

**PENENTUAN JUMLAH ABU SEKAM PADI DALAM  
MEMPRODUKSI BETON DENGAN PENDEKATAN METODE  
TAGUCHI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA BAHAN BAKU  
DI PT. VARIA USAHA BETON**

**SKRIPSI  
TEKNIK INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**SYAH RIZAL PAMUNGKAS**  
**NIM 135060700111004**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**

**2017**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA







# DAFTAR ISI

Halaman

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I</b>	
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Asumsi .....	4
1.6 Tujuan Penelitian .....	5
1.7 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	7
2.2 Kualitas .....	8
2.3 Desain Eksperimen .....	9
2.4 Metode <i>Taguchi</i> .....	10
2.5 Tahap-tahap Metode <i>Taguchi</i> .....	11
2.5.1 Tahap Perencanaan Eksperimen .....	11
2.5.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	11
2.5.3 Tahap Analisa.....	11
2.6 Matriks Ortogonal.....	14
2.7 Klasifikasi Karakteristik Kualitas.....	16
2.8 Klasifikasi Parameter.....	17





2.9	<i>Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)</i> .....	17
2.10	<i>Analysis of Variance (ANOVA)</i> untuk Data Variabel .....	18
2.11	Interval Kepercayaan .....	19
2.12	Eksperimen Konfirmasi .....	20
2.13	Pengertian Beton.....	21
2.14	Semen Portland .....	22
2.14.1	Jenis Semen Portland .....	23
2.14.2	Semen Pozzolan .....	24
2.14.3	Semen Portland Komposit .....	24
2.15	Bahan Mineral Pembantu .....	25
2.16	Faktor Air-Semen (FAS) .....	26
2.17	SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal..	27
2.17.1	Pemilihan Proporsi Campuran Beton.....	28
2.17.2	Perhitungan Kuat Tekan Rata-Rata .....	28
2.17.3	Perhitungan Nilai Tambah .....	29
2.17.4	Pemilihan Faktor Air-semen.....	30
2.17.5	Kadar Air Bebas.....	30
2.17.6	Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar .....	30
2.17.7	Perkiraan Faktor Air Semen dengan Umur Beton dan Kekuatan Tekan Beton Rencana .....	31
2.17.8	Perkiraan Persentase Agregat Halus .....	32
2.17.9	Perkiraan Kadar Air Bebas .....	33
2.17.10	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagi Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus .....	33
2.17.11	Persyaratan Batas-Batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar .....	33
2.17.12	Berat Jenis Relatif Agregat.....	33
2.17.13	Proporsi Campuran Beton.....	34
2.17.14	Koreksi Proporsi Campuran .....	34
2.17.15	Cara Pengerjaan .....	35
2.17	Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.....	37
2.14	Benda Uji Beton.....	38

**BAB III METODE PENELITIAN .....** **39**

3.1	Jenis Metode Penelitian .....	39
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian .....	39
3.3	Alat dan Bahan Penelitian .....	39
3.4	Tahap Penelitian .....	40
3.4.1	Tahap Pendahuluan .....	40
3.4.2	Tahap Perencanaan Eksperimen .....	41
3.4.3	Tahap Pembuatan Benda Uji Beton .....	42
3.4.4	Tahap Pengumpulan dan Pengelolaan Data .....	42
3.4.5	Tahap Analisa dan Pembahasan .....	44
3.4.6	Tahap Kesimpulan .....	44
3.5	Diagram Alir Penelitian .....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Gambaran Umum Perusahaan .....	47
4.1.1	Sejarah Perusahaan .....	47
4.1.2	Visi dan Misi Perusahaan .....	49
4.1.3	Struktur Organisasi Perusahaan .....	49
4.1.4	Proses Pengadaan Bahan Baku .....	52
4.1.5	Proses Produksi Beton Siap Pakai .....	52
4.2	Perencanaan Eksperimen .....	54
4.2.1	Penetapan Karakteristik Kualitas .....	54
4.2.2	Identifikasi Faktor Kontrol .....	55
4.2.3	Bahan Pembuatan Beton .....	58
4.2.4	Alat Pembuatan Benda uji Beton .....	58
4.2.5	Alat Pengujian Kuat Tekan Beton .....	61
4.2.6	Perencanaan Beton K225 .....	62
4.2.7	Prosedur Pembuatan Beton .....	79
4.2.8	Penentuan Level .....	82
4.2.9	Penetapan Derajat Kebebasan .....	84
4.2.10	Penetapan <i>Orthogonal Array</i> .....	85
4.2.11	Penugasan pada <i>Orthogonal Array</i> .....	85
4.3	Tahap Pelaksanaan Eksperimen .....	86
4.3.1	Pembuatan Beton mutu K225 dengan Eksperimen Taguchi .....	84
4.3.2	Pengujian Kuat Tekan Beton Eksperimen Taguchi .....	92

4.4 Tahap Analisis Hasil Eksperimen.....	92
4.4.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen.....	92
4.4.1.1 Analisis Varians .....	93
4.4.1.2 Perhitungan Analisis Varians Nilai Rata-Rata.....	94
4.4.1.3 Perhitungan Nilai <i>Signal to Noise</i> (SNR) .....	102
4.4.1.4 Perhitungan <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) .....	103
4.4.2 Penentuan <i>Setting Level</i> Optimal .....	108
4.4.3 Perkiraan Kondisi Optimal dan Interval Kepercayaan Nilai Rata-rata dan <i>Signal to Noise</i> (SNR).....	109
4.5 Eksperimen Konfirmasi .....	111
4.6 Perhitungan Bahan Baku .....	115
4.7 Analisis dan Pembahasan .....	116
4.7.1 Analisis Perubahan Mutu Beton .....	116
4.7.2 Analisis Perbandingan Biaya Bahan Baku Beton Pada Mutu Beton K650 FA .....	117
4.7.3 Keuntungan Beton K650 ASP (Abu Sekam Padi).....	118
4.7.4 Kondisi Eksisting Perusahaan.....	119
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>121</b>
5.1 Kesimpulan .....	121
5.2 Saran .....	122
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>123</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>125</b>



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian terdahulu .....	8
Tabel 2.2	Orthogonal Array Standar .....	15
Tabel 2.3	Klasifikasi Karakteristik Kualitas .....	16
Tabel 2.4	Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas .....	17
Tabel 2.5	Response Table of Faktor Effect.....	18
Tabel 2.6	Tabel ANOVA .....	19
Tabel 2.7	Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Konfirmasi .....	21
Tabel 2.8	Material Pozzolan .....	26
Tabel 2.9	Tabel 1 faktor pengali untuk standar deviasi bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 .....	29
Tabel 2.10	Tabel 2 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor air semen, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia .....	30
Tabel 2.11	Tabel 3 perkiraan kadar air bebas (Kg/m <sup>3</sup> ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton .....	33
Tabel 2.12	Tabel 4 persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air-semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	33
Tabel 2.13	Tabel 7 Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar.....	33
Tabel 2.14	Daftar konversi.....	38
Tabel 4.1	Identifikasi Faktor.....	55
Tabel 4.2	Analisa ayakan agregat halus .....	64
Tabel 4.3	Analisa ayakan agregat kasar 10-20 mm (kerikil pasuruan).....	65
Tabel 4.4	Gabungan gradasi agregat.....	67
Tabel 4.5	Berat jenis dan penyerapan agregat .....	68
Tabel 4.6	Nilai kadar air agregat.....	69
Tabel 4.7	Perencanaan beton K225 menurut SNI 03-2834-2000 .....	71
Tabel 4.8	Tabel 1 faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 .....	72

Tabel 4.9	Proporsi campuran teoritis.....	78
Tabel 4.10	Hasil kuat tekan hidayat (2014).....	82
Tabel 4.11	Hasil kuat tekan Suhirkam dan Latif (2014) .....	82
Tabel 4.12	Hasil kuat tekan Ginting (2014) .....	83
Tabel 4.13	Hasil kuat tekan Armeyn (2006) .....	83
Tabel 4.14	Derajat kebebasan untuk faktor kontrol dalam penelitian ini .....	84
Tabel 4.15	Matriks Orthogonal Array L9 (3 <sup>4</sup> ).....	85
Tabel 4.16	Hasil penakaran tiap eksperimen atau campuran .....	85
Tabel 4.17	Proporsi Campuran Mutu Beton K225 Rencana .....	88
Tabel 4.18	Level Faktor Eksperimen ke-1 .....	88
Tabel 4.19	Proporsi Campuran Yang Ditimbang Sebelum dan Setelah Dikonversi .....	88
Tabel 4.20	Hasil pengujian kuat tekan (MPa) .....	90
Tabel 4.21	Hasil perhitungan rata-rata .....	93
Tabel 4.22	Tabel respon kuat tekan nilai rata-rata eksperimen Taguchi .....	93
Tabel 4.23	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA).....	95
Tabel 4.24	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) nilai rata-rata pooling.....	98
Tabel 4.25	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) nilai rata-rata pooling akhir .....	101
Tabel 4.26	Hasil perhitungan nilai Signal to Noise (SNR) .....	101
Tabel 4.27	Tabel respon Signal to Noise Ratio .....	103
Tabel 4.28	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai Signal to Noise Ratio (SNR).....	104
Tabel 4.29	<i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai Signal to Noise Ratio (SNR) Akhir.....	107
Tabel 4.30	Tabel perbandingan pengaruh faktor pada eksperimen Taguchi.....	107
Tabel 4.31	Perbandingan campuran konfirmasi tiap 1 m <sup>3</sup> dengan tiap 0.02649375 m <sup>3</sup> .....	108
Tabel 4.32	Data hasil eksperimen konfirmasi .....	112
Tabel 4.33	Perbandingan Total Biaya Beton Mutu K650 FA (Fly Ash) dengan Beton Mutu K650 Eksperimen.....	112
Tabel 4.34	Perhitungan Biaya Produksi .....	116

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Permintaan beton di PT. Varia Usaha Beton.....	2
Gambar 2.1	Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas.....	17
Gambar 2.2	Unsur-unsur pembuat beton .....	22
Gambar 2.3	Perbedaan reaksi hidrasi dan reaksi pozzolanik .....	25
Gambar 2.4	hubungan kuat tekan beton dengan faktor air semen .....	26
Gambar 2.5	Grafik 1 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.....	31
Gambar 2.6	Grafik 14 Hubungan persentase agregat halus untuk ukuran butir maksimum 20 mm .....	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	45
Gambar 4.1	Struktur organisasi PT. Varia Usaha Beton.....	49
Gambar 4.2	Bagan proses produksi beton siap pakai.....	54
Gambar 4.3	Mesin adukan mini .....	59
Gambar 4.4	Mesin timbangan digital .....	59
Gambar 4.5	Cetok Semen.....	60
Gambar 4.6	<i>Trolley</i> .....	60
Gambar 4.7	Cawan besar dan bak kecil .....	60
Gambar 4.8	Alat-alat pengujian Slump.....	61
Gambar 4.9	Cetakan silinder .....	61
Gambar 4.10	Alat capping dan kompor listrik .....	62
Gambar 4.11	Mesin uji kuat tekan .....	62
Gambar 4.12	Ayakan standar .....	63
Gambar 4.13	<i>Sieve shaker</i> .....	63
Gambar 4.14	Gradasi pasir lumajang dengan grafik gradasi no.2 (pasir sedang).....	64
Gambar 4.15	Gradasi kerikil 10-20 mm pasuruan .....	66
Gambar 4.16	Kurva gradasi gabungan agregat ukuran butir maksimum 20 mm.....	68
Gambar 4.17	Penimbangan agregat untuk pengukuran kadar air.....	69
Gambar 4.18	Diagram Alir Perhitungan Perencanaan Beton K225.....	70
Gambar 4.19	Grafik 1 penetapan faktor air-semen .....	74
Gambar 4.20	Grafik 14 hasil persentase kadar agregat halus. ....	76
Gambar 4.21	Grafik 16 hasil perkiraan berat isi beton basah .....	77

Gambar 4.22	Persiapan mesin pengaduk atau molen dan cawan besar .....	80
Gambar 4.23	Pengukuran Slump .....	80
Gambar 4.24	Pengolesan minyak.....	80
Gambar 4.25	Benda uji dibuka setelah dibiarkan selama 24 jam .....	80
Gambar 4.26	Perendaman benda uji beton .....	80
Gambar 4.27	Diagram Alir Perhitungan Campuran ke-1 .....	87
Gambar 4.28	Respon graph nilai rata-rata .....	96
Gambar 4.29	Perbandingan interval kepercayaan prediksi dan eksperimen konfirmasi pada nilai rata-rata.....	114
Gambar 4.30	Perbandingan interval kepercayaan prediksi dan eksperimen konfirmasi pada nilai Signal To Noise (SNR).....	114



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Grafik gradasi agregat halus .....	125
Lampiran 2	Grafik gradasi agregat kasar .....	127
Lampiran 3	Grafik Persen agregat halus .....	129
Lampiran 4	Grafik Perkiraan isi basah beton .....	131
Lampiran 5	Gradasi gabungan .....	132



## PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Tidak lupa shalawat dan salam juga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Skripsi yang berjudul **“PENENTUAN JUMLAH ABU SEKAM PADI DALAM MEMPRODUKSI BETON DENGAN PENDEKATAN METODE TAGUCHI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA BAHAN BAKU DI PT. VARIA USAHA BETON”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis dalam penulisan skripsi ini, namun berkat dukungan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, hambatan-hambatan tersebut dapat teratasi. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayah Ansori dan Ibu Umi Munadhiroh atas kasih sayang, doa dan kesabaran yang tak terbatas, untuk pelajaran dan didikan yang diberikan selama ini, motivasi, nasihat, dukungan mental dan materiil, serta perjuangan yang tidak pernah lelah demi memberikan pendidikan yang terbaik kepada penulis.
2. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. dan Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri dan Sekretaris Jurusan Teknik Industri, penulis berterimakasih atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
3. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D dan Rakhmat Himawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing I dan II, penulis berterimakasih atas kesabaran yang diberikan dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, motivasi, semangat, ilmu dan nasihat yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
4. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik, yang selalu memberikan bimbingan dan arahan terhadap kegiatan akademik maupun non akademik kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Industri yang telah dengan ikhlas memberikan ilmu yang sangat berharga dan bermanfaat bagi penulis.
6. Bapak dan Ibu karyawan Jurusan Teknik Industri yang telah membantu memberikan informasi serta melaksanakan proses akademik.

7. Bapak Didik Priastono sebagai Kepala Laboratorium, dan sebagai pembimbing lapangan dari PT. Varia Usaha Beton yang telah memberikan ilmu, informasi, dan bantuan guna kelancaran penyelesaian skripsi.
8. Bapak Sugeng Hendrik, ST. dan Dino Teguh, ST. sebagai pengawas di lapangan dari Staff Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi telah memberikan ilmu, informasi, dan bantuan guna kelancaran penyelesaian skripsi.
9. Seluruh Pegawai PT. Varia Usaha Beton Malang yang telah bersedia memberikan informasi dan bantuan guna kelancaran penyelesaian skripsi.
10. Semua teman-teman “SUKA-SUKA” yang selalu memberikan bantuan, motivasi, doa, dukungan, semangat, dan menghibur penulis
11. Sahabat “Mahasiswa Wirausaha” Andal, Bayu Rizkyanto, Danang S., Laksito A.D., Novanjou, Nicko R., Risna Aditya P, Soki, Tom’s Adam, dan Yudha Iswara. yang selalu memberikan bantuan, motivasi, doa, dan menghibur penulis.
12. Sahabat “Ngopi dal dal dal” Dino A.K., Fadul, Hari, dan Subodro yang selalu memberikan motivasi dan semangat serta doa kepada penulis.
13. Sahabat “Paguyuban” Abdul Qodir, Dzinsyah, Fanda, dan Septian dwi P. yang selalu memberikan motivasi dan semangat serta doa kepada penulis.
14. Mbak Us yang selalu memberi nasihat, motivasi, pengalaman, bantuan serta memberi masukan kepada penulis.
15. Teman Teman TI13, dan seluruh pihak yang belum disebutkan satu persatu oleh penulis atas keterlibatan dan dukungannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis mengucapkan pula permohonan maaf atas kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Semoga kritik dan saran yang konstruktif agar penulisan skripsi ini menjadi lebih baik. Semoga skripsi ini dapat dikembangkan dan bermanfaat bagi ilmu pengetahuan ke depannya.

Malang, Juli 2017

Penulis

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 14 Agustus 2017

Mahasiswa



Syah Rizal Pamungkas

NIM. 135060700111004

## RINGKASAN

**Syah Rizal Pamungkas**, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, Penentuan Jumlah Abu Sekam Padi Dalam Memproduksi Beton dengan Pendekatan Metode Taguchi Untuk Meminimalkan Biaya Bahan Baku di PT. Varia Usaha Beton, Dosen Pembimbing: Oyong Novareza dan Rakhmat Himawan.

Pembangunan di bidang konstruksi dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini akan mempengaruhi perkembangan teknologi bahan bangunan dunia. Terutama di bidang konstruksi, Penggunaan beton yang cukup besar dalam pembangunan memerlukan usaha-usaha untuk memenuhi kebutuhan beton. PT Varia Usaha Beton adalah perusahaan industri yang bergerak dalam bidang pengadaan beton dan bangunan. Permintaan beton di PT. Varia Usaha Beton seiring dengan pembangunan di bidang konstruksi cukuplah besar. Oleh karena itu dibutuhkan suatu usaha untuk meminimasi penggunaan semen. Diantaranya adalah dengan mencari bahan tambah yang memiliki komposisi kimia yang mirip dengan semen. Salah satu bahan tambah yang sering digunakan ialah bahan tambah berupa pozzolan. Bahan yang mengandung *pozzolan* tersebut diantaranya adalah abu sekam padi. Penelitian ini fokus terhadap kuat tekan yang dihasilkan oleh beton dengan bahan tambah abu sekam padi sebagai bahan substitusi sebagian dari semen.

Pada penelitian ini dilakukan eksperimen Taguchi dengan menggunakan Orthogonal Array L9(3<sup>4</sup>), yang terdiri dari 4 faktor kontrol dan 3 level faktor yaitu faktor air-semen (FAS) dengan level faktor 0,465; 0,49; 0,515, kemudian faktor ASP-semen (abu sekam padi) dengan level faktor 5%; 7,5%; 10%, dan faktor perbandingan agregat halus dengan agregat kasar dengan level faktor 40%:60%, 45%:55%, dan 55%:45%, faktor lama pengadukan dengan level faktor 2 menit, 3 menit, dan 4 menit. Digunakan metode taguchi untuk mendapatkan kombinasi faktor serta level faktor guna mendapatkan mutu kuat tekan yang optimal, di samping itu meminimasi penggunaan semen. Selanjutnya data hasil eksperimen dilakukan perhitungan ANOVA nilai rata-rata dan signal to noise ratio, menghitung interval kepercayaan, dan pemilihan setting level optimal.

Berdasarkan pengolahan data, didapatkan kombinasi level faktor yang optimal adalah Faktor A Level 1 (Faktor air-semen 0,465), Faktor B Level 1 (Faktor ASP-semen 0,05), Faktor C Level 3 (Faktor Perbandingan Agregat Halus dan Kasar 0,45:0,55), Faktor D Level 1 (Faktor lama pengadukan 2 menit). Pemilihan setting level optimal tersebut semakin valid dengan dilakukannya eksperimen konfirmasi sebanyak 10 replikasi. Hasil dari eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa rata-rata nilai kuat tekan masih berada dalam interval hasil optimal/interval kepercayaan eksperimen Taguchi yang artinya hasil dari eksperimen Taguchi dapat digunakan. Terjadi penghematan biaya bahan baku dengan adanya penambahan abu sekam padi adalah sebesar Rp 23.374,00 tiap 1m<sup>3</sup> atau 4,17 % dari biaya bahan baku pada mutu beton K650.

**Kata kunci:** Kuat Tekan, Abu sekam padi, Beton, Taguchi



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

## SUMMARY

**Syah Rizal Pamungkas**, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, July 2017, *Determination of Amount of Rice Husk Ash In Producing Concrete with Taguchi Method Approach To Minimize Raw Material Cost in PT.Varia Usaha Beton*, Academic Supervisor: Oyong Novareza and Rakhmat Himawan.

*The growth of the construction had been increasing very rapidly. This will influence an improvement in world building materials technology. Especially in the field of construction, The use of large enough concrete in the construction considerable effort to meet the composition requirement. PT Varia Usaha Beton is an industrial company engaged in the supply of concrete and buildings. Demand of concrete at PT. Varia Usaha Beton along with construction in the field is large enough. Therefore effort is needed to minimize the use of cement. Among them is to look for added materials that have a chemical composition similar to cement. One of the added materials that are often used is pozzolan i.e. rice husk ash. This study focuses on the compressive strength produced by concrete with the added materials of rice husk ash as a partial substitute material of cement.*

*In this research, taguchi experiment is obtained using Orthogonal Array  $L_9(3^4)$ , consisting of 4 control factors and 3 level factors, the water-cement factor (FAS) with the factor level of 0.465; 0.49; 0.515, then ASP-cement factor (rice husk ash) with a factor level of 5%; 7.5%; 10%, and smooth aggregate ratio factor with a coarse aggregate with a factor level of 40%: 60%, 45%: 55%, and 55%: 45%, long stirring with factor level 2 minutes, 3 minutes and 4 minutes. Taguchi method is used to get combination of factors and factor level in order to get optimal compressive strength, besides minimizing the use of cement. Furthermore, experimental data was calculated ANOVA average value and signal to noise ratio, confidence interval, and selected of optimal level setting.*

*Based on the experimental data processing, the optimal combination of factor level is Factor A Level 1 (Cement Factor-cement 0,465), Factor B Level 1 (ASP-Cement Factor 0,05), Factor C Level 3 (Comparison Factor of smooth aggregate ratio factor with a coarse aggregate 0.45: 0.55), Factor D Level 1 (2 minutes long stirring factor). Selection of optimum level setting is more valid by doing confirmation experiment as much as 10 replication. The results of the confirmatory experiments show that the average value of compressive strength is still within the optimum interval / interval confidence of the Taguchi experimental which means the results of the Taguchi experiment can be used. Raw material cost savings with the addition of rice husk ash is Rp 23,374.00 per  $1m^3$  or 4,17 % of material cost on the quality of K650 concrete.*

**Keywords:** Compressive strength, rice husk ash, Concrete, Taguchi,



## BAB I PENDAHULUAN

Setiap masalah yang diangkat untuk dipaparkan secara keilmuan tentu mempunyai alasan yang mendasar atau dorongan sehingga peneliti berkeinginan kuat untuk mengkajinya. Pendahuluan merupakan bab pertama dari karya tulis yang berisi jawaban apa dan mengapa penelitian itu perlu dilakukan. Pada bab ini akan memberikan gambaran mengenai topik yang hendak disajikan. Oleh karena itu bab ini akan memuat latar belakang dilakukannya penelitian, identifikasi masalah, perumusan masalah, batasan penelitian, asumsi dalam penelitian, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian.

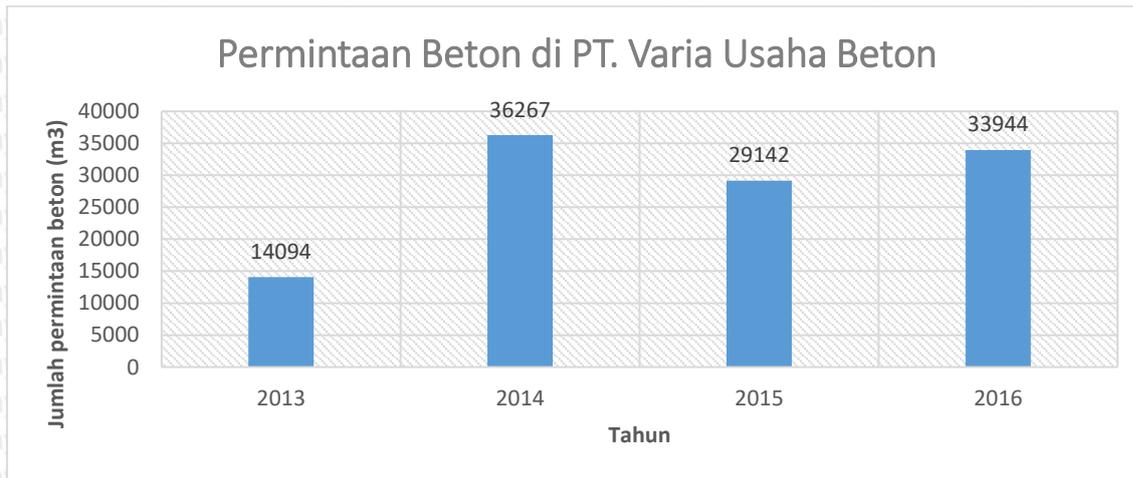
### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan di bidang konstruksi dewasa ini mengalami kemajuan yang sangat pesat. Hal ini akan mempengaruhi perkembangan teknologi bahan bangunan dunia. Terutama di bidang konstruksi, Penggunaan beton yang cukup besar dalam pembangunan memerlukan usaha-usaha untuk memenuhi kebutuhan bahan bangunan tersebut. Salah satunya adalah menciptakan beton dengan bahan baku yang berlimpah, mudah didapat, dan ekonomis.

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Sedangkan agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

Menurut Mulyono (2004), beton memiliki kelebihan-kelebihan dibandingkan bahan struktur lainnya. Beberapa diantaranya adalah harganya relatif murah, mempunyai kekuatan tekan yang cukup besar, tahan lama, tahan terhadap api, bahan baku mudah didapat dan tidak mengalami pembusukan. Secara umum bahan pengisi (*filler*) beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh, mudah diolah (*workability*) dan mempunyai keawetan (*durability*) serta kekuatan (*strenght*) yang sangat diperlukan dalam pembangunan suatu konstruksi. Kelebihan-kelebihan ini membuat bahan struktur beton banyak diminati oleh masyarakat.

PT Varia Usaha Beton adalah perusahaan industri yang bergerak dalam bidang pengadaan beton dan bangunan. Pada tahap awal, yaitu pada 1 November 1978, PT Varia Usaha Beton merupakan Unit Usaha Samping PT Semen Gresik (Persero). Pada 1 Agustus 1988, PT Semen Gresik (Persero) menyerahkan Unit Usaha Samping tersebut kepada salah satu anak perusahaan yaitu PT Varia Usaha. Pada 3 Mei 1991, PT Varia Usaha memisahkan Unit Beton Siap Pakai (Remicon) dan Unit Tegel menjadi perusahaan yang berdiri sendiri yaitu PT Varia Usaha Beton.



*Gambar 1.1* Permintaan beton di PT. Varia Usaha Beton

Sumber: PT. Varia Usaha Beton Plant Malang

Pada gambar 1.1 menunjukkan permintaan beton di PT. Varia Usaha Beton seiring dengan pembangunan di bidang konstruksi cukuplah besar. Hal ini akan memicu kelangkaan kebutuhan material beton itu sendiri. Salah satu material utama beton adalah semen. Semakin tinggi kebutuhan semen akan menyebabkan harga semen semakin mahal. Sehingga kebutuhan akan semen pada industri konstruksi memakan biaya yang besar. Oleh karena itu dibutuhkan suatu usaha untuk meminimasi penggunaan semen. Diantaranya adalah dengan mencari bahan tambah yang memiliki komposisi kimia yang mirip dengan semen.

Salah satu bahan tambah yang sering digunakan ialah bahan tambah berupa pozzolan. Pozzolan atau pozzolanik yaitu senyawa yang mengandung silika dalam bentuknya yang halus dan bila ada air maka senyawa tersebut bereaksi dengan kalsium hidroksida membentuk kalsium silikat hidrat (CSH) (Muna, 2015). Pozzolan sendiri tidak mempunyai sifat semen, tetapi dalam keadaan halus bereaksi dengan kapur bebas dan air, menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air (Tjokrodinuljo, 1996). Butirannya yang halus dapat menjadi pengisi dalam ruang partikel-partikel semen sehingga dapat menambah kuat tekan dari beton. Banyak penelitian terdahulu yang membahas mengenai pozzolan sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton. Bahan yang mengandung pozzolan tersebut diantaranya

adalah abu sekam padi. Abu sekam padi adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bata merah. Tepatnya di desa Sentonorejo kecamatan trowulan merupakan sentra pencetak batu bata merah. Menurut Aditio (2011) dari hasil survei, ada 783 jiwa merupakan pencetak batu bata merah. Selama ini PT. Varia Usaha Beton menggunakan bahan tambah berupa *fly ash*. Abu terbang (*fly-ash*) didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. *Fly ash* sendiri memiliki kandungan silika sebesar 70%. Jika dibandingkan dengan abu sekam padi, abu sekam padi memiliki kandungan silika yang lebih besar dari pada kandungan silika pada *fly ash*. Kandungan silika abu sekam padi mencapai 89% (Dharma Putra, 2006).

Sri Raharja (2012) meneliti pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Raharja menggunakan metode eksperimen dengan total 18 benda uji. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 7,62 cm (3 inch) dan tinggi 15,24 cm (6 inch) dan menggunakan variasi komposisi abu sekam padi 0% , 2,5% , 5% , 7,5% , 10% dan 15%. Setiap jenis campuran beton dibuat 3 benda uji. Mutu beton yang direncanakan adalah 80 MPa. Uji kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen mengakibatkan peningkatan nilai kuat tekan. Peningkatan terbesar terjadi pada variasi 10% abu sekam padi yaitu sebesar 18,15% (dari 85,55 MPa menjadi 101,07 MPa). Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya. Nilai modulus elastisitas juga cenderung mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen, yaitu sebesar 2,45% - 14,11%.

Dari paparan penelitian di atas, pada proporsi tertentu bahan yang mengandung pozzolan memberikan kontribusi yang berbeda-beda terhadap kuat tekan beton. Selain memberikan kontribusi kuat tekan beton, bahan tambah abu sekam padi merupakan bahan yang mudah dicari, melimpah, dan murah. Sehingga dapat disimpulkan bahan tambah abu sekam padi layak dijadikan bahan tambahan pengganti sebagian dari semen dalam pembuatan beton.

Semakin banyak proporsi abu sekam padi dalam menggantikan semen, semakin rendah biaya yang dikeluarkan untuk membeli bahan baku semen. Hal dasar ini yang mendorong peneliti untuk melakukan penelitian mengenai berapa proporsi optimal dari abu sekam padi dapat menggantikan sebagian bahan baku semen dalam pembuatan beton. Untuk menguji berapa proporsi abu sekam padi yang optimal peneliti menggunakan desain eksperimen

metode *Taguchi*. Metode *Taguchi* merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode *Taguchi* menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor pengganggu (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*) (Soejanto, 2008). Metode *Taguchi*, dimana dilandasi oleh kekuatan konsepnya dalam hal pereduksian jumlah kombinasi suatu desain eksperimen sehingga desain yang dihasilkan mampu mengakomodasi eksperimen dengan banyak faktor. Penerapan Metode *Taguchi* pada penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan level (komposisi) dari masing-masing faktor (bahan baku) yang optimal.

### 1.2 Identifikasi Masalah

1. Belum diketahui berapa biaya bahan baku yang diminimasi setelah ada penambahan abu sekam padi dalam proses produksi beton.

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan dan identifikasi masalah yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apa saja faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana *setting level* faktor abu sekam padi yang optimal dan memenuhi standar kualitas PT. Varia Usaha Beton?
3. Berapa biaya bahan baku yang dapat diminimasi setelah ada penambahan abu sekam dalam memproduksi beton?

### 1.4 Batasan Masalah

Agar hasil penelitian sesuai dengan permasalahan yang ada, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Karakteristik kualitas pada Metode *Taguchi* yang digunakan adalah data variabel kuat tekan.
2. Penelitian ini masih dalam tahap perancangan beton sesuai dengan SNI 03-2834-2000

### 1.5 Asumsi

Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian, sebagai berikut :

1. Kondisi beton dalam keadaan baik atau tidak ada retak saat pengujian kuat tekan.

2. Pengujian kuat tekan sudah mewakili kualitas dari spesimen uji.

### 1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton.
2. Menentukan *setting level* faktor abu sekam padi yang optimal sehingga menghasilkan kuat tekan sesuai dengan standar kualitas PT. Varia Usaha Beton.
3. Menghitung biaya bahan baku setelah ada penambahan abu sekam.

### 1.7 Manfaat Penelitian

1. Mengetahui *setting level* faktor abu sekam padi yang optimal sebagai landasan PT. Varia Usaha Beton dalam memproduksi beton.
2. Sebagai informasi tambahan bagi peneliti selanjutnya yang memiliki tema relevan serta sebagai perbandingan peneliti selanjutnya.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Untuk hasil penelitian yang baik, studi pustaka harus memenuhi prinsip kemutakhiran dan keterkaitannya dengan permasalahan yang ada. Oleh karena itu pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa penelitian terdahulu dan teori yang memiliki keterkaitan dengan pokok permasalahan yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Sehingga perhitungan, analisis dan pembahasan dapat dilakukan dengan benar.

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu sangatlah diperlukan untuk dijadikan sebagai data pendukung. Penelitian terdahulu yang relevan dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian mendatang. Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang di jadikan sebagai data pendukung dalam penelitian ini.

1. Raharja dkk (2012) meneliti pengaruh penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi. Penelitiannya menggunakan metode eksperimental. Terjadi peningkatan kuat tekan pada penggunaan abu sekam padi sebesar 2,5% , 5% , 7,5% , dan 10%. Kuat tekan maksimal terjadi pada penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen yaitu 101,07 MPa, lebih besar dari kuat tekan beton kinerja tinggi tanpa abu sekam padi sebesar 85,55 Mpa atau meningkat 18,15%. Pengaruh abu sekam padi terhadap modulus elastisitas berbanding lurus dengan kuat tekannya. Nilai modulus elastisitas juga cenderung mengalami peningkatan seiring dengan semakin besar-nya penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen, yaitu sebesar 2,45% - 14,11%.
2. Menurut Suhirkam dkk (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh dari abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton pada beton mutu K - 400. Dalam penitilian persentase penggantian pemakaian abu sekam padi terhadap semen adalah 2,5 % ; 5% ; 7,5 % dan 10% . Dalam penitilian ini benda uji beton mempunyai bentuk kubus berukuran ( 15x15x15) cm untuk kuat tekan dan untuk kuat tarik beton benda uji berbentuk silinder yang mempunyai ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm digunakan untuk uji tarik belah .Dari percobaan di laboratorium didapat suatu hasil kuat tekan dan kuat tarik belah beton yang

menggunakan abu sekam padi lebih besar bila dibandingkan dengan beton normal.

Lebih besar persentase penggunaan abu sekam padi kekuatannya lebih meningkat.

