilai karakteristik kualitas *nominal the best*, fungsi kerugian Y , ditulis $L(Y)$. $L(Y)$ dapat diuraikan menurut deret Taylor, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L(Y) &= k[\sigma^2 + (\bar{Y} - m)^2] \\ L(Y) &= \frac{A_0}{\Delta^2} [\sigma^2 + (\bar{Y} - m)^2] \end{aligned} \quad (2-9)$$

Dengan,

Y = nilai kerugian kualitas

$L(Y)$ = kerugian dalam (Rp) untuk tiap produk bila karakteristik kualitas sama dengan Y

m = nilai target dari Y

k = koefisien biaya

Δ = toleransi spesifikasi nilai karakteristik kualitas

A_0 = rata-rata biaya kerugian pada penyimpangan Δ

2. Fungsi kerugian *smaller the better*

Tipe karakteristik ini mempunyai target sama dengan 0, sehingga persamaan fungsi kerugian dengan $m = 0$, sehingga diperoleh:

$$L(Y) = k [\sigma^2 + \bar{Y}^2]$$

$$L(Y) = \frac{A_0}{\Delta^2} [\sigma^2 + \bar{Y}^2] \quad (2-10)$$

3. Fungsi kerugian *larger the better*

Tipe karakteristik ini mempunyai target dengan nilai tak terbatas, sehingga persamaan fungsi kerugian diperoleh:

$$L(Y) = k \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right|$$

$$L(Y) = A_0 \Delta^2 \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right| \quad (2-11)$$

Dengan,

$L(Y)$ = kerugian dalam (Rp) untuk tiap produk bila karakteristik kualitas sama dengan Y

μ = mean

σ = deviasi

Δ = toleransi spesifikasi nilai karakteristik kualitas

A_0 = rata-rata biaya kerugian pada penyimpangan Δ

2.9.7 Analysis of Variance (ANOVA)

Analisis variansi atau *analysis of variance* diperkenalkan pertama kali oleh Sir Ronald Fisher, ahli statistik dari Inggris. Analisis variansi adalah suatu metode yang membagi variansi menjadi sumber variansi yang dapat diidentifikasi dan merupakan pengumpulan derajat kebebasan dalam eksperimen. Analisis yang dilakukan memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap factor pada semua pengukuran respon.

Dalam perhitungan analisis variansi metode Taguchi langkah-langkah pengerjaannya sebagai berikut (Belavendram,1995):

1. Menghitung rata-rata respon setiap eksperimen dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{y} = \frac{\sum x}{n} \quad (2-12)$$

2. Menghitung rata-rata total seluruh eksperimen dengan rumus sebagai berikut:

$$\bar{Y} = \frac{\sum y}{n} \quad (2-13)$$

3. Membuat tabel respon, perbedaan dapat diketahui dengan cara melakukan pengurangan nilai tertinggi dengan nilai terendah dari tiap-tiap *level* kemudian diranking dari nilai tertinggi sampai nilai terendah kemudian dimasukkan dalam tabel respon seperti contoh pada tabel 2.7. dibawah ini.

Tabel 2.7 Contoh Tabel Respon

	A	B	C	D	E	F	G
Level 1							
Level 2							
Difference							
Renk							

Sumber: Belavendram (1995)

4. Menghitung *the total sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2 \quad (2-14)$$

5. Menghitung *the sum of squares due to the mean* dengan rumus sebagai berikut:

$$Sm = n \cdot \bar{y}^2 \quad (2-15)$$

6. Menghitung *the sum of squares due to the faktors* dengan rumus sebagai berikut:

$$S_i = (n_{i1} \cdot \bar{1}^2 + n_{i2} \cdot \bar{2}^2 + \dots + n_{ij} \cdot \bar{j}^2) - Sm \quad (2-16)$$

7. Menghitung *the sum of squares due to the error* dengan rumus sebagai berikut:

$$Se = ST - Sm - (SA + SB + \dots + S_i) \quad (2-17)$$

8. Menghitung *the mean sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$Mq_i = \frac{Sq_i}{v_i} \quad (2-18)$$

9. Menghitung *F-ratio* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_i = \frac{Mq_i}{Se} \quad (2-19)$$

10. Menghitung *pure sum of squares* dengan rumus sebagai berikut:

$$Si' = Si - (vi \cdot Ve) \quad (2-20)$$

11. Menghitung *percent contribution* dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho_i = \frac{Si'}{St} \cdot 100\% \quad (2-21)$$

12. Membuat tabel analisis variansi hasil perhitungan

2.9.8 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan atau selang kepercayaan adalah interval antara dua nilai statistik dengan tingkat probabilitas tertentu dimana nilai yang sebenarnya dari parameter berada didalamnya. Dalam perancangan kualitas suatu produk interval kepercayaan dibagi menjadi tiga macam ketentuan yaitu:

1. Interval kepercayaan untuk *level* faktor, untuk menghitung interval kepercayaan dari masing-masing faktor *level* digunakan rumus:

$$CI = \left| F_{\alpha, V1, V2} \cdot Ve \right| \frac{1}{n} \quad (2-22)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Sehingga interval kepercayaan untuk masing-masing *level* faktor dapat dihitung dengan rumus:

$$\overline{XY} - CI \leq \mu_{\overline{XY}} \leq \overline{XY} + CI \quad (2-23)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Dengan,

X = faktor ke-x

Y = *level* ke-y

2. Interval kepercayaan untuk prediksi, sehingga menghitung interval kepercayaan untuk prediksi. Sebagai contoh, apabila dalam suatu eksperimen terdapat tujuh faktor (A, B, C, D, E, F, G) dan faktor B, D, F merupakan faktor yang penting, pada saat kita ingin meminimasi variansi. Faktor *level* D_1 , B_1 , dan F_2 digunakan untuk menghitung *the predicted process mean* maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (D1 - \bar{y}) + (B1 - \bar{y}) + (F2 - \bar{y}) \quad (2-24)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Menghitung interval kepercayaan perkiraan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CI = \pm \left| F_{\alpha, v1, v2} \cdot Ve \right| \frac{1}{neff} \quad (2-25)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Dengan,

$F_{\alpha, v1, v2}$ = tabel F rasio

α = tingkat kepercayaan (taraf nyata)

$v1$ = derajat bebas untuk rata-rata dan nilainya selalu 1 untuk interval kepercayaan

$v2$ = derajat bebas untuk *pooled error variance*

Ve = variasi kesalahan gabungan (*pooled error variance*)

n = jumlah pengamatan

$$neff = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}} \quad (2-26)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Sehingga interval kepercayaan yang diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{predicted} - CI \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI \quad (2-27)$$

Sumber: Belavendram, 1995

3. Interval kepercayaan untuk konfirmasi, dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CI = \pm \left| F_{\alpha, v1, v2} \cdot Ve \right| \frac{1}{neff} + \frac{1}{r} \quad (2-28)$$

Sumber: Belavendram, 1995

Sehingga interval kepercayaan dapat diperoleh dengan selang sebagai berikut:

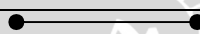
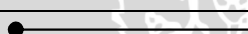
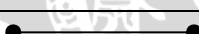
$$\mu_{predicted} - CI \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI \quad (2-29)$$

Sumber: Belavendram, 1995

2.9.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan untuk membuktikan performansi yang diramalkan yaitu kondisi optimal untuk *level* faktor-faktor dalam eksperimen. Jika hasil eksperimen konfirmasi membuktikan performansi yang diramalkan, maka kondisi optimal dapat diterapkan dalam proses. Jika sebaliknya, maka desain eksperimen tambahan diperlukan. Jumlah sampel atau replikasi dalam eksperimen konfirmasi yaitu r diambil sejumlah 10 sampel. Keputusan kondisi optimal dapat diterima atau ditolak yaitu membandingkan rata-rata nilai estimasi dan rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan masing-masing *level* kepercayaan. Penjelasan lebih lanjut pada tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2.8. Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal Dan Eksperimen Taguchi.

Kondisi	Perbandingan	Keterangan	Keputusan
A		Optimal	Diterima
		Konfirmasi	
B		Optimal	Diterima
		Konfirmasi	
C		Optimal	Ditolak
		Konfirmasi	

Sumber: Belavendram (1995)

2.9.10 Pengujian Hipotesis Beda Dua Rata-rata

Pengujian hipotesis beda dua rata-rata yang untuk sampel kecil ($n \leq 30$), uji statistiknya menggunakan distribusi t (Iqbal Hasan, 1999). Prosedur pengujian hipotesisnya sebagai berikut:

1. Formulasi Hipotesis (satu arah kiri)

a. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_0 : \mu_1 > \mu_2$

b. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_0 : \mu_1 < \mu_2$

c. $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_0 : \mu_1 \neq \mu_2$

2. Penentuan nilai α (taraf nyata) dan nilai t tabel (t_α)

Mengambil nilai α sesuai kebijakan, kemudian menentukan nilai t_α atau $t_{\alpha/2}$ dari tabel.

3. Kriteria pengujian

a. Untuk $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_0 : \mu_1 > \mu_2$, maka

a) H_0 diterima jika $t_0 \leq t_\alpha$

b) H_0 ditolak jika $t_0 > t_\alpha$

b. Untuk $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_0 : \mu_1 < \mu_2$, maka

a) H_0 diterima jika $t_0 \geq t_\alpha$

b) H_0 ditolak jika $t_0 < -t_\alpha$

c. Untuk $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_0 : \mu_1 \neq \mu_2$, maka

a) H_0 diterima jika $-t_{\alpha/2} \leq t_0 \leq t_{\alpha/2}$

b) H_0 ditolak jika $t_0 > t_{\alpha/2}$ atau $t_0 < -t_{\alpha/2}$

4. Uji statistik (t_0)

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (2-30)$$

Sumber: iqbal hasan, 1999

t_0 memiliki distribusi dengan db = $n_1 + n_2 - 2$

5. Kesimpulan

Kesimpulan pengujian merupakan penerimaan atau penolakan H_0

2.10 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Triyono (2007), dalam skripsinya yang berjudul “Penentuan Setting Level Optimal Bending Strength Gypsum Interior Berpenguat Serat Centula Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi”. Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui factor-faktor yang berpengaruh terhadap *bending strength igypsum interior* berpenguat serat centula, menentukan *setting level* optimal dari factor-faktor yang berpengaruh dan mengetahui besarnya *quality loss function* pihak perusahaan dan konsumen.

Eksperimen dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan karakteristik kualitas adalah *bending strength* produk gypsum interior. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan dua analisis untuk menentukan *setting level* optimalnya yaitu *analysis of mean* dan *analysis of signal to noise ratio*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa factor fraksi volume serat dan fraksi berat semen putih berpengaruh signifikan terhadap *bending strength* gypsum interior, sedangkan *setting level* optimalnya yaitu fraksi volume serat 5% dan fraksi berat semen putih 0%. Hasil eksperimen konfirmasi didapatkan nilai rata-rata 13,656 Mpa dan hasil perhitungan QLF untuk perusahaan dan konsumen pada kondisi actual adalah Rp 486,2 dan Rp 1168, sedangkan QLF untuk perusahaan dan konsumen pada kondisi optimal adalah Rp 285,1 dan Rp 614. Dari perhitungan QLF perusahaan dan konsumen sebelum dan sesudah penelitian terdapat penghematan biaya yang dapat dilakukan oleh perusahaan.

2. Endah Safitri (2009), dalam jurnalnya yang berjudul “Kajian teknis dan ekonomis mengenai pemanfaatan limbah batu bara (*fly ash*) pada produksi *paving block*”. Penelitian ini mengulas seberapa efisiensi penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambah pembuatan *paving block* pada komposisi campuran yang optimal ditinjau dari kuat tekan. Berdasarkan hasil analisis regresi disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* terhadap volume semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% dapat meningkatkan kuat tekan *paving block*, sedangkan penambahan *fly ash* yang optimal adalah sebesar 33,29% sehingga didapat perbandingan campuran 1PC:0,3329FA:5PS dengan kuat tekan 15,54 MPa, sedangkan untuk campuran perbandingan tanpa menggunakan *fly ash* didapat kuat tekan sebesar 11,45 MPa, sehingga dengan penambahan *fly ash* pada kadar 33,29 % terhadap volume semen dapat meningkatkan kuat desak sebesar 4,25 MPa atau naik sebesar 37,12%, sedang untuk mencapai kuat tekan sebesar 15,54 MPa untuk campuran perbandingan tanpa menggunakan *fly ash* didapat komposisi campuran 1PC:4,14PS. Ditinjau dari segi ekonomis, harga *paving block* dengan bahan tambah *fly ash* dan yang tidak menggunakan bahan tambah *fly ash* pada kuat tekan yang sama yaitu 15,70 MPa diperoleh harga untuk setiap m² berturut-turut adalah Rp 33.006,32 dan Rp 33.740,53.

Dari kedua penelitian di atas yang menjadi dasar perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu dapat ditunjukkan pada tabel 2.9 di bawah ini.