- Menurut Hidayat (2014) meneliti pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton mutu K-225 . Abu sekam padi ditambahkan ke dalam adukan beton normal  $f_c'$  K-225 Kg/cm<sup>2</sup> dengan variasi penambahan abu sekam 0%, 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%, persentasi berat abu sekam ini diambil berdasarkan berat semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dicapai dari campuran abu sekam padi dalam beton K-225 Kg/cm<sup>2</sup>. Hasil penelitian dari perhitungan analisis statistik dengan uji F, diperoleh nilai F Hitung = 5,41, bila dibandingkan dengan nilai F untuk F0.05 Tabel = 5,19 dan F0.01 Tabel = 11,39 maka F0.05 tabel < F Hitung < F0,01 tabel, yang berarti terdapat pengaruh yang nyata akibat penambahan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton K-225 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabel 2.1  
Penelitian terdahulu

Karakteristik Penelitian	Penelitian			
	Raharja, dkk (2012)	Suhirkam, dkk (2013)	Hidayat (2014)	Pamungkas (2017)
Objek Penelitian	Beton fc 80	Beton standar K-400	Beton standar K-225	Beton standar K-225
Bahan tambah	Abu sekam padi	Abu sekam padi	Abu sekam padi	Abu sekam padi
Parameter yang diambil	Kekuatan tekan dan modulus elastisitas	Kekuatan tekan dan kekuatan tarik	Kekuatan tekan	Kekuatan tekan
Metode Penelitian	Metode eksperimen	Metode eksperimen	Metode DoE	Metode <i>Taguchi</i> (ANOVA untuk data <i>variabel</i> , <i>S/N Ratio</i> )

## 2.2 Kualitas

Faktor utama yang menentukan kinerja suatu perusahaan adalah kualitas barang dan jasa yang dihasilkan. Produk dan jasa yang berkualitas adalah produk dan jasa yang sesuai dengan apa yang diinginkan konsumennya. Oleh karena itu perusahaan perlu mengenal konsumen atau pelanggannya dan mengetahui kebutuhan dan keinginannya. Terdapat banyak sekali definisi dan pengertian kualitas yang seharusnya pengertian satu sama lain hampir sama. Secara umum definisi kualitas merupakan suatu kondisi dinamis berhubungan dengan jasa, manusia, proses lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan yang diinginkan. Berikut beberapa definisi kualitas menurut para ahli:

- Menurut Taguchi, arti kualitas adalah untuk menghasilkan produk dan jasa yang dapat memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen berkaitan dengan umur produk atau jasa (Soejanto, 2009:3).

2. Menurut Deming, kualitas adalah suatu tingkat yang dapat diprediksi dari keseragaman dan ketergantungan pada biaya yang rendah dan sesuai dengan pasar (Dorothea, 2003:6).
3. Perbendaharaan istilah ISO 8402 dan dari Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991), kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria-kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu.
4. Kualitas adalah kualitas yang berarti kecocokan penggunaannya. Istilah konsumen berlaku untuk banyak macam pemakai yang berbeda-beda. Pembeli produk yang digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk lain adalah seorang konsumen, untuk pengusaha ini kecocokan penggunaan berarti kemampuan memproses bahan baku ini dengan biaya rendah dan sisa yang minimal. Pengecer membeli barang jadi dengan harapan barang itu dikemas, diberi etiket dan disusun secara baik untuk memudahkan penyimpanan, penanganan dan pemajangan (Montgomery,2009:1).
5. Kualitas adalah faktor kunci yang membawa keberhasilan bisnis, pertumbuhan, dan peningkatan posisi bersaing. Kualitas suatu produk diartikan sebagai derajat atau tingkatan dimana produk atau jasa tersebut mampu menguaskan keinginan dari konsumen. Kualitas menjadi faktor dasar keputusan konsumen untuk mendapatkan suatu produk, karena konsumen akan memutuskan untuk membeli suatu produk dari perusahaan tertentu yang lebih berkualitas daripada saingan-saingannya (Purnomo, 2004).

### 2.3 Desain Eksperimen

Menurut Soejanto (2009:14). Suatu desain eksperimen adalah evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuannya untuk mengetahui rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Tujuan dilakukan eksperimen adalah untuk mengendalikan variasi suatu produk atau proses.

Menurut Sudjana (1995:1). Desain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul – betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang diteliti dapat dikumpulkan. Dengan kata lain, desain dalam sebuah eksperimen adalah langkah – langkah persiapan yang harus dilakukan sebelum eksperimen berjalan agar data yang diinginkan dapat diperoleh, membawa ke arah analisis obyektif dan dapat disimpulkan.

Desain eksperimen haruslah efektif dan efisien. Efektif berarti desain eksperimen mampu memperoleh informasi sebanyak – banyaknya agar mampu menjawab persoalan yang diteliti. Sedangkan efisien berarti desain eksperimen haruslah memperhitungkan waktu, biaya, tenaga, dan bahan yang digunakan dengan baik. Sebaiknya bila sebuah desain eksperimen dibuat sesederhana mungkin sehingga eksperimen akan mudah dilaksanakan dan data yang diperoleh akan dapat cepat dianalisis di samping itu akan bersifat ekonomis (Sudjana, 1995:2).

## 2.4 Metode Taguchi

Metode *Taguchi* diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taguchi yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses. Metode Taguchi dipilih karena merupakan suatu metode yang memiliki tujuan untuk meningkatkan proses dan mutu produk secara bersamaan sehingga dapat meminimalkan sumber daya dan biaya. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor pengganggu (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*) (soejanto, 2009:16).

Dalam metode Taguchi digunakan matriks yang disebut *orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Matriks adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. Matriks disebut ortogonal karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain dalam eksperimen. Jadi matriks *orthogonal* adalah matriks seimbang dari faktor dan level sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur dengan pengaruh faktor atau level yang lain (Soejanto, 2009). Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen (Muharom, 2015). Metode Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan pendekatan desain eksperimen yang berguna untuk:

1. Merancang suatu produk atau merancang proses sehingga kualitasnya kokoh terhadap kondisi lingkungan.
2. Merancang atau mengembangkan produk sehingga kualitasnya kokoh terhadap variasi komponen.
3. Meminimalkan variasi di sekitar target.

## 2.5 Tahap-tahap Metode Taguchi

Pada umumnya desain eksperimen Taguchi memiliki 3 tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen (Soejanto,2009:18). Tiga tahap utama tersebut adalah:

1. Tahap Perencanaan
2. Tahap Pelaksanaan
3. Tahap Analisa

### 2.5.1 Tahap Perencanaan Eksperimen

Tahap perencanaan eksperimen merupakan yang terpenting yang meliputi perumusan masalah, penetapan tujuan eksperimen, penentuan variabel tak bebas, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), pemisahan faktor kontrol dan faktor gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, letak dari kolom interaksi, perhitungan derajat kebebasan, dan pemilihan matriks ortogonal (Soejanto, 2009:20):

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Mendefinisikan permasalahan yang akan dihadapi dengan sejelas mungkin dan spesifik agar dapat dilakukan suatu upaya perbaikan dari masalah yang dihadapi. Jika respon yang diharapkan lebih dari satu harus dinyatakan dengan jelas.

2. Menentukan tujuan penelitian

Untuk menentukan tujuan penelitian diperlukan mengidentifikasi karakteristik kualitas serta tingkat performansi dari suatu eksperimen. Tujuan yang melandasi eksperimen harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah.

3. Penentuan variabel tak bebas

Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang akan diselidiki. Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Variabel tak bebas dalam eksperimen *Taguchi* adalah karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori, yaitu:

- a. Karakteristik yang dapat diukur

Semua hasil akhir yang diamati dapat diukur dengan skala kontinyu. Misalnya temperatur, berat, tekanan, dan lain-lain.

- b. Karakteristik atribut

Hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinyu, tetapi dapat diklasifikasikan secara kelompok. Misalnya retak, jelek, baik, dan lain-lain.

c. Karakteristik dinamik

Merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal* dan output digambarkan sebagai hasil dari *signal*.

Sebagai contohnya adalah sistem transmisi otomatis dengan input puataran mesin dan *output* adalah perubahan getar.

4. Identifikasi faktor-faktor

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang berubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya semakin kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja.

5. Memisahkan faktor kontrol dan faktor gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas dua yaitu faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode *Taguchi* keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau dikendalikan. Sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, walaupun dapat kita atur faktor gangguan akan mahal.

6. Menentukan jumlah level dan nilai level faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil eksperimen dan ongkos pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan ongkos eksperimen.

7. Perhitungan derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

8. Pemilihan matriks ortogonal

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

## 9. Penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke dalam matriks ortogonal

Untuk memudahkan di kolom mana saja diletakkan interaksi faktor pada setiap matriks ortogonal, Taguchi menyatakan grafik linier dan tabel triangular untuk masing-masing matriks ortogonal.

### a. Grafik linier

Grafik linier adalah representasi grafik dari informasi interaksi dalam suatu matriks eksperimen, yang terdiri dari `titik` dan `garis`. Setiap titik pada grafik linier mewakili suatu faktor utama dan garis yang menghubungkan dua titik menggambarkan interaksi antar dua faktor utama yang bersangkutan.

### b. Tabel triangular

Tabel triangular memuat seluruh kemungkinan dan kolom-kolom interaksi untuk setiap tabel matriks ortogonal.

## 2.5.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen berisi penentuan jumlah replikasi eksperimen dan randomisasi pelaksanaan eksperimen (Soejanto, 2009:24).

### 1. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Tujuan dilakukan replikasi adalah:

- a. Menambah ketelitian data eksperimen.
- b. Mengurangi tingkat kesalahan pada eksperimen.
- c. Memperoleh harga taksiran kesalahan eksperimen sehingga memungkinkan diadakannya uji signifikan hasil eksperimen.

### 2. Randomisasi

Dalam eksperimen selain faktor-faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap variabel, juga terhadap faktor-faktor lain yang tidak terkendali atau tidak diinginkan (seperti kelelahan operator, naik atau turun daya mesin dan lain-lain) yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Pengaruh faktor-faktor tersebut diperkecil dengan menyebabkan pengaruh tersebut selama eksperimen melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk:

- a. Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit eksperimen.

- b. Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit eksperimen untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- c. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas satu sama lain.  
Jika replikasi dengan tujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias. Pelaksanaan eksperimen Taguchi adalah melakukan pengerjaan berdasarkan setting faktor pada matriks ortogonal dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti pada randomisasi.

### 2.5.3 Tahap Analisa

Pada tahap analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yaitu mencakup pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu layout tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu eksperimen yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan statistik seperti analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil eksperimen.

### 2.6 Matriks Ortogonal

Dalam desain eksperimen, kita akan menentukan matriks ortogonal, derajat kebebasan, grafik linier, dan semua struktur matriks. Matriks ortogonal yaitu suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris (kombinasi level dari faktor dalam eksperimen) dan kolom (faktor yang dapat diubah dalam eksperimen) (Soejanto, 2009:50). Penentuan matriks ortogonal yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan prosedur sebagai berikut (Soejanto, 2008):

1. Definisikan jumlah faktor dan levelnya

Dalam tahap dilakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang terdapat dalam suatu proses produksi atau suatu mesin proses produksi. Dari parameter-parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan untuk tiap faktor yang ada, sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan.

2. Tentukan derajat kebebasannya

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut (Soejanto, 2009:51). Dalam menentukan jumlah eksperimen yang

akan diamati maka menggunakan rumus pada persamaan (2-1) s.d (2-3) (Soejanto, 2009:51):

$$V_{OA} = (\text{banyaknya eksperimen} - 1) \dots\dots\dots (2-1)$$

$$V_P = (\text{banyaknya faktor}) \times (\text{Banyaknya level} - 1) \dots\dots\dots (2-2)$$

$$V_{OA} \geq V_P \dots\dots\dots (2-3)$$

Sumber: Soejanto (2009:52)

### 3. Memilih matriks ortogonal

Dalam memilih matriks ortogonal yang cocok atau sesuai diperlukan suatu persamaan dari matriks orthogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level, dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model matriks *orthogonal* adalah (Soejanto, 2009:53):

$$L_a (b^C) \dots\dots\dots (2-4)$$

Sumber: Soejanto (2009:53)

Dimana:

L = rancangan bujur sangkar latin

a = banyak baris/eksperimen

b = banyak faktor

Taguchi telah menyediakan beberapa matriks ortogonal sesuai dengan kebutuhan eksperimen yang akan dilakukan. Pada Tabel 2.2 berikut ini merupakan bentuk standar matriks ortogonal menurut *Taguchi*.

Tabel 2.2

*Orthogonal Array Standar*

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
L4(2 <sup>3</sup> )	L9(3 <sup>4</sup> )	L16(2 <sup>3</sup> )	L23(5 <sup>6</sup> )	L18(2 <sup>3</sup> x 3 <sup>7</sup> )
L8(2 <sup>7</sup> )	L27(3 <sup>13</sup> )	L64(4 <sup>21</sup> )	-	L32(2 <sup>3</sup> x 4 <sup>9</sup> )
L12(2 <sup>11</sup> )	L81(3 <sup>40</sup> )	-	-	L36 (2 <sup>11</sup> x 3 <sup>12</sup> )
L16(2 <sup>15</sup> )	-	-	-	L36 (2 <sup>3</sup> x 3 <sup>13</sup> )
L32(2 <sup>31</sup> )	-	-	-	L54(2 <sup>3</sup> x 3 <sup>25</sup> )

Sumber: Belavendram (1995:90)

Dapat dilihat pada tabel 2.2 Bentuk standar matriks ortogonal 2 level memiliki 5 pilihan.

Diikuti oleh bentuk standar matriks ortogonal 3 level yang memiliki 3 pilihan, bentuk standar matriks ortogonal 4 level memiliki 2 pilihan dan bentuk standar matriks ortogonal 5 level dengan satu pilihan. Adapun level gabungan merupakan gabungan dari beberapa bentuk standar matriks ortogonal memiliki 5 pilihan.

## 2.7 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas (variabel respon) adalah obyek yang menarik dari produk atau proses (Soejanto, 2009:40). Menurut Peace (1993) Karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi tiga kategori yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3  
Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik	Target
<i>Nominal the best</i>	Merupakan karakteristik kualitas dengan nilai yang dapat positif maupun negatif. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Pencapaian nilai mendekati target yang telah ditetapkan maka kualitas semakin baik.
<i>Smaller the better</i>	Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal nol. Pencapaian nilai mendekati nilai nol maka kualitas akan semakin baik.
<i>Largest the better</i>	Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan semakin baik

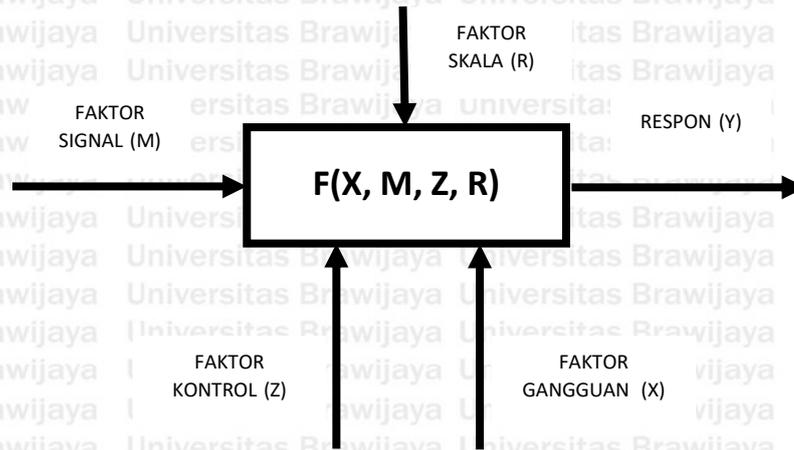
Sumber: Peace (1993)

## 2.8 Klasifikasi Parameter

Banyak faktor lain yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (variabel respon) dari suatu produk. Faktor – faktor tersebut dapat diklasifikasikan menjadi (Soejanto, 2008).

1. Faktor Gangguan, merupakan suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari targetnya. Faktor ini menyebabkan pengaruh pada karakteristik secara tidak terkendali dan sulit terprediksi serta bersifat biasanya sulit, mahal, dan tidak jadi sasaran pengendalian, tetapi untuk tujuan eksperimen, maka perlu dikendalikan dalam skala kecil.
2. Faktor kontrol merupakan parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor ini mempunyai satu atau lebih nilai yang disebut level faktor. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor kontrol sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap gangguan.
3. Faktor *signal* adalah faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang sebenarnya akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor sinyal mempunyai nilai konstan disebut karakteristik dinamis saat dimasukkan ke banyak nilai.
4. Faktor skala, faktor ini digunakan untuk mengubah rata- rata level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Faktor skala seringkali disebut sebagai faktor penyesuaian.

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas

Sumber: Soejanto (2009:42)

Gambar 2.1 menjelaskan klasifikasi faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas. Dalam kenyataan, parameter tersebut dapat dipandang menjadi 2 bagian, yaitu bagian yang dapat dipandang dan bagian yang tak dapat dipandang (Soejanto, 2009:143).

### 2.9 Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep *S/N Ratio* untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor dan eksperimen ini disebut dengan eksperimen faktor ganda. Tujuan dari *S/N Ratio* ini adalah untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan (Soejanto, 2009:142).

Pada penelitian ini karakteristik dari rasio S/N yang digunakan yaitu *largest the better*. Rasio S/N- *largest the better* digunakan ketika karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Pencapaian nilai mendekati nilai tak terhingga maka kualitas yang dihasilkan semakin baik. Fungsi obyektif yang akan dimaksimalkan dalam hal ini diberikan oleh:

$$\eta = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots \dots \dots (2-5)$$

Sumber: Soejanto (2009:147)

Dan kerugian kepada masyarakat adalah:

$$kerugian = k \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots \dots \dots (2-6)$$

Sumber: Soejanto (2009:147)

Dimana:

n = jumlah sampel (jumlah pengulangan eksperimen)

y = nilai sampel (data pengamatan ke-i (i = 1, 2, 3,.....,n))



**2.10 Analysis of Variance (ANOVA) untuk Data Variabel**

ANOVA (*Analysis of Variance*) pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, yaitu seorang ahli statistik British (Belavendram, 1995:210). ANOVA adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon (Soejanto, 2009:164). Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengidentifikasi kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Penggunaan ANOVA pada metode *Taguchi* adalah digunakan sebagai metode statistik untuk mengintrepetasikan data – data hasil eksperimen. Sedangkan untuk jenis data hasil pengukuran dapat dianalisis dengan menggunakan *Analysis of Variance for Variabel Data*. Dalam perhitungan pengerjaannya adalah sebagai berikut (Belevendram, 1995):

1. Menghitung nilai *Total Sum of Square* atau Jumlah Kuadrat Total (*SS<sub>total</sub>*), dengan persamaan (2-7):

$$SS_{total} = \sum y^2 \dots\dots\dots (2-7)$$

Sumber: Soejanto (2009:173)

Dimana: y adalah data pada setiap replikasi

2. Menghitung Jumlah Kuadrat Karena Rata-Rata (*SS<sub>mean</sub>*), dengan persamaan (2-8):

$$SS_{mean} = n \cdot \bar{y}^2 \dots\dots\dots (2-8)$$

Sumber : Soejanto (2009:173)

Dimana: n adalah total seluruh data replikasi.

3. Menghitung Jumlah Kuadrat Faktor (*SS<sub>A</sub>*, *SS<sub>B</sub>*, dst)

Sebelum menghitung Jumlah Kuadrat Faktor, langkah awal yaitu membuat tabel respon untuk faktor. Tabel 2.5 berikut ini adalah *Response Table of Faktor Effect*.

Tabel 2.4  
*Response Table of Faktor Effect*

Class		A	B	C	N
(1)	Level 1				
	Level 2				
	Level k				

Sumber: Belavendram (1995:228)

Selanjutnya menghitung Jumlah Kuadrat Faktor dengan persamaan (2-9):

$$SS_A = ((A_1)^2 \times n_1) + ((A_2)^2 + \dots + ((A_i)^2 \times n_i) - SS_{mean} \dots\dots\dots (2-9)$$

Sumber: Belavendram (1995)

Dimana: A, B, dan C adalah kode dari faktor

4. Menghitung Jumlah Kuadrat Kuadrat Error dengan persamaan (2-10):

$$SSE = SST - SS_{mean} - SSA - SSB - SSn \dots\dots\dots (2-10)$$

Sumber: Soejanto (2009:184)



## 5. Membuat Tabel ANOVA.

Tabel 2.5  
Tabel ANOVA

Sumber	Sq	v	Mq	F-ratio
Mean	Sm	1	Vm	Fm
Faktor A	SA	1	VA	FA
Error	Se	n-2	Ve	1
Total	ST	n	-	-

Sumber: Soejanto (2009:168)

## 6. Menghitung derajat Kebebasan Faktor, dengan persamaan (2-11):

$$v = (\text{banyaknya level} - 1) \dots\dots\dots (2-11)$$

sumber: Soejanto (2009:52)

## 7. Menghitung derajat kebebasan Total, dengan persamaan (2-12):

$$v_T = (\text{banyaknya eksperimen} - 1) \dots\dots\dots (2-12)$$

sumber: Soejanto (2009:52)

## 8. Menghitung Rata – rata Jumlah Kuadrat (MS), dengan persamaan (2-13):

$$MS = \frac{SS}{v} \dots\dots\dots (2-13)$$

Sumber: Soejanto (2009:185)

## 9. Menghitung Rasio (F-Ratio), dengan persamaan (2-14):

$$F \text{ ratio} = \frac{MS \text{ pada masing-masing faktor}}{MS \text{ Error}} \dots\dots\dots (2-14)$$

Sumber: Soejanto (2009:185)

## 10. Menghitung SS' pada masing – masing faktor dengan persamaan (2-15):

$$SSA' = SSA - (vA \times MSA) \dots\dots\dots (2-15)$$

sumber: Soejanto (2009:186)

## 11. Menghitung Rho% (Persentase Rasio Akhir) pada masing – masing faktor, dengan persamaan (2-16):

$$Rho\% A = \frac{SSA'}{SST} \dots\dots\dots (2-16)$$

Sumber: Soejanto (2009:186)

## 2.11 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata – rata sebenarnya akan tetap tercakup. Berikut ini interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata proses optimum (*predicted mean*) dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\mu_{\text{predicted}} = \hat{y} + (f \text{ faktor terpilih } 1 - \hat{y}) + \dots + (f \text{ faktor terpilih } n - \hat{y}) \dots\dots\dots (2-17)$$

Sumber: Belavendram (1995:113)

Dimana:

$\hat{y}$  = rata – rata nilai hasil dari faktor yang terpilih setelah *pooled*

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v_1, v_2} \times Ve \times \left[ \frac{1}{neff} \right] \right)} \dots \dots \dots (2-18)$$

$$neff = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata-rata}} \dots \dots \dots (2-19)$$

Sumber: Soejanto (2009:203)

Dimana:

$F_{\alpha, v_1, v_2}$  = Nilai F-ratio dari tabel

$\alpha$  = 0,05

$v_1$  = Derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata – rata.

$v_2$  = Derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan variasi *pooled* error.

$MS_{pooled\ e}$  = variansi *pooled error*

Berikut ini rumus interval kepercayaan pada tahap *predicted mean*.

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \dots \dots \dots (2-20)$$

Sumber: Soejanto (2009:205)

Berikut ini adalah perhitungan *confidence interval – for a confirmation experiment*

Perhitungan ini dilakukan setelah dilakukan uji konfirmasi.

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v_1, v_2} \times V_e \times \left[ \frac{1}{neff} + \frac{1}{r} \right] \right)} \dots \dots \dots (2-21)$$

Sumber: Soejanto (2009:205)

Dimana:

$\frac{1}{r}$  = jumlah replikasi yang dilakukan saat uji konfirmasi

Berikut ini rumus interval kepercayaan pada tahap uji konfirmasi.

$$\mu_{konfirmasi} - CI \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + CI \dots \dots \dots (2-22)$$

Sumber: Soejanto (2009:206)

### 2.12 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilaksanakan dengan melakukan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi tertentu dari faktor – faktor dan level – level hasil evaluasi sebelumnya dengan tujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa (Soejanto, 2009:196).

Ketika eksperimen yang digunakan berbentuk faktorial dan beberapa faktor mempunyai kontribusi terhadap variasi, terdapat kemungkinan bahwa kombinasi terbaik dari faktor dan



level tidak nampak pada kombinasi pengujian matriks ortogonal. Eksperimen konfirmasi bertujuan melakukan pengujian kombinasi faktor dan level. Adapun tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi (Soejanto, 2009:199):

1. Dugaan yang dibuat pada saat model performansi faktor dan interaksinya.
2. Merancang parameter (faktor) yang optimum hasil analisis dari hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

Langkah – langkah eksperimen konfirmasi adalah sebagai berikut :

1. Merancang kondisi optimum untuk faktor dan level signifikan.
2. Membandingkan rata – rata dan variasi hasil percobaan konfirmasi dengan rata – rata dan variasi hasil percobaan konfirmasi dengan rata – rata dan variasi yang diharapkan.

Eksperimen konfirmasi dinyatakan berhasil jika:

1. Terjadi perbaikan dari hasil proses yang ada (setelah eksperimen *Taguchi* dilakukan).
2. Hasil dari eksperimen konfirmasi dekat dengan nilai diprediksi.

Tabel 2.6

Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Konfirmasi

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

Sumber: Belavendram (1995)

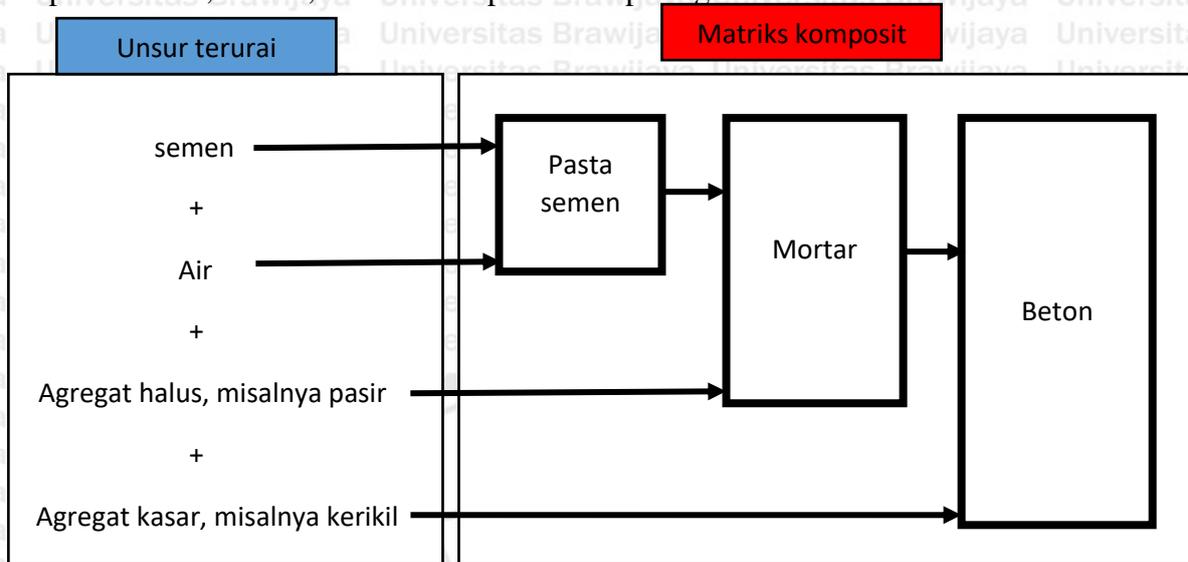
Pada tabel 2.6 di atas menjelaskan bahwa apabila antara kondisi optimal dan eksperimen konfirmasi tidak berhimpitan maka eksperimen dapat diterima atau harus dilakukan pengulangan eksperimen, sebaliknya apabila garis antara kondisi optimal dan eksperimen konfirmasi berhimpitan (pada kondisi A dan B), maka eksperimen dapat diterima.

### 2.13 Pengertian Beton

Kata beton dalam bahasa indonesia berasal dari kata yang sama dalam bahasa belanda. Kata *concrete* dalam bahasa inggris dari bahasa latin *concretus* yang berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu. Dalam bahasa jepang digunakan kata *kotou-zai*, yang arti harfiahnya material-material seperti tulang; mungkin karena agregat mirip tulang-tulang hewan (Antoni, 2007:1).

Beton adalah meterial komposit yang rumit. Beton dapat dibuat dengan mudah oleh mereka yang tidak punya pengertian sama sekali tentang teknologi beton, tetapi pengertian yang salah dari keserdehanaan ini sering menghasilkan persoalan pada produk, antara lain reputasi jelek dari beton sebagai materi bangunan (Antoni, 2007:1).

Sebagai material komposit, sifat beton sangat tergantung pada sifat unsur masing-masing serta interaksi mereka. Ada 3 sistem umum yang melibatkan yang melibatkan semen, yaitu pasta semen, mortar, dan beton dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Unsur-unsur pembuat beton  
Sumber: Antoni (2007:2)

Ketiga sistem tersebut dapat pula dipandang sebagai model komposit dengan dua fase, fase matriks dan fase terurai. Kadang kala beton masih ditambah lagi dengan bahan kimia pembantu (*admixture*) untuk mengubah sifat-sifatnya ketika masih berupa beton segar (*fresh concrete*) atau beton keras (Antoni, 2007:2).

## 2.14 Semen Portland

Karena beton terbuat dari agregat yang diikat bersama oleh pasta semen yang mengeras maka kualitas semen sangat mempengaruhi kualitas beton. Pasta semen adalah lem, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu tebal juga tidak menjamin lekatan yang baik (Antoni, 2007:25).

Arti kata semen adalah bahan yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Menurut standar Industri Indonesia, SII 0013-1981, definisi semen portland atau jenis semen biasa (warna abu-abu) adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum (Antoni, 2007:25).

Ada dua macam semen, yaitu semen hidraulis dan semen non-hidraulis. Semen non-hidraulis adalah semen (perekat) yang dapat mengeras tetapi tidak stabil dalam air. Semen hidraulis adalah semen yang akan mengeras bisa bereaksi dengan air, tahan terhadap air

(*water resistance*) dan stabil di dalam air setelah mengeras. Sebagai perbandingan, berikut adalah perbedaan antara gypsum dan kapur keras (Antoni, 2007:25).

1. Gypsum  
Mengeras bila bereaksi dengan air tetapi akan larut dalam air (bukan jenis semen hidraulis)
2. Kapur keras  
Tidak mengeras bila bereaksi dengan air melainkan akan mengeras bila bereaksi dengan CO<sub>2</sub>. Setelah mengeras maka akan terhadap air (bukan jenis semen hidraulis).

Kebutuhan dunia akan semen hidraulis ini mencapai ratusan juta ton setiap tahunnya sehingga harus diproduksi dari material mentah alamiah, daripada bahan kimia murni semata. Salah satu semen hidraulis yang biasa dipakai dalam kontruksi beton adalah semen portland. Jenis lainnya adalah semen alamiah dan semen alumina (Antoni, 2007:26).

#### 2.14.1 Jenis Semen Portland

Melihat masing-masing dari komponen bahan penyusun semen, kita dapat membuat bermacam-macam jenis semen dengan mengubah kadar masing-masing komponen penyusunnya. Misalnya dalam mendapatkan semen yang mempunyai kekuatan awal yang tinggi maka kita perlu menambah kadar C<sub>3</sub>S dan mengurangi kadar C<sub>2</sub>S. ASTM (American Standard for Testing Material) menentukan komposisi berbagai jenis semen dapat dilihat pada tabel 2.7. berikut adalah jenis semen portland (Antoni, 2007:38).

1. Tipe I adalah semen portland untuk tujuan umum. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan hampir semua jenis kontruksi.
2. Tipe II adalah semen portland modifikasi, adalah tipe yang sifatnya campuran tipe IV dan tipe V (moderat). Belakangan ini diproduksi sebagai pengganti tipe IV.
3. Tipe III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan 28 hari umunya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat cepat dipakai.
4. Tipe IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah, yang dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada tipe semen I.
5. Tipe V adalah semen portland tahan sulfat yang dipakai untuk menghadapi aksi sulfat yang ganas. Umumnya dipakai di daerah dimana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

Tabel 2.7  
Jenis-jenis semen portland dan sifatnya

Tipe Semen	Sifat Pemakaian	Kadar Senyawa (%)			
		C3S	C2S	C3A	C4AF
I	Umum	50	24	11	8
II	Modifikasi	42	33	5	13
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8
IV	Panas hidrasi	25	50	5	12
V	Tahan sulfat	40	40	9	9

Sumber: Antoni (2007:39)

Selain itu ada juga semen campuran. Semen campuran adalah semen portland yang dicampur bahan lain yang sifatnya mirip dengan semen. Tujuannya adalah untuk menekan harga atau untuk mendapatkan sifat yang khusus (Antoni, 2007:39).

### 2.14.2 Semen Pozzolan

Sesuai dengan ASTM C618, pozzolan sendiri tidak mempunyai sifat perekat seperti semen, tetapi bila bertemu dengan  $\text{Ca(OH)}_2$ , dapat bereaksi secara lambat, membentuk kalsium silika hidrat.



Pozzolan mengandung silika atau alumina dalam bentuk aktif. Nama pozzolan berasal dari orang Romawi yang membuat bangunan dengan memakai debu gunung berapi yang ditemukan di pozzoli, dekat Naples, Italia (Antoni, 2007:313).

Semen pozzolan atau disebut juga Pozzolana, memiliki pengaruh yang bervariasi terhadap campuran beton (Antoni, 2007:313). Berikut adalah beberapa kegunaan dari semen pozzolan.

1. Menghemat biaya, sebagai pengganti atau campuran semen.
2. Mengurangi temperatur awal. Dalam struktur masif seperti bendungan, temperatur tinggi dapat terjadi karena kelambatan pelepasan panas yang dihasilkan selama hidrasi. Ini dapat dikurangi dengan menggunakan semen jenis I, IV, V, mengurangi temperatur air dan agregat, atau menggunakan admixture pozzolanic. Seringkali dipakai kombinasi ketiganya untuk mendapatkan evolusi panas yang lambat.
3. Beberapa pozzolan mengurangi muai akibat reaksi alkali agregat.
4. Beberapa pozzolan memperbaiki ketahanan terhadap sulfat.

### 2.14.3 Semen Portland Komposit

Semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil

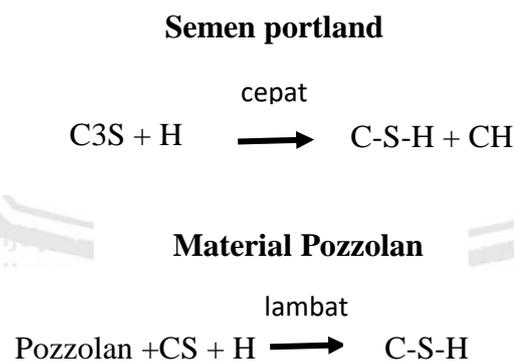
pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blast furnace slag), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit.

Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (paving block) dan sebagainya.

### 2.15 Bahan Mineral Pembantu

Bahan mineral pembantu saat ini banyak ditambahkan ke dalam campuran beton dengan berbagai tujuan, antara lain untuk mengurangi temperatur akibat rekasi hidrasi, mengurangi bleeding atau menambah kelecakan beton segar. Cara pemakaiannya pun berbeda-beda, sebagai bahan pengganti sebagian dari semen atau sebagai tamabahan pada campuran untuk mengurangi pemakaian agregat (Antoni, 2007:101).

Mineral pembantu yang digunakan umumnya mempunyai komponen aktif yang bersifat pozzolanik (disebut juga material pozzolan), yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air (Antoni, 2007:101). Perbedaan reaksi hidrasi dan rekasi pozzolanik dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Perbedaan reaksi hidrasi dan reaksi pozzolanik

Sumber: Antoni (2007:101)

Material pozzolan dapat berupa material yang sudah terjadi secara alami ataupun didapat dari hasil sisa industri. Masing-masing mempunyai komponen aktif yang berbeda.

Tabel 2.8 menunjukkan komponen aktif mineral pembantu yang berasal dari material alami

dan material sisa proses industri. Umumnya material pozzolan ini lebih murah daripada semen portland sehingga biasa digunakan pengganti sebagian semen (Antoni, 2007:102).

Tabel 2.8  
Material Pozzolan

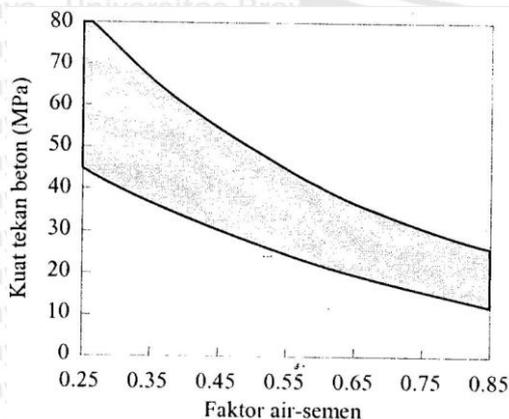
Kategori	Material umum
Material Alami	Abu vulkanis murni
	Abu vulkanis terkena cuaca (tuff, trass dll)
	Batu Apung (pumice)
	Fosil kerang ( <i>Diatomaceus Earth</i> )
	<i>Opaline chert</i> dan <i>shales</i> (batu sedimen)
Material sisa industri	Fly ash tipe F
	Fly ash tipe C
	Silika fume
	<i>Rice husk Ash</i> <i>Calcined clay</i>

Sumber: Antoni (2007:102)

Penambahan material pozzolan ini juga berpengaruh terhadap kecacakan beton dengan penambahan pertikel halus ini kemungkinan terjadi bleeding pada beton segar akan berkurang karena kelebihan air akan terserap oleh partikel halus pozzolan (Antoni, 2007:102).

### 2.16 Faktor Air-Semen (FAS)

Faktor air-semen merupakan perbandingan air dengan semen. Air yang terlalu banyak akan menempati ruang dimana pada waktu beton sudah mengeras dan terjadi penguapan, ruang itu akan menjadi pori. Meskipun faktor kekuatan terutama dipengaruhi oleh porositas kapiler atau rasio gel/ruang, namun hal ini sulit diukur atau diperkirakan. Jadi tidak cocok dipakai pada mix desain. Untungnya porositas kapiler dari beton yang dipadatkan secara baik pada derajat hidrasi manapun ditentukan oleh faktor air-semen. D.A. Abrams pada tahun 1918 menyatakan bahwa “untuk material yang diberikan, kekuatan beton hanya tergantung pada satu faktor saja, yaitu faktor air-semen dari pasta.



Gambar 2.4 hubungan kuat tekan beton dengan faktor air semen

Sumber: Antoni (2007:182)

### 2.17 SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal

Tata cara ini meliputi persyaratan umum dan persyaratan teknis perencanaan proporsi campuran beton untuk digunakan sebagai salah satu acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam merencanakan proporsi campuran beton tanpa menggunakan bahan tambah untuk menghasilkan mutu beton sesuai dengan rencana. Dalam standar ini yang dimaksud dengan:

1. Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.
2. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi (2200 – 2500) kg/m<sup>3</sup> menggunakan agregat alam yang dipecah.
3. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm.
4. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm.
5. Kuat tekan beton yang disyaratkan  $f_c$  adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).
6. Kuat tekan beton yang ditargetkan  $f_{er}$  adalah kuat tekan rata rata yang diharapkan dapat dicapai yang lebih besar dari  $f_c$ .
7. Kadar air bebas adalah jumlah air yang dicampur ke dalam beton untuk mencapai konsistensi tertentu, tidak termasuk air yang diserap oleh agregat.
8. Faktor air semen adalah angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton.
9. Slump adalah salah satu ukuran kekentalan adukan beton dinyatakan dalam mm ditentukan dengan alat kerucut abras (SNI 03-1972-1990 tentang Metode Pengujian Slump Beton Semen Portland).
10. Pozolan adalah bahan yang mengandung silica amorf, apabila dicampur dengan kapur dan air akan membentuk benda padat yang keras dan bahan yang tergolongkan pozzolan adalah tras, semen merah, abu terbang, dan bubukan terak tanur tinggi.
11. Semen Portland-pozolan adalah campuran semen Portland dengan pozzolan antara 15%-40% berat total campuran dan kandungan  $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$  dalam pozzolan minimum 70%.

12. Semen Portland tipe I adalah semen Portland untuk penggunaan umum tanpa persyaratan khusus.
13. Semen Portland tipe II adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
14. Semen Portland tipe III adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
15. Semen Portland tipe V adalah semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.
16. Bahan tambah adalah bahan yang ditambahkan pada campuran bahan pembuatan beton untuk tujuan tertentu.

### 2.17.1 Pemilihan Proporsi Campuran Beton

Pemilihan proporsi campuran beton harus dilaksanakan sebagai berikut:

1. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen.
2. Untuk beton dengan nilai  $f_{c}$  lebih dari 20 MPa proporsi campuran coba serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan.
3. Untuk beton dengan nilai  $f_{c}$  hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan.

### 2.17.2 Perhitungan Kuat Tekan Rata-Rata

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung dari:

1. Deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton menurut rumus:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Dengan:

$s$  = standar deviasi.

$x_i$  = kuat tekan beton yang didapat masing-masing benda uji.

Dimana:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dengan:

$n$  = jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah  
dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut:

1. Mewakili bahan - bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
2. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan  $f_c$  yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai  $f_c$  yang ditentukan.
3. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
4. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji yang memenuhi, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 1.

Tabel 2.9

Tabel 1 faktor pengali untuk standar deviasi bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2000

5. Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan tabel 2.9 di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f_{cr}$  harus diambil tidak kurang dari ( $f_c + 12$  MPa).

### 2.17.3 Perhitungan Nilai Tambah

Nilai tambah dihitung menurut rumus:

$$M = 1,64 \times s_r$$

Dengan:

$M$  = nilai tambah

1,64 = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada presentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5 %

$s_r$  = deviasi standar rencana

### 2.17.4 Pemilihan Faktor Air-semen

Faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan didasarkan:

1. Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan. Bila tidak tersedia data hasil penelitian sebagai pedoman dapat dipergunakan Tabel 2 dan Grafik 1 atau 2.
2. Untuk lingkungan khusus, faktor air semen maksimum harus memenuhi SNI 03-1915-1992 tentang spesifikasi beton tahan sulfat dan SNI 03-2914-1994 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air (Tabel 4,5,6).

### 2.17.5 Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan sebagai berikut:

1. Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada table 2 dan grafik 1 atau 2
2. Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menurut rumus berikut:

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k$$

Dengan:

$W_h$  = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

$W_k$  = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar pada tabel 3

### 2.17.6 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar

Perkiraan kekuatan tekan beton dengan memperhatikan faktor air-semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di indonsia dapat ditentukan dengan tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2.10

Tabel 2 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor air semen, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

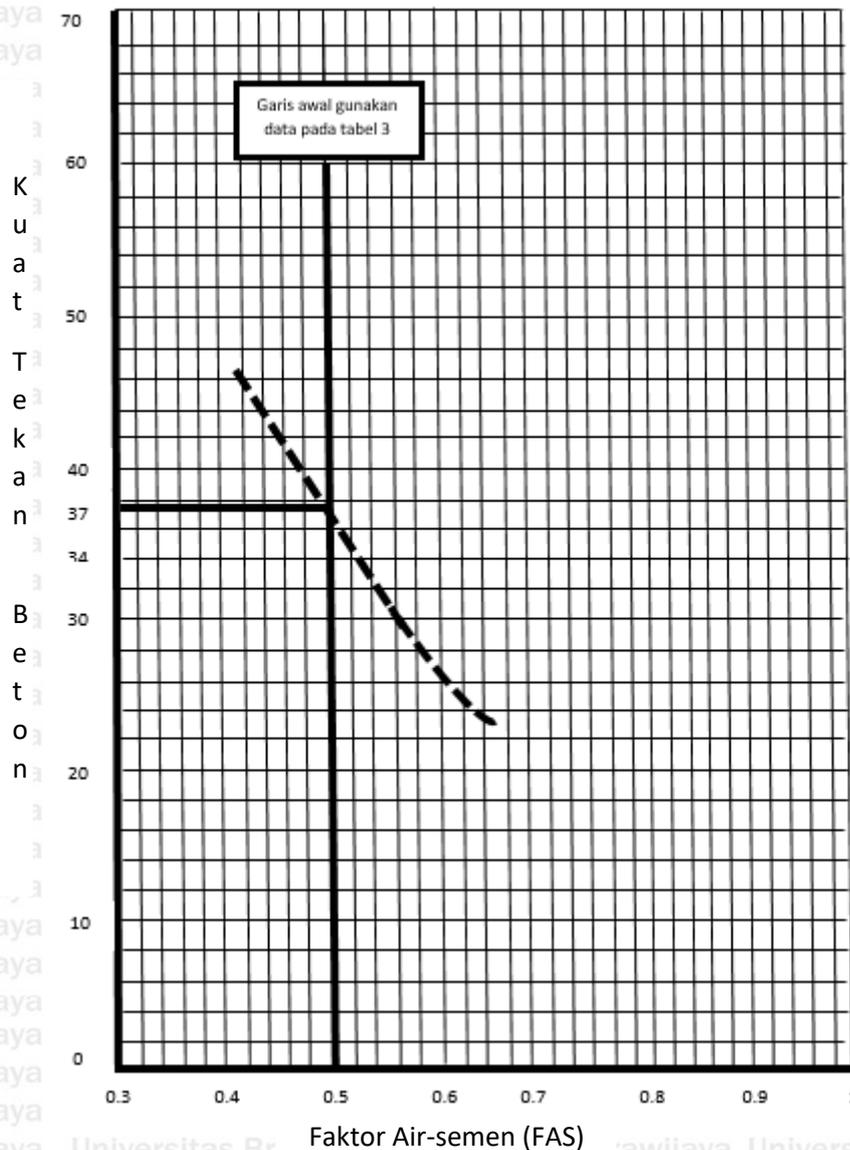
Jenis semen	Jenis agregat Kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber: SNI 03-2834-2000

### 2.17.7 Perkiraan Faktor Air Semen dengan Umur Beton dan Kekuatan Tekan Beton

#### Rencana

Perkiraan faktor air-semen dengan memperhatikan umur beton dan kekuatan tekan rencana dapat ditentukan dengan grafik 1 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen sebagai berikut.



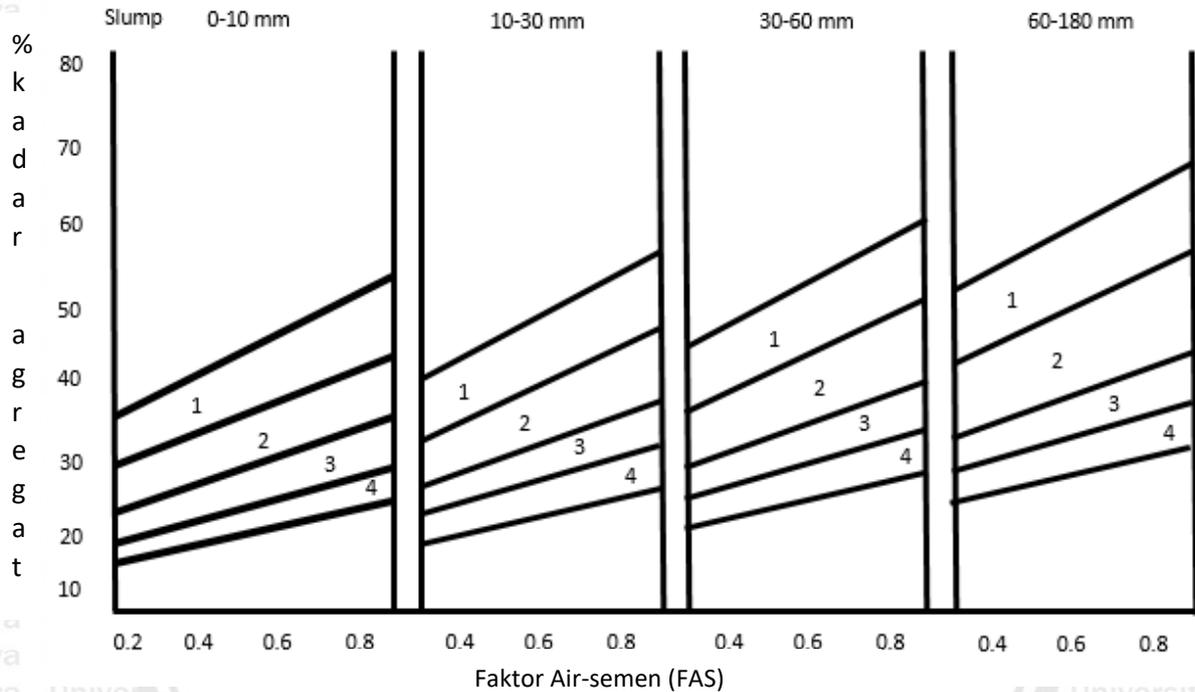
Gambar 2.5 Grafik 1 hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Sumber: SNI 03-2834-2000

Hubungan faktor air-semen dengan kuat tekan beton (MPa) memiliki hubungan semakin kecil nilai faktor air-semen, maka semakin besar pula nilai dari kuat tekan yang dihasilkan. Jadi semakin sedikit air dan semakin banyak akan menghasilkan mutu kuat tekan beton yang lebih besar.

### 2.17.8 Perkiraan Persentase Agregat Halus

Perkiraan persentase agregat halus dapat ditentukan menggunakan grafik 13-15. Grafik dalam penentuan persentase agregat halus dibagi menjadi 3 grafik. Grafik 13 pada lampiran 3 digunakan untuk ukuran butir maksimum 10 mm, grafik 14 pada lampiran 3 digunakan untuk ukuran butir maksimum 20 mm, dan grafik 15 pada lampiran 3 digunakan untuk ukuran butir maksimum 40 mm. berikut adalah gambar 2.6 grafik 14 persentase agregat halus yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm.



Gambar 2.6 grafik 14 persentase agregat halus untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000

Pada grafik 14, angka 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan angka ketetapan gradasi pasir atau pendistribusian dari variasi ukuran butir agregat yang ditetapkan menggunakan grafik 3-6 pada lampiran 1. Grafik 3 digunakan untuk gradasi nomer 1, grafik 4 untuk gradasi nomer 2, grafik 5 untuk gradasi nomer 3, dan grafik 6 untuk gradasi nomer 4.

Penentuan persentase agregat halus dimulai dengan melihat ukuran *slump* rencana, sehingga dapat memilih grafik yang digunakan. Kemudian melihat nilai faktor air-semen rencana. setelah itu menarik garis dari sumbu absiska yang telah ditentukan sampai memotong garis ukuran gradasi yang telah diukur sebelumnya. Dari titik potong tersebut Tarik garis datar sampai memotong sumbu ordinat. Dari sumbu ordinat diperoleh nilai dari persentase agregat halus.

### 2.17.9 Perkiraan Kadar Air Bebas

Perkiraan kadar air bebas ( $\text{Kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 2.11

Tabel 3 perkiraan kadar air bebas ( $\text{Kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	...	...	...	...
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

### 2.17.10 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Dalam menentukan jumlah semen minimum dan nilai faktor air-semen maksimum dapat ditentukan melalui tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 2.12

Tabel 4 persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air-semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi		Jumlah Semen Minimum Per $\text{m}^3$ Beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan	Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
	keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan	Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
	terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah	mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
	mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		

Sumber: SNI 03-2834-2000

### 2.17.11 Persyaratan Batas-Batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar

Batas-batas susunan besar butir agregat kasar sesuai dengan tabel 7, batas-batas ini yang akan menjadi persyaratan untuk material agregat kasar atau kerikil. Pada tabel 2.13 sebagai berikut merupakan persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar.

Tabel 2.13

Tabel 7 Persyaratan batas-batas susunan besar butir agregat kasar (Kerikil Atau Koral)

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38,1	95-100	100	
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0,5	0-10	0-10

Sumber: SNI 03-2834-2000

### 2.17.12 Berat Jenis Relatif Agregat

Berat jenis relative agregat ditentukan sebagai berikut:

1. Diperoleh dari data hasil uji atau bila tidak tersedia dapat dipakai nilai dibawah ini:

- a. Agregat tak dipecah: 2,5
- b. Agregat dipecah: 2,6 atau 2,7

2. berat jenis agregat gabungan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{berat jenis agregat gabungan} = \text{persentase agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus} + \text{persentase agregat kasar} \times \text{berat jenis agregat kasar}$$

### 2.17.13 Proporsi Campuran Beton

Proporsi campuran beton (semen, air, agregat halus dan agregat kasar) harus dihitung dalam kg per m<sup>3</sup> adukan.

### 2.17.14 Koreksi Proporsi Campuran

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran halus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan dihitung menurut rumus sebagai berikut:

1. Air  
$$\text{air} = B - (Ck - Ca) \times C/100 + (Da - Dk) \times D/100$$
2. Agregat halus  
$$\text{agregat halus} = C + (Ck - Ca) \times C/100$$
3. Agregat kasar  
$$\text{agregat kasar} = D + (Da - Dk) \times D/100$$

Dengan:

B = jumlah air

C = jumlah agregat halus

D = jumlah agregat kasar

Ca = absorpsi air pada agregat halus (%)

Da = absorpsi agregat kasar (%)

Ck = kandungan air dalam agregat halus (%)

Dk = kandungan air dalam agregat kasar (%)

### 2.17.15 Cara Pengerjaan

Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton normal dilakukan sebagai berikut.

1. Ambil kuat tekan beton yang disyaratkan  $f_c$  pada umur tertentu.
2. Hitung deviasi standar.
3. Hitung nilai tambah.
4. Hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan  $f_{cr}$ .
5. Tetapkan jenis semen.
6. Tentukan jenis agregat kasar dan agregat halus, agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan.
7. Tentukan faktor air semen. Bila dipergunakan grafik 1 atau 2 ikuti langkah-langkah berikut :
  - a. Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan Tabel 2, sesuai dengan semen dan agregat yang akan dipakai.
  - b. Lihat Grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder.
  - c. Tarik garis tegak lurus ke atas melalui faktor air semen 0,5 sampai memotong kurva kuat tekan.
  - d. Tarik garis lengkung melalui titik persilangan antara garis fas 0,5 dengan kurva kuat tekan secara proporsional.
  - e. Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva baru.
  - f. Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan faktor air semen yang diperlukan.
  - g. Tetapkan faktor air semen maksimum (dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak). Jika nilai faktor air semen yang diperoleh lebih kecil dari yang dikehendaki, maka yang dipakai yang terendah.
8. Tetapkan slump.

9. Tetapkan ukuran agregat maksimum.
10. Tentukan nilai kadar air bebas dari Tabel 3.
11. Hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar semen adalah kadar air bebas dibagi faktor air semen.
12. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan.
13. Tentukan jumlah semen seminimum mungkin. Jika tidak lihat table 4 jumlah semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan;
14. Tentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.
15. Tentukan susunan butir agregat halus (pasir kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayak menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam grafik 3 sampai dengan 6 yang dapat dilihat pada lampiran 1.
16. Tentukan susunan agregat kasar menurut grafik 7,8, atau 9 yang dapat dilihat pada lampiran 2.
17. Tentukan persentase pasir dengan perhitungan atau menggunakan grafik 13 sampai dengan 15 yang dapat dilihat pada lampiran 3, dengan diketahui ukuran butir agregat maksimum. slumps, faktor air semen dan daerah susunan, maka jumlah persentase pasir yang diperlukan dapat dibaca pada grafik. Jumlah ini adalah jumlah seluruhnya dari pasir atau fraksi agregat yang lebih halus dari 5 mm. dalam agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia seringkali dijumpai bagian yang lebih halus dari 5 mm dalam jumlah yang lebih dari 5 persen. Dalam hal ini maka jumlah agregat halus yang diperlukan harus dikurangi.
18. Hitung berat jenis relative agregat.
19. Tentukan berat isi beton menurut Grafik 16 yang dapat dilihat pada lampiran 4, sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dari Tabel 3 dan berat jenis relative dari agregat gabungan.
20. Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas.
21. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persen pasir dengan agregat gabungan.

22. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir 21 dikurangi kadar agregat halus, dari langkah-langkah tersebut di atas sampai dengan 23 sudah dapat diketahui susunan campuran bahan-bahan untuk 1m<sup>3</sup> beton.
23. Proporsi campuran, kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan.
24. Koreksi proporsi campuran.

### 2.18 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton

Dalam melakukan sebuah pengujian haruslah memiliki pedoman ataupun standar yang jelas. Pada pengujian kuat tekan beton, Indonesia sudah memiliki pedoman, yaitu SNI 03-1974-1990. Sesuai dengan SNI 03-1974-1990, pengujian ini dilakukan dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium maupun di lapangan. Kuat tekan beton sendiri memiliki arti adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Definisi tersebut sesuai dengan rumus perhitungan kuat tekan beton sebagai berikut.

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \cdot \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) \dots\dots\dots (2-23)$$

Keterangan:

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang (cm<sup>2</sup>)

Untuk melaksanakan pengujian kuat tekan beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara centris.
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> per detik.
3. Lakukan pembebanan sampai uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
4. Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

Beberapa ketentuan khusus yang harus diikuti sebagai berikut:

1. Untuk benda uji berbentuk kubus ukuran sisi 20 x 20 x 20 cm cetakan diisi dengan adukan beton dalam 2 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 29 kali tusukan; tongkat pemadat diameter 16 mm, panjang 600 mm.

2. Untuk benda uji berbentuk kubus ukuran sisi 15 x 15 x 15 cm, cetakan diisi dengan adukan beton dalam 2 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 32 kali tusukan; tongkat pemadat diameter 10 mm, panjang 300 mm.
3. benda uji berbentuk kubus tidak perlu dilapisi.
4. Bila tidak ada ketentuan lain konversi kuat tekan beton dari bentuk kubus ke bentuk silinder, maka gunakan angka perbandingan kuat tekan seperti berikut.

Tabel 2.14

Daftar konversi

Bentuk benda uji	Perbandingan
Kubus : 15 cm x 15 cm x 15 cm	1,0
Kubus : 20 cm x 20 cm x 20 cm	0,95
Silinder : 15 cm x 30 cm	0,83

Sumber: SNI 03-1974-1990

5. Pemeriksaan kekuatan tekan beton biasanya pada umur 28 hari.
6. Hasil pemeriksaan diambil nilai rata-rata dari minimum 2 buah benda uji.

### 2.18 Benda Uji Beton

Benda uji beton yang digunakan adalah beton dengan mutu awal K-225. Beton mutu K-225 ini adalah kepanjangan dari istilah huruf “K” yang berarti “Karakteristik” dan angka “225” menunjukkan kekuatan tekan beton  $225 \text{ kg/cm}^2$ . Secara umum bentuk dari benda uji adalah silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm tinggi 30 cm. Menurut SNI 03-1974-1990, pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari.

## BAB III METODE PENELITIAN

Dalam mencapai tujuan sebuah penelitian, penelitian haruslah memiliki suatu cara kerja yang sistematis. Bab ini berisi tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian, tempat penelitian dan waktu penelitian, juga tentang tahapan – tahapan dilakukannya penelitian agar proses penelitian dapat dilakukan secara terarah.

### 3.1 Jenis Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Gay (1981:207-208) menyatakan bahwa metode penelitian eksperimental merupakan satu-satunya metode penelitian yang dapat menguji secara benar hipotesis menyangkut hubungan kausal (sebab akibat). Dalam penelitian eksperimen dilakukan manipulasi paling sedikit satu variabel, mengontrol variabel lain yang relevan dan mengobservasi efek atau pengaruhnya terhadap satu atau lebih variabel terikat. Kerlinger (2006: 315) menambahkan definisi eksperimen sebagai suatu penelitian ilmiah dimana peneliti memanipulasi dan mengontrol satu atau lebih variabel bebas dan melakukan pengamatan terhadap variabel-variabel terikat untuk menemukan variasi yang muncul bersamaan dengan manipulasi terhadap variabel bebas tersebut. Lebih lanjut dijelaskan, variabel yang dimanipulasi disebut variabel bebas dan variabel yang akan dilihat pengaruhnya disebut variabel terikat. Penelitian eksperimental merupakan metode penelitian yang cocok digunakan dalam penelitian ini, dimana pada penelitian ini merancang dan memanipulasi beberapa faktor komposisi dari beton, sehingga menghasilkan beton dengan biaya bahan baku yang dapat diminimasi.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Varia Usaha Beton, Kota Malang pada bulan Desember 2016 hingga Juli 2017, sedangkan pengujian kuat tekan dilakukan pada bulan Juni 2017.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai berikut :

## 1. Alat

Adapun alat – alat yang diperlukan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Cetakan silinder, diameter 152 mm, tinggi 305 mm.
- b. Tongkat pemadat, diameter 16 mm, panjang 600 mm, dengan ujung dibulatkan, dibuat dari baja yang bersih dan bebas karat.
- c. Mesin pengaduk atau bak pengaduk beton kedap air.
- d. Timbangan dengan ketelitian 0,3%.
- e. Satu set alat pelapis (*capping*).
- f. Peralatan tambahan : ember, sekop, sendok, sendok perata.
- g. *Compression Strength Testing Machine*

## 2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Semen
- b. Pasir
- c. Abu sekam padi
- d. Air, diperlukan secukupnya untuk pencampuran bahan dan perendaman kaki sebelum disatukan dengan bagian penyangga.
- e. Oli, untuk pelumas cetakan agar benda cetakan mudah dilepaskan saat sudah kering.

## 3.4 Tahap Penelitian

Tahap-tahap penelitian ini terdiri dari tahap pendahuluan penelitian yang berisi studi lapangan, studi pustaka, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian. Setelah itu, dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data, tahap Analisis dan pembahasan, dan tahap kesimpulan dan saran.

### 3.4.1 Tahap Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan meliputi studi pustaka, studi lapangan, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian. Berikut ini tahap pendahuluan :

#### 1. Studi pustaka (Library Research)

Untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan pada objek penelitian maka sangat diperlukan melakukan studi literatur. *Taks book*, website, jurnal, Skripsi, tesis, dan karya ilmiah yang lain adalah sumber

literatur yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini menggunakan studi literatur komposisi pembuatan beton K-225, tata cara pengujian kuat tekan beton, dan desain eksperimen dengan menggunakan metode Taguchi.

2. Studi lapangan (Filed Research)

Studi ini digunakan dalam pengumpulan data secara langsung pada objek penelitian, cara yang dipakai dalam filed research ini adalah Eksperimen, merupakan cara pengumpulan data dengan melaksanakan percobaan langsung terhadap objek, yaitu pembuatan beton K-225.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah langkah dalam memahami pemasalahan yang ada dan mencari solusi dari akar permasalahan. Pada tahap ini peneliti mengidentifikasi hal-hal apa saja yang menjadi masalah dan di pecahkan agar mengurangi dampak dari masalah.

4. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah dengan seksama, kemudian dilanjutkan dengan merumuskan masalah sesuai dengan studi literatur yang digunakan.

5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan yang perlu dipahami dalam pengelolaan dan analisa hasil pengukuran selanjutnya.

### 3.4.2 Tahap Perencanaan Eksperimen

Membuat desain penelitian yang mengacu pada desain Eksperimen *Taguchi*

a. Mengidentifikasi faktor – faktor yang berpengaruh pada beton K-225. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor mana saja yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap beton K-225. Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan.

Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan. Sedangkan faktor gangguan adalah faktor yang nilainya tidak bisa dikendalikan, walaupun dapat diatur faktor gangguan akan mahal biayanya.

b. Menetapkan jumlah level masing – masing faktor dan nilai faktor

Level merupakan kondisi-kondisi dari faktor yang sudah ditentukan. Penetapan jumlah level ini penting karena semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti, karena data yang diperoleh lebih banyak.

c. Menentukan derajat kebebasan dari semua faktor yang berpengaruh

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan.

- d. Memilih *Orthogonal Array* yang akan digunakan

Pemilihan matriks *orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan nilai level dari tiap-tiap faktor yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya.

### 3.4.3 Tahap Pembuatan Benda Uji Beton

Pada tahap ini adalah pembuatan benda uji di PT. Varia Usaha Beton. Langkah-langkah pembuatan benda uji sebagai berikut.

- a. Melakukan pengukuran berat bahan baku.
- b. Membuat adonan *mix design*.
- c. Mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata; pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan; pada saat pemadatan lapisan kedua serta ketiga tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 25,4 mm kedalam lapisan dibawahnya.
- d. Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup; ratakan permukaan beton dan tutuplah segera dengan bahan yang kedap air serta tahan karat; kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam dan letakkan pada tempat yang bebas dari getaran.
- e. Setelah 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji; untuk percobaan campuran beton, rendamlah benda uji dalam bak perendam berisi air pada temperatur 25 °C disebutkan untuk pematangan (*curing*).
- f. Ambilah benda uji yang akan ditentukan kekuatan tekannya dari bak perendam/pematangan (*curing*), kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
- g. Sesuai dengan SNI 03-1974-1990, waktu tunggu yang dianjurkan untuk menguji kuat tekan beton adalah 28 hari.
- h. Benda uji siap untuk diperiksa.

### 3.4.4 Tahap Pengumpulan dan Pengelolaan Data

Tahap-tahap dalam pengumpulan dan pengelolaan data terbagi menjadi 4 tahap. Berikut adalah tahap-tahap dalam pengumpulan dan pengelolaan data.

a. Pengumpulan data

Jenis data yang dikumpulkan terdiri atas dua jenis dengan metode pengumpulan data sebagai berikut :

1. Data Primer

Data Primer adalah data yang diperoleh langsung dari subyek penelitian dengan menggunakan alat pengukuran atau alat pengambilan data langsung pada subjek sebagai sumber informasi yang dicari. Data primer ini disebut juga dengan data tangan pertama (Azwar, 2004). Maksud dari data primer ini adalah data yang diperoleh langsung dari sumber asli, dalam penelitian ini data primer yang diambil adalah data kuat tekan beton dari hasil pengujian kuat tekan dengan menggunakan *Compression Strength Testing Machine*.

2. Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang diperoleh lewat pihak lain, tidak langsung diperoleh oleh peneliti dari subjek penelitiannya. Data sekunder ini disebut juga dengan Data Tangan Kedua (Azwar, 2004). Berikut ini adalah data-data Sekunder yang diperlukan:

- Profil PT. Varia Usaha Beton
- Harga per unit bahan baku beton
- Harga beton di PT. Varia Usaha
- Tata cara pengujian kuat tekan beton

b. Pengolahan data

Pengolahan data yang dilakukan mengacu pada metode eksperimen *Taguchi* yaitu sebagai berikut.

1. Melakukan perhitungan rata – rata

Rata-rata yang dimaksud adalah rata-rata dari hasil eksperimen yang sudah dilakukan. Hasil dari rata-rata digunakan untuk melihat kondisi optimum dari faktor yang sudah ditentukan, dalam hal ini kondisi optimum sesuai dengan karakteristik yang sudah ditentukan yaitu *larger the better*.

2. Uji ANOVA (*Analisis Of Variance*)

Analisis ini merupakan teknik menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistik. Hasil dari analisis variansi adalah uji hipotesa F. Uji hipotesa F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*.

### 3. Menghitung *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Rasio S/N digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Dalam hal ini rasio S/N yang dipilih memiliki karakteristik kualitas *larger the better*.

### 4. Memilih *setting level* yang optimal

Setelah menghitung ANOVA dan juga nilai SNR, didapatkan level-level faktor optimal dari setiap faktor yang berpengaruh.

### 5. Menghitung interval kepercayaan

Perkiraan selang kepercayaan dilakukan dengan cara membandingkan pada hasil eksperimen konfirmasi, dimana jika nilai perkiraan dari hasil eksperimen memiliki mendekati maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat yang ada.

c. Melakukan eksperimen konfirmasi sebagai perbandingan nilai interval kepercayaan untuk kondisi optimal dan konfirmasi.

d. Menghitung biaya bahan baku setelah ada penambahan abu sekam padi.

## 3.4.5 Tahap Analisa dan Pembahasan

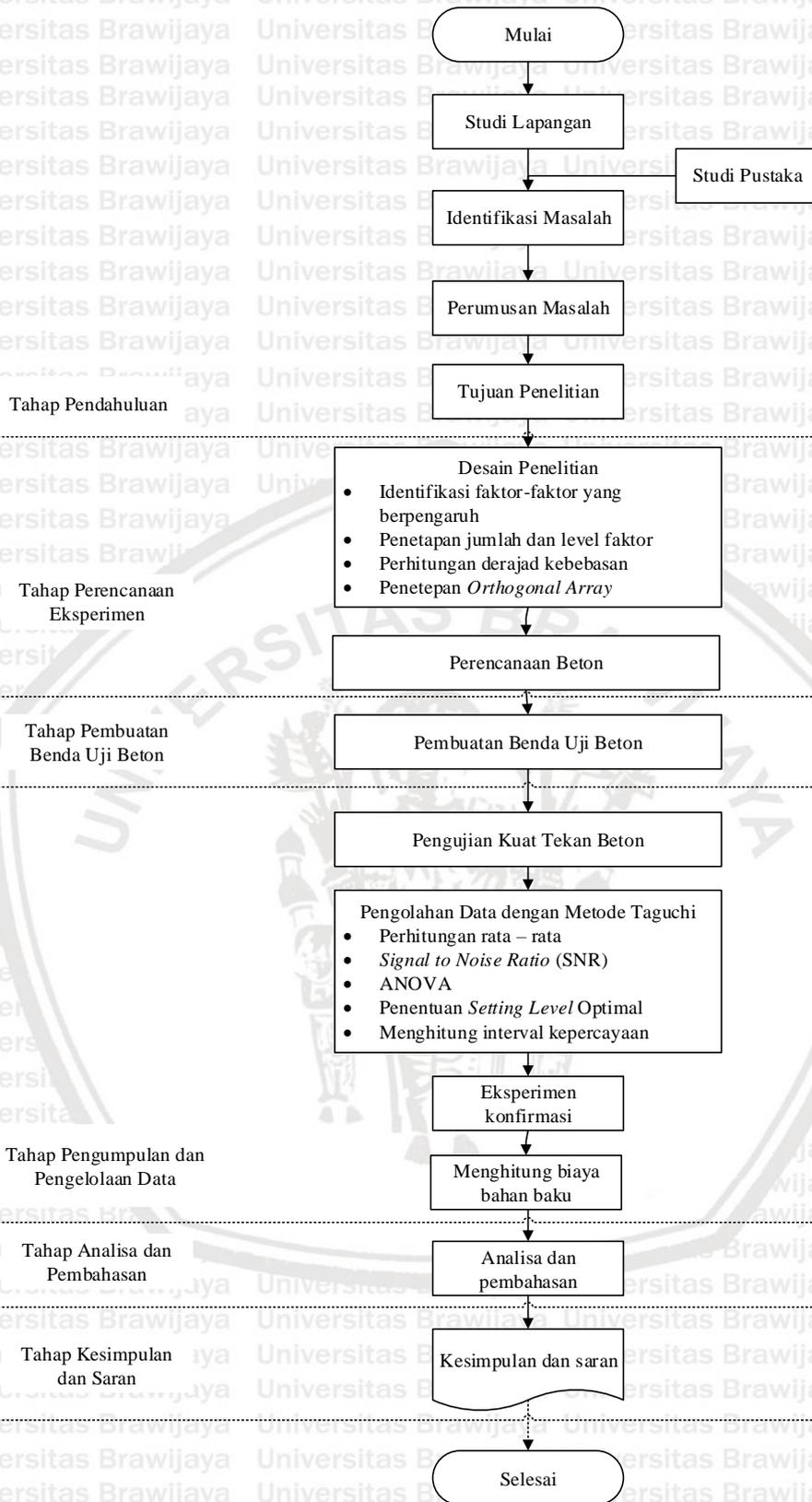
Tahap ini dilakukan sesudah melakukan pengolahan data. Hasil pengolahan data merupakan dasar dari analisis dan pembahasan. Pada analisis dan pembahasan akan dibahas mengenai berapa komposisi optimal abu sekam padi dalam pembuatan beton K-225.