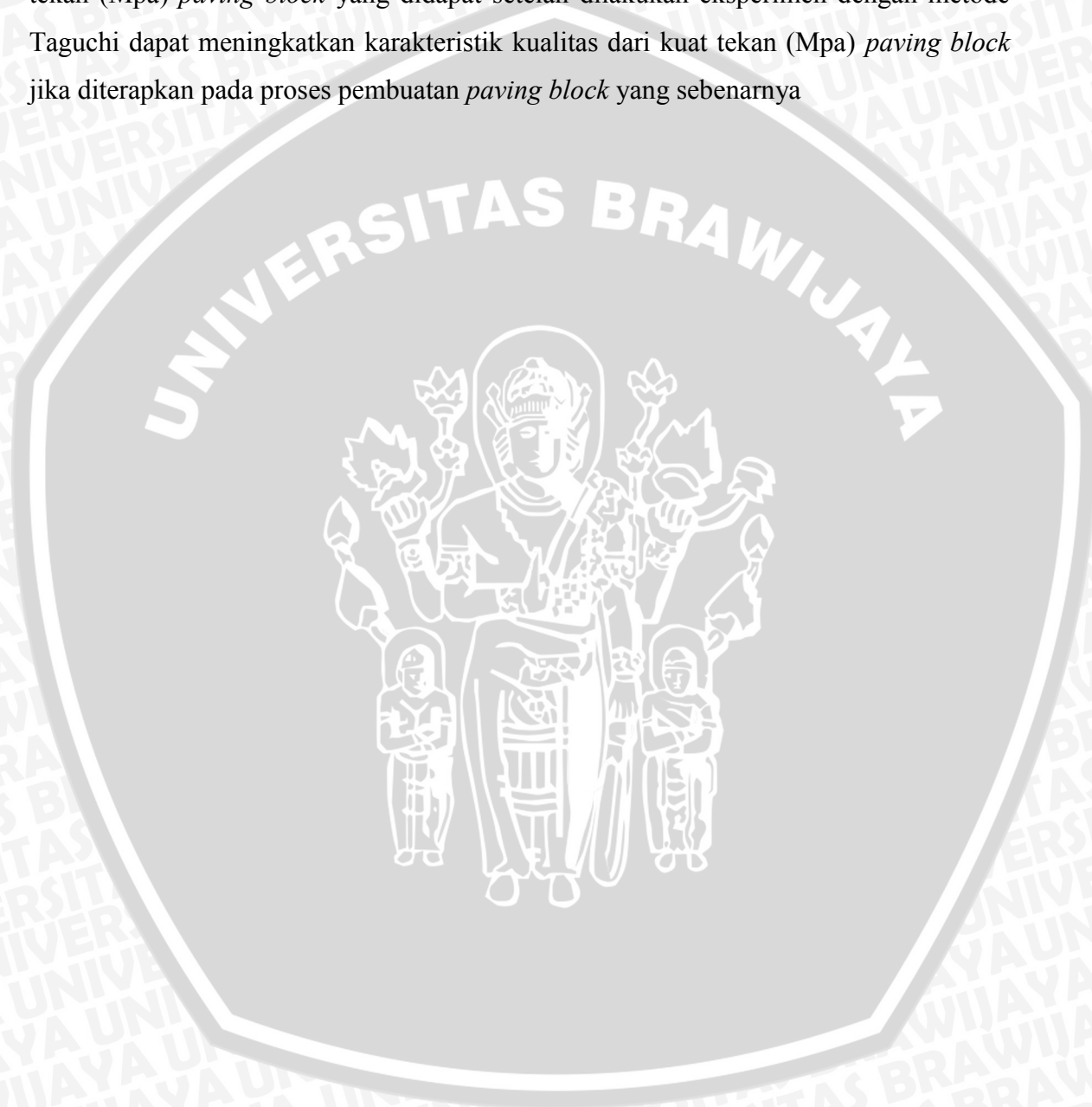
Tabel 2.9 Perbedaan Penelitian ini dan Penelitian Terdahulu

Karakteristik Penelitian	Peneliti		
	Triyono (2007)	Endah Safitri (2009)	Penelitian ini
Judul Penelitian	Penentuan Setting Level Optimal Bending Strength Gypsum Interior Berpenguat Serat Centula Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi	Kajian Teknis Dan Ekonomis Mengenai Pemanfaatan Limbah Batu Bara (<i>Fly ash</i>) Pada Produksi <i>Paving block</i>	Penentuan <i>Setting Level</i> Optimal Kuat Tekan <i>Paving block</i> Berbahan Tambahan Alternatif <i>Fly ash</i> Dengan Rekayasa Kualitas Taguchi
Objek Penelitian	<i>Gypsum Interior</i>	<i>Paving block</i>	<i>Paving block</i>
Parameter yang diamati	Bending Strength (Mpa)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan (Mpa)
Analisis Statistik Hasil Penelitian	Anova untuk rata-rata dan SNR	Analisis regresi	Anova untuk rata-rata dan SNR, uji hipotesis dua rata-rata

Pada penelitian ini digunakan metode rekayasa kualitas Taguchi untuk menentukan *setting level* faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block*, dan menambahkan penggunaan bahan tambahan alternative *fly ash* untuk mereduksi penggunaan semen tanpa mengurangi kualitas *paving block* itu sendiri. Hasil eksperimen yang dilakukan dianalisis berdasarkan rata-rata dan *signal to noise ratio*, *setting level* faktor yang optimal yang didapat apabila diterapkan pada proses yang sebenarnya diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan *paving block* dan mereduksi penggunaan semen sehingga biaya material yang dikeluarkan semakin murah.

2.11 Hipotesa

Dalam penelitian ini dimunculkan suatu hipotesa, dimana dalam bab selanjutnya akan dilakukan analisis untuk membuktikan atau menguji hipotesis tersebut. Berdasarkan teori yang ada dan penjelasan pada bab sebelumnya bahwa *setting level* optimal dari factor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* yang didapat setelah dilakukan eksperimen dengan metode Taguchi dapat meningkatkan karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* jika diterapkan pada proses pembuatan *paving block* yang sebenarnya



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan suatu tahapan penelitian yang harus ditempuh sebelum dilakukan pemecahan masalah dan melakukan analisis terhadap permasalahan yang dibahas. Metode ini dilakukan agar penelitian dapat terarah serta memudahkan dalam menganalisis permasalahan. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *true experimental research* (penelitian eksperimental sungguhan).

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah pencatatan-pencatatan sebagian atau keseluruhan dari elemen populasi yang akan menunjang atau mendukung penelitian. Adapun cara pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara :

1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh rumusan kerangka teoritis dari masalah yang diteliti, yang bisa diperoleh dari buku-buku literature, jurnal-jurnal ilmiah dan lain-lain.

2. Studi Lapangan

Merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan secara langsung pada obyek penelitian. Pengumpulan data tersebut bisa dilakukan dengan cara:

- a. *Observasi*, merupakan cara pengumpulan data yang dilakukan dengan jalan mengamati langsung aktifitas obyek yang diteliti.
- b. *Interview* (wawancara), merupakan cara pengumpulan data dengan jalan mengadakan wawancara langsung dengan orang-orang yang mengerti atau berpengalaman dalam proses pembuatan *paving block* yang berhubungan dengan penelitian.
- c. *Dokumentasi*, merupakan cara pengumpulan data dengan mengambil data-data berupa catatan atau gambar pada proses pembuatan *paving block*.
- d. *Eksperimen*, merupakan cara pengumpulan data dengan melaksanakan percobaan langsung terhadap obyek.

3.2 Sumber Data

Terdapat 2 (dua) jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian ini, yaitu

1. Data Primer

Data primer merupakan sumber data yang dibutuhkan dalam penelitian berupa data mentah yang belum diolah dan diperoleh secara langsung dari seumber asli tanpa perantara. Data primer yang diambil dalam penelitian ini meliputi data kuat tekan (Mpa) *paving block* hasil pengukuran kondisi aktual perusahaan, data kuat tekan (Mpa) dari hasil eksperimen Taguchi, data hasil eksperimen konfirmasi pada proses pembuatan *paving block*, serta data-data primer lainnya yang dibutuhkan dalam penelitian.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah sumber data penelitian yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara atau data primer yang telah dioleh terlebih lanjut dan disajikan oleh pihak lain. Data sekunder yang diambil dalam penelitian ini meliputi data historis dari penelitian yang sudah dilakukan oleh perusahaan, atau hasil penelitian sebelumnya.

3.3 Tempat dan Waktu

Penelitian ini akan dilakukan pada Bulan Maret sampai September 2012.

Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

1. CV. Berlian Sejahtera di Kediri, Jawa Timur
2. Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

3.4 Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Neraca atau timbangan, untuk mengukur berat (Kg) bahan-bahan yang digunakan.
2. Ayakan pasir, untuk mengayak pasir
3. Sendok semen dan sendok besar
4. Baskom atau wadah, untuk tempat bahan dan tempat mengaduk adonan/campuran bahan

5. Cetakan Spesimen *Paving Block* ukuran 20 x 10 x 6 cm tanpa chamfer, untuk mencetak specimen *paving block*
6. *Compression Strength Testing Machine*, untuk menguji kuat tekan (Mpa) *paving block*.



Gambar 3.1. Alat Uji Kuat Tekan (Compression Strength Testing Machine)

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Semen Portland, sebagai bahan pengikat/perekat utama campuran bahan (adonan *paving block*), satuan (kg).
2. Air, digunakan untuk proses hidrasi semen dan agregat, satuan (m^3).
3. Agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), sebagai bahan campuran, satuan (m^3).
4. *Fly ash*, digunakan sebagai bahan campuran tambahan, satuan (kg)

Untuk mempermudah dalam menjalankan eksperimen, semua bahan baku akan menggunakan satuan kilogram (kg), untuk bahan baku seperti air, pasir, dan kerikil maka perlu dikonversikan satuannya menjadi kilogram dengan mengkalikan dengan massa jenisnya masing-masing. Massa jenis air ($1 \text{ kg}/m^3$), pasir $1600 \text{ kg}/m^3$, dan kerikil $1800 \text{ kg}/m^3$.

3.5 Metode Pangambilan Sampel dan Pengujian Kuat Tekan (Mpa)

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan sampel *paving block* hasil produksi perusahaan yang bertujuan untuk mendapatkan data kuat tekan (Mpa) *paving block* pada kondisi aktual perusahaan sebelum dilakukan eksperimen Taguchi.

Metode pengambilan sampel dan pengujian kuat tekan *paving block* mengacu pada *British Standard Institution* BS 6717:1:1993, dimana untuk pengambilan sampel *paving block* perusahaan dilakukan dengan cara mengambil sampel dari populasi sebesar 5000 unit *paving block* yang dibagi menjadi 8 grup, dimana setiap grup diambil 2 sampel, sehingga total sebanyak 16 sampel *paving block*. Sedangkan untuk banyak sampel *paving block* untuk eksperimen Taguchi tergantung dari rancangan eksperimen Taguchi dalam penelitian ini. Pengujian kuat tekan (Mpa) *paving block* dilakukan dengan menggunakan alat *compression strength testing machine* yang ada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.6 Rancangan Eksperimen

Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen nyata (*true eksperimental research*) dengan tujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas produk *paving block*. Rancangan yang dipilih menggunakan matriks *orthogonal array* yang sudah dirancang dalam rekayasa kualitas dengan metode Taguchi. Pemilihan matriks *orthogonal array* didasarkan pada jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*) faktor dan level yang diteliti. Berdasarkan pertimbangan biaya dan waktu, eksperimen akan dilakukan dengan 3 kali pengulangan/replikasi. Contoh tabel rancangan eksperimen adalah sebagai berikut ini:

Tabel 3.1. Contoh Tabel Rancangan Eksperimen

No. Eksperimen	Faktor				Replikasi		
	A	B	C	D	R1	R2	R3
1	1	1	1	1			
2	1	2	2	2			
3	1	3	3	3			
4	2	1	3	3			
5	2	2	2	1			
6	2	3	1	2			
7	3	1	3	2			
8	3	2	1	3			
9	3	3	2	1			

Sumber: Soejanto (2007)

3.7 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan studi lapangan atau survey lapangan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada proses pembuatan *paving block* di CV. Berlian Sejahtera.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literature baik melalui penelitian-penelitian terdahulu berupa jurnal, skripsi maupun *text book text* yang berhubungan dengan *paving block*, cara pembuatannya, tentang rekayasa kualitas dengan metode Taguchi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan landasan teori yang dapat membantu saat proses penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat tercapai.

3. Identifikasi Masalah dan Perumusan Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap proses pembuatan *paving block* dan juga faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* yang dihasilkan perusahaan. Identifikasi masalah ini dilakukan dengan mengamati serta melakukan wawancara secara langsung dengan ahli dan pihak-pihak yang berhubungan dengan masalah kualitas *paving block*. Setelah pengeidentifikasian masalah selanjutnya, dirumuskan masalah yang menjadi fokus pembahasan dalam penelitian.

4. Penetapan Tujuan Penelitian

Pada tahap ini dilakukan penetapan tujuan penelitian. Tujuan penelitian harus dapat menjawab masalah yang dihadapi, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat dari masalah yang dihadapi oleh perusahaan.