## 3.4.6 Tahap Kesimpulan

Menarik kesimpulan dengan mengacu pada tujuan penelitian yang ditentukan dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

## 3.5 Diagram Alir Penelitian

Langkah – langkah pelaksanaan penelitian disajikan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan gambaran umum perusahaan, proses pengumpulan, pengolahan data, serta analisis dan pembahasan. Pengolahan yang akan dilakukan meliputi perencanaan beton K225, pengujian kuat tekan beton dengan campuran ASP (abu sekam padi), analisis variansi (ANOVA), *signal to noise* (SNR), interval kepercayaan, pemilihan setting level optimal dan percobaan konfirmasi.

### 4.1 Gambaran Umum Perusahaan

Pada gambaran umum perusahaan ini berisikan mengenai sejarah perusahaan, visi dan misi perusahaan, struktur organisasi perusahaan, proses produksi dan pemasok bahan baku perusahaan.

#### 4.1.1 Sejarah Perusahaan

PT. Varia Usaha Beton adalah perusahaan industri yang bergerak dalam bidang pengadaan beton dan bangunan. Pada tahap awal, yaitu 1 November 1978, PT. Varia Usaha Beton merupakan unit usaha samping PT. Semen Gresik (Persero) yang meliputi:

1. Unit usaha beton siap pakai (*Remicon*)
2. Unit usaha tegel dan beton *Masonry*
3. Unit usaha pemecah batu

Pada 1 Agustus 1989, PT. Semen Gresik (Persero) menyerahkan unit usaha samping tersebut kepada salah satu anak perusahaan, yaitu PT. Varia Usaha sebagai salah satu divisi dari PT. Varia Usaha, yaitu divisi bahan bangunan untuk dikelola dan dikembangkan.

Pada 3 Mei 1991, PT. Varia Usaha memisahkan unit beton siap pakai (*Remicon*) dan unit tegel menjadi perusahaan yang berdiri sendiri, yaitu PT. Varia Usaha Beton yang berdasarkan akte notaris Suyati Subadi SH, No. 18/1991, dengan susunan pemegang saham sebagai berikut:

1. PT. Varia Usaha sebesar 63,3%.
2. Yayasan dana pensiun karyawan PT. Semen Gresik (Persero) sebesar 36,7%.

PT. Varia Usaha Beton mulai beroperasi pada 1 Juni 1991 sesuai dengan keputusan rapat umum pemegang saham (RUPS) tanggal 31 Mei 1991. Pada tahun 1992, PT. Varia Usaha menyerahkan pengelolaan unit usaha pemecah batu (*Crushed Stones*) yang berlokasi

di Pandaan untuk dikelola oleh PT. Varia Usaha Beton. Unit usaha ini mempunyai peranan yang sangat penting bagi perusahaan karena sebagian besar produktivitas perusahaan ini menggunakan batu pecah.

Tujuan jangka panjang perusahaan adalah melakukan perluasan atau ekspansi untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam usaha meningkatkan produktivitas perusahaan, maka pada September 1994, PT. Varia Usaha Beton melakukan perluasan usaha pertama pabrik beton ringan (*Concrete Masonry*) di Ujung Pandang. Kemudian pada November 1994, dilakukan perluasan pabrik beton siap pakai di Semarang.

Pada April 1995, PT. Varia Usaha Beton mulai mengembangkan berbagai kegiatan usaha jasa (*Services*) yang bertujuan untuk mendukung usaha pokok, yang meliputi pengoperasian dan pengelolaan gudang Semen Gresik dan produksi tiang pancang beton di Semarang, serta ditunjuk sebagai agen produk *thermalite block* di Indonesia.

Pada tahun 1997, PT. Varia Usaha Beton memperoleh sertifikat sistem mutu ISO 9002 dari *Loyds Register Quality Assurance (LRQA)*, sehingga memperkuat kedudukan PT. Varia Usaha Beton sebagai salah satu penghasil beton siap pakai terkemuka di Indonesia. Pada tahun yang sama, perusahaan ini membuka unit usaha baru, yaitu unit usaha beton pracetak/prategang yang meliputi tiang pancang, *grider*, *beam*, *slab*, *sleeper*, dan lain-lain di Gresik, serta mengadakan perluasan pabrik beton ringan di Semarang dan mendirikan anak perusahaan di wilayah Jabodetabek, yaitu PT. Varia Beton Kencana.

PT. Varia Usaha Beton terus mengembangkan usahanya dengan pengembangan usaha beton siap pakai di Bali tahun 2001 dan mengadakan perluasan pabrik beton siap pakai di Solo pada tahun 2003. Pada tahun 2007, bersama PT. Unggul Investment, PT. Varia Usaha Beton mendirikan unit usaha pemecah batu di Ungaran, Jawa Tengah dan pengembangan usaha beton siap pakai di Mataram, Nusa Tenggara Barat. Pengembangan usaha terus dilakukan hingga tahun 2011 dengan melakukan usaha beton siap pakai di Kudus, Jawa Tengah dan pada tahun 2012 dilakukan pengembangan usaha beton siap pakai di Bali.

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi dan pesatnya perkembangan sektor konstruksi, khususnya pengembangan infrastruktur dan properti, PT. Varia Usaha Beton ikut berpartisipasi melalui usaha penyediaan produk-produk beton siap pakai, beton *precast*, beton *masonry*, dan batu pecah/ *base coarse*, serta bahan bangunan lainnya yang berbahan baku semen. Dengan dukungan staff dan karyawan yang berpengalaman di bidang beton, peralatan-peralatan yang tepat serta fasilitas grup, perusahaan senantiasa mengutamakan kepuasan dan kepercayaan pelanggan dengan menjamin bahwa produk yang dihasilkan dapat memenuhi mutu yang dipersyaratkan, penyerahaan produk tepat waktu,

serta harga yang bersaing. Dengan demikian, PT. Varia Usaha Beton dapat memperkuat dan mengembangkan hubungan bisnis dan suasana yang kondusif dengan relasi, baik di Indonesia maupun di luar negeri.

#### 4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

PT. Varia Usaha Beton mempunyai sebuah visi, dalam visi ini terkandung makna mengenai ingin menjadi apa perusahaan nantinya. Adapun visi dari perusahaan yaitu:

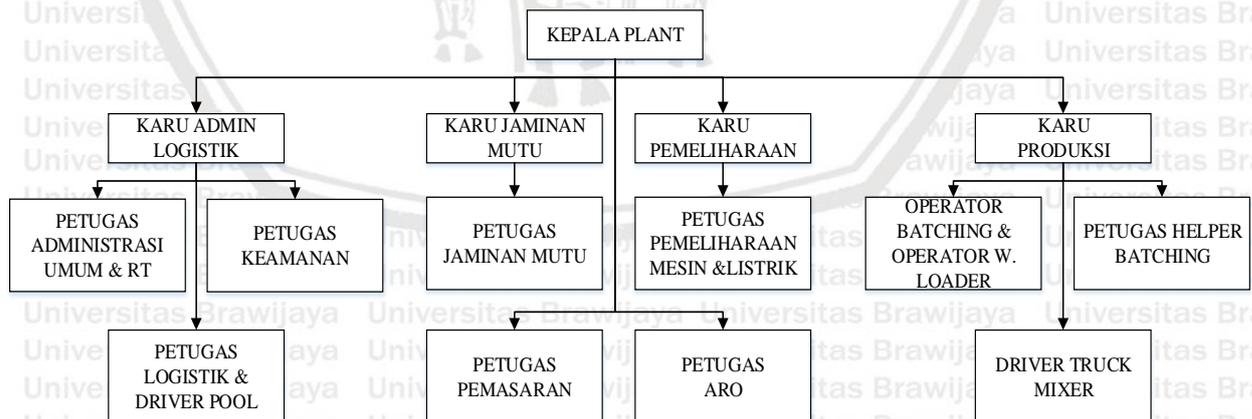
“Menjadi perusahaan beton dengan *aggregate* pilihan utama pelanggan dipasar Nasional terpilih pada tahun 2015”

Demi mewujudkan visi tersebut, maka PT. Varia Usaha Beton memiliki misi. Misi perusahaan ini merupakan langkah-langkah apa saja yang dilakukan perusahaan guna mewujudkan visi. Misi PT. Varia Usaha Beton, antara lain:

1. Memproduksi dan menjual beton dan *aggregates* yang memenuhi persyaratan pelanggan (tepat mutu, tepat waktu, dan tepat jumlah).
2. Menghasilkan laba yang mampu mendukung pertumbuhan perusahaan secara berkelanjutan dan kesejahteraan seluruh pemangku kepentingan.
3. Menjalankan proses bisnis yang prima dengan didukung oleh karyawan yang profesional, sesuai dengan perundangan dan peraturan yang berlaku.

#### 4.1.3 Struktur Organisasi Perusahaan

Berikut merupakan struktur organisasi PT. Varia Usaha Beton



Gambar 4.1 Struktur organisasi PT. Varia Usaha Beton

Sumber: PT. Varia Usaha Beton Plant Malang

Adapun tugas dan wewenang dari masing-masing bagian adalah sebagai berikut:

- a. Kepala *Plant*

1. Bertanggung jawab atas keseluruhan *plant* atau perusahaan
2. Mengontrol bisnis *plant* yang telah dibuat terhadap kondisi riil yang ada di lapangan.
3. Secara berkala mengadakan pertemuan untuk melakukan peninjauan ulang terhadap semua kegiatan yang telah dan sedang berjalan.
4. Memeriksa pencapaian program serta memberi masukan terhadap persoalan yang dihadapi serta memberikan ide-ide perbaikan.
5. Memeriksa pelaksanaan kegiatan di lapangan dan menilai secara langsung pelaksanaan kegiatan di lapangan.

b. Kepala Ruangan (Karu) Administrasi Logistik

1. Melakukan pengadaan barang dan/atau jasa yang diperlukan para unit kerja lain untuk mendukung pelayanan dan operasional perusahaan.
2. Bertanggung jawab atas persediaan bahan baku yang ada di gudang penyimpanan.
3. Mengawasi serta mengontrol aktivitas penyimpanan seperti pada gudang, stok dan pengirimannya secara berkala sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.
4. Mencocokkan tingkat stok yang tertera dalam kartu meja dengan yang ada pada kartu gudang.
5. Melaksanakan tata administrasi penerimaan dan pengeluaran barang dari dan ke gudang sesuai dengan ketentuan dan prosedur yang ditetapkan.

c. Kepala Ruangan (Karu) Jaminan Mutu

1. Menyusun usulan pemecahan masalah yang terkait dengan kualitas proses dan hasil produksi.
2. Menjalankan tugas-tugas *quality control* lainnya dalam upaya pencapaian target *sales* perusahaan.
3. Menganalisa permasalahan yang timbul pada kualitas proses dan hasil produksi.
4. Menyusun dan menyiapkan dokumen-dokumen *quality control* dan data produksi.
5. Memonitor kualitas material serta hasil produksi dengan perbandingan kualitas standar
6. Melakukan pemeriksaan terhadap jalannya proses produksi untuk memastikan kesesuaian prosedur.

d. Kepala Ruangan (Karu) Pemeliharaan

1. Melakukan perawatan dan pemeliharaan atas semua mesin atau peralatan yang dibutuhkan selama proses produksi.

2. Menyusun jadwal pemeliharaan dan perbaikan mesin, peralatan, dan fasilitas produksi agar proses produksi dapat berjalan dengan lancar.
  3. Mengajukan permintaan pembelian *spare part* dan kebutuhan-kebutuhan lainnya yang diperlukan untuk pemeliharaan dan *repair* semua peralatan pabrik.
  4. Bertanggung jawab atas penggunaan suku cadang dan biaya-biaya yang terjadi sehubungan dengan pelaksanaan kegiatan *maintenance* dan *repair*.
  5. Mengatur seluruh kegiatan perusahaan yang berhubungan dengan perawatan segala sarana dan prasarana perusahaan.
  6. Menyusun pedoman dan petunjuk-petunjuk lainnya mengenai pemeliharaan dan perbaikan mesin atau peralatan produksi, air dan udara.
- e. Kepala Ruangan (Karu) Produksi
1. Mengawasi semua kegiatan proses produksi yang berlangsung di lantai produksi seperti penimbangan, pencampuran dan sebagainya.
  2. Membuat jadwal proses produksi sesuai dengan waktu, *routing* dan jumlah produksi yang tepat sehingga menjadikan waktu pengiriman produk pada konsumen bisa dilakukan secara optimal dan cepat.
  3. Memonitor pelaksanaan rencana produksi agar dapat dicapai hasil produksi sesuai jadwal, *volume*, dan mutu yang ditetapkan.
  4. Bertanggung jawab pengendalian bahan baku dan efisiensi penggunaan tenaga kerja, mesin dan peralatan.
  5. Mengkoordinir dan mengarahkan setiap bawahannya serta menentukan pembagian tugas bagi setiap bawahannya.
  6. Mengawasi dan mengevaluasi seluruh kegiatan produksi agar dapat mengetahui kekurangan dan penyimpangan kesalahan sehingga dapat dilakukan perbaikan untuk kegiatan berikutnya.
- f. Petugas Pemasaran
1. Melaksanakan kegiatan penjualan melalui telepon terhadap target konsumen secara sistematis, serta melengkapi laporan kegiatan untuk setiap hubungan yang dilakukan.
  2. Merencanakan dan merumuskan kebijakan strategis yang menyangkut pemasaran.
  3. Memonitoring dan mengarahkan proses-proses diseluruh divisi pemasaran.
  4. Menetapkan pedoman harga barang dan jasa.
  5. Menetapkan dan mengevaluasi upaya strategis dan kebijakan pemasaran serta pengadaan barang dan jasa.

g. Petugas *Account Receivable Officer* (ARO)

1. Mengontrol penagihan piutang yang ada di perusahaan.
2. Memeriksa nomor seri faktur perusahaan.
3. Mengarsipkan faktur penjualanurut tanggal.
4. Mencatat berkurangnya piutang di transaksi pelunasan piutang oleh debitur.
5. Melakukan sistem pencatatan keuangan baik yang keluar maupun masuk.
6. Menyusun dan menyajikan laporan keuangan yang berfungsi sebagai asersi manajemen untuk pihak luar.

#### 4.1.4 Proses Pengadaan Bahan Baku

Dalam pembuatan beton siap pakai menggunakan beberapa bahan baku yaitu:

1. Semen
2. *Fly Ash*
3. Pasir
4. Batu Pecah
5. Air

#### 4.1.5 Proses Produksi Beton Siap Pakai

Proses produksi PT. Varia Usaha Beton terdiri dari proses penerimaan bahan baku, proses penelitian bahan baku, penyimpanan material (gudang), proses produksi, perawatan, pengujian dan pengiriman. Berikut ini penjelasan dari masing-masing proses produksi tersebut:

1. Proses penerimaan bahan baku

Langkah awal dari proses produksi beton adalah penerimaan bahan baku yang berupa semen, *fly ash*, air, material pasir, dan batu pecah.

2. Proses penelitian bahan baku

Bahan baku yang telah diterima kemudian diteliti dilaboratorium untuk mengecek mutu atau kualitas bahan baku mana yang baik untuk digunakan dalam memproduksi beton.

3. Penyimpanan material (gudang)

Setelah itu, bahan baku berupa air, pasir, abu batu, batu pecah, dan cat disimpan dalam gudang penyimpanan material, sedangkan semen dan *fly ash* dimasukkan dalam tiap-tiap silo semen dan *fly ash* tersebut.

4. Proses produksi

Bahan baku yang dibutuhkan ditimbang, kemudian bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam *mixer* dan dicampur dengan air. Setelah itu, dilakukan proses pencetakan.

Untuk proses genteng, setelah bahan-bahan ditimbang bahan tersebut dimasukkan kedalam *mixer* kering, kemudian dimasukkan kedalam *mixer* basah yang telah dicampur dengan air.

#### 5. Perawatan

Produk yang sudah dicetak kemudian disortir dan dilakukan proses *curing* atau proses pembasahan hasil produksi supaya hasil produksi tersebut tidak pecah. Untuk produk genteng, setelah dicetak genteng direndam, kemudian dijemur dan disortir, lalu dilakukan pengecatan genteng polo menjadi genteng warna.

#### 6. Pengujian

Sebelum dikirim ke konsumen, produk diuji terlebih dahulu untuk memisahkan produk-produk yang tidak layak pakai dan untuk menentukan apakah produk tersebut sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

#### 7. Pengiriman

Produk yang telah diuji dikirimkan kepada konsumen.

Dalam setiap penerimaan, proses dan proses akhir, PT. Varia Usaha Beton memiliki kontrol tersendiri dalam menjamin mutu produk. Proses produksi beton siap pakai pada PT.

Varia Usaha Beton dapat diuraikan sebagai berikut:

#### 1. Persiapan material

Dalam persediaan bahan baku atau material di PT. Varia Usaha Beton diadakan pengendalian mutu terhadap material pasir, batu pecah, dan additive yang akan digunakan untuk proses produksi sesuai standar kualitas, sehingga dapat menghasilkan produk yang berkualitas dan mampu bersaing di pasaran.

#### 2. *Batching Plant*

*Batching Plant* merupakan alat penimbangan proses produksi awal dalam melaksanakan perintah produksi dari regu penjualan sesuai jadwal pengiriman. Dalam proses penimbangan akan dilakukan penimbangan sesuai dengan *job mix* yang telah ditentukan oleh bagian jaminan mutu dan litbang sesuai standar operasional dengan waktu yang dibutuhkan selama  $\pm 2-5$  menit per  $5 \text{ m}^3$ .

#### 3. Proses pencampuran

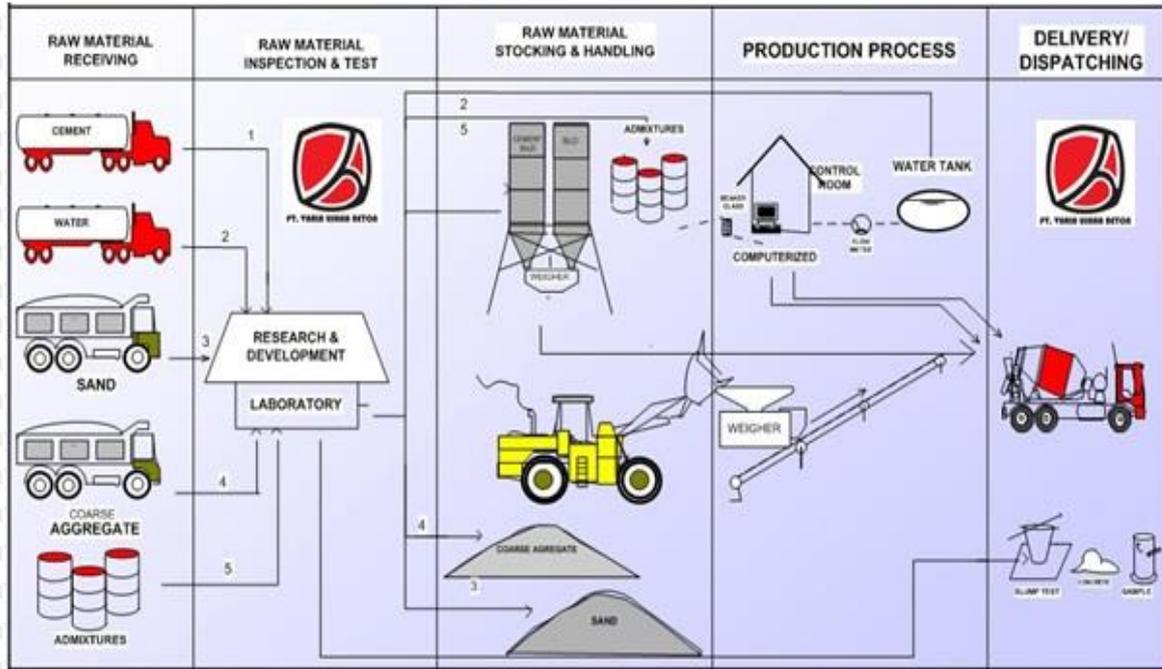
Proses pencampuran merupakan penggabungan material pasir, batu pecah, semen, *fly ash* dan ditambah air serta additive secukupnya sesuai perbandingan tertentu, lalu dimasukkan ke dalam *truck mixer* untuk proses *mixing* untuk proses *mixing* selama 5-10 menit per  $5 \text{ m}^3$ .

4. Proses mengendalikan mutu

Setelah proses *mixing* selesai, selanjutnya diadakan pengecekan mutu beton siap pakai yang telah di *mixing* tersebut dengan memeriksa kontrol kondisi kekentalannya sesuai jarak pengiriman.

5. Proses pengiriman

Setelah proses pengendalian mutu, maka beton siap pakai akan dikirim ketempat atau lokasi tujuan pelanggan sesuai dengan waktu dan jadwal pengiriman.



Gambar 4.2 Bagan proses produksi beton siap pakai  
Sumber: PT. Varia Usaha Beton Plant Malang

## 4.2 Perencanaan Eksperimen

Pada tahap perencanaan eksperimen ini akan menjelaskan tahapan-tahapan sebelum eksperimen dilakukan.

### 4.2.1 Penetapan Karakteristik Kualitas

Penetapan karakteristik kualitas kuat tekan beton yang diharapkan adalah *larger the better*, hal ini dikarenakan hasil eksperimen dengan nilai kuat tekan yang semakin besar dari hasil pengujian kuat tekan beton maka kualitas semakin baik. Oleh karena itu hasil dari uji kuat tekan beton yang diharapkan mempunyai nilai kuat tekan yang sebesar mungkin akan tetapi masih dalam batas standar mutu kuat tekan beton yang diproduksi PT. Varia Usaha Beton. Tidak hanya memenuhi nilai kualitas kuat tekan beton, beton yang dihasilkan diharapkan memiliki nilai ekonomis yang berarti jika dibandingkan dengan biaya bahan

baku sebelumnya, biaya bahan baku beton eksperimen lebih ekonomis atau lebih murah. Hal ini sesuai dengan kualitas yang diharapkan baik oleh pemilik perusahaan maupun konsumen. Pemilik perusahaan mengharapkan beton dengan biaya yang ekonomis, sedangkan konsumen menginginkan produk dengan kualitas yang baik dan tidak ada cacat.

#### 4.2.2 Identifikasi Faktor Kontrol

Dalam mengidentifikasi faktor kontrol maka dilakukan studi lapangan, studi literatur dan melakukan *Brainstorming* terhadap para ahli dalam hal ini ahli tersebut adalah perancang *mix design* PT. Varia Usaha Beton. Penelitian ini akan mengidentifikasi hanya faktor-faktor yang dianggap berpengaruh atau faktor-faktor terkendali saja. Sedangkan untuk faktor-faktor yang dianggap tidak berpengaruh tidak diperhatikan. Berdasarkan hasil studi pustaka dan studi lapangan, telah teridentifikasi beberapa faktor seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1  
Identifikasi Faktor

No	Faktor	Sumber/ Penelitian Terdahulu
1	Faktor air-semen	Armeyn (2014), Antoni (2007)
2	Faktor ASP-semen (abu sekam padi)	Hidayat (2014), Suhirkam dan Latif (2014)
3	Faktor perbandingan agregat halus-kasar	Ginting (2014), Neville dan Brooks (2010)
4	Faktor lama waktu pengadukan	Armeyn (2014)
5	Faktor modulus kehalusan agregat	<i>Brainstorming</i>
6	Faktor umur beton	SNI 03-1974-1990
7	Faktor lama perendaman	SNI 03-1974-1990
8	Faktor suhu lingkungan	<i>Brainstorming</i>
9	Faktor <i>workability</i> (kemudahan dalam pengerjaan)	SNI 03-2834-2000

Berikut akan disampaikan mengenai klasifikasi parameter faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas dari kuat tekan beton, yang dimana akan dibagi menjadi faktor kontrol, faktor *noise*, faktor *signal* serta faktor skala.

1. Faktor Kontrol merupakan parameter-parameter yang nilai-nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor-faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut level.

Berikut faktor kontrol pada penelitian ini.

1. Faktor air-semen
2. Faktor ASP-semen (abu sekam padi)
3. Faktor perbandingan agregat halus-kasar
4. Faktor lama waktu pengadukan
5. Faktor umur beton

2. Faktor *Noise* merupakan faktor gangguan dapat menyebabkan pengaruh pada karakteristik secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Berikut faktor noise pada penelitian ini.

1. Faktor suhu lingkungan
2. Faktor modulus kehalusan agregat
3. Faktor *Signal* merupakan faktor-faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang sebenarnya akan diukur. Berikut merupakan faktor signal pada penelitian ini.

1. Faktor *workability* (kemudahan dalam pengerjaan)

4. Faktor Skala merupakan faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Berikut faktor skala dari penelitian ini.

1. Faktor air-semen
2. Faktor ASP-semen (abu sekam padi)
3. Faktor perbandingan agregat halus-kasar
4. Faktor lama waktu pengadukan

Dari beberapa faktor yang telah teridentifikasi, dipilih beberapa faktor yang dianggap paling berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Faktor tersebut adalah faktor air-semen, ASP-semen, agregat halus-kasar, dan lama waktu pengadukan. Terpilihnya faktor-faktor yang digunakan didasarkan pada memungkinkan atau tidaknya faktor tersebut untuk diterapkan di lapangan. Berikut adalah beberapa faktor yang terpilih dalam eksperimen ini.

1. Faktor air-semen

D.A. Abrams pada tahun 1918 menyatakan bahwa “untuk material yang diberikan, kekuatan beton hanya tergantung pada satu faktor saja, yaitu faktor air-semen dari pasta (Antoni, 2007). Untuk mencapai kekuatan beton yang memenuhi syarat, maka adukan beton yang menggunakan nilai faktor air semen yang lebih besar, akan lebih sedikit membutuhkan pasta semen, sebaliknya adonan beton yang menggunakan faktor air semen lebih kecil, akan lebih banyak membutuhkan pasta semen. Penggunaan faktor air semen yang terlalu besar mengakibatkan pasta semen menjadi terlalu cair, dan mengalir meninggalkan agregat dan menyebabkan adanya endapan pasta semen di dasar dan mengakibatkan penurunan porositas. Faktor air semen yang terlalu kecil mengakibatkan pasta tidak cukup untuk melapisi agregat. Faktor air semen optimal memungkinkan pasta semen untuk melapisi agregat secara seragam. Faktor air semen optimum akan memberikan kekuatan dan kepadatan maksimum.

## 2. Faktor ASP-semen (abu sekam padi)

Bahan tambah atau bahan mineral pembantu saat ini banyak ditambahkan ke dalam campuran beton dengan berbagai fungsi, antara lain mengurangi pemakaian semen, mengurangi temperatur akibat reaksi hidrasi, mengurangi bleeding atau menambah kelecakan beton segar. Cara pemakaiannya pun berbeda-beda, sebagai bahan pengganti sebagian semen atau sebagai tambahan pada campuran untuk mengurangi pemakaian agregat. Sekam padi merupakan limbah dari hasil penggilingan padi mempunyai kandungan silika yang dominan yaitu sebesar 93 % dan hampir sama kandungan silika yang terdapat pada microsilica buatan pabrik (hidayat, 2014). Abu sekam padi merupakan material yang bersifat *pozzolanic* (disebut juga material pozzolan), yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air.

## 3. Faktor agregat halus-kasar

Agregat umumnya menempati 70% sampai 80% dari volume beton sehingga memiliki pengaruh penting terhadap sifat-sifat beton. Agregat adalah bahan butiran, sebagian besar berasal dari batu alam (batu pecah, atau kerikil alami) dan pasir, meskipun bahan sintesis seperti *slags* dan *expanded clay* atau *shale* digunakan sampai batas tertentu, terutama pada beton ringan. Selain penggunaannya sebagai pengisi yang ekonomis, agregat umumnya menghasilkan beton dengan stabilitas dimensi yang lebih baik dan tahan aus (Mindess dkk, 2003). Terlalu tinggi nilai perbandingan volume antara agregat kasar terhadap agregat halus dapat mengakibatkan segregasi dan *workability* yang rendah, campuran kasar dan tidak mudah dalam penyelesaian. Sebaliknya, terlalu banyak agregat halus menyebabkan *workability tinggi*, tetapi campuran yang kelebihan pasir membuat rendah daya tahan beton (Neville dan Brooks, 2010).

## 4. Faktor lama waktu pengadukan

Menurut Army (2006) Terdapat pengaruh lama waktu pengadukan terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. Hasil survey lapangan (labor Dinas pekerjaan Umum) menyatakan bahwa waktu pengadukan atau pencampuran beton yang baik berkisar antara 2 – 4 menit. Sedangkan L.J. Murdock (1991) menyatakan bahwa waktu campur beton antara 1 sampai dengan 1,5 menit sudah memadai (Armeyn, 2006).

### 4.2.3 Bahan Pembuatan Beton

Sebagai material komposit beton terdiri dari beberapa material diantaranya adalah semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air. Penjelasan lebih lanjut sebagai berikut.

#### 1. Semen portland tipe I

Karena beton terbuat dari agregat yang diikat bersama pasta semen yang mengeras maka kualitas semen sangat mempengaruhi kualitas beton. Pasta semen adalah lem, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu tebal juga tidak menjamin lekatan yang baik (Antoni, 2007). Penggunaan semen dalam penelitian ini menyesuaikan dengan kebutuhan beton yang dimiliki oleh PT. Varia Usaha Beton, yaitu semen portland tipe I. Semen portland tipe I adalah jenis semen yang digunakan untuk tujuan umum. Jenis ini paling banyak diproduksi karena digunakan untuk hampir semua jenis konstruksi.

#### 2. Agregat halus (pasir)

Agregat halus atau pasir yang digunakan adalah pasir lumajang. Terlalu sedikit pasir dapat menghasilkan beton yang segregasi atau keropos, karena kelebihan agregat kasar. Terlalu banyak pasir yang dipakai juga akan dapat menghasilkan beton dengan kepadatan rendah dan kebutuhan air yang tinggi.

#### 3. Agregat kasar (kerikil)

Agregat yang digunakan adalah kerikil pasuruan. Ukuran agregat kasar ditetapkan oleh PT. Varia Usaha Beton, yaitu ukuran 10-20 mm. Seperti halnya agregat halus, karena jika adukan beton kelebihan kerikil, akan menyebabkan segregasi atau keropos. Sehingga sangat penting untuk memperhitungkan perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar.

#### 4. Air

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*workable*) (Antoni, 2007:74). Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sumur.

### 4.2.4 Alat Pembuatan Benda uji Beton

Berikut merupakan alat yang digunakan untuk membantu dalam proses pembuatan papan partikel.

#### 1. Mesin Adukan atau Molen

Molen atau mesin adukan pada proses pembuatan benda uji beton digunakan untuk mengaduk material yang sudah ditakar. Merk dari mesin adukan ini adalah Honda

GX160. Molen ini termasuk jenis molen beton mini, sehingga molen ini sangat mudah untuk dipindahkan.



Gambar 4.3 Mesin adukan mini  
Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

## 2. Mesin Timbang Digital

Mesin timbang digital digunakan untuk menimbang semua material yang digunakan dalam pembuatan beton pada penelitian ini. Merk dari mesin timbang digital ini adalah Balanza dengan kapasitas timbang sebesar 300 Kg. Mesin timbang digital ini merupakan mesin yang *portable* karena mesin ini sudah dilengkapi baterai di dalamnya.



Gambar 4.4 Mesin timbangan digital  
Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

## 3. Cetok Semen

Cetok Semen ini digunakan untuk memasukan adonan beton ke dalam cetakan silinder. Selain digunakan sebagai alat untuk memasukan adonan, Cetok digunakan untuk meratakan campuran atau adonan beton.



Gambar 4.5 Cetok semen

Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

#### 4. Trolley

Trolley digunakan untuk memindahkan material seperti pasir, kerikil, semen, dan material beton lainnya.



Gambar 4.6 Trolley

Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

#### 5. Cawan Besar dan Bak Kecil

Cawan besar digunakan sebagai wadah adonan campuran beton. Sedangkan bak kecil digunakan sebagai wadah untuk air.



Gambar 4.7 Cawan besar dan bak kecil

Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

#### 6. Alat Pengujian Slump

Kerucut Abraham digunakan untuk menguji slump. Nilai slump ini digunakan untuk mengukur tingkat kemudahan pengerjaan beton. Mistar digunakan untuk mengukur

nilai slump. Batangan besi atau tongkat besi selain digunakan untuk memadatkan benda uji, juga digunakan sebagai penyangga dalam uji slump.



Gambar 4.8 Alat-alat pengujian Slump

Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

#### 7. Cetakan silinder

Cetakan silinder yang digunakan berukuran diameter 25 cm dan tinggi 30 cm. Cetakan ini berfungsi sebagai cetakan benda uji silinder.



Gambar 4.9 Cetakan silinder

Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

### 4.2.5 Alat Pengujian Kuat Tekan Beton

#### 1. Alat *Capping* dan kompor listrik

Alat *capping* digunakan sebagai cetak pelapis permukaan benda uji beton. Biasanya material pelapis berupa belerang. Belerang ini dipanaskan menggunakan kompor listrik.



Gambar 4.10 Alat capping dan kompor listrik  
Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

## 2. Mesin Uji Kuat Tekan (*Compression Machine*)

Mesin ini digunakan untuk menguji kuat tekan. *Compression Machine* ini memiliki kapasitas uji hingga 2000 MPa. Angka digit yang dikeluarkan oleh mesin dapat dilihat pada layar digital kotak hitam.



Gambar 4.11 Mesin uji kuat tekan  
Sumber: Laboratorium Bahan dan Struktur SIPIL

### 4.2.6 Perencanaan Beton K225

Perencanaan beton k225 dalam penelitian ini didasari dengan SNI 03-2834-2000 tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Sebelum melakukan perencanaan beton k225, ada beberapa data pendukung yang digunakan untuk merencanakan beton sebagai berikut.

#### 1. Susunan butir agregat halus

Gradasi atau distribusi ukuran butir agregat yang baik adalah kurva yang dapat masuk ke dalam kurva standar seperti yang terdapat pada Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Setelah dilakukan pengujian, didapat hasil gradasi agregat halus dengan standar kurva susunan butir no.2. Harga ini diperoleh dengan cara, agregat

diayak berurutan menurut ayakan standar yang disusun mulai dari ayakan terbesar di bagian paling atas seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Ayakan standar  
Sumber: PT. Varia Usaha Beton

Kemudian agregat diletakkan dibagian teratas ayakan standar. Setelah digetar cukup lama dengan mesin penggetar (*sieve shaker*) seperti yang terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Sieve shaker  
Sumber: PT. Varia Usaha Beton

Kemudian berat agregat yang tertahan pada setiap ayakan dicatat, dihitung persentasenya. Persentase yang dihitung terbagi menjadi dua, yaitu persentase kumulatif tertahan dan presentase kumulatif lolos. Berikut adalah contoh perhitungan nilai kumulatif lolos untuk ukuran 4,75 mm.

$$\begin{aligned} \text{Tertahan (\%)} \text{ ukuran ayakan } 4,75 &= \\ &= \frac{\text{berat tertahan ukuran ayakan } 4,75}{\text{Total}} \times 100 \\ &= \frac{65,20}{1000} \times 100 = 6,52\% \end{aligned}$$

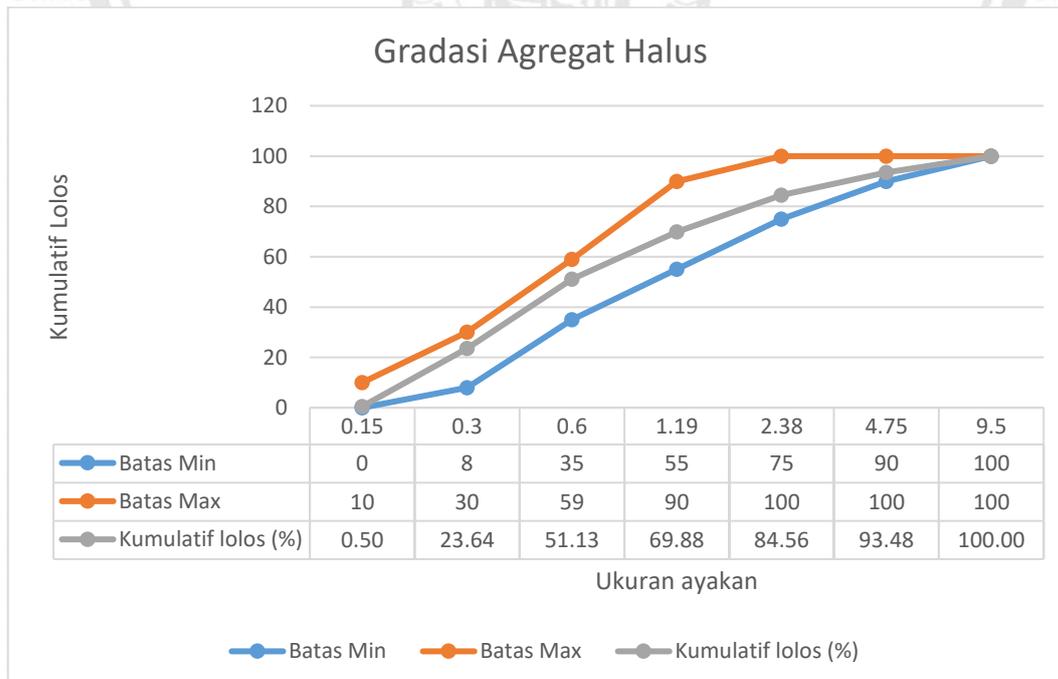
$$\begin{aligned} \text{Kumulatif lolos ukuran ayakan } 4,75 &= \\ &= \text{kumulatif lolos ukuran ayakan } 9,5 - \text{kumulatif lolos ukuran ayakan } 4,75 \\ &= 100\% - 6,52\% \\ &= 93,48\% \end{aligned}$$

Untuk perhitungan ukuran ayakan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2  
Analisa ayakan agregat halus

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif tertahan (%)	Kumulatif lolos (%)
37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
19,50	0,00	0,00	0,00	100,00
9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	65,20	6,52	6,52	93,48
2,38	89,20	8,92	15,44	84,56
1,19	146,80	14,68	30,12	69,88
0,30	274,90	27,49	76,36	23,64
0,15	231,40	23,14	99,50	0,50
pan	5,00	0,50	-	0,00
Total	1000	100,00	276,81	-

Setelah didapat nilai persentase kumulatif lolos, nilai persentase kumulatif lolos akan dimasukkan ke dalam kurva gradasi susunan butir agregat halus grafik 3-6 yang dapat dilihat pada lampiran 1. Langkah selanjutnya adalah memilih kurva gradasi yang dapat memuat nilai persentase kumulatif lolos artinya tidak ada nilai kumulatif lolos yang melewati batas dari gradasi yang telah ditentukan. Berikut ini adalah gambar 4.14 kurva gradasi no 2 yang sesuai dengan nilai kumulatif lolos.



Gambar 4.14 Gradasi pasir lumajang dengan grafik gradasi no.2 (pasir sedang)

Pada kurva diatas nilai kumulatif lolos masih dalam rentang batas atas gradasi dan batas bawah gradasi. Jadi dapat disimpulkan pasir lumajang masih memenuhi persyaratan untuk grafik gradasi no.2 (pasir sedang). Kemudian dilakukan perhitungan modulus kehalusan sebagai berikut.

$$\text{Modulus Kehalusan (MHB)} = \frac{\text{Kumulatif tertahan}}{100} = \frac{276,81}{100} = 2,76$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai modulus kehalusan sebesar 2,76. Modulus kehalusan yang diisyaratkan adalah 2,3 – 3,2 untuk agregat halus. Jadi dapat disimpulkan nilai modulus kehalusan pasir lumajang masih memenuhi persyaratan.

## 2. Susunan butir agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat dengan ukuran maksimum 20 mm. Grafik yang digunakan adalah Grafik 8 batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 mm yang dapat dilihat pada lampiran 1. Proses untuk memperoleh nilai susunan butir agregat kasar ini sama seperti susunan butir agregat halus Berikut adalah contoh perhitungan nilai kumulatif lolos untuk ukuran ayakan 9,5 mm.

$$\begin{aligned} \text{Tertahan (\%)} \text{ ukuran ayakan } 9,5 &= \\ &= \frac{\text{berat tertahan ukuran ayakan } 9,5}{\text{Total}} \times 100 \\ &= \frac{441,08}{1000} \times 100 = 44,11 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kumulatif lolos ukuran ayakan } 9,5 &= \\ &= \text{kumulatif lolos ukuran ayakan } 19,5 - \text{kumulatif lolos ukuran ayakan } 9,5 \\ &= 100\% - 44,11\% \\ &= 55,89\% \end{aligned}$$

Untuk perhitungan ukuran ayakan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3

Analisa ayakan agregat kasar 10-20 mm (kerikil pasuruan)

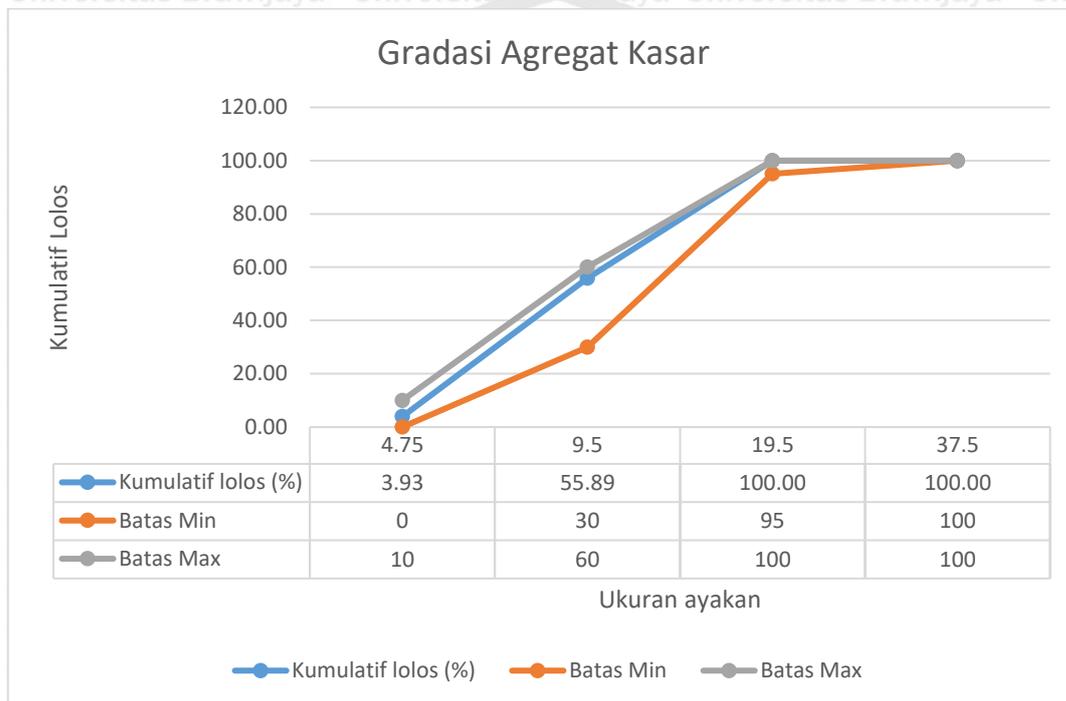
Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif tertahan (%)	Kumulatif lolos (%)
37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
19,50	0,00	0,00	0,00	100,00
9,50	441,08	44,11	44,11	55,89
4,75	519,60	51,96	96,07	3,93
2,38	0,00	0,00	96,07	3,93
1,19	0,00	0,00	96,07	3,93
0,60	0,00	0,00	96,07	3,93

Tabel 4.3

Analisa ayakan agregat kasar 10-20 mm (kerikil pasuruan) (lanjutan)

Ukuran ayakan (mm)	Berat tertahan (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif tertahan (%)	Kumulatif lolos (%)
0,30	0,00	0,00	96,07	3,93
0,15	0,00	0,00	96,07	3,93
pan	39,32	3,93	-	0,00
Total	1000,00	100,00	620,52	-

Setelah didapat nilai persentase kumulatif lolos, nilai persentase kumulatif lolos akan dimasukkan ke dalam kurva gradasi susunan butir agregat kasar ukuran maksimum 20 mm. Berikut ini adalah gambar 4.15 kurva gradasi kerikil 10-20 mm Pasuruan.



Gambar 4.15 Gradasi kerikil 10-20 mm pasuruan

Pada kurva diatas nilai kumulatif lolos masih dalam rentang batas atas gradasi dan batas bawah gradasi. Jadi dapat disimpulkan kerikil Pasuruan masih memenuhi persyaratan untuk grafik gradasi agregat kasar ukuran maksimum 20 mm. Kemudian dilakukan perhitungan modulus kehalusan sebagai berikut.

$$\text{Modulus Kehalusan (MHB)} = \frac{\text{Kumulatif tertahan}}{100}$$

$$\text{Modulus Kehalusan (MHB)} = \frac{650,52}{100} = 6,50$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai modulus kehalusan sebesar 6,50. Modulus kehalusan yang diisyaratkan adalah 6,5 – 8,0 untuk agregat kasar. Jadi dapat disimpulkan nilai modulus kehalusan kerikil Pasuruan masih memenuhi persyaratan.

### 3. Gabungan gradasi agregat

Gabungan gradasi agregat merupakan campuran dari agregat halus dan agregat kasar.

Karena ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran maksimum

20 mm, sehingga gabungan gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi agregat

gabungan untuk besar butir maksimum 20 mm yang dapat dilihat pada lampiran 5.

Berikut ini merupakan perhitungan persentase total lolos.

*Persentase total lolos ukuran ayakan 0,15 =*

$$= (40\% \times \text{persentase pasir lolos}) + (60\% \times \text{persentase kerikil 10 - 20 mm lolos})$$

$$= (40\% \times 0,500) + (60\% \times 3,932)$$

$$= 0,20 + 2,36 = 2,56 \%$$

Tabel 4.4

Gabungan gradasi agregat

Pasir (%) Lolos	Kerikil 10-20 (%) Lolos	Campuran Pasir dan Kerikil		Ayakan	Min	Max	Total Lolos (%)
		Pasir	Kerikil 10-20				
		40 %	60 %				
0,500	3,932	0,200	2,359	0,15	0,000	4,000	2,56
23,640	3,932	9,456	2,359	0,3	2,000	12,000	11,82
51,130	3,932	20,452	2,359	0,6	9,000	27,000	22,81
69,880	3,932	27,952	2,359	1,19	16,000	34,000	30,31
84,560	3,932	33,824	2,359	2,38	23,000	42,000	36,18
93,480	3,932	37,392	2,359	4,75	30,000	48,000	39,75
100,000	55,892	40,000	33,535	9,5	45,000	75,000	73,54
100,000	100,000	40,000	60,000	19,5	100,000	100,000	100,00

Nilai gabungan gradasi agregat ini diperoleh dengan cara menambahkan campuran pasir

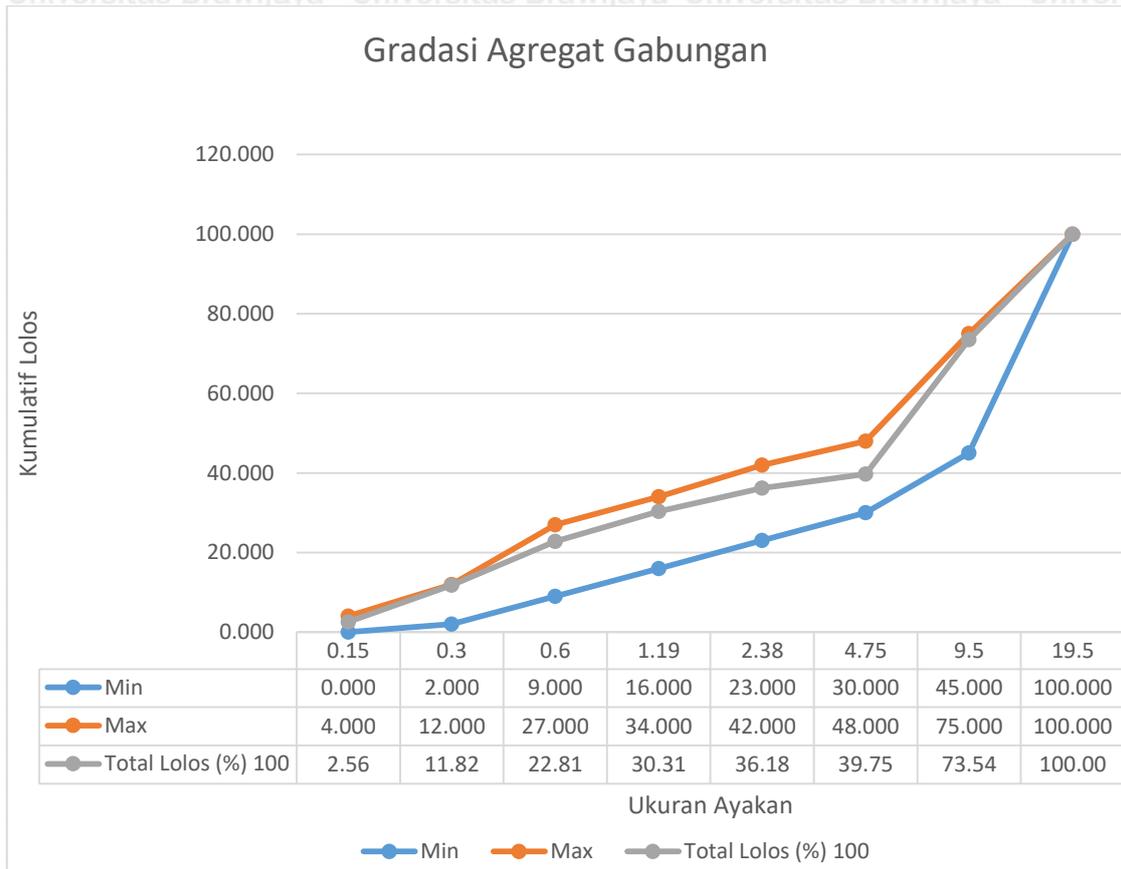
dengan kerikil yang telah dikalikan dengan presentase campuran. Nilai presentase

campuran 40% dan 60 % ini didapatkan dari perencanaan beton butir ke 18. Setelah

diketahui nilai persentase total lolos. Langkah selanjutnya adalah memasukan nilai

persentase total ke dalam kurva gradasi agregat gabungan untuk besar butir maksimum

20 mm.



Gambar 4.16 Kurva gradasi gabungan agregat ukuran butir maksimum 20 mm

Pada kurva diatas nilai kumulatif lolos masih dalam rentang batas atas gradasi dan batas bawah gradasi. Jadi dapat disimpulkan campuran agregat pasir lumajang dan kerikil pasuruan masih memenuhi persyaratan untuk grafik gradasi gabungan agregat ukuran butir maksimum 20 mm.

4. Berat jenis dan penyerapan air agregat

Untuk berat jenis dan penyerapan air agregat diambil dari laporan lab PT. Varia Usaha Beton seperti yang terlihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5  
Berat jenis dan penyerapan agregat

Agregat sifat	Agregat halus	Agregat kasar
Berat jenis (kg/ltr)	2,732	2,599
Penyerapan air (%)	1,562	2,626

Sumber: PT. Varia Usaha Beton

5. Kadar air

Nilai kadar air digunakan untuk mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya yaitu yang akan kita pakai sebagai campuran uji. Pengukuran kadar air dilakukan ketika proses pembuatan beton dilakukan. Pengukuran kadar air ini dilakukan sebanyak 2 kali, sesuai dengan jumlah pengambilan material yang dilakukan sebanyak 2 kali. Berikut

hasil dari pengukuran kadar air masing-masing agregat seperti yang terlihat pada tabel

4.6.

Tabel 4.6

Nilai kadar air agregat

Pengambilan	Agregat	Kadar air (%)
1	Halus	8,93
	Kasar	2,22
2	Halus	1,50
	Kasar	9,64

Untuk memperoleh nilai kadar air, Agregat ditimbang seperti yang terlihat pada gambar

4.17. Sebanyak 500 gram masing-masing agregat diambil.



Gambar 4.17 Penimbangan agregat untuk pengukuran kadar air

Kemudian dipanaskan hingga seluruh permukaan dari agregat terlihat kering. Selanjutnya agregat tadi ditimbang lagi untuk mengetahui berat agregat setelah dipanaskan. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari kadar air agregat pada pengambilan 1.

$$\text{Kadar air agregat halus} = \frac{\text{Berat hilang setelah dipanaskan}}{\text{Berat agregat halus keadaan kering}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air agregat halus} = \frac{10,9 \text{ gr}}{489,1 \text{ gr}} \times 100\%$$

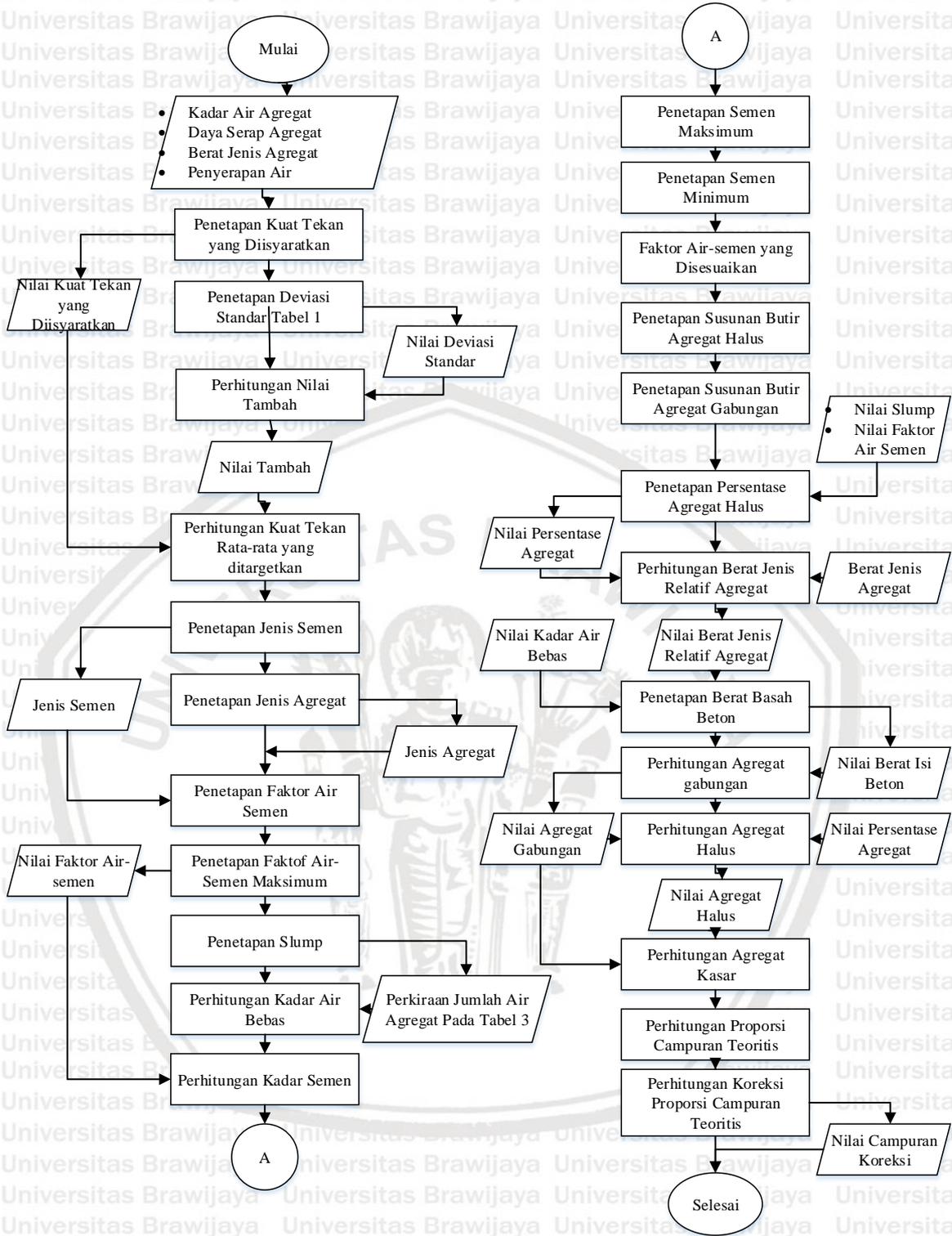
$$\text{Kadar air agregat halus} = 2,23 \%$$

$$\text{Kadar air agregat kasar} = \frac{\text{Berat hilang setelah dipanaskan}}{\text{Berat agregat kasar keadaan kering}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air agregat kasar} = \frac{41 \text{ gr}}{459 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air agregat kasar} = 8,93 \%$$

Setelah menguji material agregat dan menghitung kadar air. Berikut dilakukan Perhitungan Perencanaan beton sesuai dengan diagram alir pada gambar 4.18 berikut ini.



Gambar 4.18 Diagram alir perhitungan perencanaan beton K225

Perhitungan dimulai dengan memasukan data persyaratan seperti kadar air, berat jenis agregat, dan lain sebagainya. Tabel 4.7 berikut adalah hasil dari perencanaan beton K225 sebagai berikut.



Tabel 4.7  
Perencanaan beton k225 menurut SNI 03-2834-2000

No	Uraian	Tabel/grafik/perhitungan	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	18.7	MPa
2	Deviasi standar	Diketahui	12	MPa
3	Nilai tambah margin	$(h=1.64) 1.64*12$	19.68	Mpa
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1 + 3	38.38	MPa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Portland Tipe I	
6	Jenis agregat:			
	Kasar	Ditetapkan	Batu pecah	
	Halus	Ditetapkan	Gunung	
7	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan		
8	Faktor air semen bebas	Tabel 2, grafik 1	0.49	
9	Slump	Ditetapkan	30mm-60mm	
10	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20mm	
11	Kadar air bebas	Tabel 3	190	kg/m <sup>3</sup>
12	Jumlah semen	11 / 8	387.755	kg/m <sup>3</sup>
13	Jumlah semen maksimum	-	-	
14	jumlah semen minimum	-	-	kg/m <sup>3</sup>
15	Faktor air semen yang disesuaikan	-		
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	daerah gradasi butiran 2	
17	Susunan agregat kasar atau gabungan	Tabel 7 grafik 7,8,9 grafik 10,11,12 grafik 12s/d 15		
18	Persen agregat halus	Grafik 13 s/d 15	0.4	%
19	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)		2.738	kg/m <sup>3</sup>
20	Berat isi beton		2450	kg/m <sup>3</sup>
No	Uraian	Tabel/grafik/perhitungan	Nilai	Satuan
21	Berat isi beton kadar agregat gabungan	20-12-11	1872.245	kg/m <sup>3</sup>
22	Kadar agregat halus	18 * 21	748.898	kg/m <sup>3</sup>
23	Kadar agregat kasar	21-22	1123.347	kg/m <sup>3</sup>

Tabel 4.7  
Perencanaan beton k225 menurut SNI 03-2834-2000 (Lanjutan)

No	Uraian	Tabel/grafik/perhitungan	Nilai			Satuan
24	Proporsi campuran		Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)			
	tiap m3	semen	air	halus	kasar	
	Tiap campuran uji m3	387.755	190.000	748.898	1123.347	kg/m <sup>3</sup>
	Tiap campuran uji 0.035325 (1 campuran = 4 silinder beton)	13.697	6.712	26.455	39.682	kg/m <sup>3</sup>

Penjelasan tabel 4.7 perencanaan beton k225 sebagai berikut.

1. Kuat tekan disyaratkan sudah ditetapkan 225 kg/cm<sup>2</sup> (18,7MPa) untuk umur 28 hari
2. Standar deviasi diketahui dari tabel 1 faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30. Tabel 1 seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8

Tabel 1 faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2000

Dalam penelitian ini pembuat beton adalah peneliti, sedangkan peneliti tidak mempunyai pengalaman atau data pembuatan beton di lapangan maka sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan. Bila data uji lapangan untuk menghitung standar deviasi yang memenuhi persyaratan tabel 1 di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f_{cr}$  harus diambil tidak kurang dari ( $f'_c + 12$  MPa). Sehingga standar deviasi yang digunakan adalah 12 MPa.

3. Perhitungan nilai tambah sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times s_r$$

Dengan,  $s_r$  adalah standar deviasi yang telah ditetapkan

$$M = 1,64 \times 12$$

$$M = 19,68 \text{ MPa}$$

4. Kekuatan rata-rata yang ditargetkan diketahui dengan menambahkan kuat tekan yang disyaratkan dengan nilai tambah.

*Kekuatan rata – rata yang ditargetkan*

*= kuat tekan yang diisyaratkan + nilai tambah*

*Kekuatan rata – rata yang ditargetkan = 19,68 + 18,7*

*Kekuatan rata – rata yang ditargetkan = 38,38 MPa*

5. Jenis semen ditetapkan semen portland tipe I

6. jenis agregat diketahui:

- agregat halus (pasir) alami (pasir gunung)

- agregat kasar berupa batu pecah (kerikil)

7. Faktor air semen bebas

dari tabel 2 diketahui untuk agregat kasar batu pecah (kerikil) dan semen portland tipe

1, kekuatan tekan umur 28 hari yang diharapkan dengan faktor air semen 0,50 adalah

37 MPa. Nilai ini dipakai untuk membuat kurva yang harus diikuti menurut Grafik 1

pada gambar 2.5 dalam usaha mencari faktor air semen untuk beton yang direncanakan

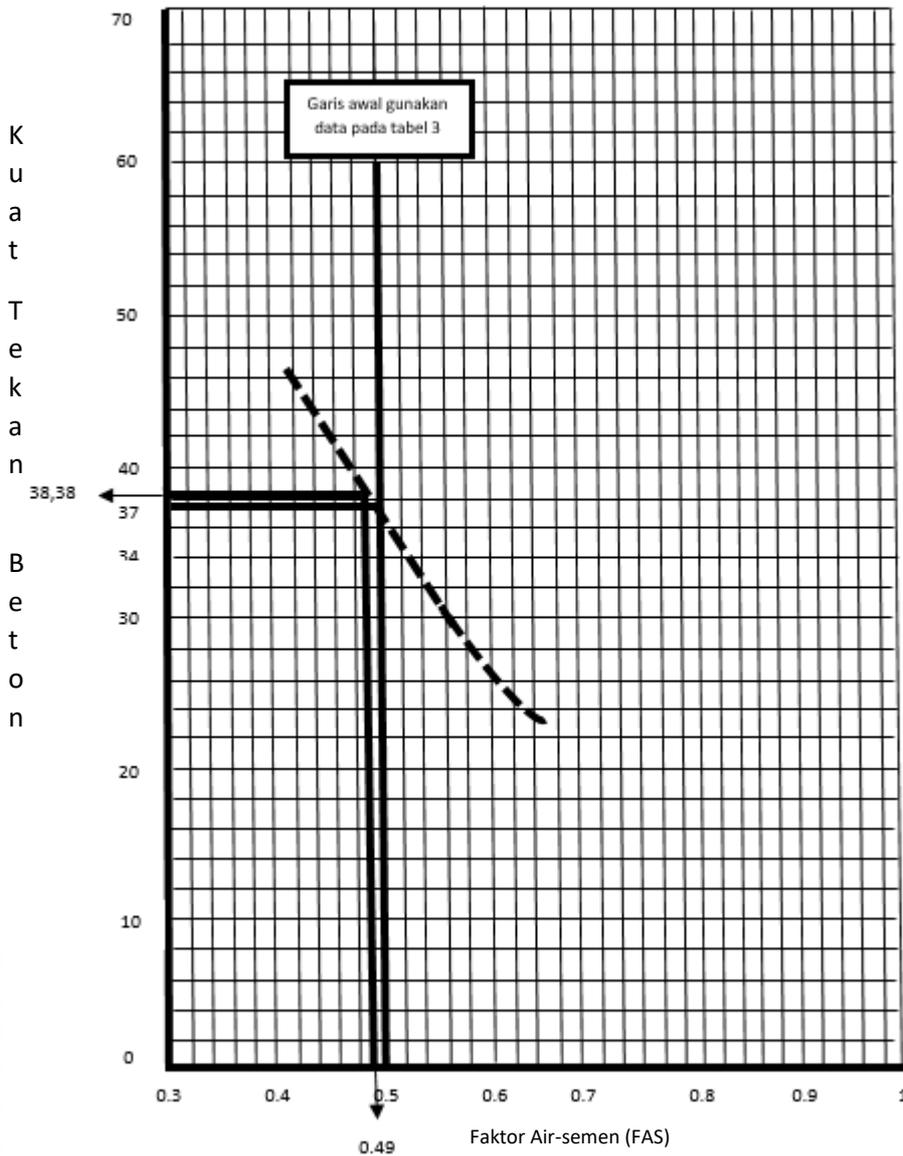
dengan cara sebagai berikut:

a. Dari titik kekuatan tekan 37 Mpa tarik garis datar hingga memotong garis tengah yang menunjukkan faktor air semen 0,50.

b. Melalui titik potong ini lalu gambarkan kurva yang berbentuk kira-kira sama dengan kurva disebelah atas dan di sebelah bawahnya (garis putus-putus).

c. Kemudian dari titik kekuatan tekan beton yang dirancang (dalam hal ini 38,38 MPa) tarik garis datar hingga memotong kurva garis putus-putus tadi. Dari titik potong ini tarik garis tegak ke bawah hingga memotong sumbu X (absiska) dan baca faktor air semen yang diperoleh. (dalam hal ini didapatkan 0,49).

Berikut adalah hasil nilai yang didapat pada grafik 1.



Gambar 4.19 Grafik 1 penetapan faktor air-semen

8. Faktor air semen maksimum dalam hal ini ditetapkan 0,60.
9. Slump: ditetapkan setinggi 30 – 60 mm
10. ukuran agregat maksimum : ditetapkan 20 mm
11. Kadar air bebas

untuk mendapatkan kadar air bebas, periksalah tabel 3 yang dibuat untuk agregat gabungan alami atau yang berupa batu pecah. Untuk agregat gabungan yang berupa campuran antara pasir alami dan kerikil (batu pecah) maka kadar air bebas harus diperhitungkan antara 180 – 210 kg/m<sup>3</sup> dengan nilai slump 30 – 60 mm dan baris ukuran agregat maksimum 20 mm, memakai rumus:

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk$$

Dengan :

Wh adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus dan

Wk adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

Dalam penelitian ini digunakan agregat berupa pasir gunung dan agregat kasar berupa batu pecah (kerikil), maka jumlah kadar air yang diperlukan.

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} 180 + \frac{1}{3} 210$$

$$\text{Kadar air bebas} = 120 + 70$$

$$\text{Kadar air bebas} = 190$$

12. Kadar semen

Jumlah kadar semen diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air bebas}}{\text{faktor air - semen}}$$

$$\text{Kadar semen} = \frac{190}{0,49}$$

$$\text{Kadar semen} = 387.755 \text{ kg/m}^3$$

13. Kadar semen maksimum tidak ditentukan, jadi dapat diabaikan.

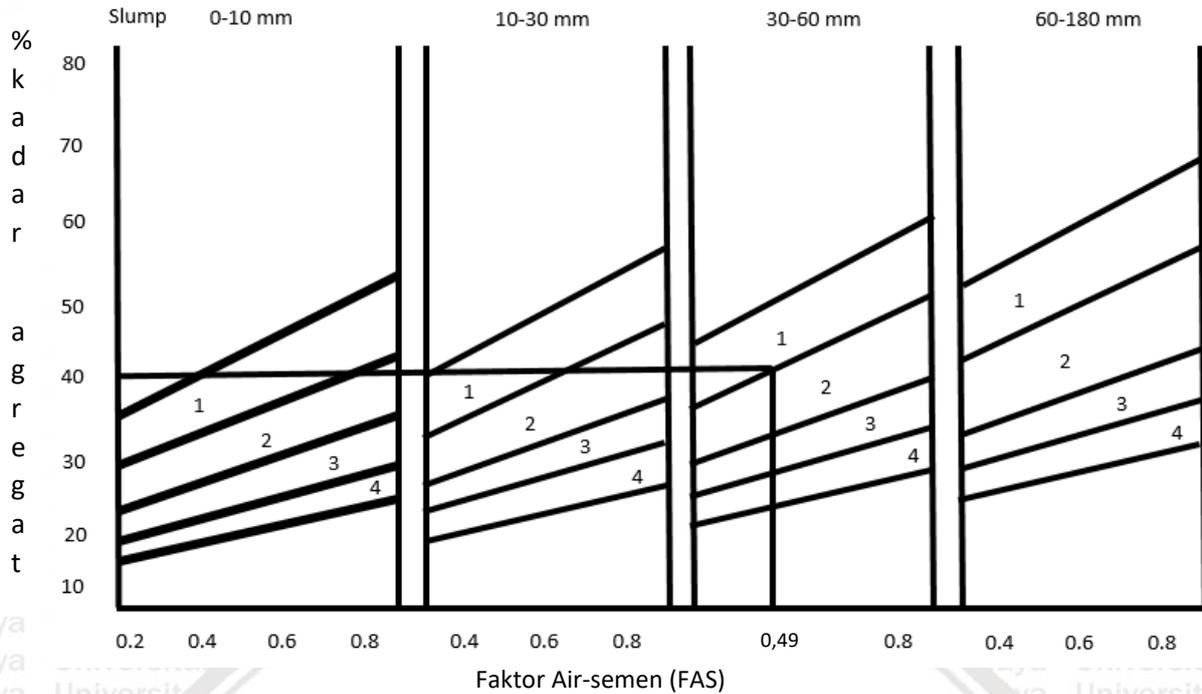
14. Kadar semen minimum tidak ditentukan, jadi dapat diabaikan.