5. Pengukuran Kondisi Aktual

Pengukuran kondisi aktual bertujuan mendapatkan nilai kuat tekan (Mpa) *paving block* perusahaan pada kondisi saat ini. Data yang akan didapat dari hasil pengujian kuat tekan *paving block* hasil produksi perusahaan ini, digunakan untuk memperkuat permasalahan yang sudah diidentifikasi sebelumnya dan untuk membandingkan dengan kondisi optimal setelah penelitian/eksperimen.

6. Desain Instrumen Penelitian

Pada tahap ini dilakukan penetapan karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* yang diamati yaitu *larger the better*, identifikasi dan penetapan faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block*,

penetapan faktor dan level yang akan digunakan dalam eksperimen, serta pemelihan *orthogonal array* dan jumlah eksperimen yang akan dilakukan.

7. Pelaksanaan Eksperimen

Pada tahap ini dilakukan eksperimen berdasarkan faktor dan level serta *orthogonal array* yang telah dipilih, dengan membuat specimen uji *paving block* dan melakukan pengujian terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block*.

8. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data hasil eksperimen Taguchi yaitu nilai rata-rata eksperimen dan nilai *signal to noise ratio*, sehingga pengolahan data yang dilakukan akan didapatkan level faktor yang menghasilkan kondisi optimal untuk mendapatkan produk *paving block* yang lebih berkualitas. Data hasil eksperimen Taguchi diolah dengan menggunakan dua cara, yaitu *analysis of variance* untuk data rata-rata eksperimen (*mean*) dan *analysis of variance* untuk data *signal to noise ratio* (SNR). *Analysis of variance (mean)* digunakan untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata hasil eksperimen (respon). Analisis rata-rata menggunakan persamaan (2-12) sampai dengan (2-21). *Analysis of signal to noise ratio* digunakan untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai variansi. Persamaan yang digunakan untuk menganalisis *signal to noise ratio* yaitu persamaan (2-6), serta persamaan (2-12) sampai (2-21).

9. Penentuan Setting Level Faktor Optimal

Optimasi dilakukan dengan memaksimalkan nilai rata-rata dan meminimalkan nilai variansi. Hasil optimasi adalah *setting level* optimal dari masing-masing faktor dan level yang ada dalam eksperimen Taguchi.

10. Prediksi Kondisi Optimum

Setelah *setting level* optimal didapatkan maka perlu diketahui nilai rata-rata karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* prediksi dan nilai selang kepercayaannya untuk memperkirakan rata-rata kuat tekan *paving block* pada proses yang sebenarnya. Persamaan yang dapat digunakan untuk perhitungan prediksi rata-rata proses dan interval kepercayaannya yaitu persamaan (2-24) sampai persamaan (2-27)

11. Eksperimen Konfirmasi

Pada tahap ini dilakukan verifikasi prediksi kondisi optimal yang telah dihasilkan pada pengolahan data sebelumnya, dengan cara menerapkan *setting level* faktor

optimal pada proses sebenarnya. Data hasil pengujian kuat tekan *paving block* eksperimen konfirmasi yang didapat akan dihitung nilai rata-rata dan variansinya, serta interval kepercayaan menggunakan persamaan (2-28) dan persamaan (2-29)

12. Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfirmasi

Membandingkan hasil kondisi aktual dengan hasil eksperimen konfirmasi digunakan uji hipotesis beda dua rata-rata dengan sampel kecil untuk mengetahui apakah hasil eksperimen Taguchi memberikan hasil yang lebih baik dari kondisi aktual sebelum adanya penelitian ini.

13. Perhitungan Quality Loss Function

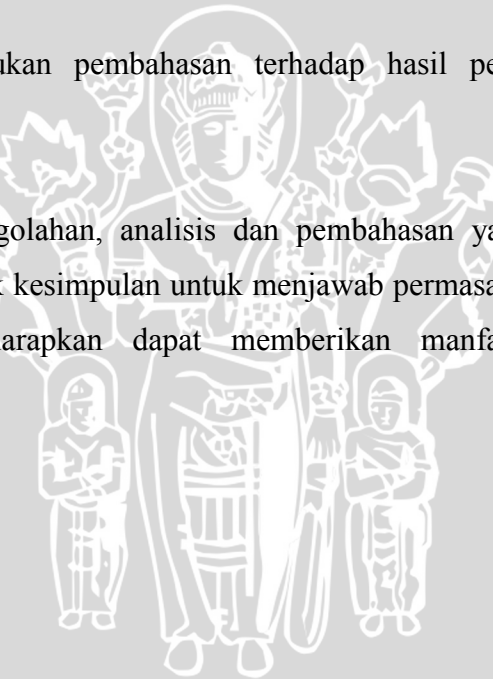
Perhitungan *quality loss function* digunakan untuk mengetahui fungsi kerugian kualitas untuk perusahaan dan fungsi kerugian kualitas untuk konsumen. Perhitungan *quality loss function* ini menggunakan persamaan (2-11)

14. Pembahasan

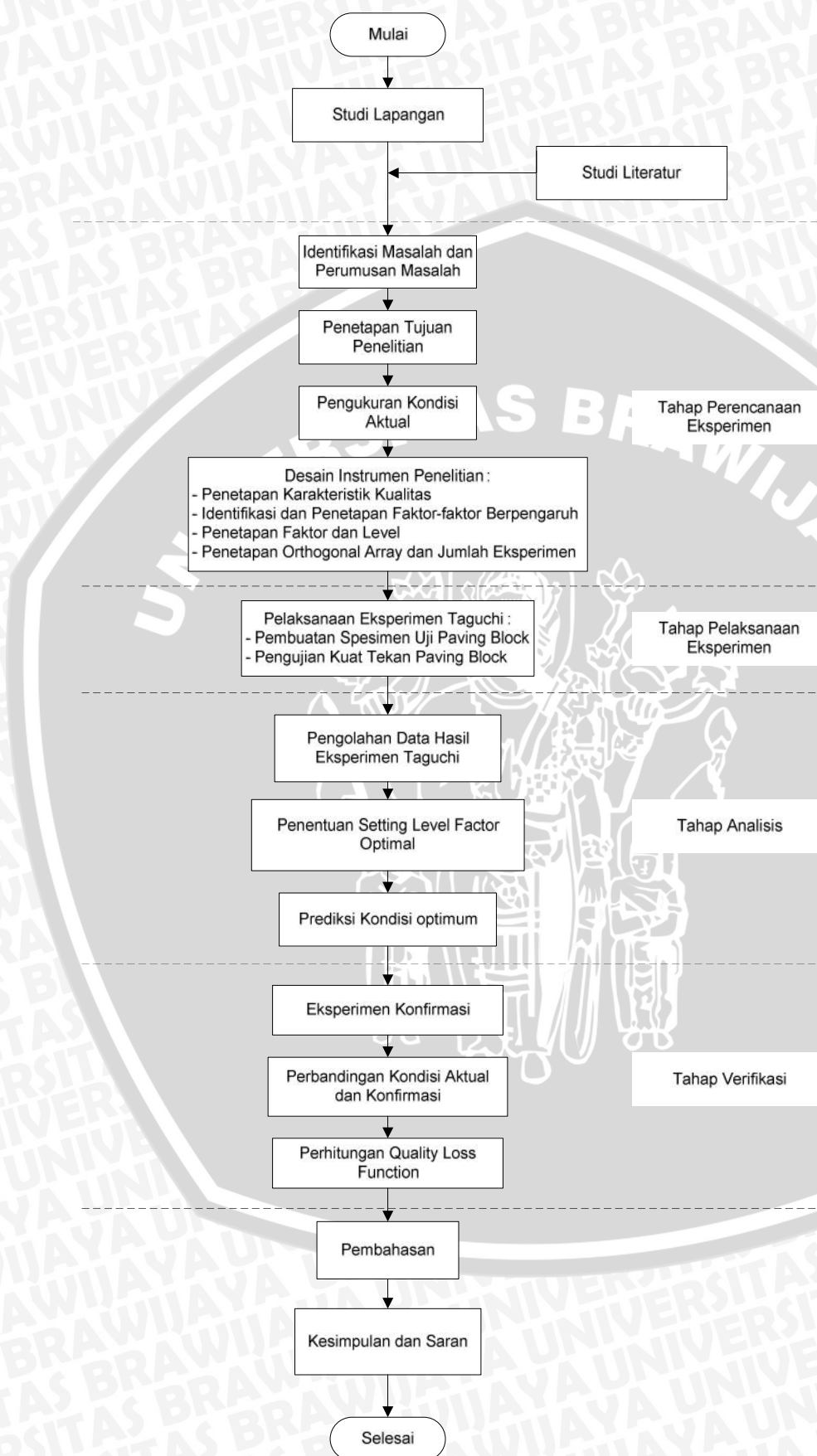
Pada tahap ini dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

15. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengolahan, analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka akan dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang ada serta saran-saran yang diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya.



3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan proses pengumpulan dan pengolahan data dalam penelitian serta analisis dan pembahasannya. Pengolahan yang dilakukan meliputi perhitungan kondisi aktual, analisis variansi (Anova), *signal to noise ratio*, interval kepercayaan, *quality loss function* yang akan dijelaskan pada sub bab dibawah ini.

4.1 Tahap Perencanaan Eksperimen

4.1.1 Pengujian Kuat Tekan Paving block Kondisi Aktual

Data kuat tekan *paving block* kondisi aktual didapat dari hasil pengujian kuat tekan *paving block* sesuai *setting* level perusahaan yaitu semen (0,28 Kg), air (0,2 Kg), Pasir (1,66 Kg) dan Abu Batu (1,13 Kg). Data ini berguna untuk mengetahui karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* hasil produksi perusahaan pada kondisi yang sebenarnya saat ini. Pengujian kuat tekan *paving block* pada kondisi aktual dilaksanakan pada tanggal 3 Mei 2012 di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya oleh pihak laboran. Data hasil pengujian kuat tekan *paving block* pada kondisi aktual dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Kondisi Aktual

No. Sampel	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)
1	20200	388000	19.208
2	20000	343000	17.150
3	20000	381000	19.050
4	20301	329000	16.206
5	20301	304000	14.975
6	20200	317000	15.693
7	20100	367000	18.259
8	20200	280000	13.861
9	20100	327000	16.269
10	20200	420000	20.792
11	20000	350000	17.500
12	20000	272000	13.600
13	20100	368000	18.308
14	20200	342000	16.931
15	20301	356000	17.536
16	20100	374000	18.607

Sumber : Hasil Pengujian di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi T.Sipil UB (2012)

Dari data kondisi aktual di atas nantinya akan dibandingkan dengan hasil eksperimen konfirmasi. Berikut adalah perhitungan rata-rata dan variansi kondisi aktual.

Rumus perhitungan nilai rata-rata:

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

Dengan,

μ = nilai rata-rata

y_i = nilai sampel ke-i

n = jumlah sampel

Perhitungan nilai rata-rata, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{1}{16} (19,208 + 17,150 + 19,05 + \dots + 18,607) = 17,122 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Rumus perhitungan variansi (untuk data sampel):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Dengan,

σ^2 = variansi

μ = nilai rata-rata

y_i = nilai sampel ke-i

n = jumlah sampel

Karena jumlah sampel kurang dari 30, maka rumus perhitungan nilai variansi menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{1}{16-1} ((19,208 - 17,122)^2 + (17,150 - 17,122)^2 + \dots + (18,607 - 17,122)^2) \\ &= 3,870 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan (Mpa) *paving block* pada kondisi aktual diperoleh nilai rata-rata sebesar 17,122 Mpa. Hal ini memperkuat permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini, dimana *paving block* yang dihasilkan perusahaan belum mampu mencapai kuat tekan (Mpa) yang optimal sesuai dengan yang diharapkan perusahaan. Walaupun nilai kuat tekan (Mpa) *paving block* pada kondisi aktual saat ini masih berada pada batas spesifikasi yaitu 17,0 – 20,0 Mpa, namun nilai kuat tekan

paving block tersebut belum optimal. Artinya, dengan kondisi tersebut, karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* masih bisa untuk diperbaiki atau ditingkatkan lagi agar lebih optimal sesuai yang diharapkan perusahaan.

4.1.2 Penetapan Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas *paving block* yang dituju adalah *larger the better* dan karakteristik kualitas yang diamati adalah kuat tekan *paving block* dengan satuan Mpa atau Kg/cm². Dimana semakin besar kuat tekan (Mpa) *paving block* yang dihasilkan dalam eksperimen semakin baik, sehingga diharapkan penelitian ini menghasilkan *setting level* optimal dari faktor-faktor yang berpengaruh untuk dapat memperbaiki kualitas *paving block*.