15. Faktor air semen yang disesuaikan tidak ditentukan, jadi dapat diabaikan.

16. Susunan butir agregat butir halus : ditetapkan masuk daerah Susunan Butir No. 2.

17. Susunan butir agregat gabungan seperti yang terlihat pada gambar 4.14.

18. Persen agregat halus ini dicari dalam Grafik 14 pada lampiran untuk kelompok ukuran butir agregat maksimum 20 mm pada nilai slump 30 – 60 mm dan nilai faktor air semen 0,49. Bagi agregat halus (pasir) yang termasuk daerah susunan butir no. 2 diperoleh harga 40 %. Berikut adalah hasil dari grafik 14 hasil persen kadar agregat halus.



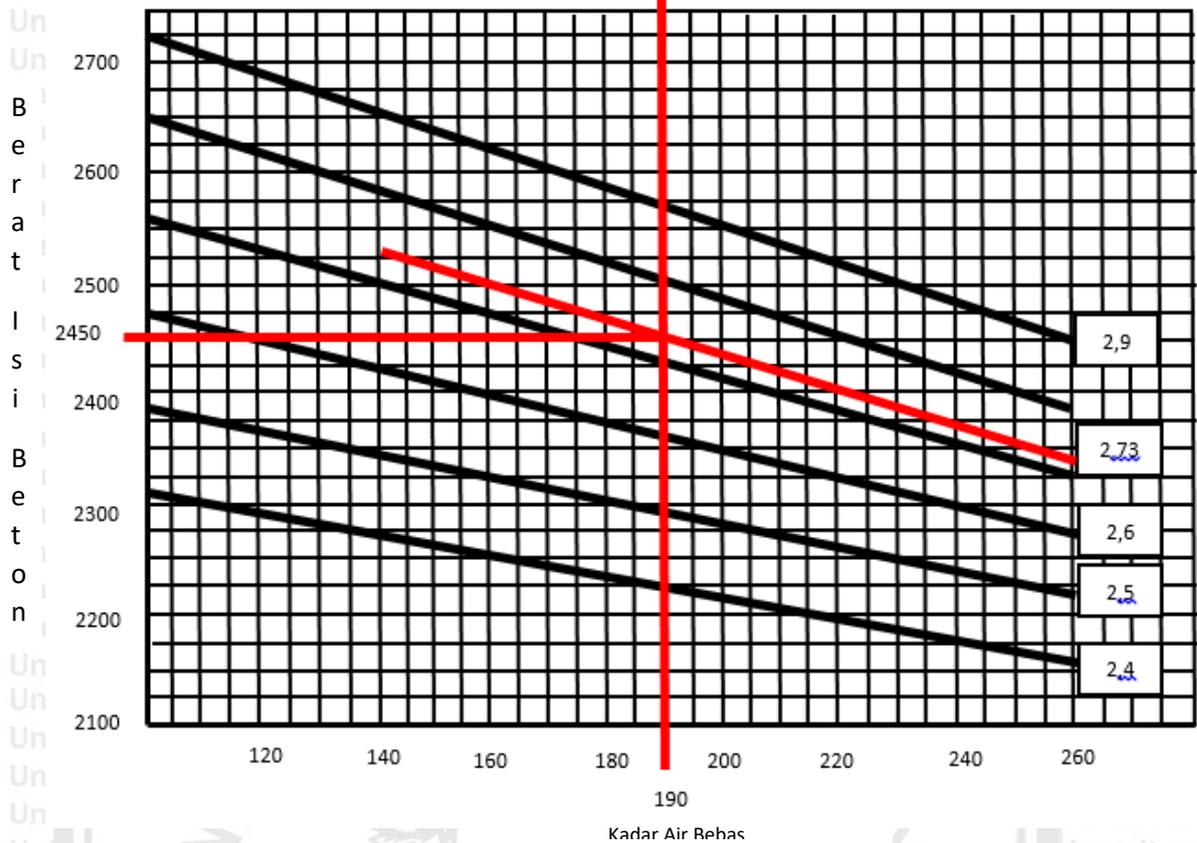
Gambar 4.20 Grafik 14 hasil persentase kadar agregat halus.

19. Berat jenis relatif agregat ini adalah berat jenis agregat gabungan, artinya gabungan agregat halus dan agregat kasar. Perhitungan berat jenis relatif menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat gabungan} &= \\ &= (\text{persentase agregat halus} \times \text{berat jenis agregat halus}) \\ &+ (\text{persentase agregat kasar} \times \text{berat jenis agregat kasar}) \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis agregat gabungan} = (0,40 \times 2,5) + (0,60 \times 2,66) = 2,73 \text{ kg/m}^3$$

20. Berat jenis beton : diperoleh dari Grafik 16 pada lampiran 4 dengan jalan membuat grafik baru yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan, yaitu 2,59. Titik potong grafik baru tadi dengan tegak yang menunjukkan kadar air bebas dalam hal ini 190 kg/m<sup>3</sup>, menunjukkan nilai berat jenis beton yang direncanakan. Dalam hal ini diperoleh angka 2450 kg/m<sup>3</sup>. Berikut grafik 16 hasil perkiraan berat isi beton basah.



Gambar 4.21 Grafik 16 hasil perkiraan berat isi beton basah

21. Kadar agregat gabungan

Diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar agregat gabungan} =$$

$$\text{berat jenis beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air}$$

$$\text{Kadar agregat gabungan} = 2450 - 387,755 - 190$$

$$\text{Kadar agregat gabungan} = 1872,245 \text{ kg/m}^3$$

22. Kadar agregat halus

Diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar agregat halus} = \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar agregat gabungan}$$

$$\text{Kadar agregat halus} = 0,40 \times 1872,245$$

$$\text{Kadar agregat halus} = 748,898 \text{ kg/m}^3$$

23. Kadar agregat kasar

Diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus}$$

$$\text{Kadar agregat kasar} = 1872,245 - 748,898$$

$$\text{Kadar agregat kasar} = 1123,347 \text{ kg/m}^3$$

## 24. Proporsi campuran

Dari langkah no.1 hingga no.23 kita dapatkan susunan campuran beton teoritis untuk tiap 1 m<sup>3</sup> seperti yang terlihat pada tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9

Proporsi campuran teoritis

No	Material	Proporsi (kg/m <sup>3</sup> )
1	Semen Portland tipe I	387,755
2	Kadar air	190,000
3	Agregat halus	748,898
4	Agregat kasar	1123,347

## 25. Koreksi proporsi campuran

Untuk mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya yaitu yang akan digunakan sebagai campuran uji, angka-angka teoritis tersebut perlu dibenarkan dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat dalam atau yang masih dibutuhkan oleh masing-masing agregat yang akan dipakai. Berikut perhitungan yang digunakan untuk memperhitungkan jumlah air.

Jumlah air yang terdapat dalam:

$$\text{Agregat halus} = (\text{kadar air} - \text{penyerapan air}) \times \frac{\text{kadar agregat halus}}{100}$$

$$\text{Agregat halus} = (8,932 - 1,562) \times \frac{748,898}{100}$$

$$\text{Agregat halus} = 55,20 \text{ kg/m}^3$$

Sedangkan kerikil masih membutuhkan sejumlah air untuk memenuhi kapasitas penyerapannya, yaitu:

$$\text{Agregat kasar} = (\text{penyerapan air} - \text{kadar air}) \times \frac{\text{kadar agregat kasar}}{100}$$

$$\text{Agregat kasar} = (2,626 - 2,228) \times \frac{1123,347}{100}$$

$$\text{Agregat kasar} = 4,46 \text{ kg/m}^3$$

Dengan mengurangi atau menambahkan hasil-hasil perhitungan ini, akan kita peroleh susunan campuran yaitu yang seharusnya kita timbang, untuk tiap m<sup>3</sup> beton (ketelitian 5 kg) :

$$\text{Semen portland tipe I} = 387,755$$

$$\text{Agregat halus koreksi} = \text{Agregat halus teoritis} + \text{Kadar air agregat halus}$$

$$\text{Agregat halus koreksi} = 748,898 + 55,20$$

$$\text{Agregat halus koreksi} = 804,098 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar koreksi} = \text{Agregat kasar teoritis} - \text{Kadar air agregat kasar}$$

$$\text{Agregat kasar koreksi} = 1123,347 - 4,46$$

$$\text{Agregat kasar koreksi} = 1118,887 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar air koreksi} =$$

$$\text{Kadar air teoritis} - \text{Kadar air agregat halus} + \text{Kadar air agregat kasar}$$

$$\text{Kadar air koreksi} = 190 - 55,20 + 4,46$$

$$\text{Kadar air koreksi} = 139,26 \text{ kg/m}^3$$

Setelah campuran dikoreksi, selanjutnya campuran dikonversi yang awal mula  $1\text{m}^3$

menjadi 4 silinder, sesuai dengan kebutuhan jumlah replikasi. Rumus untuk menghitung

konversi tersebut sebagai berikut.

$$\text{Nilai konversi 4 silinder} = \text{Volume silinder} \times \frac{100}{4}$$

$$\text{Nilai konversi 4 silinder} = (30 \times (7,5^2) \times 3,14) \div 4$$

$$\text{Nilai konversi 4 silinder} = 0,021195 \text{ m}^3$$

Sehingga masing-masing material akan berubah nilainya sesuai dengan nilai konversi

tersebut. Berikut adalah formula yang digunakan untuk menghitung nilai konversi

masing-masing material.

$$\text{Semen portland tipe I} = \text{kadar semen portland} \times \text{nilai konversi}$$

$$\text{Semen portland tipe I} = 387,755 \times 0,021195$$

$$\text{Semen portland tipe I} = 8,22 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat halus} = \text{nilai agregat halus koreksi} \times \text{nilai konversi}$$

$$\text{Agregat halus} = 804,098 \times 0,021195$$

$$\text{Agregat halus} = 17,04 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} = \text{nilai agregat kasar koreksi} \times \text{nilai konversi}$$

$$\text{Agregat kasar} = 1118,887 \times 0,021195$$

$$\text{Agregat kasar} = 23,71 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar air} = \text{nilai kadar air koreksi} \times \text{nilai konversi}$$

$$\text{Kadar air} = 139,26 \times 0,021195$$

$$\text{Kadar air} = 2,95 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.2.7 Prosedur Pembuatan Beton

Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan dalam pembuatan beton:

1. Semua material ditimbang, proporsi material sesuai dengan proporsi yang sudah direncanakan.

2. Setelah ditimbang, semua bahan disiapkan dan memulai proses pengadukan dengan mesin pengaduk mini atau molen. Material pertama yang dimasukkan adalah setengah dari material air, kemudian kerikil atau agregat kasar, setelah itu pasir atau agregat halus, semen, dan material terakhir adalah abu sekam padi. Kemudian sisa air dimasukkan secara perlahan.



Gambar 4.22 Persiapan mesin pengaduk atau molen dan cawan besar

3. Sebelum adonan dicetak, adonan beton dilakukan pengukuran slump. Adonan dimasukkan ke dalam kerucut Abraham kemudian, tongkat pemadat sebagai penyangga, setelah itu gunakan mistar untuk mengukur slump. Slump adalah nilai ukuran yang ditetapkan saat perencanaan beton. Nilai slump ini digunakan sebagai nilai untuk menentukan tingkat kemudahan pengerjaan beton. Semakin besar nilai slump, maka semakin mudah dalam pengerjaan beton.



Gambar 4.23 Pengukuran Slump

4. Cetakan dibersihkan dan dilumasi dengan minyak



Gambar 4.24 Pengolesan minyak

5. Adukan dimasukan cetakan dengan menggunakan cetok semen, dan dipadatkan dengan tongkat pematik dan palu.
6. Permukaan adukan diratakan dengan menggunakan cetok perata.
7. Setelah itu cetakan diberi tanda, serta dicatat tanggal percobaannya.
8. Langkah berikutnya adalah membuka cetakan. Cetakan dibuka setelah dibiarkan selama 24 jam.



Gambar 4.25 Benda uji dibuka setelah dibiarkan selama 24 jam

9. Kemudian benda uji direndam, untuk menjaga kadar air dalam beton.



Gambar 4.26 Perendaman benda uji beton

#### 4.2.8 Penentuan Level

Dalam penelitian ini menggunakan tiga level faktor dari empat faktor yang berpengaruh dalam pembuatan beton yang akan dibuat. Berikut merupakan penjelasan level faktor yang akan dilakukan pada penelitian ini.

##### 1. Faktor air-semen

Penentuan level pada faktor air-semen adalah 0.465, 0.49, dan 0.515. Penentuan level faktor ini didasari dengan adanya penambahan dan pengurangan faktor skala dengan faktor air-semen rencana. Harga faktor skala ini didapat dari penelitian Armeyn (2006), faktor skala yang digunakan adalah 0,25. Faktor air-semen rencana sebelumnya adalah 0,49. Jadi level faktor dengan adanya penambahan faktor skala adalah 0,515 dan pengurangan faktor skala adalah 0.465. Adanya penambahan dan pengurangan faktor air-semen diperlukan untuk melihat apakah faktor air-semen rencana sudah memberikan kuat tekan maksimal, dan jika tidak apakah dengan penambahan dan pengurangan faktor air-semen dapat mencapai kuat tekan maksimal.

##### 2. Faktor ASP-Semen (Abu sekam padi)

Level faktor ASP-Semen pada penelitian ini menggunakan perbandingan 5%, 7,5%, dan 10%. Perbandingan 5% dan 7,5% didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2014) hasil penelitian tersebut seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10

Hasil kuat tekan beton dengan penambahan abu sekam padi (ASP)

Mutu beton	Presentase penambahan ASP	Hasil kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
K225	0%	228,75
	2,5%	233,56
	5%	23932
	7,5%	249,90
	10%	232,60

Sumber: Hidayat (2014)

Hasil kuat tekan tertinggi diperoleh dengan perbandingan 5% dan 7,5%. Hasil tertinggi inilah yang kemudian dijadikan sebagai level faktor pada penelitian ini. Sedangkan perbandingan 10% didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Suhirkam dan Latif (2014). Hasil penelitian tersebut seperti yang terlihat pada tabel 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.11

Hasil kuat tekan dengan penambahan abu sekam padi (ASP)

Mutu beton	Presentase penambahan ASP	Hasil kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
K400	2,5%	421,33
	5%	431,41
	7,5%	444,30
	10%	456,89

Sumber: Suhirkam dan Latif (2014)

Hasil kuat tekan tertinggi didapat pada penggantian ASP sebesar 7,5% dan 10%. Jadi penetapan level faktor ASP-semen didapat 5%, 7,5%, dan 10%.

### 3. Faktor perbandingan agregat halus dan agregat kasar

Perbandingan agregat yang digunakan sebanyak 3 level, yaitu 40%:60%; 45%:55%; dan 55%:45%. Perbandingan 40%:60% diperoleh dari perbandingan rencana, sedangkan perbandingan 45%:55% dan 55%:45% didapat dari penelitian yang dilakukan oleh Ginting (2014). Hasil dari penelitian tersebut seperti yang terlihat pada tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.12

Hasil kuat tekan dengan pengaruh perbandingan pasir dengan kerikil

No	Pasir %	Kerikil %	Kuat tekan (MPa)
1	0	100	0,85
2	30	70	9,23
3	35	65	13,30
4	40	60	20,47
5	43,5	56,5	23,20
6	45	55	25,46
7	50	50	23,11
8	55	45	23,77
9	60	40	20,84
10	65	35	20,27
11	70	30	14,15
12	100	0	6,98

Sumber: Ginting (2014)

Hasil kuat tekan yang terbesar didapat pada perbandingan agregat 45%:55% dan 55%:45%. Jadi level faktor yang digunakan adalah perbandingan agregat 40%:60%; 45%:55%; dan 55%:45%.

### 4. Faktor lama pengadukan

Lama pengadukan yang dibutuhkan adalah 2 menit, 3 menit dan 4 menit. Harga ini diperoleh melalui penelitian yang dilakukan oleh Armeyn (2014). Hasil dari penelitian tersebut seperti yang terlihat pada tabel 4.13 sebagai berikut.

Tabel 4.13

Hasil kuat tekan dipengaruhi oleh lama waktu pengadukan Armeyn (2006)

Mutu beton	Waktu pengadukan (menit)	Kuat Tekan Beton (kg/cm <sup>2</sup> )
K500	1	548,38
	2	577,08
	3	565,42
	4	573,75
	5	561,48

Sumber: Armeyn (2006)

Kuat tekan tertinggi adalah pada lama waktu pengadukan 2, 3, dan 4 menit dengan nilai kuat tekan 577,08; 565,42 dan 573,75. Sehingga level faktor lama pengadukan adalah 2, 3, dan 4 menit.

#### 4.2.9 Penetapan Derajat Kebebasan Faktor Kontrol

Agar suatu pengujian terhadap pengaruh beberapa parameter dapat dilakukan secara efisien, maka disusunlah sebuah bentuk matriks khusus atau yang biasa disebut matriks *orthogonal array* atau derajat kebebasan. Untuk mendapatkan matriks ortogonal yang sesuai dengan eksperimen, maka diperlukan nilai derajat kebebasan dari masing-masing faktor yang digunakan dalam eksperimen. Setelah derajat kebebasan dari masing-masing faktor diketahui, maka nilai derajat kebebasan dari *orthogonal array* minimal sama dengan derajat kebebasan dari faktor utama tersebut. Pada tabel 4.14 berikut adalah perhitungan nilai derajat kebebasan untuk faktor kontrol dalam penelitian ini.

Tabel 4.14  
Derajat kebebasan untuk faktor kontrol dalam penelitian ini

Kode Faktor	Faktor	Derajat Kebebasan	Total
A	Faktor Air-Semen	(3-1)	2
B	Faktor ASP-Semen	(3-1)	2
C	Faktor Agregat Halus-Kasar	(3-1)	2
D	Lama Waktu Pengadukan	(3-1)	2
Total Derajat Kebebasan			8

#### 4.2.10 Penetapan *Orthogonal Array*

Setelah diketahui nilai derajat kebebasan dari faktor kontrol pada tabel 4.14. Selanjutnya adalah memilih matriks ortogonal. Dari perhitungan di atas diketahui nilai derajat kebebasan faktor kontrol adalah delapan (8). Jadi jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan adalah 8 kali eksperimen. Sehingga matriks ortogonal yang cocok atau sesuai dengan eksperimen yaitu:

$L_9 (3^4)$

Dimana:

L = Rancangan bujursangkar latin

9 = Banyaknya baris atau eksperimen

3 = Banyaknya level

4 = Banyaknya kolom atau faktor

Perhitungan derajat kebebasannya adalah sebagai berikut.

*Derajat Kebebasan*  $L_9 (3^4) = (\text{Banyaknya Faktor}) \times (\text{Banyaknya Level} - 1)$

*Derajat Kebebasan*  $L_9 (3^4) = (4) \times (3 - 1)$

*Derajat Kebebasan*  $L_9 (3^4) = 8$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa nilai derajat kebebasan faktor kontrol pada penelitian ini sesuai dengan orthogonal array L9 ( $3^4$ ). Dalam penelitian ini terdapat 4 faktor kontrol dengan masing-masing faktor mempunyai 3 level dan tidak ada interaksi antar faktor. Jumlah eksperimen sebanyak 9 kali eksperimen, sesuai dengan desain matriks *orthogonal array* yang dipilih. Guna mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan ketelitian data percobaan replikasi yang digunakan adalah sebanyak 3 kali replikasi. Sehingga sampel yang akan dibutuhkan dalam penelitian ini sebanyak 36 sampel. Berikut merupakan tabel dari matriks orthogonal L9 ( $3^4$ ) yang dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15  
Matriks Orthogonal Array L9 ( $3^4$ )

Eksperimen	Faktor Kontrol			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
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

#### 4.2.11 Penugasan pada *Orthogonal Array*

Tabel 4.16 berikut ini merupakan penugasan pada orthogonal array yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 4.16  
Matriks *Orthogonal Array* L9 ( $3^4$ )

Eskperimen	Faktor kontrol				Faktor lama pengadukan D
	Faktor Air-Semen (FAS) A	Faktor ASP-Semen B	Faktor Agregat halus-kasar C		
			Presentase Agregat halus	Presentase Agregat kasar	
1	0.465	0.05	0.4	0.6	2 menit
2	0.465	0.075	0.45	0.55	3 menit
3	0.465	0.1	0.55	0.45	4 menit
4	0.49	0.05	0.45	0.55	4 menit
5	0.49	0.075	0.55	0.45	2 menit
6	0.49	0.1	0.4	0.6	3 menit
7	0.515	0.05	0.55	0.45	3 menit
8	0.515	0.075	0.4	0.6	4 menit

9	0.515	0.1	0.45	0.55	2 menit
---	-------	-----	------	------	---------

### 4.3 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

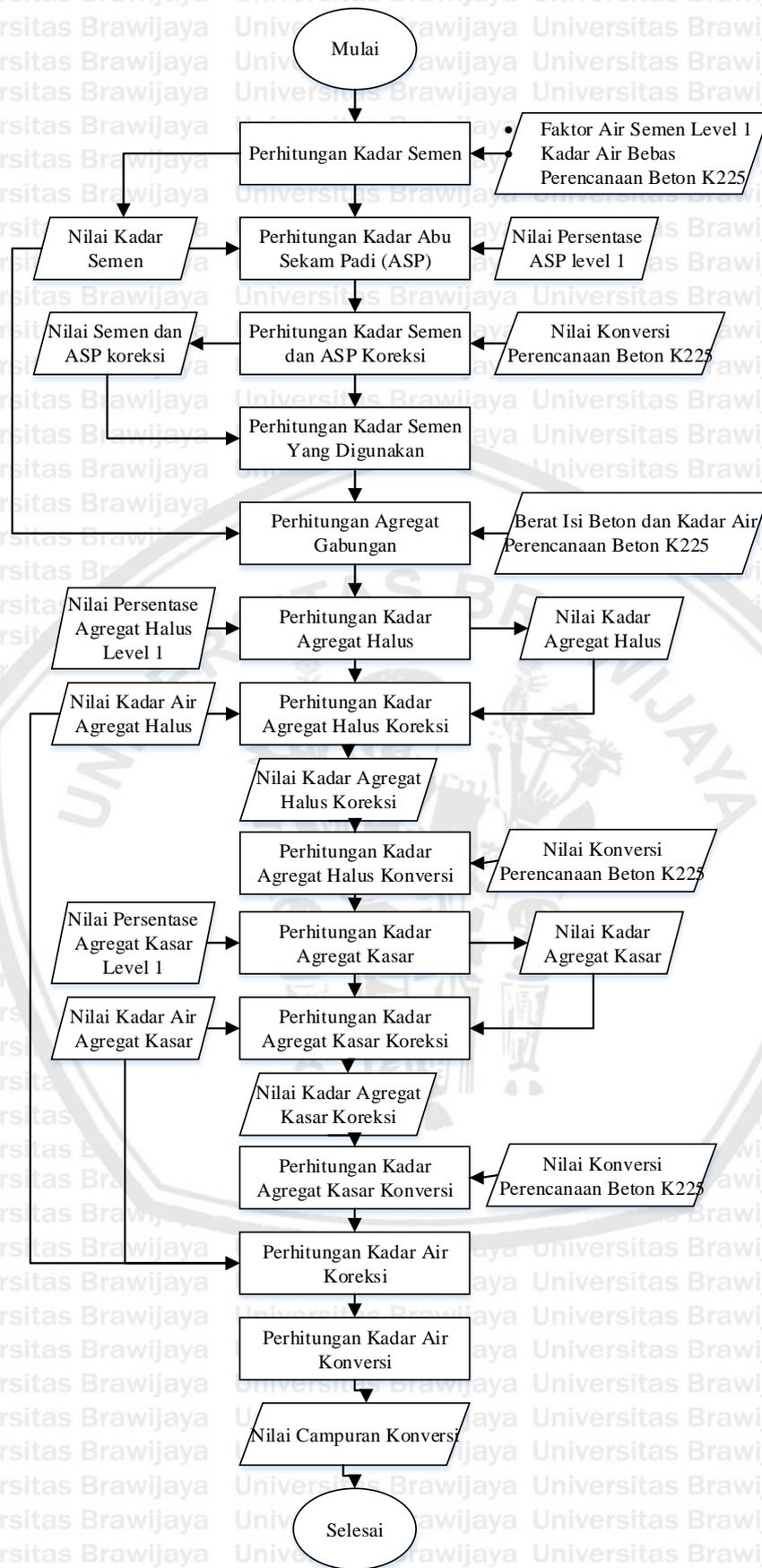
Pada tahap pelaksanaan eksperimen berisikan uraian tentang penjelasan proses pembuatan beton mutu K225 hingga pengujian kuat tekan beton.

#### 4.3.1 Pembuatan Beton mutu K225 dengan Eksperimen Taguchi

Dalam tahap ini maka akan dibuat sampel beton mutu K225 yang terdiri dari faktor-faktor kontrol dengan acuan campuran bahan yang digunakan yaitu sesuai dengan orthogonal array yang digunakan seperti pada tabel 4.16. Berikut langkah-langkah yang digunakan pada pembuatan mutu beton K225 dengan eksperimen taguchi.

##### 1. Penakaran (*Batching*)

Setelah beberapa level faktor ditetapkan, campuran tiap eksperimen akan berubah. Agar saat pembuatan benda uji tidak terjadi kesalahan proporsi campuran, sehingga perubahan campuran tiap eksperimen akan diuraikan seperti tabel 4.16. Perhitungan campuran eksperimen akan mengikuti diagram alir pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Diagram alir Perhitungan campuran ke-1



Tabel 4.17

Hasil penakaran tiap eksperimen atau campuran

Eksperimen/Campuran	Proporsi Campuran				
	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	ASP (Abu Sekam Padi)	Air
1	16,85	23,45	8,23	0,44	2,96
2	18,96	21,50	8,01	0,65	2,81
3	23,17	17,59	7,79	0,87	2,51
4	19,17	21,74	7,81	0,41	2,80
5	22,71	17,76	7,60	0,62	3,24
6	17,16	23,54	7,40	0,82	3,01
7	23,83	17,83	7,43	0,39	2,45
8	17,33	23,78	7,23	0,59	3,00
9	19,50	21,80	7,04	0,78	2,82

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk menghitung eksperimen atau campuran ke-1. Diketahui dari perhitungan perencanaan beton mutu K225 sebagai berikut.

Tabel 4.18

Proporsi Campuran Mutu Beton K225 Rencana

Campuran Mutu Beton K225 tiap m <sup>3</sup>	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	Air
	748,898 kg/m <sup>3</sup>	1123,347 kg/m <sup>3</sup>	387,755 kg/m <sup>3</sup>	190 kg/m <sup>3</sup>

Tabel 4.19

Level Faktor Eksperimen ke-1

Faktor	A	B	C	D
Level Faktor	1	1	1	1
Nilai	0,465	5%	40%:60%	2 menit

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{Kadar Air}}{\text{Faktor Air Semen}}$$

$$\text{Kadar Semen} = \frac{190}{0,465}$$

$$\text{Kadar Semen} = 408,60 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar ASP} = \text{Presentse ASP} \times \text{Kadar Semen}$$

$$\text{Kadar ASP} = 5\% \times 408,60$$

$$\text{Kadar ASP} = 20,43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Semen Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = \text{Kadar Semen} \times \text{Nilai konversi}$$

$$\text{Kadar Semen Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 408,60 \times 0,021195$$

$$\text{Kadar Semen Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 8,67 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar ASP Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 =$$

$$= \text{Presentse ASP} \times \text{Kadar Semen Tiap } 0,021195 \text{ m}^3$$

$$\text{Kadar ASP Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 5\% \times 8,67$$

$$\text{Kadar ASP Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 0,44 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga kadar semen yang digunakan merupakan hasil pengurangan kadar semen tiap 0,021195 m<sup>3</sup> dengan kadar ASP (abu sekam padi). Berikut merupakan perhitungan kadar semen yang digunakan pada campuran ke-1.

$$\text{Kadar Semen Yang Digunakan} = \text{Kadar Semen} - \text{Kadar ASP}$$

$$\text{Kadar Semen Yang Digunakan} = 408,60 - 20,43 = 388,17 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Semen Yang Digunakan Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 =$$

$$= \text{Kadar Semen Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 - \text{Kadar ASP}$$

$$\text{Kadar Semen Yang Digunakan Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 8,67 - 0,44 = 8,23 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat Gabungan} = \text{Berat Isi Beton} - \text{Kadar Semen} - \text{Kadar air}$$

$$\text{Kadar Agregat Gabungan} = 2450 - 408,60 - 190 = 1851,40 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat Halus} =$$

$$= \text{Presentase Agregat Halus} \times \text{Kadar Agregat Gabungan}$$

$$\text{Kadar Agregat Halus} = 40\% \times 1851,40 = 740,56 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat halus} = (\text{kadar air} - \text{penyerapan air}) \times \frac{\text{kadar agregat halus}}{100}$$

$$\text{Agregat halus} = (8,932 - 1,562) \times \frac{740,56}{100}$$

$$\text{Agregat halus} = 54,58 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat Halus Koreksi} =$$

$$= \text{Kadar Agregat Halus} + \text{Kadar Air Agregat Halus}$$

$$\text{Kadar Agregat Halus Koreksi} = 740,56 + 54,58$$

$$\text{Kadar Agregat Halus Koreksi} = 795,14 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat Halus Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 =$$

$$= \text{Kadar Agregat Halus Koreksi} \times \text{Nilai Konversi}$$

$$\text{Kadar Agregat Halus Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 795,14 \times 0,021195$$

$$\text{Kadar Agregat Halus Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 16,85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat kasar} =$$

$$= (\text{Kadar Agregat Gabungan} - \text{Kadar Agregat Halus})$$

$$\text{Kadar Agregat kasar} = 1851,40 - 740,56$$

$$\text{Kadar Agregat kasar} = 1110,84 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} = (\text{penyerapan air} - \text{kadar air}) \times \frac{\text{kadar agregat kasar}}{100}$$

$$\text{Agregat kasar} = (2,626 - 2,228) \times \frac{1110,84}{100}$$

$$\text{Agregat kasar} = 4,42 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat kasar Koreksi} = 1110,84 - 4,41 = 1106,43 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Agregat kasar Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 =$$

$$= \text{Kadar Agregat kasar Koreksi} \times \text{Nilai Konversi}$$

$$\text{Kadar Agregat kasar Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 1106,43 \times 0,021195 = 23,45 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Air Koreksi} =$$

$$= \text{Kadar air} - \text{Kadar Air Agregat Halus} + \text{Kadar Air Agregat Kasar}$$

$$\text{Kadar Air Koreksi} = 190 - 54,58 + 4,41 = 139,83 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Kadar Air Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = \text{Kadar Air Koreksi} \times \text{Nilai Konversi}$$

$$\text{Kadar Air Tiap } 0,021195 \text{ m}^3 = 139,83 \times 0,021195 = 2,96 \text{ kg/m}^3$$

Dari perhitungan diatas didapat campuran beton rencana atau campuran tiap 1 m<sup>3</sup> dan campuran konversi yaitu campuran tiap 0,021195 m<sup>3</sup> (4 silinder). Tabel 4.20 Berikut adalah susunan campuran yang seharusnya ditimbang.

Tabel 4.20

Proporsi Campuran Yang Ditimbang Sebelum dan Setelah Dikonversi

Campuran Ke-1	Material				
	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	ASP (Abu Sekam Padi)	Air
Tiap 1 m <sup>3</sup>	795,14 kg	1106,43 kg	388,17 kg	20,43 kg	139,83 kg
Tiap 0,021195 m <sup>3</sup>	16,85 kg	23,45 kg	8,23 kg	0,44 kg	2,96 kg

## 2. Pencampuran (*Mixing*)

Pencampuran dilakukan dengan mesin *mixer*. Ide pencampuran adalah *sandwich*, dengan pengertian bahwa material yang mahal, yaitu semen, kita bungkus dengan agregat, agar terjamin merata. Dalam praktiknya pencampuran dimulai dengan memasukan sedikit air terlebih dahulu, selanjutnya memasukan agregat kasar, kemudian semen dan sisa air ditambahkan setelah semua material masuk.

## 3. Penuangan (*Placing*)

Untuk tahap penuangan terbagi menjadi 2 tahap. Tahap ke-1 adalah tahap pencetakan.

Tahap pencetakan dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Tempatkan cetakan pada permukaan yang datar, keras, bebas dari getaran, gangguan-gangguan lain dan sedekat mungkin dengan lokasi penyimpanan.
2. Tuangkan adukan beton dalam cetakan dengan menggunakan sekop atau sendok aduk sesekop penuh atau sesekop datar dari bejana pengaduk agar diperoleh adukan yang dapat mewakili campuran tersebut.
3. Tusukkan sendok diseperti garis keliling lubang cetakan agar dapat dipastikan bahwa beton terdistribusi secara merata dan terhindar terjadinya segregasi.

4. Ratakan beton dengan menggunakan batang penusuk sebelum mulai pemadatan.
5. Perkiraan pada akhir penuangan bahwa penambahan sejumlah adukan beton benar-benar cukup.

Kemudian pada tahap pemadatan dilakukan seiring dengan tahap pencetakan. Berikut adalah langkah-langkah pada tahap pemadatan.

1. Dengan Penusukan

- a. Masukkan adukan beton ke dalam cetakan lapis demi lapis dengan jumlah lapisan sebanyak 3 lapis.
- b. Tusuk tiap lapisan dengan batang penusuk.
- c. Tusuk dasar lapisan di seluruh ketebalannya dan distribusikan penusukan.
- d. Pukul-pukul bagian luar cetakan pelan-pelan dengan palu kayu atau karet untuk menutup tiap lubang yang masih ada dan melepas gelembung udara yang besar-besar yang mungkin terperangkap.

2. Dengan Penggetaran

- a. Buat periode waktu getar yang seragam untuk jenis beton tertentu, alat getar, dan cetakan yang terkait.
- b. Isi cetakan dan getar dengan waktu getar yang sama untuk setiap lapisan dan hindari pengisian secara berlebihan pada penuangan terakhir.
- c. Ratakan permukaan.
- d. Pukul pelan-pelan bagian luar cetakan.