4.1.3 Identifikasi dan Penetapan Faktor Berpengaruh

Studi lapangan, studi kepustakaan, dan wawancara dengan pihak perusahaan, serta para ahli dibidangnya, dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block*. Faktor-faktor yang akan diidentifikasi dalam penelitian ini hanya dibatasi pada faktor-faktor berpengaruh terkendali saja. Berdasarkan hasil wawancara dan studi lapangan yang dilakukan bahwa salah satu penyebab karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* belum mampu mencapai nilai optimal yang diharapkan adalah perhitungan komposisi bahan pembuatan *paving block* yang kurang tepat. Sehingga dapat ditetapkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* sebagai berikut:

1. Rasio Berat Air-Semen dan Agregat

Prioritas utama dalam tercapainya kekuatan beton yang baik adalah ikatan/lekatan antara agregat dan bahan pengikatnya yaitu semen. Semen dapat mengikat agregat hanya jika ada air, tanpa adanya air proses terjadinya ikatan antara semen dan agregat (proses hidrasi) tidak akan terjadi. Sehingga penentuan jumlah berat air, semen, dan agregat yang tepat, menjadi syarat utama untuk dapat mencapai kekuatan *paving block* sesuai yang diharapkan.

2. Faktor Air Semen (FAS)

Perbandingan berat air dan berat semen atau disebut faktor air-semen, sangat mempengaruhi proses terjadinya ikatan saat pembuatan campuran. F.a.s akan

memberikan pengaruh terhadap besarnya kekuatan beton yang dihasilkan, dimana semakin rendah f.a.s semakin tinggi kekuatannya.

3. Rasio Berat Semen dan *Fly ash*

Fly ash memiliki sifat pozzolan, dimana kandungan kimia yang terkandung dalam *fly ash* akan mempengaruhi beton saat terjadinya proses hidrasi antara air, semen dan *fly ash* tersebut. Sehingga, dengan tanpa mengurangi kualitas *paving block*, penambahan *fly ash* diharapkan mampu mereduksi penggunaan semen dan biaya material yang akan dikeluarkan bisa dikurangi.

4. Rasio Berat Pasir dan Kerikil

Agregat yang bisa digunakan dalam pembuatan beton umumnya yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil/batu pecah). Agregat kasar (kerikil/batu pecah) dengan ukuran $> 4,75$ mm dan memiliki permukaan yang kasar, akan memberikan pengaruh terhadap kekuatan beton, hal ini disebabkan permukaan kasar akan memberikan ikatan yang lebih baik.

4.1.4 Penetapan Level Faktor Berpengaruh

Eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan tiga *setting* level faktor yang menunjukkan level tinggi (*high*), sedang (*medium*), dan rendah (*low*). *Setting* level untuk faktor-faktor yang akan digunakan dalam eksperimen diuraikan sebagai berikut:

1. Rasio Berast Air-semen dan agregat

Penentuan rasio air semen dan agregat mengacu pada proporsi campuran agregat dalam beton yaitu sekitar 70% - 80% (Mulyono,2005). Sehingga rasio yang bisa digunakan adalah 20%:80%, 25%:75%, dan 30%:70%. Penggunaan proporsi agregat yang lebih besar akan menyebabkan ikatan antara agregat dan air semen menjadi kurang baik.

2. Faktor air dan semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) yang umumnya digunakan dalam pembuatan beton adalah 0,4 – 0,7. Sedangkan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, 0,5 (50%:50%), 0,45 (45%:55%) dan 0,4 (40%:60%). Dimana f.a.s 0,45 merupakan setting yang biasa digunakan perusahaan. Dua level lain merupakan penambahan dan pengurangan sebesar 5%. Apabila menggunakan *setting* yang lebih tinggi maka adonan menjadi encer sehingga akan mengalami kesulitan dalam proses pencetakan dan tentunya kuat tekan beton akan lebih rendah.

3. Rasio Berat Semen dan *Fly ash*

Rasio Semen dan *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 70%:30%, 65%:35% dan 60%:40%. *Setting* ini diperkirakan cukup untuk menjelaskan pengaruh faktor, mengingat bahwa prosentase penggunaan *fly ash* yang baik mampu mereduski penggunaan semen sekitar 25% (sagel, *et al.*,1997)

4. Rasio Berat agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil)

Rasio agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 85%:15%, 80%:20% dan 75%:25%. Penggunaan agregat kasar (kerikil) hingga 25% dari total agregat yang digunakan, diperkirakan cukup untuk menjelaskan pengaruh dari faktor, diharapkan dengan penambahan agregat kasar ini, membuat ikatan antara agregat dengan air semen semakin baik.

Penugasan level faktor untuk eksperimen Taguchi dalam penelitian ini dijelaskan pada tabel 4.2. berikut ini.

Tabel 4.2. Penugasan Level Faktor Berpengaruh

Faktor Kontrol	Level		
	1	2	3
Rasio Airsemen:Agregat	20%:80%	25%:75%	30%:70%
faktor Air : Semen (F.A.S)	50%:50%	45%:55%	60%:40%
Rasio Semen:Flyash	70%:30%	65%:35%	60%:40%
Rasio Pasir:Kerikil	85%:15%	80%:20%	75%:25%

4.1.5 Penetapan Orthogonal Array dan Jumlah Spesimen

Dalam eksperimen ini terdapat 4 faktor terkendali dengan masing-masing 3 level dan tidak ada faktor interaksi. Dengan jumlah faktor dan level yang ada dapat ditentukan jumlah baris untuk matriks *orthogonal array* yaitu 9, sehingga *orthogonal array* yang sesuai adalah $L_9(3^4)$. Berikut adalah tabel *orthogonal array* yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4.3. Orthogonal Array $L_9(3^4)$

eksperimen	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

Sumber: Belavendram, 1995

Jumlah eksperimen yang harus dijalankan sesuai *Orthogonal Array* $L_9(3^4)$ adalah 9 kali eksperimen. Replikasi dilakukan untuk mengurangi tingkat kesalahan dalam eksperimen serta meningkatkan ketelitian data percobaan. Mengingat waktu dan biaya yang terbatas dalam penelitian ini akan digunakan replikasi sebanyak 3 kali. Sehingga jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk eksperimen Taguchi ini sebanyak 27 spesimen uji *paving block*.

4.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

4.2.1 Pembuatan Spesimen Uji Paving block Eksperimen Taguchi

Dalam tahap ini akan dibuat spesimen *paving block* yang akan digunakan untuk pengujian kuat tekan dengan type K-200 ukuran 20 x 10 x 6 Cm tanpa chamfer. Penugasan *setting level* eksperimen Taguchi dan tabel *Orthogonal Array* yang sudah ditentukan sebelumnya, digunakan sebagai acuan dalam menentukan jumlah bahan baku yang dibutuhkan dalam setiap eksperimenya. Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan eksperimen atau pembuatan spesimen *paving block*, jumlah bahan baku yang akan digunakan dihitung berdasarkan berat (Kg) bahan bakunya.

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam membuat spesimen *paving block*.

1. Penyiapan Bahan

Penyiapan bahan dilakukan dengan pengukuran berat (kg) semua bahan yang dibutuhkan untuk masing-masing eksperimen. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Khusus untuk air, diasumsikan bahwa 1 lt air sama dengan 1 kg. Untuk dapat mengetahui berat dari masing-masing bahan digunakan asumsi, bahwa total berat bahan yang digunakan dalam setiap eksperimen adalah 10 Kg. Tabel 4.4 berikut ini akan menjelaskan contoh perhitungan bahan baku yang akan diterapkan pada eksperimen ke-4 dengan kombinasi level faktor yaitu air-semen:agregat 25%:75%; air:semen 40%:60%; semen:flyash 65%:35% dan pasir:kerikil 75%:25%.

Tabel 4.4. Contoh Perhitungan Berat (kg) Bahan Baku pada Eksperimen ke-4

Bahan		Rasio	Total berat campuran (kg)	Berat bahan (kg)
Agregat:air-semen	agregat	75%	10	7.5
	air-semen	25%		2.5
Air:semen (f.a.s)	air	40%	2.5	1
	semen	60%	2.5	1.5
Semen:flyash	semen	65%	1.5	0.975
	flyash	35%	1.5	0.525
Pasir:kerikil	pasir	75%	7.5	6
	kerikil	25%	7.5	1.5

Dari total berat campuran (kg) yang ada, dapat dihasilkan spesimen uji sebanyak 3 *paving block*.

2. Pencampuran/pengadukan

Pencampuran bahan (pasir, semen, *fly ash*, kerikil, air) dilakukan dalam dua tahap, pertama pencampuran dalam keadaan kering yaitu pasir, semen, *fly ash*, kerikil, ditempatkan pada suatu wadah dan dicampur menjadi satu hingga merata, kemudian setelah campuran merata dilakukan pencampuran dengan menambahkan air sesuai dengan takaran yang telah ditentukan sampai adukan benar-benar merata dan homogen.

3. Pencetakan

Adukan bahan selanjutnya dimasukkan ke dalam cetakan dengan ukuran 20 x 10 x 10 cm, dan dilakukan pemadatan dengan tongkat besi dan dilakukan pengepresan secara manual.

4. Pengeringan dan pengerasan

Proses pengeringan berlangsung perlahan ditempat teduh, dan bila sudah mulai mengeras dilakukan penyiraman dengan air minimal 3 kali sehari selama 7 hari. Selanjutnya spesimen *paving block* siap untuk dilakukan pengujian kuat tekan dengan menggunakan *compressive strength testing machine*.

4.2.2 Pengujian Kuat Tekan Paving block Eksperimen Taguchi

Pengujian kuat tekan *paving block* dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya pada tanggal 15 juni 2012. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *compressive strength testing machine* dengan metode pengujian mengacu pada BS 6717:1:1993. Data hasil pengujian kuat tekan *paving block* eksperimen Taguchi dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5. Hasil Uji Kuat Tekan *Paving block* Eksperimen Taguchi

Eksp	Faktor Kontrol				R1 (Mpa)	R2 (Mpa)	R3 (Mpa)
	A	B	C	D			
1	1	1	1	1	19.802	19.703	19.900
2	1	2	2	2	19.063	19.753	19.900
3	1	3	3	3	18.571	18.176	18.324
4	2	1	2	3	18.620	18.078	19.457
5	2	2	3	1	19.556	20.245	19.851
6	2	3	1	2	19.802	17.487	18.718
7	3	1	3	2	18.817	17.536	18.029
8	3	2	1	3	17.635	18.620	18.472
9	3	3	2	1	16.649	16.403	16.502

Sumber : Hasil Pengujian di Lab. Struktur dan Bahan Konstruksi T.Sipil UB (2012)

4.3 Tahap Analisis Hasil Eksperimen

4.3.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen Taguchi diolah dengan menggunakan dua cara, yaitu *analysis of variance* untuk data rata-rata eksperimen (*mean*) dan *analysis of variance* untuk data *signal to noise ratio* (SNR). *Analysis of variance (mean)* digunakan untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata hasil eksperimen (respon). *Analysis of signal to noise ratio* digunakan untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai variansi.

4.3.1.1 Perhitungan Rata-rata dan SNR Eksperimen Taguchi

Nilai rata-rata eksperimen Taguchi digunakan untuk mencari *setting level* optimal yang dapat meminimalkan penyimpangan nilai rata-rata, sedangkan SNR untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik kualitas. Berikut ini adalah perhitungan nilai rata-rata dan SNR hasil eksperimen Taguchi.

1. Perhitungan nilai rata-rata eksperimen Taguchi

Rumus perhitungan nilai rata-rata sebagai berikut:

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

Dengan,

μ = nilai rata-rata eksperimen Taguchi

y_i = nilai sampel ke-i

n = jumlah sampel

Missal perhitungan nilai rata-rata untuk eksperimen 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{1}{3} (19,802 + 19,703 + 19,900) = 19,802 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Untuk eksperimen 2 sampai 9 langkah perhitungan yang sama dengan perhituanan di atas. Hasil perhitungan nilai rata-rata eksperimen Taguchi secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 4.6

2. Perhitungan nilai *signal to noise ratio* (SNR) eksperimen Taguchi

Karakteristik kualitas yang diamati dalam penelitian ini adalah kuat tekan (Mpa) *paving block*, dimana semakin tinggi nilai kuat tekan semakin baik, sehingga jenis karakteristik kualitas yang digunakan adalah *larger the better*. Rumus SNR *larger the better* sebagai berikut:

$$\eta = -10 \log_{10} \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right|$$

Perhitungan SNR untuk hasil eksperimen 1, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta &= -10 \log_{10} \left| \frac{1}{3} \left(\frac{1}{19,802^2} + \frac{1}{19,703^2} + \frac{1}{19,900^2} \right) \right| \\ &= 25,934 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Hasil eksperimen 2 sampai 9, langkah perhitungan yang digunakan sama dengan perhitungan di atas. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.6. berikut ini.

Tabel 4.6. Perhitungan nilai rata-rata dan SNR eksperimen Taguchi

Eksp	Faktor Kontrol				R1 (Mpa)	R2 (Mpa)	R3 (Mpa)	Rata-Rata	SNR
	A	B	C	D					
1	1	1	1	1	19.802	19.703	19.900	19.802	25.934
2	1	2	2	2	19.063	19.753	19.900	19.572	25.828
3	1	3	3	3	18.571	18.176	18.324	18.357	25.275
4	2	1	2	3	18.620	18.078	19.457	18.718	25.433
5	2	2	3	1	19.556	20.245	19.851	19.884	25.967
6	2	3	1	2	19.802	17.487	18.718	18.669	25.389
7	3	1	3	2	18.817	17.536	18.029	18.127	25.156
8	3	2	1	3	17.635	18.620	18.472	18.242	25.214
9	3	3	2	1	16.649	16.403	16.502	16.518	24.359

Nilai rata-rata dan SNR eksperimen Taguchi di atas kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan *analysis of variance* untuk nilai rata-rata (mean) dan *analysis of variance* untuk nilai SNR (*signal to noise ratio*) eksperimen Taguchi, tujuannya adalah untuk pertimbangan dalam pemilihan *setting* level optimal, yaitu kondisi dengan nilai target yang tinggi dan variansi yang rendah.