3. Penyimpanan Awal

- a. Pindahkan benda uji segera setelah dipukul-pukul ke tempat penyimpanan sehingga tidak terganggu selama kurun waktu perawatan awal.
- b. Angkat dan topang benda uji dari bawah dengan sendok semen yang besar atau alat yang serupa, bila benda uji dibuat dalam cetakan yang penggunaannya satu per satu hendak dipindah.
- c. Selimuti benda uji dengan pelat atau lembaran plastik kedap air, tidak reaktif dan bungkus dengan kain basah serta hindari agar tidak menyentuh permukaan beton.

4. Perawatan

Buka benda uji dari cetakan 24 jam  $\pm$  8 jam setelah pencetakan. Kemudian benda uji dirawat basah pada temperature  $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$  mulai dari waktu pencetakan sampai saat pengujian. Perawatan basah berarti bahwa benda uji yang akan diuji harus memiliki air bebas yang dijaga pada seluruh permukaan pada semua waktu. Kondisi ini dipenuhi

dengan cara merendam benda uji dalam air jenuh kapur dengan keadaan tidak boleh diletakan pada air mengalir atau air menetes.

#### 4.3.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Eksperimen Taguchi

Pengujian kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Kontruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya pada tanggal 3 Mei 2017. Pengujian kuat tekan menggunakan *Compression Machine*. Data hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 4.21 sebagai berikut.

Tabel 4.21  
Hasil pengujian kuat tekan (MPa)

Eksperimen	Replikasi	Kuat Tekan (MPa)	Eksperimen	Replikasi	Kuat Tekan (MPa)
1	1	694	6	1	498
	2	658		2	501
	3	689		3	521
2	1	642	7	1	617
	2	634		2	540
	3	666		3	534
3	1	547	8	1	451
	2	542		2	472
	3	558		3	456
4	1	530	9	1	457
	2	519		2	446
	3	527		3	468
5	1	622			
	2	630			
	3	640			

Pada tabel 4.21 adalah data hasil pengujian kuat tekan pada beton mutu K225 dengan rata-rata rencana adalah 460 MPa, sesuai dengan kuat tekan rencana yang dihasilkan dari eksperimen Taguchi. Terdapat perbedaan hasil pengujian dikarenakan pada eksperimen 1 sampai 9 menggunakan proporsi campuran yang berbeda, sehingga hasil yang dikeluarkan pun juga berbeda.

#### 4.4 Tahap Analisis Hasil Eksperimen

Pada tahap analisis hasil eksperimen berikut merupakan langkah-langkah tentang pengolahan data yang mengacu pada perhitungan yang telah ditentukan oleh Taguchi.

##### 4.4.1 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data yang telah diperoleh selanjutnya akan diolah dengan menggunakan dua acara yaitu analisis varians dan *signal to noise ratio* (SNR). Untuk analisis varians eksperimen digunakan untuk mengidentifikasi kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Sedangkan untuk *signal to noise ratio* (SNR) dengan formula sedemikian hingga

peneliti selalu dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen.

#### 4.4.1.1 Analisis Varians

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.1. Pengolahan data hasil eksperimen bahwa tujuan mengidentifikasi kontribusi faktor pada eksperimen ini. Berikut ini adalah perhitungan untuk analisis varians dan juga *signal to noise ratio* (SNR).

Rumus perhitungan nilai rata-rata:

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

Dimana,

$\mu$  = nilai rata-rata

$y_i$  = nilai sampel ke- $i$

$n$  = jumlah sampel

Contoh perhitungan nilai rata-rata untuk hasil eksperimen ke-1 sebagai berikut:

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

$$\mu = \frac{1}{3} (694 + 658 + 689)$$

$$\mu = 680,33$$

Untuk perhitungan hasil eksperimen ke-2 sampai ke-9 menggunakan cara yang sama seperti perhitungan eksperimen ke-1 sehingga didapat nilai rata-rata dari semua hasil eksperimen yang tersedia. Pada tabel 4.22 berikut merupakan hasil perhitungan keseluruhan hasil eksperimen.

Tabel 4.22

Hasil perhitungan rata-rata

Eksperimen	Faktor Kontrol				Replikasi (MPa)			Rata-rata
	A	B	C	D	1	2	3	
1	1	1	1	1	694	658	689	680,33
2	1	2	2	2	642	634	666	647,33
3	1	3	3	3	547	542	558	549,00
4	2	1	2	3	530	519	527	525,33
5	2	2	3	1	622	630	640	630,67
6	2	3	1	2	498	501	521	506,67
7	3	1	3	2	617	540	534	563,67
8	3	2	1	3	451	472	456	459,67
9	3	3	2	1	457	446	468	457,00

Setelah diperoleh nilai rata-rata maka langkah berikutnya adalah menghitung analisis variansi nilai rata-rata dengan tujuan mencari kondisi optimal dengan variansi rendah.

#### 4.4.1.2 Perhitungan Analisis Varians Nilai Rata-Rata

Perhitungan analisis varians nilai rata-rata digunakan untuk mencari kondisi optimal atau dengan kata lain mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai rata-rata respon. Dengan menggunakan analisis varians nilai rata-rata kondisi optimal dapat dipilih dengan memilih semua level faktor yang mempunyai nilai kuat tekan terbesar karena karakteristik yang dipilih adalah semakin besar, semakin baik (*larger the better*). Berikut adalah langkah-langkah perhitungan analisis varians rata-rata sebagai berikut ini :

1. Menghitung nilai *Total Sum of square* atau Jumlah Kuadrat Total (*SST*)

$$SS_{total} = \sum y^2$$

$$SS_{total} = 694^2 + 658^2 + 689^2 + 642^2 \dots + 457^2 + 446^2 + 468^2$$

$$SS_{total} = 8561509$$

2. Menghitung nilai rata-rata semua eksperimen

Perhitungan nilai rata-rata semua eksperimen dengan menggunakan rumus sebagai berikut ini :

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

$$\bar{y} = \frac{694 + 658 + 689 + 642 \dots 457 + 446 + 468}{27}$$

$$\bar{y} = \frac{15059}{27}$$

$$\bar{y} = 557,74$$

3. Menghitung *Sum of Square due to mean* atau Jumlah Kuadrat Karena Rata-Rata (*SSmean*)

$$SS_{mean} = n \cdot \bar{y}^2$$

Dimana,

$n$  = jumlah replikasi x jumlah eksperimen

$$n = 3 \times 9$$

$$n = 27$$

$$SS_{mean} = 27 \times (557,74)^2$$

$$SS_{mean} = 27 \times 311074,73$$

$$SS_{mean} = 8399017,81$$

4. Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor.

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

$$A_1 = \frac{680,33 + 647,33 + 549,00}{3}$$

$$A_1 = \frac{1876,67}{3}$$

$$A_1 = 625,56$$

Hasil keseluruhan perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.23

5. Membuat tabel respon dan grafik respon

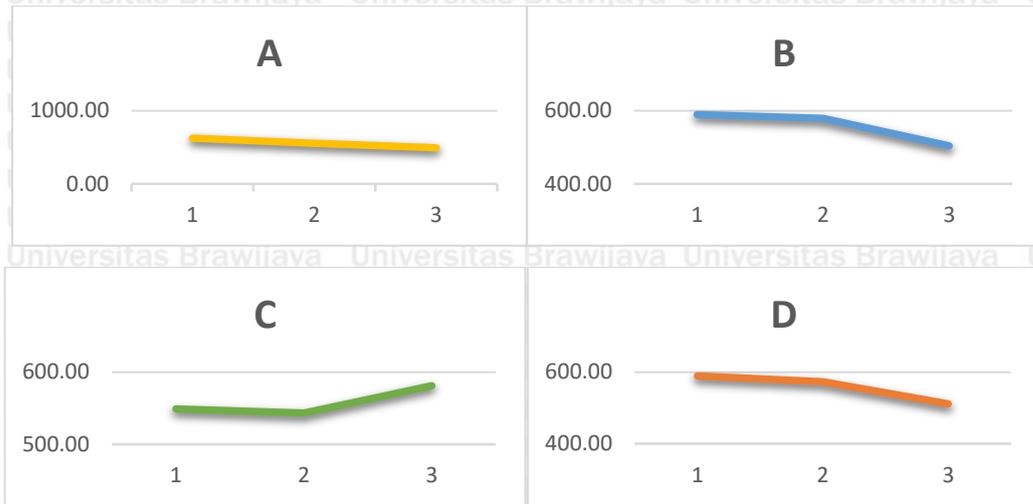
Tabel respon dibuat dengan menghitung selisih nilai rata-rata respon antar level dalam suatu faktor yang selanjutnya mengurutkan hasil selisih nilai rata-rata respon dari yang terbesar sampai yang terkecil. Tujuannya adalah untuk kondisi optimal dari setiap level faktor terhadap respon yaitu kuat tekan beton. Pada tabel 4.23 berikut adalah tabel respon kuat tekan untuk nilai rata-rata eksperimen Taguchi.

Tabel 4.23

Tabel respon kuat tekan nilai rata-rata eksperimen Taguchi

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
1	625,56	589,78	548,89	589,33
2	554,22	579,22	543,22	572,56
3	493,44	504,22	581,11	511,33
Selisih	132,11	85,56	37,89	78,00
Rangking	1	2	4	3

Untuk faktor A nilai tertinggi terdapat pada level 1 yaitu 625,56 faktor B pada level 1 yaitu 589,78; faktor C pada level 3 yaitu 581,11 dan faktor D pada level 1 yaitu 589,33 nilai tertinggi pada setiap level ditandai dengan tanda *highlight* biru. Selanjutnya nilai tertinggi dari setiap level faktor akan dikurangi dengan nilai terendah pada level faktor yang sama, nilai terendah pada faktor A adalah level 3 yaitu 493,44; faktor B pada level 3 504,22; faktor C pada level 1 543,22 dan faktor D pada level 3 511,33. Kemudian setelah nilai tertinggi pada setiap faktor dikurangi dengan nilai level faktor terendah pada faktor yang sama maka didapatkan nilai hasil pengurangan yang nanti akan diurutkan dari nilai yang terbesar sampai nilai terkecil sehingga di dapatkan ranking pada setiap faktor.



Gambar 4.28 Respon graph nilai rata-rata

Pemilihan nilai yang terbaik berdasarkan dari karakteristik kualitas yang ditetapkan yaitu *larger the better* yang artinya nilai atau target sebesar mungkin ( $\infty$ ), semakin besar maka semakin baik (Soejanto, 2009:40). Dari perhitungan hasil tabel respon di atas diperoleh salah satu level dengan nilai sebesar mungkin yaitu Faktor A Level 1 (Faktor air-semen 0,465), Faktor B Level 1 (Faktor ASP-semen 0,05), Faktor C Level 3 (Faktor Perbandingan Agregat Halus dan Kasar 0,55:0,45), Faktor D Level 1 (Faktor lama pengadukan 2 menit).

6. Menghitung *Sum of Square due to Factors* atau Jumlah Kuadrat karena Faktor-Faktor ( $SS_A$ ,  $SS_B$ , dst)

$$SS_A = ((A_1)^2 \times n_1) + ((A_2)^2 \times n_2) + ((A_3)^2 \times n_3) - SS_{mean}$$

$$SS_A = ((625,56)^2 \times 9) + ((554,22)^2 \times 9) + ((493,44)^2 \times 9) - 8399017,81$$

$$SS_A = 78707,19$$

7. Menghitung *Sum of Square due to Error* atau Jumlah Kuadrat karena Error (SSE)

$$SSE = SST - SS_{mean} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D$$

$$SSE = 8561509 - 8399017,81 - 78707,19 - 39168,52 - 7517,85$$

$$= 30340,96$$

$$SSE = 6756,67$$

8. Membuat hipotesis awal

a.  $H_0$ : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

$H_1$ : Ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

b.  $H_0$ : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

$H_1$ : Ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

c.  $H_0$ : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kuat tekan beton

H1: Ada pengaruh faktor C terhadap kuat tekan beton

d. H0: Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

H1: Ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

9. Menghitung Derajat Kebebasan Faktor

$$v_A = (\text{banyaknya level} - 1)$$

$$v_A = (3 - 1)$$

$$v_A = 2$$

Hasil perhitungan derajat kebebasan untuk faktor B, C, dan D dapat dilihat pada tabel 4.23.

10. Menghitung Derajat Kebebasan Total

$$v_T = (\text{banyaknya eksperimen} - 1)$$

$$v_T = (27 - 1)$$

$$v_T = 26$$

11. Menghitung Mean Sum of Square atau Rata – rata Jumlah Kuadrat (MS)

Berikut adalah contoh perhitungan Rata-rata Jumlah Kuadrat A

$$MS_A = \frac{SS_A}{v_A}$$

$$MS_A = \frac{78707,19}{2}$$

$$MS_A = 39353,59$$

Begitu juga dengan perhitungan Rata-rata Jumlah Kuadrat pada faktor B, C, D dan Error dapat dilihat pada tabel 4.24.

12. Menghitung Nilai Rasio (*F-Ratio*)

Berikut ini adalah contoh perhitungan *F-Ratio* untuk faktor A

$$F \text{ ratio} = \frac{MS_A}{MS \text{ Error}}$$

$$v_E = v_T - (v_A + v_B + v_C + v_D)$$

$$v_E = 26 - (2 + 2 + 2 + 2)$$

$$v_E = 18$$

$$MS \text{ Error} = \frac{SSE}{v_E}$$

$$MS \text{ Error} = \frac{6756,67}{18}$$

$$MS \text{ Error} = 375,37$$

$$F \text{ ratio} = \frac{39353,59}{375,37}$$

$$F \text{ ratio} = 104,84$$

13. Menghitung Jumlah Kuadrat Sesungguhnya atau *Pure Sum of Square* pada masing-masing faktor (SS')

Berikut ini adalah contoh perhitungan SS' untuk faktor A

$$SSA' = SSA - (v_A \times MS \text{ Error})$$

$$SSA' = 78707,19 - (2 \times 375,37)$$

$$SSA' = 77956,44$$

Begitu pula dengan perhitungan *Pure Sum of Square* pada faktor B, C, dan D.

Sedangkan untuk perhitungan SS'e adalah sebagai berikut.

$$SS'e = St - (SS'A + SS'B + SS'C + SS'D)$$

$$St = SStotal - SSmean$$

$$St = 8561509 - 8399017,81$$

$$St = 162491,19$$

$$SS'e = 162491,19 - (77956,44 + 38417,78 + 6767,11 + 29590,22)$$

$$SS'e = 9759,63$$

14. Menghitung *Rho%* (Persentase Rasio Akhir) pada masing – masing faktor

Berikut ini adalah contoh perhitungan *Rho% A*

$$Rho\% A = \frac{SSA'}{SST} \times 100\%$$

$$Rho\% A = \frac{77956,44}{162491,19} \times 100\%$$

$$Rho\% A = 47,98 \%$$

Begitu pula dengan perhitungan *Rho %* pada faktor B, C, D dan Error dapat dilihat pada tabel 4.24 berikut ini.

Tabel 4.24

*Analysis of Variance (ANOVA)*

Sumber	SS	DF	MS	Fratio	SS'	Rho%	Ftabel 0,05 (2:18)
A	78707,19	2	39353,59	104,84	77956,44	47,98	3,55
B	39168,52	2	19584,26	52,17	38417,78	23,64	3,55
C	7517,85	2	3758,93	10,01	6767,11	4,16	3,55
D	30340,96	2	15170,48	40,41	29590,22	18,21	3,55
Error	6756,67	18	375,37	1,00	9759,63	6,01	
St	162491,19	26			162491,19	100,00	
Mean	8399017,81	1					
SSTotal	8561509,00	27					

Pengujian hipotesis dan kesimpulan yang diperoleh dari Tabel ANOVA di atas adalah sebagai berikut :

a. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan: F-Ratio = 47,98 ≥ F-Tabel F 0,05 (2;18) = 3,55; maka H<sub>0</sub> ditolak

artinya ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

b. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan: F-Ratio = 23,64 ≥ F-Tabel F 0,05 (2;18) = 3,55; maka H<sub>0</sub> ditolak

artinya ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

c. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor C terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan: F-Ratio = 4,16 ≤ F-Tabel F 0,05 (2;18) = 3,55; maka H<sub>0</sub> ditolak

artinya ada pengaruh faktor C terhadap kuat tekan beton

d. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan: F-Ratio = 18,21 ≥ F-Tabel F 0,05 (2;18) = 3,55; maka H<sub>0</sub> ditolak

artinya ada pengaruh faktor D kuat tekan beton

Dari hipotesis di atas dapat diketahui bahwa faktor A, B, C, dan D memiliki nilai F-Ratio ≥ F-Tabel (F<sub>0,05</sub> (2;18) = 3,55). Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor A, B, C, dan D memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton. Faktor A (Faktor Air-semen) memiliki kontribusi terbesar diantara faktor lainnya, yaitu 47,98 %. Hal ini sesuai dengan pernyataan D.A. Abraham pada tahun 1918 yang menyatakan bahwa kekuatan beton hanya bergantung satu faktor saja, yaitu faktor air-semen (Antoni, 2007). Sehingga sangat mungkin kontribusi dari faktor air-semen adalah yang terbesar diantara faktor lainnya. Kemudian Faktor B (Faktor ASP-semen) 23,64 %, faktor D (Lama Pengadukan) yaitu 18,21 %, dan terakhir faktor C (Faktor Perbandingan Agregat halus dan Agregat Kasar) 4,16 %.

Menurut Soejanto (2009:177), Persen kontribusi atau Rho% mengindikasikan kekuatan relatif dari suatu faktor dan / atau interaksi dalam mengurangi variasi. Pada tabel 4.24 diketahui bahwa Rho% eror adalah sebesar 6,01% dari jumlah kuadrat total. Sehingga dapat diketahui pula total persen kontribusi seluruh faktor adalah sebesar 93,99%. Dapat disimpulkan bahwa faktor yang memiliki pengaruh yang besar terhadap kuat tekan beton adalah Faktor A (Faktor Air-semen), Faktor B (Faktor ASP-semen),

Faktor D (Lama Pengadukan). Sedangkan Faktor C (Faktor Perbandingan Agregat halus dan Agregat Kasar) merupakan faktor yang memberikan pengaruh terendah terhadap kuat tekan beton diantara faktor lainnya.

#### 15. *Pooling Up*

Pada perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) sebelumnya, diketahui bahwa *F-ratio* dari ke empat faktor lebih dari *F-Tabel* ( $F_{0,05}(2;18) = 3,55$ ) yang menunjukkan semua faktor memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kualitas kuat tekan beton. Dalam melakukan pooling guna menghindari kesalahan disarankan agar menggunakan setengah derajat kebebasan dari matriks orthogonal yang digunakan dalam eksperimen dengan tujuan menjadikan desain menjadi kokoh (Belavendram, 1995). Oleh karena matriks orthogonal yang digunakan adalah  $L_9(3^4)$ , terdapat empat faktor terkontrol maka hanya diperlukan dua faktor dilakukan *pooling* dan dua faktor pengaruh utama untuk perkiraan.

Satu faktor yang memiliki pengaruh paling rendah adalah Faktor C (Faktor Perbandingan Agregat halus dan Agregat Kasar) dengan persen kontribusi masing-masing adalah 4,16%, sehingga faktor ini harus di *pooling up*. Sedangkan tiga faktor yang memiliki pengaruh paling besar adalah Faktor A (Faktor Air-semen), Faktor B (Faktor ASP-semen), dan Faktor D (Lama waktu pengadukan) dengan persen kontribusi masing-masing adalah 47,98%; 23,64%; 18,21% sebagai pengaruh utama untuk perkiraan. Dengan demikian *pooling* dilakukan pada faktor C dengan memberi tanda Y. Berikut ini merupakan perhitungan untuk pooling up faktor C.

$$a. \quad SS(\text{pooled } e) = SSE + SSC$$

$$SS(\text{pooled } e) = 6756,67 + 7517,85$$

$$SS(\text{pooled } e) = 14274,52$$

$$b. \quad DF(\text{pooled } e) = DFE + DFC$$

$$DF(\text{pooled } e) = 18 + 2$$

$$DF(\text{pooled } e) = 20$$

$$c. \quad MS(\text{pooled } e) = \frac{SS(\text{Pooled } e)}{DF(\text{pooled } e)}$$

$$MS(\text{pooled } e) = \frac{14274,52}{20}$$

$$MS(\text{pooled } e) = 713,73$$

Dengan demikian nilai MS (pooled e) akan mengubah nilai semua faktor. Akan tetapi metode perhitungan ulang mirip dengan perhitungan ANOVA sebelumnya. Tabel

4.25 dibawah ini merupakan hasil perhitungan ANOVA setelah dilakukan *pooling* pada faktor C.

Tabel 4.25

*Analysis of Variance (ANOVA) nilai rata-rata pooling*

Sumber	Pooled	SS	DF	MS	Fratio	SS'	Rho%	Ftabel 0,05 (20:2)
A		78707,19	2	39353,59	55,14	77279,73	47,56	3,49
B		39168,52	2	19584,26	27,44	37741,07	23,23	3,49
C	$\hat{Y}$	7517,85	2	3758,93	-	-	-	3,49
D		30340,96	2	15170,48	21,26	28913,51	17,79	3,49
Error	$\hat{Y}$	6756,67	18	375,37	-	-	-	
Pooled e		14274,52	20	713,73	1	18556,87	11,42	
St		162491,19	26			162491,19	100	
Mean			1					
ST			27					

Setelah dilakukan *pooling* pada faktor C. Sehingga Analisis varians akhir terlihat dalam tabel 4.26 berikut ini.

Tabel 4.26

*Analysis of Variance (ANOVA) nilai rata-rata pooling akhir*

Sumber	Pooled	SS	DF	MS	Fratio	SS'	Rho%	Ftabel 0,05 (20:2)
A		78707,19	2	39353,59	55,14	77279,73	47,56	3,49
B		39168,52	2	19584,26	27,44	37741,07	23,23	3,49
D		30340,96	2	15170,48	21,26	28913,51	17,79	3,49
Pooled e		14274,52	20	713,73	1	18556,87	11,42	
St		162491,19	26			162491,19	100	
Mean			1					
ST			27					

Berikut adalah pengujian hipotesis dan kesimpulan yang diperoleh dari tabel ANOVA di atas setelah dilakukan *pooling* terhadap faktor C.

a. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan: F-Ratio = 45,29  $\geq$  F-Tabel F 0,05 (2;18) = 3,55; maka H<sub>0</sub> ditolak

artinya ada pengaruh faktor A terhadap kuat tekan beton

b. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan: F-Ratio = 23,64  $\geq$  F-Tabel F 0,05 (2;18) = 3,55; maka H<sub>0</sub> ditolak

artinya ada pengaruh faktor B terhadap kuat tekan beton

c. H<sub>0</sub>: Tidak ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

H<sub>1</sub>: Ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

Kesimpulan:  $F\text{-Ratio} = 25,58 \geq F\text{-Tabel } F_{0,05} (2;18) = 3,55$ ; maka  $H_0$  ditolak artinya ada pengaruh faktor D terhadap kuat tekan beton

Pada hipotesa diatas, dapat diketahui bahwa faktor A, B, dan D memiliki nilai  $F\text{-Ratio}$  lebih dari  $F\text{-Tabel } (F_{0,05} (22;2) = 3,49)$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa Faktor A, B, dan D memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton.

Dari persen kontribusi hasil perhitungan ulang *Analysis of Variance* (ANOVA) yang ditampilkan pada tabel 4.26 dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan adalah Faktor A (Faktor Air-semen), Faktor B (Faktor ASP-semen), Faktor D (Lama waktu pengadukan) dengan persen kontribusi ( $Rho\%$ ) yaitu masing-masing 47,56%; 23,23%; 17,79% dari jumlah kuadrat total.

Menurut Belavendram (1995), jika persen kontribusi error rendah (kurang dari 50%) maka dapat diasumsikan bahwa tidak ada faktor yang berpengaruh signifikan hilang dari eksperimen. Namun jika persen kontribusi *error* tinggi (50% atau lebih) maka dapat diasumsikan bahwa beberapa faktor yang berpengaruh signifikan telah hilang dan dapat disimpulkan bahwa terdapat perhitungan error atau kesalahan yang besar dalam eksperimen. Dari pernyataan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada faktor berpengaruh signifikan yang hilang dari eksperimen karena persen kontribusi error pada hasil perhitungan pooling *Analysis of Variance* (ANOVA), kurang dari 50% yaitu 11,42% dari jumlah kuadrat total dan persen kontribusi ( $Rho\%$ ) dari faktor-faktor berpengaruh signifikan sebesar 88,58%.

#### 4.4.1.3 Perhitungan Nilai *Signal to Noise* (SNR)

Dicarinya nilai *Signal to Noise* (SNR) adalah untuk mengetahui faktor-faktor mana saja yang mempengaruhi nilai variansi pada eksperimen ini. Metode perhitungan SNR tergantung pada karakteristik kualitas (Soejanto, 2009:141). Dikarenakan karakteristik kualitas yang diamati adalah kuat tekan beton dengan satuan MPa (mega pascal) yang dihasilkan diharapkan semakin besar semakin baik. maka jenis karakteristik kualitas dalam penelitian ini adalah *larger the better*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan nilai SNR untuk hasil eksperimen ke 1.

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

$$\eta = -10 \log_{10} \left[ \frac{1}{3} \times \left( \frac{1}{694^2} + \frac{1}{658^2} + \frac{1}{689^2} \right) \right]$$

$$\eta = -10 \log_{10} [0.0000022]$$

$$\eta = 56,65$$

Kemudian dengan cara perhitungan yang sama pada eksperimen 1, eksperimen 2 dihitung sampai eksperimen 9 sehingga didapatkan nilai SNR dari semua eksperimen yang tersedia. Untuk hasil perhitungan nilai *Signal to Noise* (SNR) eksperimen ditampilkan pada tabel 4.27 sebagai berikut.

Tabel 4.27  
Hasil perhitungan nilai *Signal to Noise* (SNR)

Eksperimen	Replikasi (MPa)			1/n	1/y <sup>2</sup> 1	1/y <sup>2</sup> 2	1/y <sup>2</sup> 3	$\Sigma(1/y^2 \text{ 1,2,3})$	$(1/n) * \Sigma(1/y^2 \text{ 1,2,3})$	SNR(LTB)
	1	2	3							
1	694	658	689	0,33	0,0000021	0,0000023	0,0000021	0,0000065	0,0000022	56,65
2	642	634	666	0,33	0,0000024	0,0000025	0,0000023	0,0000072	0,0000024	56,22
3	547	542	558	0,33	0,0000033	0,0000034	0,0000032	0,0000100	0,0000033	54,79
4	530	519	527	0,33	0,0000036	0,0000037	0,0000036	0,0000109	0,0000036	54,41
5	622	630	640	0,33	0,0000026	0,0000025	0,0000024	0,0000075	0,0000025	55,99
6	498	501	521	0,33	0,0000040	0,0000040	0,0000037	0,0000117	0,0000039	54,09
7	617	540	534	0,33	0,0000026	0,0000034	0,0000035	0,0000096	0,0000032	54,97
8	451	472	456	0,33	0,0000049	0,0000045	0,0000048	0,0000142	0,0000047	53,24
9	457	446	468	0,33	0,0000048	0,0000050	0,0000046	0,0000144	0,0000048	53,19

#### 4.4.1.4 Perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Metode Taguchi telah mengembangkan konsep rasio SNR (*Signal to Noise Ratio*) untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Rasio SNR (*Signal to Noise Ratio*) diformulasikan sedemikian sehingga peneliti selalu dapat memilih level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen (soejanto,2009:141). SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *large the better* yang memiliki karakteristik semakin besar semakin baik. Langkah pertama dalam menghitung *Analysis of Variance* (ANOVA) nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) adalah membuat tabel respon. Berikut adalah contoh perhitungan untuk Faktor A Level 1

$$\text{Faktor A dengan level pertama (A1)} = \frac{\Sigma \text{SNR level 1 pada faktor A}}{\text{banyaknya level pada faktor A}}$$

$$\text{Faktor A dengan level pertama (A1)} = \frac{56,65 + 56,22 + 54,79}{3}$$

$$\text{Faktor A dengan level pertama (A1)} = 55,88$$

Untuk perhitungan faktor lainnya dapat dilihat pada tabel respon yang ditampilkan pada Tabel 4.28 sebagai berikut

Tabel 4.28  
Tabel respon *Signal to Noise Ratio*

Level Faktor	Faktor			
	A	B	C	D
1	55,88	55,34	54,66	55,28
2	54,83	55,15	54,61	55,09
3	53,80	54,02	55,25	54,15
Selisih	2,08	1,32	0,59	0,94
Rangking	1	2	4	3

Tabel respon *Signal to Noise* ini digunakan untuk mencari level faktor yang mempengaruhi variansi, hal ini berbeda dengan tabel repon rata-rata yang sebelumnya digunakan untuk mencari level faktor optimal yang mempengaruhi rata-ratanya. Dari tabel 4.28 diatas diketahui bahwa untuk faktor A nilai tertinggi terdapat pada level 1 yaitu 55,88; faktor B pada level 1 yaitu 55,34; faktor C pada level 3 yaitu 55,25; dan faktor D pada level 1 yaitu 55,28 nilai tertinggi pada setiap level diberi tanda highlight biru. Selanjutnya nilai tertinggi dari setiap level faktor akan dikurangi dengan nilai terendah pada level faktor yang sama, nilai terendah pada faktor A adalah level 3 yaitu 53,80; faktor B pada level 3 yaitu 54,02; faktor C pada level 2 yaitu 54,61 dan faktor D pada level 3 yaitu 54,15. Kemudian setelah nilai tertinggi pada setiap faktor dikurangi dengan nilai level faktor terendah pada faktor yang sama maka didapatkan nilai hasil pengurangan yang nanti akan di urutkan dari nilai yang terbesar sampai nilai terkecil sehingga di dapatkan rangking pada setiap faktor. Berikut adalah pengolahan data ANOVA nilai *signal to Noise Ratio* (SNR) Pooled.

- a. Menghitung nilai total *Sum of square* atau Jumlah Kuadrat Total ( $SS_{total}$ )

$$SS_{total} = \sum y^2$$

$$SS_{total} = 56,65^2 + 56,22^2 + 54,79^2 + 54,41^2 \dots + 54,97^2 + 53,24^2 + 53,19^2$$

$$SS_{total} = 27077,95$$

- b. Menghitung nilai rata-rata semua eksperimen

Perhitungan nilai rata-rata semua eksperimen dengan menggunakan rumus sebagai berikut ini :

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

$$\bar{y} = \frac{56,65^2 + 56,22^2 + 54,79^2 \dots + 54,97^2 + 53,24^2 + 53,19^2}{9}$$

$$\bar{y} = \frac{493,55}{9} = 54,84$$

- c. Menghitung *Sum of Square due to mean* atau Jumlah Kuadrat Karena Rata-Rata

( $SS_{mean}$ )

$$SS_{mean} = n \cdot \bar{y}^2$$

Dimana,

$$n = \text{jumlah eksperimen} = 9$$

$$SS_{mean} = 9 \times (54,39)^2$$

$$SS_{mean} = 9 \times 3007,27$$

$$SS_{mean} = 27065,43$$

- d. Menghitung *Sum of Square due to Factors* atau Jumlah Kuadrat karena Faktor-Faktor

( $SS_A, SS_B, \text{dst.}$ )

$$SSA = ((A1)^2 \times n1) + ((A2)^2 \times n2) + ((A3)^2 \times n3) - SS_{mean}$$

$$SSA = ((55,88)^2 \times 3) + ((54,83)^2 \times 3) + ((53,80)^2 \times 3) - 27065,43$$

$$SSA = 6,51$$

- e. Menghitung *Sum of Square (Pooled e)*

$$SS(\text{pooled } e) = St - SSA - SSB - SSD$$

Untuk perhitungan  $St$  adalah sebagai berikut:

$$St = SST - SS_{mean}$$

$$St = 27077,95 - 27065,43$$

$$St = 12,52$$

$$SS(\text{pooled } e) = 12,52 - 6,51 - 3,04 - 2,20$$

$$SS(\text{pooled } e) = 0,76$$

- f. Membuat Tabel ANOVA

1. Menghitung Derajat Kebebasan Faktor

$$VA = (\text{banyaknya level} - 1)$$

$$VA = (3 - 1)$$

$$VA = 2$$

Hasil perhitungan derajat kebebasan untuk faktor B, C, dan D dapat dilihat pada tabel 4.29.

2. Menghitung Derajat Kebebasan Total

$$Total V = (\text{banyaknya eksperimen} - 1)$$

$$Total V = (9 - 1)$$

$$Total V = 8$$

3. Menghitung Derajat Kebebasan Pooled e

$$V(\text{pooled } e) = \text{Total } V - VA - VB - VD$$

$$V(\text{pooled } e) = 8 - 2 - 2 - 2$$

$$V(\text{pooled } e) = 2$$

4. Menghitung *Mean Sum of Square* atau Rata – rata Jumlah Kuadrat (MS)

Berikut adalah contoh perhitungan Rata-rata Jumlah Kuadrat A

$$MS = \frac{SSA}{VA}$$

$$MS = \frac{6,51}{2}$$

$$MS = 3,26$$

Begitu juga dengan perhitungan Rata-rata Jumlah Kuadrat pada faktor B, C, dan D dapat dilihat pada tabel 4.28.

5. Menghitung Nilai Rasio (*F-Ratio*)

Berikut ini adalah contoh perhitungan *F-Ratio* untuk faktor A

$$F \text{ ratio} = \frac{MS A}{MS (\text{pooled } e)}$$

$$MS(\text{pooled } e) = \frac{SS(\text{pooled } e)}{V(\text{pooled } e)}$$

$$MS(\text{pooled } e) = \frac{0,76}{2}$$

$$MS(\text{pooled } e) = 0,38$$

$$F \text{ ratio} = \frac{3,26}{0,38}$$

$$F \text{ ratio} = 8,51$$

6. Menghitung Jumlah Kuadrat Sesungguhnya atau *Pure Sum of Square* pada masing-masing faktor (SS')

Berikut ini adalah contoh perhitungan SS' untuk faktor A

$$SSA' = SSA - (VA \times MS(\text{pooled } e))$$

$$SSA' = 6,51 - (2 \times 0,74)$$

$$SSA' = 5,03$$

Begitu pula dengan perhitungan *Pure Sum of Square* pada faktor D dan *pooled error*

. Sedangkan untuk perhitungan SS'e adalah sebagai berikut.

$$SS'(\text{pooled } e) = St - SS'A - SS'B - SS'D$$

$$SS'(\text{pooled } e) = 12,52 - 5,75 - 2,27 - 1,44 = 3,06$$

7. Menghitung *Rho%* (Persentase Rasio Akhir) pada masing – masing faktor

Berikut ini adalah contoh perhitungan  $Rho\% A$ .

$$Rho\% A = \frac{SSA'}{St} \times 100\%$$

$$Rho\% A = \frac{5,03}{12,52} \times 100\%$$

$$Rho\% A = 40,15\% \%$$

Begitu pula dengan perhitungan  $Rho\%$  pada faktor B dan *pooled error* dapat dilihat pada tabel 4.28 berikut ini. Tabel *Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai

Signal to Noise Ratio (SNR) ditampilkan pada Tabel 4.29 dibawah ini.