4.3.1.2 Perhitungan Anova Nilai Rata-rata Eksperimen Taguchi

Analysis of variance nilai rata-rata untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata respon, analisis ini digunakan untuk mencari *setting* level optimal yang dapat meminimalkan penyimpangan rata-rata. Langkah-langkah dalam perhitungan analisis variansi untuk nilai rata-rata sebagai berikut:

1. Menghitung nilai rata-rata seluruh eksperimen

Nilai rata-rata seluruh eksperimen adalah rata-rata dari semua data eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{19,802+19.703+19,900+\dots+16,518}{27} = 18,654$$

2. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor, dan membuat tabel respon.

Perhitungan nilai rata-rata setiap level faktor menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{\bar{y}}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

Dimana,

$\bar{\bar{y}}_{jk}$ = nilai rata-rata eksperimen faktor j level k

$\bar{y}_{ijk}$ = nilai rata-rata eksperimen ke-I untuk faktor j level k

n_{ijk} = jumlah eksperimen faktor j level k

Perhitungan nilai rata-rata faktor A level 1, sebagai berikut:

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

$$\bar{y}_{A1} = \frac{19,802 + 19,572 + 18,357}{3} = 19,244$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.7.

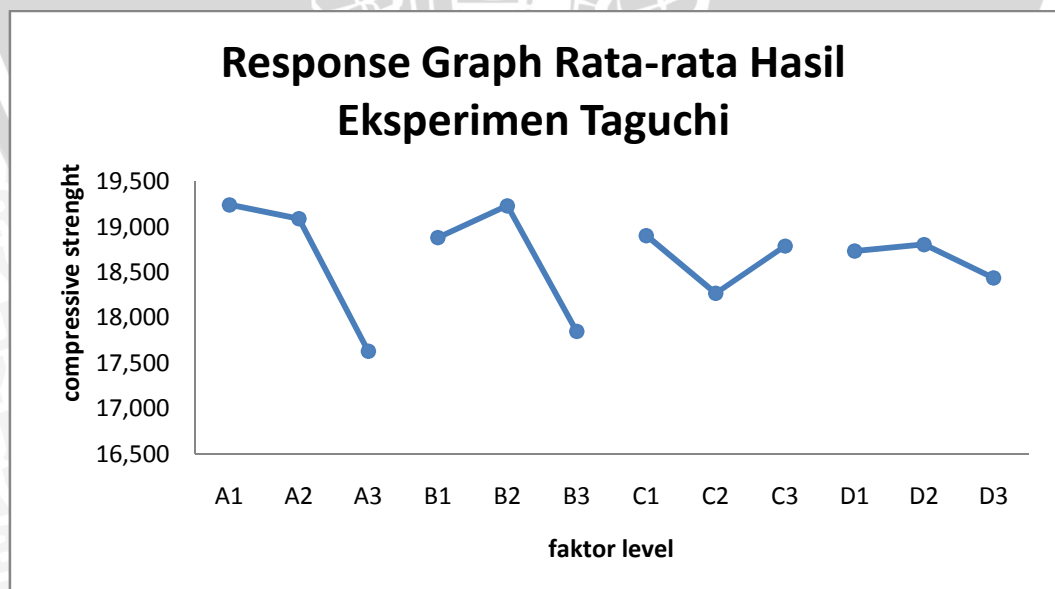
3. Membuat *response tabel* dan *response graph* untuk nilai rata-rata eksperimen Taguchi

Response tabel dibuat dengan menghitung perbedaan nilai rata-rata respon antar level suatu faktor kemudian mengurutkan perbedaan level faktor-faktor dari yang terbesar sampai terkecil. Tujuannya adalah untuk mengetahui efek dari setiap level faktor terhadap respon yaitu kuat tekan *paving block*. Berikut adalah tabel respon untuk nilai rata-rata eksperimen Taguchi.

Tabel 4.7. Tabel Respon Untuk Nilai Rata-Rata Eksperimen Taguchi

	A	B	C	D
Level 1	19.244	18.882	18.904	18.735
Level 2	19.090	19.233	18.269	18.806
Level 3	17.629	17.848	18.789	18.439
Selisih	1.615	1.385	0.635	0.367
Ranking	1	2	3	4

Response graph untuk nilai rata-rata digambarkan pada gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1. Response Graph Rata-rata Hasil Eksperimen Taguchi

Berdasarkan grafik respon diatas dapat dilihat bahwa faktor A level 1 memiliki rata-rata kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 2 dan 3, faktor B level 2 juga mempunyai rata-rata kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan level 1 dan 3, demikian juga faktor C pada level 1 dan faktor D pada level 2 yang memiliki rata-rata kuat tekan yang lebih tinggi.

4. Menghitung nilai *total sum of square*

$$ST = \sum y^2$$

$$= 19,8022 + 19,7032 + 19,9002 + \dots + 16,5022 = 9427,8197$$

5. Menghitung *sum of squares due to mean*

$$Sm = n\bar{y}^2$$

$$= 27 \cdot 18,654^2 = 9395,6754$$

6. Menghitung *sum of squares due to faktors*

Misal untuk Faktor A

$$SA = n_{A1}\bar{A1}^2 + n_{A2}\bar{A2}^2 + n_{A3}\bar{A3}^2 - Sm$$

$$= (9 \times 19,2442^2) + (9 \times 19,0902^2) + (9 \times 17,6292^2) - 9395,6754$$

$$= 14,29769$$

Perhitungan nilai *sum of squares due to faktors* B, C, dan D sama dengan perhitungan di atas.

7. Menghitung *sum of squares due to error*

$$Se = ST - Sm - SA - SB - SC - SD$$

$$= 9427,8197 - 9395,6754 - 14,297 - 9,330 - 2,059 - 6,194$$

$$= 0,261$$

8. Menentukan derajat kebebasan sumber-sumber variansi

Misal Faktor A:

$$vA = \text{jumlah level} - 1 = 3 - 1 = 2$$

9. Menghitung *mean sum of squares*

Misal Faktor A

$$MqA = SqA/vA$$

$$= 14,297/2$$

$$= 7,1488$$

10. Menghitung nilai *F-ratio*

Misal untuk faktor A :

$$F_A = MqA/Mqe$$

$$= 7,1488/0,01451 = 492,563$$

11. Menghitung *pure sum of squares*

Misal untuk faktor A :

$$SqA' = SqA - vA - Mqe$$

$$= 14,297 - 2 - 0,01451$$

$$= 14,2687$$

12. Menghitung *percent contribution*

Missal untuk faktor A :

$$\rho A = (SqA'/SSt) \cdot 100\%$$

$$= (14,2687/32,1443) \cdot 100\%$$

$$= 44,3895 \%$$

Hasil perhitungan *analysis of variance* untuk nilai rata-rata (*mean*) eksperimen Taguchi selengkapnya pada tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8. Analysis Of Variance Nilai Rata-Rata (Mean) Eksperimen Taguchi Sebelum Pooling Up

Source	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	rho %	F-tabel
A	14.29769715	2	7.148849	492.5635	14.26867	44.38949	3.55
B	9.330555407	2	4.665278	321.4427	9.301528	28.93683	3.55
C	2.059936731	2	1.029968	70.96594	2.03091	6.318111	3.55
D	6.194818021	2	3.097409	213.4149	6.165791	19.18163	3.55
e	0.261244048	18	0.014514	1	0.377353	1.173935	
St	32.14425135	26	1.236317		32.14425	100	
Mean	9395.675451	1					
ST	9427.819702	27					

Berdasarkan tabel *analysis of variance* di atas, diketahui bahwa faktor A, B, C dan D memiliki pengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan (Mpa) *paving block*.. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara nilai *F-ratio* dengan nilai *F* tabel ($F_{0,05,2,26} = 3,55$, jika nilai *F-ratio* lebih besar dari nilai *F-tabel* maka faktor tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon yaitu kuat tekan (Mpa) *paving block*. Namun demikian, bisa dilihat faktor C (semen:fly ash) memiliki pengaruh yang lebih kecil dibandingkan 3 faktor yang lain. Hal ini bisa diartikan bahwa penambahan *fly ash* berhasil memberikan kontribusi dalam pengurangan

penggunaan semen dalam komposisi, tanpa mengurangi kualitas dari kuat tekan *paving block* itu sendiri.

13. *Pooling up of insignificant factors*

Untuk menghindari estimasi yang berlebihan atau kesalahan, maka direkomendasikan untuk menggunakan hanya separuh dari jumlah derajat kebebasan dari *orthogonal array*. Pada eksperimen ini digunakan *orthogonal array* $L_9(3^4)$, maka hanya diambil satu atau dua faktor pengaruh utama untuk perkiraan. Karena faktor C (rasio semen:fly ash) dan D (rasio pasir:kerikil) memiliki pengaruh dan kontribusi yang lebih kecil dibandingkan dengan 2 faktor yang lain terhadap respon utamanya yaitu kuat tekan *paving block*, maka faktor C dan D akan dilakukan *pooling up*. Berikut perhitungan untuk *pooling up* faktor C dan D.

$$S(\text{Pooled } e) = S_e + S_C + S_D$$

$$= 0,261 + 2,0599 + 6,194$$

$$= 8,516$$

$$v(\text{Pooled } e) = v_e + v_C + v_D = 18 + 2 + 2 = 22$$

$$M(\text{pooled } e) = S(\text{pooled } e)/v(\text{pooled } e) = 8,516/22 = 0,387$$

Hasil perhitungan *analysis of variance* nilai rata-rata eksperimen setelah *Pooling up* selengkapnya pada tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9. Analysis Of Variance Nilai Rata-Rata (Mean) Eksperimen Taguchi Setelah Pooling Up

Source	Pool	Sq	v	Mq	F-ratio	Sq'	rho %	F-tabel
A		14.2977	2	7.148849	18.46814	13.52352	42.0713343	3.55
B		9.330555	2	4.665278	12.05215	8.556374	26.6186747	3.55
C	Y	2.059937	2	1.029968				
D	Y	6.194818	2	3.097409				
pooled e		8.515999	22	0.387091	1	10.06436	31.309991	
St		32.14425	26	1.236317		32.14425	100	
Mean		9395.675	1					
ST		9427.82	27					

Berdasarkan hasil *analysis of variance* untuk nilai rata-rata eksperimen Taguchi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang memiliki pengaruh secara signifikan dalam meminimalkan penyimpangan terhadap rata-rata hasil eksperimen ($f \text{ ratio} > f \text{ tabel}$), atau bisa dikatakan faktor-faktor yang mampu memberikan kontribusi paling besar dalam meningkatkan nilai rata-rata eksperimen yaitu kuat tekan (Mpa) *paving block* adalah faktor A (rasio Agregat : Air-semen) dan

Faktor B (Faktor Air dan Semen), namun sebenarnya faktor yang lain juga memiliki pengaruh dan kontribusi terhadap kuat tekan (Mpa) *paving block* tetapi nilainya lebih kecil dibandingkan dengan faktor lain.

Perhitungan besar persen kontribusi menunjukkan bahwa persen kontribusi *error* adalah sebesar 31,309 %, maksudnya bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi nilai rata-rata sudah cukup dimasukkan dalam eksperimen. Dalam eksperimen Taguchi, persen kontribusi diharapkan nilainya $\leq 50\%$, dengan nilai tersebut berarti faktor-faktor penting dalam eksperimen telah dilibatkan. Dengan persen kontribusi $\leq 50\%$, hasil eksperimen Taguchi telah memenuhi kriteria sebagai model untuk memprediksi nilai rata-rata optimumnya.

4.3.1.3 Perhitungan Anova Nilai SNR

Analysis of signal to noise ratio digunakan untuk mencari faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu karakteristik kualitas. Dalam penelitian ini, karakteristik kualitas yang diamati adalah kuat tekan *paving block* (Mpa), dimana semakin tinggi nilainya semakin baik. Sehingga SNR yang digunakan dalam penelitian adalah *larger the better*. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan *analysis of variance* (SNR).

1. Menghitung nilai rata-rata *signal to noise ratio* seluruh eksperimen

$$\bar{\eta} = \frac{25,934 + 25,828 + \dots + 24,359}{9} = 25,395$$

2. Menghitung nilai rata-rata *signal to noise ratio* setiap level faktor

Perhitungan nilai rata-rata *signal to noise ratio* setiap level faktor menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{\eta} = \frac{\sum \bar{\eta}_{ijk}}{n_{ijk}}$$

Dimana,

$\bar{\eta}$ = nilai rata-rata SNR setiap level faktor

$\bar{\eta}_{ijk}$ = nilai rata-rata SNR setiap eksperimen ke-i untuk faktor j level k

n_{ijk} = jumlah eksperimen faktor j level k

Missal perhitungan faktor A Level 1 :

$$\bar{\eta}_{A1} = \frac{25.934 + 25,828 + 25.275}{3} = 25,679$$

Perhitungan nilai rata-rata *signal to noise ratio* setiap level faktor selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.10.

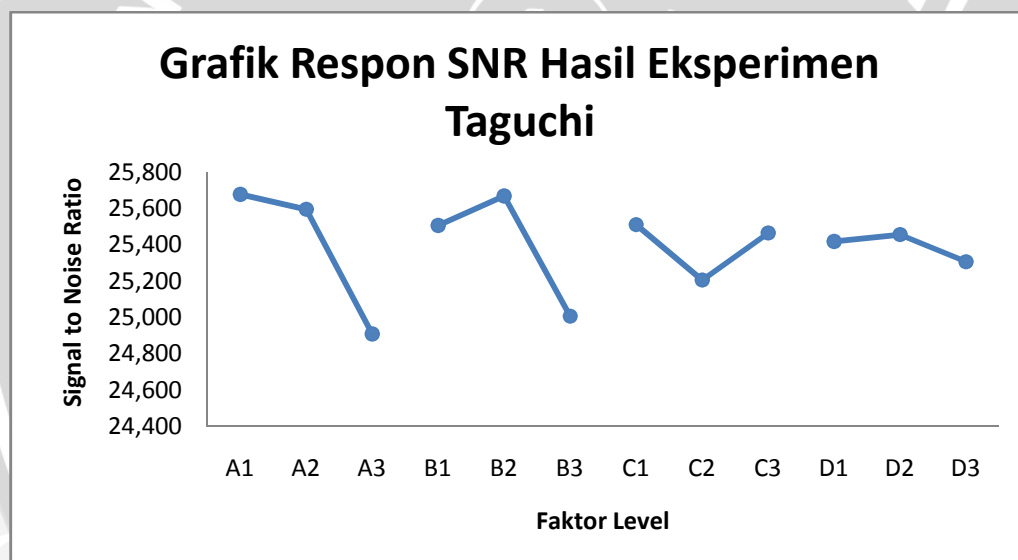
3. Membuat *response tabel* dan *response graph* untuk nilai rata-rata

Membuat *response tabel* dengan menghitung perbedaan nilai rata-rata SNR respon antar level suatu faktor kemudian mengurutkan perbedaan level faktor-faktor dari yang terbesar hingga terkecil.

Tabel 4.10. Tabel Respon untuk Nilai SNR Eksperimen Taguchi

	A	B	C	D
Level 1	25.679	25.508	25.512	25.420
Level 2	25.597	25.670	25.207	25.458
Level 3	24.909	25.007	25.466	25.307
Selisih	0.770	0.662	0.305	0.150
Ranking	1	2	3	4

Response graph untuk nilai SNR dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.2. Grafik Respon SNR Hasil Eksperimen Taguchi

Pada gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa faktor A level 1 mempunyai nilai SNR lebih tinggi disbanding level 1 dan 2, demikian selanjutnya pada faktor B level 2, faktor C level 1, dan faktor D level 2. Nilai SNR tertinggi menunjukkan variansi lebih kecil.

4. Menghitung nilai *total sum of square*

$$\begin{aligned}
 ST &= \sum \eta^2 \\
 &= 25,934^2 + 25,828^2 + 25,275^2 + \dots + 24,359^2 \\
 &= 5806.150
 \end{aligned}$$

5. Menghitung *sum of squares due to mean*

$$\begin{aligned} S_m &= n \cdot \bar{\eta}^2 \\ &= 9 \cdot 25,395^2 \\ &= 5804,164 \end{aligned}$$

6. Menghitung *sum of squares due to factors*

Misal untuk faktor A sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SqA &= n_{A1} \cdot \bar{\eta}_{A1}^2 + n_{A2} \cdot \bar{\eta}_{A2}^2 + n_{A3} \cdot \bar{\eta}_{A3}^2 - S_m \\ &= 3 \cdot 25,679^2 + 3 \cdot 25,597^2 + 3 \cdot 24,909^2 - 5804,164 \\ &= 1,0711 \end{aligned}$$

$$S(\text{pooled } e) = SC + SD$$

$$\begin{aligned} &= 0,162 + 0,0365 \\ &= 0,20 \end{aligned}$$

7. Menentukan derajat kebebasan sumber-sumber variansi

Misal untuk faktor A sebagai berikut:

$$\begin{aligned} v_A &= \text{jumlah level} - 1 \\ &= 3 - 1 = 2 \end{aligned}$$

8. Menghitung *mean sum of squares*

Misal untuk faktor A sebagai berikut:

$$\begin{aligned} MqA &= SA/v_A \\ &= 1,0711/2 \\ &= 0,5355 \end{aligned}$$

9. Menghitung nilai *F-ratio*

Misal untuk faktor A sebagai berikut:

$$\begin{aligned} FA &= MqA/Se \\ &= 0,5355/0,0498 \\ &= 10,752 \end{aligned}$$

10. Menghitung *pure sum of squares*

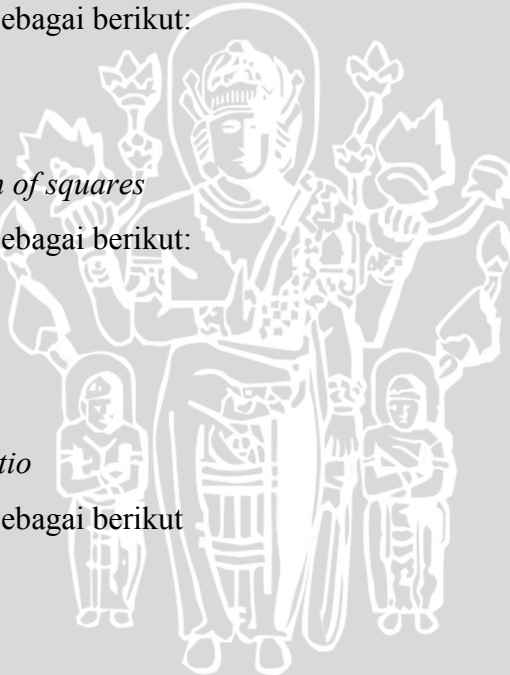
Misal untuk faktor A sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SqA' &= SqA - v_A \cdot Ve \\ &= 1,07119 - 2 \cdot 0,0498 \\ &= 0,97157 \end{aligned}$$

11. Menghitung *percent contribution*

Misal untuk faktor A sebagai berikut:

$$\rho_A = (SqA'/St) \cdot 100\%$$



$$= (0,9715/0,5977) \cdot 100 = 44,466\%$$

Perhitungan selengkapnya untuk *analysis of variance* nilai SNR dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4.11. Analysis Of Variance Nilai Signal To Noise Ratio

Source	Pool	Sq	V	Mq	F-ratio	Sq'	rho %	F-tabel
A		1.071197093	2	0.535599	10.75239	0.971573	44.46652	6.94
B		0.715260429	2	0.35763	7.179593	0.615636	28.17617	6.94
C	Y	0.16266919	2					
D	Y	0.036578995	2					
e		0.20	4	0.049812	1	0.597745	27.35731	
St		2.184953891	8			2.184954	100	
Mean		5804.16461	1					
ST		5806.150316	9					

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) dapat digunakan untuk pemilihan *setting* level optimal dari level faktor yang digunakan dalam eksperimen. Taguchi menyarankan penggunaan SNR sebagai kriteria pemilihan level faktor yang dapat meminimumkan *error of variance*, yaitu variansi yang disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak terkendali. Pemilihan level dari masing-masing faktor didasarkan pada nilai SNR yang lebih tinggi karena nilai SNR lebih tinggi dapat meminimumkan variansi, sehingga *noise* yang dihasilkan lebih kecil.

Berdasarkan perhitungan *analysis of variance (SNR)* di atas, menunjukkan nilai persen kontribusi sebesar 27.35731%, hal ini menunjukkan bahwa semua faktor yang signifikan mempengaruhi variansi sudah dimasukkan dalam eksperimen, atau bisa dikatakan *pooling* yang dilakukan sudah cukup optimal. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa pada eksperimen Taguchi, persen kontribusi diharapkan nilainya $\leq 50\%$, karena dengan nilai tersebut berarti faktor-faktor penting dalam eksperimen sudah dilibatkan. Dari perhitungan *analysis of variance* juga menunjukkan bahwa hanya faktor A (rasio berat agregat:airsemen) dan faktor B (faktor air dan semen) yang memberikan pengaruh lebih signifikan dari pada dua faktor lainnya yaitu faktor C (rasio berat semen:fly ash) dan faktor D (rasio berat pasir:kerikil).

4.3.2 Penentuan Setting Level Optimal

Pada dasarnya, upaya dalam meningkatkan karakteristik kualitas menggunakan dua cara yaitu mengurangi variansi dan mengatur target sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berikut adalah tabel perbandingan pengaruh faktor-faktor dalam eksperimen Taguchi terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* yang diamati.

Tabel 4.12. Penentuan Setting Level Factor Optimal

Faktor	$\bar{y}$ (rata-rata)	σ (variansi)	Pengaruh	Setting level yang digunakan
A	$\sqrt{1}$	$\sqrt{1}$	Signifikan terhadap rata-rata dan variansi	A1
B	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	Signifikan terhadap rata-rata dan variansi	B2
C	X	X	Kurang Signifikan terhadap rata-rata dan variansi	C1
D	X	X	Kurang Signifikan terhadap rata-rata dan variansi	D2

Keterangan :

$\sqrt{\quad}$: menunjukkan faktor tersebut penting

X : menunjukkan faktor tersebut kurang penting

$\sqrt{1}$: menunjukkan ranking berdasarkan tabel respon

Berdasarkan tabel perbandingan pengaruh faktor di atas dihasilkan kombinasi *setting level* faktor yang optimal yaitu faktor A level 1 untuk faktor rasio berat agregat:air semen (80%:20%), faktor B level 2 untuk faktor air semen (45%:55%), faktor C level 1 untuk faktor rasio berat semen:fly ash (70%:30%), dan faktor D level 2 untuk faktor rasio berat agregat halus (pasir):agregat kasar (kerikil) (80%:20%).

4.3.3. Prediksi Kondisi Optimum

Setelah *setting level* faktor yang optimal didapat, selanjutnya perlu diketahui nilai prediksi kuat tekan *paving block* berdasarkan nilai rata-rata dan SNR yang diharapkan pada kondisi optimum membandingkannya dengan hasil eksperimen konfirmasi. Apabila nilai prediksi dan hasil eksperimen nilainya hampir sama atau mendekati, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat dalam eksperimen Taguchi. Sedangkan tujuan perhitungan selang kepercayaan yaitu untuk membuat perkiraan dari level-level faktor prediksi rata-rata proses pada kondisi optimal sesuai level-level faktor optimal yang didapat.

1. Prediksi respon dan selang kepercayaan kondisi optimal untuk nilai rata-rata eksperimen Taguchi.

Nilai rata-rata seluruh data eksperimen adalah $\bar{y} = 18,654$, maka perhitungan respon (kuat tekan) rata-rata prediksi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{predicted} &= \bar{y} + (\bar{A1} - \bar{y}) + (\bar{B2} - \bar{y}) \\ &= \bar{A1} + \bar{B1} - \bar{y} \\ &= 19,244 + 19,233 - 18,654 \\ &= 19,822 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Selang kepercayaan dari rata-rata prediksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CI_{mean} = \pm |F_{\alpha, V1, v2} \cdot Ve \cdot \sqrt{\frac{1}{neff}}|$$

Dengan $neff$ adalah

$$\begin{aligned}neff &= \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}} \\ &= \frac{9 \cdot 3}{v\mu + vA + vB} \\ &= \frac{27}{1 + 2 + 2} = 5,4\end{aligned}$$

Maka selang kepercayaan prediksinya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}CI_{mean} &= \pm |F_{\alpha, V1, v2} \cdot Ve \cdot \sqrt{\frac{1}{neff}}| \\ &= \pm |F_{0,05,1,26} \cdot 0,38709 \cdot \sqrt{\frac{1}{5,4}}| \\ &= \pm 0,550 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaan untuk rata-rata proses yang optimal adalah

$$\begin{aligned}\mu_{predicted} - CI_{mean} &\leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI_{mean} \\ 19,822 - 0,550 &\leq \mu_{predicted} \leq 19,822 + 0,550 \\ 19,272 &\leq \mu_{predicted} \leq 20,372\end{aligned}$$

2. Prediksi respon dan selang kepercayaan kondisi optimal untuk nilai *signal to noise ratio*.

Nilai rata-rata SNR seluruh eksperimen Taguchi adalah $\bar{\eta} = 25,395$

Menghitung SNR pada kondisi optimal prediksi dengan rumus:

$$\begin{aligned}\eta_{predicted} &= \bar{\eta} + (\bar{A1} - \bar{\eta}) + (\bar{B2} - \bar{\eta}) \\ &= \bar{A1} + \bar{B2} - \bar{\eta}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 25,679 + 25,670 - 25,395 \\
 &= 25,954
 \end{aligned}$$

Selang kepercayaan dari SNR prediksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CI_{SNR} = \pm |F_{\alpha, v1, v2} \cdot Ve \cdot \frac{1}{neff}|$$

Dengan, $neff$ adalah

$$\begin{aligned}
 neff &= \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degrees of freedom used in estimate of mean}} \\
 &= \frac{9}{v\eta + vA + vB} = \frac{9}{1 + 2 + 2} = 1,8
 \end{aligned}$$

Maka selang kepercayaan prediksinya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 CI_{SNR} &= \pm |F_{0,05,1,4} \cdot 0,387 \cdot \frac{1}{1,8}| \\
 &= \pm 1,287
 \end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaan SNR untuk proses optimal adalah:

$$\begin{aligned}
 \eta_{predicted} - CI_{SNR} &\leq \eta_{predicted} \leq \eta_{predicted} + CI_{SNR} \\
 25,954 - 1,287 &\leq \eta_{predicted} \leq 25,954 + 1,287 \\
 24,666 &\leq \eta_{predicted} \leq 27,241
 \end{aligned}$$

Perhitungan selang kepercayaan di atas merupakan selang kepercayaan prediksi, dimana setelah diketahui *setting* level terbaiknya diharapkan pada eksperimen berikutnya (eksperimen konfirmasi), nilai rata-rata dan SNR berada diantara batas yang telah diprediksi.

4.4 Tahap Verifikasi

4.4.1 Eksperimen Konfirmasi

4.4.1.1 Pengujian Kuat Tekan Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang dijalankan pada kombinasi level-level faktor optimal yang terpilih berdasarkan hasil yang diperoleh dari eksperimen Taguchi. Tujuannya adalah untuk memeriksa hasil dari eksperimen Taguchi, apabila hasil eksperimen konfirmasi dan eksperimen Taguchi pada kombinasi level optimalnya cukup dekat satu sama lain maka dapat disimpulkan rancangan telah memenuhi syarat dalam eksperimen. Pengujian kuat tekan *paving block* eksperimen taguchi dilakukan di Laboratorium Bahan Dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya pada tanggal 2 juli 2012. Hasil eksperimen konfirmasi dengan *setting* level optimal eksperimen Taguchi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving block* Eksperimen Konfirmasi

No. Sampel	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (N)	Kuat Tekan (Mpa)
1	20300	388000	19.113
2	20300	399000	19.655
3	20300	401000	19.754
4	20300	384000	18.916
5	20300	386000	19.015
6	20300	404000	19.901
7	20300	408000	20.099
8	20300	394000	19.409
9	20300	396000	19.507
10	20300	398000	19.606
11	20300	410000	20.197
12	20300	388000	19.113
13	20300	379000	18.670
14	20300	381000	18.768
15	20300	392000	19.310
16	20300	395000	19.458

Sumber: Hasil Pengujian di Lab. Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil UB (2012)

Selanjutnya data hasil pengujian kuat tekan eksperimen konfirmasi di atas di hitung nilai rata-rata dan variansinya menggunakan rumus sebagai berikut:

Rumus perhitungan nilai rata-rata:

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

Dengan,

μ = nilai rata-rata

y_i = nilai sampel ke-i

n = jumlah sampel

Perhitungan nilai rata-rata, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{1}{16} (19,113 + 19,655 + 19,754 + \dots + 19,458) = 19,406 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Rumus perhitungan variansi:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Dengan,

σ^2 = variansi

μ = nilai rata-rata

y_i = nilai sampel ke- i

n = jumlah sampel

Karena jumlah sampel kurang dari 30, maka rumus perhitungan nilai variansi menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \frac{1}{16-1} ((19,113 - 19,406)^2 + (19,655 - 19,406)^2 + \dots \\ &\quad + (19,458 - 19,406)^2) \\ &= 0,207\end{aligned}$$

Perhitungan SNR untuk hasil eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta &= -10 \log \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right| \\ \eta &= -10 \log \left| \frac{1}{16} \left(\frac{1}{19,113^2} + \frac{1}{19,655^2} + \dots + \frac{1}{19,458^2} \right) \right| = 25,751\end{aligned}$$

4.4.1.2 Perhitungan Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi

1. Selang Kepercayaan nilai rata-rata eksperimen konfirmasi

$$\begin{aligned}CI_{mean} &= \pm \left| F_{\alpha, V1, V2} \cdot Ve \cdot \left| \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right| \right| \\ &= \pm \left| F_{0,05, 1, 26} \cdot 0,38709 \left| \frac{1}{5,4} + \frac{1}{16} \right| \right| \\ &= \pm 0,8139 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaanya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{confirmation} - CI_{mean} &\leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + CI_{mean} \\ 19,406 - 0,8139 &\leq \mu_{confirmation} \leq 19,406 + 0,8139 \\ 18,5921 &\leq \mu_{confirmation} \leq 20,2199\end{aligned}$$

2. Selang kepercayaan nilai SNR eksperimen konfirmasi

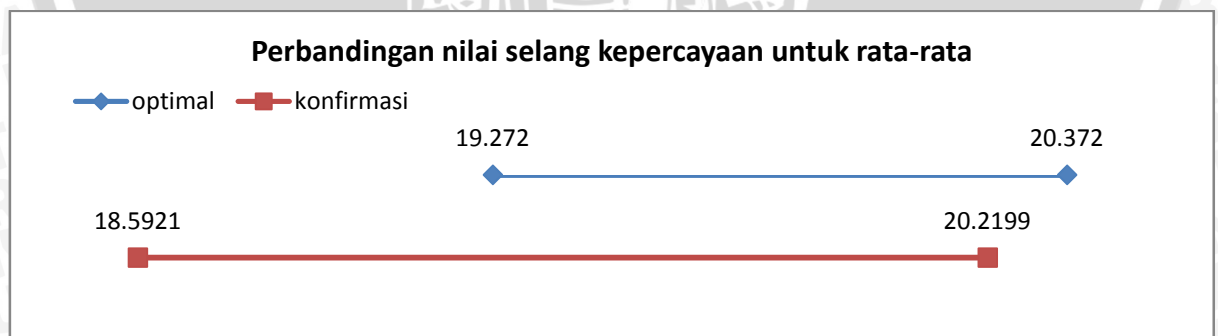
$$\begin{aligned}CI_{SNR} &= \pm \left| F_{0,05,1,4} \cdot 0,387 \cdot \left| \frac{1}{1,8} + \frac{1}{16} \right| \right| \\ &= \pm 2,3458\end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaanya adalah:

$$\begin{aligned}\eta_{confirmation} - CI_{SNR} &\leq \eta_{confirmation} \leq \eta_{confirmation} + CI_{SNR} \\ 25,751 - 2,3458 &\leq \eta_{predicted} \leq 25,751 + 2,3458 \\ 23,4052 &\leq \eta_{predicted} \leq 28,0968\end{aligned}$$

4.4.1.3 Analisis Selang Kepercayaan Kondisi Optimal dan Konfirmasi

Tujuan penggunaan selang kepercayaan adalah untuk membuat perkiraan dari level-level faktor dan prediksi rata-rata proses pada kondisi optimal. Nilai-nilai selang kepercayaan kondisi optimal kemudian dibandingkan dengan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi, dengan cara digambarkan dalam bentuk grafik. Perbandingan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata eksperimen konfirmasi dengan kondisi optimal dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.3. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Untuk Rata-Rata

Berdasarkan gambar 4.3 di atas menunjukkan hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima berdasarkan pertimbangan selang kepercayaan.

Sedangkan perbandingan selang kepercayaan untuk nilai SNR sebagai berikut:



Gambar 4.4. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Untuk SNR

Berdasarkan gambar 4.4 di atas menunjukkan hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai *signal to noise ratio* dapat diterima berdasarkan pertimbangan selang kepercayaan

4.4.2 Perbandingan Kondisi Aktual dan Konfirmasi

Selain dibandingkan dengan prediksi respon pada kondisi optimal, hasil eksperimen konfirmasi juga dibandingkan dengan hasil kondisi aktual. Jika hasil eksperimen konfirmasi yaitu dengan menerapkan *setting level* optimal yang didapat lebih baik dari kondisi aktual, dapat disimpulkan bahwa rancangan telah memenuhi syarat dalam eksperimen, sehingga *setting level* optimal dari factor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan (Mpa) paving block layak untuk diterapkan pada proses yang sebenarnya untuk mendapatkan kuat tekan paving block yang lebih baik dari sebelumnya. Perbandingan kondisi aktual dengan eksperimen konfirmasi dijelaskan pada tabel berikut ini.

Tabel 4.14. Perbandingan Kondisi Aktual dengan Eksperimen Konfirmasi

	Aktual	Konfirmasi	Spesifikasi
Rata-rata	17,122	19,406	17 – 20 Mpa
Variansi	3,87	0,207	

Selanjutnya untuk membandingkan hasil kondisi aktual dengan hasil eksperimen konfirmasi digunakan uji hipotesis beda dua rata-rata. Pengujian hipotesis beda dua rata-rata yang untuk sampel kecil ($n \leq 30$), uji statistiknya menggunakan distribusi t . Prosedur pengujian hipotesisnya sebagai berikut:

6. Formulasi Hipotesis (satu arah kiri)

H_0 : Kuat tekan (Mpa) *paving block setting level* optimal tidak berbeda signifikan

terhadap kondisi aktual ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 : Kuat tekan (Mpa) *paving block setting level* optimal berbeda signifikan

terhadap kondisi aktual ($\mu_1 < \mu_2$)

7. nilai α (taraf nyata) dan nilai t tabel (t_α)

α (taraf nyata) = 0,05

Derajat kebebasan = $16 + 16 - 2 = 30$

t tabel = $t_{\alpha(n_1+n_2-2)} = t_{0,05(30)} = 1,697$

8. Kriteria pengujian

Untuk $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ dan $H_0 : \mu_1 < \mu_2$, maka

H_0 diterima jika $t_0 \geq t_\alpha$

H_0 ditolak jika $t_0 < -t_\alpha$

9. Uji statistik (t_0)

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \\ &= \frac{17,122 - 19,406}{\sqrt{\frac{(16 - 1)3,87 + (16 - 1)0,207}{16 + 16 - 2} \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{16} \right)}} \\ &= \frac{-2,284}{\sqrt{\frac{58,05 + 3,105}{30} 0,125}} \\ &= \frac{-2,284}{\sqrt{0,2548125}} = \frac{-2,284}{0,504789} = -4,52466 \end{aligned}$$

10. Kesimpulan

Karena t hitung (-4,52466) lebih kecil dari t tabel (-1,697) maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kuat tekan (Mpa) *paving block setting level* optimal berbeda signifikan terhadap kondisi aktualnya.

Berdasarkan pengujian hipotesis diatas dapat disimpulkan bahwa jika setting level optimal dari factor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* dapat diterapkan pada proses pembuatan *paving block* yang sebenarnya, maka kualitas *paving block* dapat meningkat sesuai yang diharapkan perusahaan.

4.4.3 Perhitungan Quality Loss Function

Hasil perhitungan rata-rata dan standar deviasi untuk kondisi aktual dan kondisi optimal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.15. Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Perhitungan Quality Loss Function Kondisi Aktual dan Kondisi Optimal

	Kondisi aktual	Kondisi optimal
Rata-rata	17,122	19,406
Standar deviasi	1,967	0.455

Setelah data diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan *quality loss functions* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L(Y) = k \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right|$$

$$L(Y) = A_0 \Delta^2 \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right|$$

Dengan,

$L(Y)$ = kerugian dalam (Rp) untuk tiap produk bila karakteristik kualitas sama dengan Y

μ = mean

σ = deviasi

Δ = toleransi spesifikasi nilai karakteristik kualitas

A_0 = rata-rata biaya kerugian pada penyimpangan Δ

Dalam perhitungan *quality loss function* dibagi menjadi 2 bagian yaitu fungsi kerugian untuk konsumen dan fungsi kerugian untuk perusahaan.

4.4.3.1 Perhitungan Quality Loss Function untuk Perusahaan

1. Kondisi Aktual

Perhitungan *quality loss function*, terdapat nilai koefisien untuk fungsi kerugian yang terdiri dari A_0 dan Δ . Nilai A_0 adalah nilai kerugian yang harus ditanggung perusahaan jika produknya tidak memenuhi persyaratan/spesifikasi. Nilai A_0 merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk membuat satu buah *paving block* dengan tipe dan ukuran yang sama (K-200). Berdasarkan *setting* perusahaan untuk membuat satu buah *paving block* di butuhkan semen (0,28 Kg), air (0,2 Kg), Pasir (1,66 Kg) dan

Abu Batu (1,13 Kg). Secara lengkap bahan-bahan yang dipakai untuk membuat *paving block* beserta harganya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Perhitungan Harga Bahan Baku (Kg)

1. Harga Pasir /m³ = Rp 85.000, jika massa jenis pasir kering adalah 1600 Kg/m³, maka setiap Kg pasir harganya = Rp.85.000/1600 Kg = Rp 53,125 per-Kg
2. Harga Semen portland (SG) = Rp 48.000 per 40 Kg (1 zak), maka setiap Kg Semen harganya = Rp. 1.200 per Kg
3. Harga Kerikil /m³ = Rp 125.000, jika massa jenis kerikil = 1800 Kg/m³, maka setiap Kg kerikil harganya = Rp 69,44 per Kg
4. Harga Abu Batu /m³ = Rp.100.000, jika massa jenis abu batu diasumsikan sama dengan massa jenis batu kerikil/pecah = 1800 Kg/m³, maka setiap Kg abu batu harganya = Rp. 55,555 per Kg
5. Harga *Fly ash* /30 kg = Rp 10.000, maka setiap Kg *fly ash* harganya = Rp 333,33 per Kg

Tabel 4.16. Perhitungan Nilai A₀ Aktual

No.	Nama Bahan	Dipakai (Kg)	Harga per-kg (Rp)	Total harga (Rp)
1	Semen	0,28	1200	336
2	Pasir	1,66	53,125	88,1875
3	Abu Batu	1,13	55,555	62,777
Total				486.9645

Air dalam proses pembuatan *paving block* digunakan sebagai pelarut/atau membantu proses hidrasi antara semen dengan agregat. Dalam perhitungan A₀ untuk perusahaan, air diasumsikan tidak mempengaruhi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan. Sehingga Air tidak dimasukkan dalam perhitungan A₀.

Pada tabel di atas diperoleh nilai A₀ untuk menghitung *quality loss functions* perusahaan sebesar Rp 486.9645,-. Sedangkan nilai Δ adalah batas minimal produk mampu menahan beban hancur (kuat tekan) sebesar 17,0 Mpa. Sehingga diperoleh nilai koefisien untuk fungsi kerugian perusahaan sebagai berikut:

$$k = A_0 \cdot \Delta_0^2 = 486,9645 \cdot 17,0^2 = Rp 140732,7405$$

Setelah diketahui koefisien biayanya, maka persamaan *quality loss function*-nya dapat ditulis sebagai berikut:

$$L(Y) = 140732,7405 \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right|$$

Sehingga *quality loss function* untuk kondisi sebenarnya adalah

$$\begin{aligned} L(Y)_{\text{kondisi aktual}} &= 140732,7405 \left| \frac{1}{17,122^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{1,967^2}{17,122^2} \right) \right| \\ &= 140732,7405 \cdot [0,003411073][1,039593] \\ &= \text{Rp } 499,05625 \end{aligned}$$

2. Kondisi Optimal

Kondisi optimal diperoleh dengan membuat *paving block* menggunakan *setting level optimal* eksperimen Taguchi, atau bisa dikatakan menggunakan rancangan komposisi bahan baku pembuatan *paving block* yang baru. *Setting level optimal* dari penelitian ini adalah Agregat:air semen (80%:20%), F.a.s (45%:55%), Semen:*Fly ash* (70%:30%), dan Pasir:kerikil (80%:20%). Total bahan yang digunakan untuk membuat satu *paving block* berdasarkan *setting level optimal*, jika diasumsikan sama dengan total bahan yang digunakan oleh perusahaan yaitu 3,27 Kg, maka kebutuhan bahan baku untuk membuat satu buah *paving block* dengan *setting level optimal* adalah:

Tabel 4.17. Kebutuhan Bahan Baku Berdasarkan Setting Level Optimal

	Bahan-Bahan	Rasio	TotalberatCampuran	Beratbahan (Kg)
Agregat:Air-Semen	Agregat	80%	3.27	2,616
	Airsemen	20%		0,654
F.A.S	Air	45%	0.654	0.2943
	Semen	55%	0.654	0.3597
Semen: <i>Fly ash</i>	Semen	70%	0.3597	0.25179
	Flyash	30%	0.3597	0.10791
Pasir:Kerikil	Pasir	80%	2.616	2,0928
	Kerikil	20%	2.616	0.5232

Secara lengkap bahan-bahan yang dipakai beserta harganya untuk menentukan koefisien biaya A_0 optimal dapat dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4.18. Perhitungan Nilai A_0 Optimal

No	Nama Bahan	Dipakai	Harga per Kg	Total Harga (RP)
1	Semen (SG)	0,25179	1200	302,148
2	Pasir	2,0928	53,125	111,18
3	Kerikil	0,5232	69,44	36,331
4	<i>Fly ash</i> (Abu Terbang)	0,10791	333,33	35,9696
Total				485,6286

Berdasarkan tabel di atas diperoleh nilai A_0 untuk menghitung *quality loss function* perusahaan sebesar Rp 485,6286,-. Sehingga diperoleh nilai koefisien untuk fungsi kerugian perusahaan sebagai berikut:

$$k = A_0 \cdot \Delta_0^2 = 485,6286 \cdot 17,0^2 = \text{Rp } 140.346,6654$$

Setelah diketahui koefisien biayanya, maka persamaan *quality loss function*-nya dapat ditulis sebagai berikut:

$$L(Y) = 140.346,6654 \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right|$$

Sehingga *quality loss function setting level* optimalnya adalah

$$\begin{aligned} L(Y) &= 140.346,6654 \left| \frac{1}{19,406^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{0,455}{19,406^2} \right) \right| \\ &= 140.346,6654 [0,00265538] [1,0036246] \\ &= \text{Rp } 374,0245 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *quality loss function* untuk perusahaan pada kondisi sebelum dan sesudah penelitian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.19. Nilai Quality Loss Function Perusahaan

Quality Loss Function	
Sebelum Penelitian (aktual)	Sesudah Penelitian (optimal)
Rp 499,05625,-	Rp 374,02452,-

Dari hasil perhitungan Quality Loss Function untuk *paving block* perusahaan diatas dapat dilihat bahwa setelah penelitian ini, nilai QLF lebih kecil dari nilai QLF sebelum adanya penelitian. Hal ini membuktikan bahwa fungsi kerugian yang ditanggung perusahaan berkurang sebesar Rp 125.0317284 ,- setelah adanya penelitian ini.

4.4.3.2 Perhitungan Quality Loss Function untuk Konsumen

Nilai A_0 untuk konsumen diperoleh dari harga beli konsumen terhadap produk *paving block*. Harga beli produk *paving block* sendiri tergantung dari tipe dan ukuranya. Sesuai dengan *paving block* yang menjadi objek pada penelitian ini. Untuk menghitung *quality loss function* untuk konsumen digunakan asumsi untuk nilai jual setiap produk Rp 1125 (termasuk ongkos transportasi). Nilai Δ adalah batas minimal produk mampu menahan beban hancur (kuat tekan) sebesar 17,0 Mpa. Sehingga koefisien biaya untuk fungsi kerugian konsumen sebagai berikut:

$$k = A_0 \cdot \Delta_0^2 = 1125 \cdot 17,0^2 = \text{Rp } 325125$$

Setelah diketahui koefisien biayanya, maka perhitungan *quality loss function*-nya pada kondisi aktual dan kondisi optimal sebagai berikut:

1. Kondisi Aktual

$$\begin{aligned} L(Y) &= 325.125 \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right| \\ &= 325.125 \left| \frac{1}{17,122^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{1,967^2}{17,122^2} \right) \right| \\ &= 325.125 \cdot [0,003411073] [1,039593] = \text{Rp } 1152,93474 \end{aligned}$$

2. Kondisi Optimal

$$\begin{aligned} L(Y) &= 325.125 \left| \frac{1}{\bar{\mu}^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{\sigma^2}{\bar{\mu}^2} \right) \right| \\ &= 325.125 \left| \frac{1}{19,406^2} \right| \left| 1 + \left(3 \frac{0,455^2}{19,406^2} \right) \right| \\ &= 325125 [0,00265538] [1,0036246] \\ &= \text{Rp } 866,45969 \end{aligned}$$

Hasil perhitungsn *quality loss function* pada kondisi sebelum dan sesudah penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.20 Nilai Quality Loss Function Konsumen

Quality Loss Function	
Sebelum Penelitian (aktual)	Sesudah Penelitian (optimal)
1152,93474	866,45969

Dari hasil perhitungan *Quality Loss Function* untuk *paving block* konsumen diatas, dapat dilihat bahwa setelah adanya penelitian nilai QLF lebih kecil dari nilai QLF sebelum adanya penelitian. Hal ini membuktikan bahwa fungsi kerugian yang ditanggung konsumen berkurang setelah adanya penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan akhir dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran dari penulis untuk pengembangan penerapan rekayasa kualitas dengan metode Taguchi dalam upaya memperbaiki atau meningkatkan kualitas suatu produk.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil *analysis of variance* untuk rata-rata dan SNR dapat diketahui bahwa penambahan *fly ash* dalam komposisi pembuatan *paving block* memberikan pengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block*, namun dengan tingkat signifikansi yang kecil, sehingga bisa disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* dalam komposisi pembuatan *paving block* berhasil memberikan kontribusi dalam pengurangan penggunaan semen tanpa mengurangi kualitas dari kuat tekan *paving block* itu sendiri. Penambahan *fly ash* dalam komposisi pembuatan *paving block*, dalam upaya mengurangi penggunaan semen adalah sebesar 30% dari berat semen.
2. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* adalah rasio berat agregat:air semen. Faktor air semen (f.a.s), rasio berat semen:*fly ash* serta rasio berat agregat halus (pasir):agregat kasar (kerikil). Sedangkan faktor-faktor yang berpengaruh signifikan adalah rasio berat agregat:air semen dan faktor air semen (f.a.s).
3. Berdasarkan hasil *analysis variance* untuk nilai rata-rata dan *signal to noise ratio* eksperimen taguchi, didapatkan hasil bahwa *setting level* optimal dari faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari kuat tekan (Mpa) *paving block* adalah rasio agregat:air semen (80% : 20%) dan faktor air semen (45%:55%) dengan nilai rata-rata kuat tekan (Mpa) *paving block* pada hasil eksperimen konfirmasi sebesar 19,406 Mpa
4. Besarnya *quality loss function* untuk perusahaan setelah kondisi optimal tercapai sebesar Rp. 374,0245 lebih kecil dibandingkan dengan kondisi aktualnya yaitu sebesar Rp. 499,05625 demikian juga *quality loss function* untuk konsumen pada

5. kondisi optimal sebesar Rp. 866,459699 lebih kecil dibandingkan kondisi aktualnya yaitu Rp. 1152,93474, hal ini menunjukkan adanya penghematan yang bisa dilakukan perusahaan jika menerapkan *setting level* optimal dari factor yang berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block* pada proses pembuatan *paving block* yang sebenarnya, sehingga diharapkan dapat membuat *paving block* dengan kualitas optimal dengan biaya yang lebih murah.

5.2 Saran

Saran yang disampaikan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

1. Perlunya penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan karakteristik kualitas dari kuat tekan *paving block* (Mpa) dengan memasukkan faktor-faktor lain yang dianggap berpengaruh dan bisa dikendalikan ke dalam eksperimen Taguchi.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambahan alternatif pada proses pembuatan *paving block* dengan memperhatikan semua faktor yang mungkin bisa dikendalikan dan digunakan dalam eksperimen taguchi ini.
3. Perusahaan perlu lebih meningkatkan kualitas produk *paving block* yang dihasilkannya untuk meminimumkan *quality loss function*.

DAFTAR PUSTAKA

- Andoyo.2006. *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air Pada Mortar*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Belavendram, 1995. *Quality by Design : Taguchi Techniques for industrial Experimentation*. Prentice Hall, London.
- British Standard (BS) 6717-1:1993 : *Specification For Paving Block*.
- Cahya, Indra. 1984. *Teknologi Beton*. Malang: Universitas Brawijaya Fakultas Teknik
- Dorothea, W.A.,2004.*Pengendallian Kualitas Statistik*.Yogyakarta: Penerbit Andi
- Fatifatussyam. 2008. *Perancangan Ulang Produk Paving Stone Untuk Peningkatan Kualitas Dengan Pendekatan Metode Taguchi dan Rekayasa Nilai, Jurnal Teknik Industri, Vol. 9, No. 2 : 155-163*
- Hasan, iqbal. 1999. *Pokok-pokok Materi Statistik 2*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Istimawan D.,1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka
- Kartini, wahyu. 2008. *Penggunaan Fly Ash Pada Self Compacting Concrete (SCC), Jurnal Rekayasa Perencanaan, Vol.4, No.03*
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*. Jakarta: Andi Offset.
- Montgomery, Douglas C., 1993, *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik*, Gajah Mada University Press.
- Sagel, R., Kole, P., Kusuma, Giedon. 1997. *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta: PT Erlangga
- Soejanto, Irwan, 2007, *Rekayasa Kualitas : Eksperimen dengan Teknik Taguchi*, Penerbit Yayasan Humaniora, Surabaya
- Safitri, Endah. 2009. *Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Pada Produksi Paving Block*. Media Teknik Sipil, Vol IX, No 1, Hal 36 – 40.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-0691-1996 tentang Bata Beton (Paving Block).
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-1994 tentang Semen Portland
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6863-2002 tentang Abu terbang
- Triyono.2007. *Penentuan Setting Level Optimal Bending Strength Gypsum Interior Berpenguat Serat Centula Menggunakan Desain Eksperimen Taguchi*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Surakarta:Universitas Sebelas Maret.