Tabel 4.29

*Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai Signal to Noise Ratio (SNR)

Sumber	Pooled	SS	DF	MS	Fratio	SS'	Rho%
A		6,51	2	3,26	8,51	5,75	45,90
B		3,04	2	1,52	3,97	2,27	18,16
C	Y	0,76	2	0,38	-	-	-
D		2,20	2	1,10	2,88	1,44	11,50
pooled e		0,76	2	0,38	1	3,06	24,43
St		12,52	8			12,52	100
Mean		27065,43	1				
SSTotal		27077,95	9				

Setelah dilakukan pooling pada faktor C. Sehingga Analisis varians akhir terlihat dalam tabel 4.30 berikut ini.

Tabel 4.30

*Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai Signal to Noise Ratio (SNR) Akhir

Sumber	Pooled	SS	DF	MS	Fratio	SS'	Rho%
A		6,51	2	3,26	8,51	5,75	45,90
B		3,04	2	1,52	3,97	2,27	18,16
D		2,20	2	1,10	2,88	1,44	11,50
pooled e		0,76	2	0,38	1	3,06	24,43
St		12,52	8			12,52	100
Mean		27065,43	1				
SSTotal		27077,95	9				

Dari tabel hasil perhitungan ANOVA untuk nilai SNR di atas, dilakukan pooling 1 faktor saja, yaitu faktor C, karena faktor tersebut mempunyai nilai *Sum of Square* (SS) terendah dari ke tiga faktor lainnya. Sedangkan faktor A, B, dan D merupakan faktor yang paling berpengaruh dan berkontribusi dibanding faktor C. Dalam eksperimen ini, perhitungan SNR digunakan untuk mengoptimalkan faktor yang mempengaruhi variansi. Pada perhitungan persentase kontribusi menunjukkan

bahwa persen kontribusi *error* adalah 24,43 %, yang berarti tidak ada faktor berpengaruh signifikan yang hilang dari eksperimen.

#### 4.4.2 Penentuan *Setting Level Optimal*

Pada tabel 4.31 berikut ini adalah tabel yang menunjukkan perbandingan pengaruh faktor-faktor dalam eksperimen taguchi yang dipandang dari nilai rata-rata dan nilai variansi terhadap karakteristik kualitas yang diamati dalam penelitian ini.

Tabel 4.31  
Tabel perbandingan pengaruh faktor pada eksperimen Taguchi

Faktor	Rangking		Pengaruh	Setting Level yang dipilih
	Rata-rata	Variansi		
A	1	1	Berpengaruh dan berkontribusi besar	A1
B	2	2	Berpengaruh dan berkontribusi besar	B1
C	4	4	Berpengaruh dan berkontribusi kecil	C3
D	3	3	Berpengaruh dan berkontribusi besar	D1

Berikut adalah penjelasan pemilihan setting level optimal.

1. Faktor A, B, dan D keduanya memberikan pengaruh dan kontribusi besar. Keduanya sama-sama mempengaruhi nilai rata-rata dan variansinya dilihat dari tabel anova rata-rata dan nilai SNR pada *F ratio* memiliki nilai lebih besar daripada *F* tabel, sehingga dapat disimpulkan faktor A, B, dan D memiliki pengaruh dan dilihat dari persen kontribusi faktor A, B, dan D memiliki kontribusi besar. Pemilihan level faktor dilihat dari tabel respon rata-rata maupun SNR dan dipilih Faktor A Level 1, B level 1, dan D level 1.
2. Faktor C memberikan pengaruh dan kontribusi kecil. Dikatakan kontribusi kecil, karena keduanya dilihat dari tabel anova rata-rata memiliki persen kontribusi yang lebih kecil dibandingkan faktor A, B, dan D. Keduanya sama-sama mempengaruhi nilai rata-rata dan variansinya dilihat dari tabel anova rata-rata pada *F ratio* memiliki nilai lebih besar daripada *F* tabel, sehingga dapat disimpulkan faktor C memiliki pengaruh dan dilihat dari persen kontribusi faktor C memiliki kontribusi kecil. Pemilihan level faktor dilihat dari tabel respon rata-rata maupun SNR dan dipilih Faktor C Level 3.

Kesimpulan yang dapat diambil dari penjelasan di atas bahwa kombinasi level faktor yang optimal adalah Faktor A Level 1 (Faktor air-semen 0,465), Faktor B Level 1 (Faktor ASP-semen 0,05), Faktor C Level 3 (Faktor Perbandingan Agregat Halus dan Kasar 0,55:0,45), Faktor D Level 1 (Faktor lama pengadukan 2 menit).

#### 4.4.3 Perkiraan Kondisi Optimal dan Interval Kepercayaan Nilai Rata-rata dan Signal to Noise (SNR)

Kemudian setelah mengetahui setting level optimum tahap selanjutnya adalah membuat perkiraan kondisi optimal. Perkiraan ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai prediksi nilai rata-rata proses dan *signal to noise ratio* (SNR) proses yang diharapkan pada level optimal dengan hasil eksperimen konfirmasi. Apabila nilai prediksi dan hasil eksperimen konfirmasi nilainya hampir sama atau mendekati, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat eksperimen Taguchi. Sedangkan perhitungan interval kepercayaan bertujuan untuk mengetahui perkiraan dari level faktor optimal yang didapat. Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa persentase kepercayaan tertentu. Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa persentase kepercayaan tertentu (Soejanto, 2009:199).

Berdasarkan hasil perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA), kombinasi level faktor yang optimal adalah Faktor A Level 1 (Faktor air-semen 0,465), Faktor B Level 1 (Faktor ASP-semen 0,05), Faktor C Level 3 (Faktor Perbandingan Agregat Halus dan Kasar 0,4:0,6), Faktor D Level 1 (Faktor lama pengadukan 2 menit). Berikut ini adalah perhitungan perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan.

1. Perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan untuk nilai rata-rata seluruh data

a. Perkiraan kondisi optimal untuk nilai rata-rata seluruh data

Nilai rata-rata seluruh data ( $\bar{y}$ ) = 557,74

b. Perhitungan nilai prediksi rata-rata

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (faktor\ terpilih\ 1 - \bar{y}) + \dots + (faktor\ terpilih\ n - \bar{y})$$

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (A1 - \bar{y}) + (B1 - \bar{y})$$

$$\mu_{predicted} = 539,78 + (625,56 - 557,74) + (589,78 - 557,74)$$

$$\mu_{predicted} = 657,59$$

c. Perhitungan interval kepercayaan nilai rata-rata

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v1, v2} \times MS\ pooled \times \left[ \frac{1}{neff} \right] \right)}$$

Dimana,

$$neff = \frac{Jumlah\ total\ eksperimen}{jumlah\ derajat\ kebebasan\ dalam\ perkiraan\ rata - rata}$$

$$neff = \frac{9}{Vm + VA + VD}$$

$$neff = \frac{9}{1 + 2 + 2}$$

$$neff = 1,8$$

Sehingga perhitungan interval kepercayaan nilai rata-rata adalah sebagai berikut:

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v1, v2} \times MS \text{ pooled } e \times \left[ \frac{1}{neff} \right] \right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{0,05,1,22} \times 2027,98 \times \left[ \frac{1}{1,8} \right] \right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\left( 4,3 \times 2027,98 \times \left[ \frac{1}{1,8} \right] \right)}$$

$$CI = \pm 69,60$$

Maka interval kepercayaan nilai rata-rata untuk proses optimal:

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

$$657,59 - 69,60 \leq \mu_{prediksi} \leq 657,59 + 69,60$$

$$587,99 \leq \mu_{prediksi} \leq 727,20$$

## 2. Perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan untuk nilai *signal to noise* (SNR)

Ekspirimen Taguchi

### a. Perkiraan kondisi optimal untuk nilai rata-rata seluruh data

$$\text{Nilai rata-rata seluruh data } (\bar{y}) = 56,39$$

### b. Perhitungan nilai prediksi rata-rata

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (\text{faktor terpilih } 1 - \bar{y}) + \dots + (\text{faktor terpilih } n - \bar{y})$$

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (A1 - \bar{y}) + (D1 - \bar{y})$$

$$\mu_{predicted} = 54,84 + (55,88 - 54,84) + (55,34 - 54,84)$$

$$\mu_{predicted} = 56,39$$

### c. Perhitungan interval kepercayaan nilai rata-rata

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v1, v2} \times MS \text{ pooled } e \times \left[ \frac{1}{neff} \right] \right)}$$

Dimana,

$$neff = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata - rata}}$$

$$n_{eff} = \frac{9}{V_m + VA + VD}$$

$$n_{eff} = \frac{9}{1 + 2 + 2}$$

$$n_{eff} = 1,8$$

Sehingga perhitungam interval kepercayaan nilai rata-rata adalah sebagai berikut:

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v1, v2} \times MS \text{ pooled } e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} \right] \right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{0,05,1,4} \times 0,74 \times \left[ \frac{1}{1,8} \right] \right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\left( 7,71 \times 0,74 \times \left[ \frac{1}{1,8} \right] \right)}$$

$$CI = \pm 1,78$$

Maka interval kepercayaan nilai SNR untuk proses optimal:

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

$$1,78 - 56,39 \leq \mu_{prediksi} \leq 1,78 + 56,39$$

$$54,60 \leq \mu_{prediksi} \leq 58,17$$

#### 4.5 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan setting level optimal yang sudah didapatkan sebelumnya yaitu kombinasi level faktor yang optimal adalah Faktor A Level 1 (Faktor air-semen 0,465), Faktor B Level 1 (Faktor ASP-semen 0,05), Faktor C Level 3 (Faktor Perbandingan Agregat Halus dan Kasar 0,4:0,6), Faktor D Level 1 (Faktor lama pengadukan 2 menit). Tujuan dilakukan eksperimen konfirmasi ini adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa.

Sebelum eksperimen konfirmasi dilakukan, terlebih dahulu dilakukannya *batching* (penakaran). Karena setelah beberapa level faktor ditetapkan, campuran tiap eksperimen akan berubah. Agar saat pembuatan benda uji tidak terjadi kesalahan proporsi campuran, sehingga perubahan campuran eksperimen akan diuraikan sebagai berikut.

Tabel 4.32

Perbandingan campuran konfirmasi tiap 1 m<sup>3</sup> dengan tiap 0.02649375 m<sup>3</sup>

Campuran (kg/m <sup>3</sup> )	Kebutuhan Agregat halus	Kebutuhan agregat kasar	Kebutuhan material semen	Kebutuhan ASP (Abu Sekam Padi)
Tiap 0,02649375 m <sup>3</sup>	22,07	26,98	10,28	0,54
Tiap 1 m <sup>3</sup>	833,13	1018,27	388,17	20,43

Contoh campuran di atas adalah campuran dengan nilai konversi untuk 5 sampel, sehingga pembuatan campuran beton di atas dilakukan sebanyak 2 kali pembuatan beton, karena kebutuhan sampel sebanyak 10 sampel. Berikut ini adalah data hasil eksperimen konfirmasi sebanyak 10 sampel produk dengan level faktor optimal.

Tabel 4.33

Data hasil eksperimen konfirmasi

Eksperimen	Kuat Tekan (MPa)
1	657
2	672
3	663
4	677
5	663
6	674
7	673
8	686
9	659
10	663

Selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata yang ditransformasikan ke nilai SNR, perhitungan interval kepercayaan dan membandingkan interval kepercayaan kondisi optimal dengan eksperimen konfirmasi.

1. Perhitungan nilai rata-rata dan di transformasikan ke dalam SNR

a. Nilai hasil rata-rata:

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

$$\bar{y} = \frac{1}{10} (657 + 672 + \dots + 659 + 663)$$

$$\bar{y} = 668,7$$

b. Nilai hasil perhitungan SNR *larger the better*

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

$$\eta = -\log_{10} \left( \frac{1}{10} x \left( \frac{1}{657^2} + \frac{1}{643^2} + \dots + \frac{1}{647^2} + \frac{1}{663^2} \right) \right)$$

$$\eta = 56,50$$

2. Perhitungan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi

$$a. CI = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v_1, v_2} \times MS_{pooled} \times e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right] \right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\left( F_{0,05,1,22} \times 2027,98 \times \left[ \frac{1}{1,8} + \frac{1}{10} \right] \right)}$$

$$CI = \pm \sqrt{\left( 4,3 \times 2027,98 \times \left[ \frac{1}{1,8} + \frac{1}{10} \right] \right)}$$

$$CI = \pm 75,61$$

Sehingga, interval kepercayaan untuk nilai rata-rata eksperimen konfirmasi kuat tekan beton adalah

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

$$668,7 - 75,61 \leq \mu_{prediksi} \leq 668,7 + 75,61$$

$$585,19 \leq \mu_{prediksi} \leq 736,41$$

- b. Interval kepercayaan eksperimen konfirmasi untuk signal to noise ratio (SNR)

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{\left( F_{\alpha, v_1, v_2} \times MS_{pooled} \times e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right] \right)}$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{\left( F_{0,05,1,4} \times 0,74 \times \left[ \frac{1}{1,8} + \frac{1}{10} \right] \right)}$$

$$CI_{SNR} = \pm \sqrt{\left( 7,71 \times 0,74 \times \left[ \frac{1}{1,8} + \frac{1}{10} \right] \right)}$$

$$CI_{SNR} = \pm 1,94$$

Sehingga, interval kepercayaan untuk nilai rata-rata eksperimen konfirmasi kuat tekan beton adalah

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI$$

$$56,50 - 1,94 \leq \mu_{prediksi} \leq 56,50 + 1,94$$

$$54,57 \leq \mu_{prediksi} \leq 58,44$$

3. Membandingkan interval kepercayaan kondisi optimal dan eksperimen konfirmasi
  - a. Membandingkan interval kepercayaan kondisi optimal dan eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata.



Gambar 4.29 Perbandingan interval kepercayaan prediksi dan eksperimen konfirmasi pada nilai rata-rata

Berdasarkan Gambar 4.29 di atas menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima dengan pertimbangan selang kepercayaan. Gambar diatas menjelaskan bahwa hasil dari eksperimen konfirmasi masih berada dalam interval hasil optimal dan keputusan diterima.



Gambar 4.30 Perbandingan interval kepercayaan prediksi dan eksperimen konfirmasi pada nilai *Signal To Noise* (SNR)

Berdasarkan Gambar 4.30 di atas menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai *Signal To Noise* (SNR) dapat diterima dengan pertimbangan selang kepercayaan. Gambar diatas menjelaskan bahwa hasil dari eksperimen konfirmasi masih berada dalam interval hasil optimal dan keputusan diterima. Sehingga dapat disimpulkan hasil dari eksperimen Taguchi dapat digunakan dan

*setting* level optimal yaitu berupa rasio komposisi bahan baku dapat dijadikan acuan dalam eksperimen pembuatan beton.

#### 4.6 Perhitungan Bahan Baku

Perencanaan kualitas tidak hanya tergantung dari pencapaiannya, tetapi juga mempertimbangkan biayanya. Menurut Montgomery (2009:1), kualitas adalah kualitas yang berarti kecocokan penggunaannya. Istilah konsumen berlaku untuk banyak macam pemakai yang berbeda-beda. Pembeli produk yang digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk lain adalah seorang konsumen, untuk pengusaha ini kecocokan penggunaan berarti kemampuan memproses bahan baku ini dengan biaya rendah dan sisa yang minimal. Pengecer membeli barang jadi dengan harapan barang itu dikemas, diberi etiket dan disusun secara baik untuk memudahkan penyimpanan, penanganan dan pemajangan. Tidak hanya kualitas yang dipentingkan, akan tetapi pengusaha atau perusahaan ingin produk yang ekonomis. Oleh karena itu hasil eksperimen konfirmasi akan dibandingkan dengan beton mutu yang sama dengan perencanaan berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hasil eksperimen konfirmasi memiliki rata-rata  $668,7 \text{ kg/cm}^2$  atau setara dengan beton mutu K650. Adapun material air perlu dihitung biaya tarif tenaga listrik penggunaan pompa air. Pompa air yang digunakan oleh PT. Varia Usaha sendiri adalah pompa air dengan merk Pedrollo dengan tipe HFm5Am memiliki daya 1500 Watt/jam dengan debit air 3000 liter/jam. Berikut adalah perhitungan biaya untuk material air.

$$\text{Biaya penggunaan pompa} = \frac{\text{Daya pompa}}{\text{Debit air}}$$

$$\text{Biaya penggunaan pompa} = \frac{1500}{3000} = 0,2 \text{ watt/liter/jam} = 0,0002 \text{ kwh/liter}$$

$$\text{Biaya material air per liter} = \text{biaya penggunaan pompa} \times \text{Tarif tenaga listrik}$$

$$\text{Biaya material air per liter} = 0,0002 \times \text{Rp } 1467,28 = \text{Rp } 0,3/\text{liter} = \text{Rp } 0,3/\text{kg}$$

Pada tabel 4.34 Berikut ini adalah perbandingan biaya beton mutu K650 hasil eksperimen dengan beton mutu K650 SNI 03-2834-2000 FA (*Fly Ash*).

Tabel 4.34  
Perbandingan Total Biaya Beton Mutu K650 FA (Fly Ash) dengan Beton Mutu K650 Eksperimen

Beton Mutu K650 FA (Fly Ash)	Bahan baku				
	Semen	Air	Agregat halus	Agregat kasar	Fly ash
Proporsi Material	410,81 kg/m <sup>3</sup>	190,00 kg/m <sup>3</sup>	627,70 kg/m <sup>3</sup>	1068,79 kg/m <sup>3</sup>	102,70 kg/m <sup>3</sup>
Harga Per satuan kg	Rp 746	Rp 0,8	Rp 96	Rp 165	Rp 174
Biaya Per material	Rp 306465	Rp 152	Rp 60259,2	Rp 176349,77	Rp 17870,3
Total Biaya	Rp 561096				
Beton Mutu K650 Eksperimen Konfirmasi	Bahan baku				
	Semen	Air	Agregat halus	Agregat kasar	Abu sekam padi (ASP)
Proporsi Material	388,17 kg/m <sup>3</sup>	190,00 kg/m <sup>3</sup>	833,13 kg/m <sup>3</sup>	1018,27 kg/m <sup>3</sup>	20,43 kg/m <sup>3</sup>
Harga Per satuan kg	Rp 746	Rp 0,8	Rp 96	Rp 165	Rp 0
Biaya Per material	Rp 289574,8	Rp 152	Rp 79980,48	Rp 183288,6	Rp 0
Total Biaya	Rp 537721				

Berdasarkan tabel di atas maka penghematan biaya setelah menggunakan beton hasil eksperimen adalah sebagai berikut.

$$\text{Penghematan Biaya} =$$

$$= \text{Total Biaya Beton K650 FA} - \text{Total Biaya Beton K650 Hasil Ekperimen}$$

$$\text{Penghematan Biaya} = \text{Rp } 561096 - \text{Rp } 537721$$

$$\text{Penghematan Biaya} = \text{Rp } 23374$$

Jadi dapat disimpulkan beton hasil eksperimen dapat menghemat biaya sebesar Rp 23.374,00 atau 4,17 % dari keseluruhan biaya bahan baku dibandingkan dengan beton mutu K650 FA (fly Ash) per 1m<sup>3</sup>.

## 4.7 Analisis dan Pembahasan

Pada bab sebelumnya telah dibahas bahwa salah satu tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui *setting level* optimal dari penambahan bahan baku abu sekam padi terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan.

### 4.7.1 Analisis Perubahan Mutu Beton

Perencanaan beton mutu awal yang digunakan adalah mutu beton K225. Kemudian dilakukan perhitungan perencanaan beton mutu K225 dengan menggunakan SNI 03-2834-2000. Penggunaan SNI 03-2834-2000 merupakan rekomendasi dan arahan dari PT. Varia Usaha Beton. Perencanaan beton menggunakan SNI 03-2834-2000 kemudian mengalami perubahan mutu kuat tekan beton setelah direncanakan dengan mutu K225 (225 kg/cm<sup>2</sup>) atau 19,62 MPa menjadi 38,32 MPa atau setara dengan K460 (460 kg/cm<sup>2</sup>). Perubahan ini

dikarenakan adanya penambahan nilai tambah margin sebesar 19,62 MPa. Nilai tambah margin ini diperoleh dengan cara mengalikan 1,64 (yang merupakan tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar 5%) dengan  $S_r$  (deviasi standar rencana). Deviasi standar rencana ini diperoleh dari tabel 1 Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30. Nilai deviasi standar rencana yang dipilih adalah 12 MPa, dipilihnya nilai ini dikarenakan pembuat benda uji yang sebelumnya dijelaskan adalah peneliti sendiri, sedangkan peneliti tidak mempunyai pengalaman dalam pembuatan beton atau dengan kata lain peneliti tidak mempunyai data benda uji lapangan sama sekali, sehingga sesuai peraturan pada SNI 03-2834-2000 yang dijelaskan bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan yang harus diambil adalah 12 MPa.

#### 4.7.2 Analisis Perbandingan Biaya Bahan Baku Beton Pada Mutu Beton K650 FA

Perbandingan biaya bahan baku dilakukan pada mutu beton yang sama. PT. Varia Usaha Beton mempunyai dua macam tipe beton siap pakai beton non *fly ash* dan beton dengan *fly ash* biasanya disimbolkan dengan FA (*fly ash*). Penggunaan beton *fly ash* ini digunakan untuk menghemat biaya bahan baku, karena dalam praktiknya penggunaan *fly ash* dalam produksi beton mampu menggantikan bahan baku semen sebesar 20%. Oleh karena itu perbandingan biaya bahan baku yang dilakukan adalah perbandingan biaya bahan baku beton hasil eksperimen ASP (abu sekam padi) dengan beton FA (*fly ash*).

Pada tabel 4.33 penggunaan semen pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu 388,17 kg lebih rendah dibandingkan dengan beton mutu K650 FA, yaitu sebesar 410,81 kg. Meskipun penggunaan abu sekam padi sebesar 5% dalam menggantikan semen, akan tetapi abu sekam padi mampu untuk meningkatkan kualitas kuat tekan beton dari kualitas K450 menjadi K650. Sehingga biaya penggunaan semen pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu Rp 289.574,8 lebih rendah dibandingkan beton K650 FA, yaitu Rp 306.465. Sedangkan penggunaan agregat halus pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu 740,560 kg lebih tinggi dibandingkan dengan beton mutu K650 FA, yaitu sebesar 627,70 kg. Sehingga biaya penggunaan agregat halus pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu Rp 71.093,76 lebih tinggi dibandingkan beton K650 FA, yaitu Rp 60.259,2. Selanjutnya penggunaan agregat kasar pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu 1110,840 kg lebih tinggi dibandingkan dengan beton mutu K650 FA, yaitu sebesar 1068,79 kg. Sehingga biaya penggunaan agregat kasar pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu Rp 183.288,6 lebih tinggi dibandingkan beton K650 FA, yaitu Rp 176.349,77. Kemudian penggunaan bahan tambah pada beton

mutu K650 hasil eksperimen, yaitu 20,43 kg lebih rendah dibandingkan dengan beton mutu K650 FA, yaitu sebesar 102,70 kg. Sehingga biaya penggunaan agregat kasar pada beton mutu K650 hasil eksperimen, yaitu Rp 0 lebih rendah dibandingkan beton K650 FA, yaitu Rp 17.870,3. Biaya bahan baku bahan tambah abu sekam padi memiliki harga satuan sebesar Rp 0, dikarenakan abu sekam padi merupakan limbah dari proses produksi pembakaran bata merah. Selanjutnya setelah biaya perbahan baku diketahui, total biaya bahan baku beton mutu K650 eksperimen adalah Rp 537.569,85 lebih rendah dibandingkan beton mutu K650 FA, yaitu Rp 560.944. Sehingga pembuatan beton mutu K650 eksperimen dengan bahan tambah ASP lebih hemat dibandingkan beton mutu K650 FA, karena mampu menghemat biaya bahan baku sebesar Rp 23.374.

#### 4.7.3 Keuntungan Beton K650 ASP (Abu Sekam Padi)

Perencanaan Beton mutu awal adalah K225 ( $225 \text{ kg/cm}^2$ ) atau 19,62 MPa menjadi 38,32 MPa atau setara dengan K460 ( $460 \text{ kg/cm}^2$ ) yang dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Dari perencanaan mutu K460 ( $460 \text{ kg/cm}^2$ ) dilakukan penambahan abu sekam padi untuk menggantikan semen dengan tujuan untuk mengetahui *level setting* optimal. Sesuai dengan karakteristik kualitas yang diambil yaitu *larger the better* (semakin besar, semakin baik). Setelah dilakukan eksperimen konfirmasi didapatkan rata-rata mutu beton yaitu K650 ( $650 \text{ kg/cm}^2$ ), mutu ini masih dalam mutu beton siap pakai yang diproduksi oleh PT. Varia Usaha Beton. Sehingga beton dengan penambahan abu sekam padi hasil penelitian ini ternyata memiliki nilai lebih, selain dapat menghemat biaya bahan baku, harga beton eksperimen Taguchi ini lebih murah. Tabel 4.35 berikut adalah estimasi harga jual untuk beton mutu K650 eksperimen Taguchi.

Tabel 4.35  
Perhitungan Biaya Produksi

Jenis Biaya	Bahan Baku	Harga
Biaya Variabel	Semen	Rp 289574.8
	Abu Sekam Padi (ASP)	Rp 0
	Agregat Halus	Rp 71093.76
	Agregat Kasar	Rp 183288.6
	Air	Rp 152
	Biaya Produksi	Rp 300000
	Biaya Overhead	Rp 100000
	Total Biaya	Rp 944109

Berikut merupakan perhitungan estimasi harga jual beton mutu K650 hasil eksperimen:

$$\text{Harga Pokok Produksi} = 944109$$

$$\text{Keuntungan (10\%)} = 10\% \times 944109 = 94410$$

$$\text{Harga jual produk} = \text{HPP} + \text{Keuntungan} = 943957,16 + 94395,72$$

$$\text{Harga jual produk} = 1038519$$

$$\text{Harga Pasar} = \text{Rp } 1.038.600,00$$

Harga jual yang ditetapkan PT. Varia Usaha beton pada mutu K650 adalah Rp 1.060.000,00.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa harga estimasi beton mutu K650, yaitu Rp 1.038.600,00 hasil eksperimen lebih murah dibandingkan dengan harga jual beton mutu K650 yang ditetapkan oleh PT. Varia Usaha Beton.

#### 4.7.4 Kondisi Eksisting Perusahaan

PT. Varia Usaha Beton merupakan perusahaan yang bergerak dibidang konstruksi. Permintaan beton cukuplah besar, sehingga dibutuhkan bahan-bahan substitusi seperti bahan substitusi *fly ash* yang selama ini digunakan oleh PT. Varia Usaha Beton. Setelah dilakukan penelitian ini didapatkan bahwa dengan penambahan abu sekam padi (ASP) pada mutu K650 dapat digunakan sebagai bahan substitusi dari bahan baku semen sama seperti *fly ash* dan lebih hemat dalam pemakaiannya. Sehingga dapat disimpulkan kemungkinan penelitian ini bisa diterapkan. Dalam penelitian ini masih banyak yang harus dilakukan penelitian lebih lanjut seperti penambahan abu sekam padi (ASP) pada mutu yang berbeda dengan hasil yang berbeda, sehingga setelah dilakukan penelitian lebih lanjut, maka dapat dihasilkan hubungan penggunaan persentase abu sekam padi (ASP) dengan penggunaan semen.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan menjelaskan kesimpulan setelah dilakukan penelitian guna menjawab perumusan masalah di bab 1 sebelumnya dan saran yang diperlukan bagi penelitian selanjutnya.

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengolahan data dengan metode eksperimen Taguchi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengolahan data eksperimen Taguchi, hasil dari perhitungan ANOVA nilai rata-rata didapatkan hasil bahwa persen kontribusi (Rho %) terbesar pada nilai rata-rata adalah Faktor A (Faktor Air-semen) yaitu 47,56%, Faktor B (Faktor ASP-semen) yaitu 23,23 %, Faktor D (Lama waktu pengadukan) yaitu 17,79% sedangkan Signal Noise to Ratio (SNR) didapatkan hasil bahwa persen kontribusi (Rho %) terbesar pada nilai rata-rata adalah Faktor A (Faktor Air-semen) sebesar 45,90%, selanjutnya diikuti Faktor B (Faktor ASP-semen) yaitu 18,16%, Faktor D (Lama waktu pengadukan) yaitu 11,49% Sehingga dapat disimpulkan faktor yang berpengaruh signifikan adalah Faktor A (Faktor Air-semen) dan faktor B (Faktor ASP-semen).
2. Berdasarkan pengolahan data eksperimen Taguchi, hasil dari tabel respon dan perhitungan ANOVA baik itu nilai rata-rata maupun *Signal Noise to Ratio* (SNR) didapatkan kombinasi level faktor yang optimal adalah Faktor A Level 1 (Faktor air-semen 0,465), Faktor B Level 1 (Faktor ASP-semen 0,05), Faktor C Level 3 (Faktor Perbandingan Agregat Halus dan Kasar 0,45:0,55), Faktor D Level 1 (Faktor lama pengadukan 2 menit). Pemilihan setting level optimal tersebut semakin valid dengan dilakukannya eksperimen konfirmasi sebanyak 10 replikasi. Hasil dari eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa rata-rata nilai kuat tekan masih berada dalam interval hasil optimal/interval kepercayaan eksperimen Taguchi yang artinya hasil dari eksperimen Taguchi dapat digunakan.
3. Berdasarkan perbandingan biaya bahan baku beton eksperimen konfirmasi deangan beton SNI 03-2834-2000 pada mutu beton K650, penghematan biaya bahan baku sebesar Rp 23.374,00 tiap 1m<sup>3</sup>.

## 5.2 Saran

1. Untuk penelitian sejenis sebaiknya lebih teliti dalam penentuan banyaknya masing-masing komposisi campuran bahan baku dan berhati-hati pada saat pelaksanaan eksperimen.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk faktor- faktor yang lain selain bahan baku.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk perencanaan dengan mutu beton yang berbeda.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR PUSTAKA

- Antoni & Paul Nugraha (2007) *Teknologi Beton*. Surabaya: Universitas Kristen Petra dan Penerbit Andi.
- Armeyn (2006). *Hubungan Faktor Air Semen dan Lama Waktu Pengadukan dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*. Institut Teknologi Padang.
- Badan Standarisasi Nasional (2000). *Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (1991). *Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI 19-8402-1991 Tentang Mutu*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (1990). *Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI 03-1974-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Dewan Standarisasi Indonesia. Jakarta.
- Belavendram, Nicolo. 1995. *Quality by Design Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*, London : Prentice Hall International (UK) Limited.
- Gay, L. R. (1981). *Educational Research: Competencies for Anlysis and Application*. London: Prentice-Hall International (UK) ltd.
- Ginting, Arusmalem (2014). *Pengaruh Perbandingan Agregat Halus Dengan Agregat Kasar Terhadap workability dan Kuat Tekan Beton*. Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra.
- Hidayat. Arifal (2014). *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Beton K225*. Teknik Sipil Universitas Pasir Pengairan.
- Kerlinger (2006). *Asas-asas Penelitian Behavioral Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Montgomery, Douglas C. (2009). *Introudction To Statistical Quality Control 6th Edition*. United States Of America. John Wiley & Sons, Inc.
- Muharom & Siswadi (2015). *Desain Eksperimen Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Batu Bata Berbahan Baku Tanah Liat*. Jurnal of Engineering and Management in Industrial System.
- Muna, Abdullah, & Aulia B. T. (2015). *Pengaruh Penambahan Abu Pozzolanik terhadap Sifat Mekanis Beton Busa Ringan Mutu Tinggi*. Magister of Civil Engineering Department Syiah Kuala University.
- Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Jakarta:Penerbit Andi.
- Peace, G. S. (1993). *Taguchi Methods A Hands on Approach*. Canada: Addison Wesley Publishing Company.
- Purnomo (2004) . *Pengendalian Kualitas Statistik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Raharja, Sholihin As'ad, & Sunarmasto (2012). *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi*. Jurnal Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Ridwan, Aditio (2011). *Laporan Hasil Survei Desa Sentonorejo Kec. Trowulan Kab. Mojokerto*. Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Brawijaya.
- Saifuddin Azwar (2004). *Metode Penelitian Cetakan V*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar

Sudjana (1995). *Desain dan Analisis Eksperimen Edisi IV*. Bandung : PT. Tarsito

Soejanto, Irwan (2009). *Rekayasa Kualitas: Eksperimen dengan Teknik Taguchi*. Surabaya: Yayasan Humaniora.

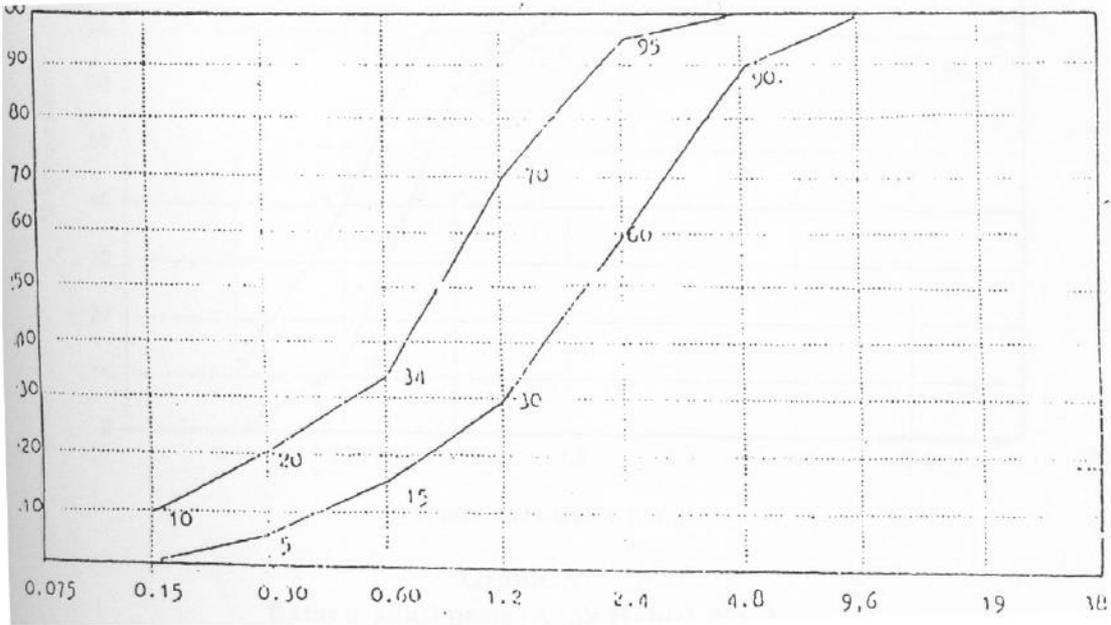
Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton, Civil Engineering*, Gadjah Mada University, Yogyakarta.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

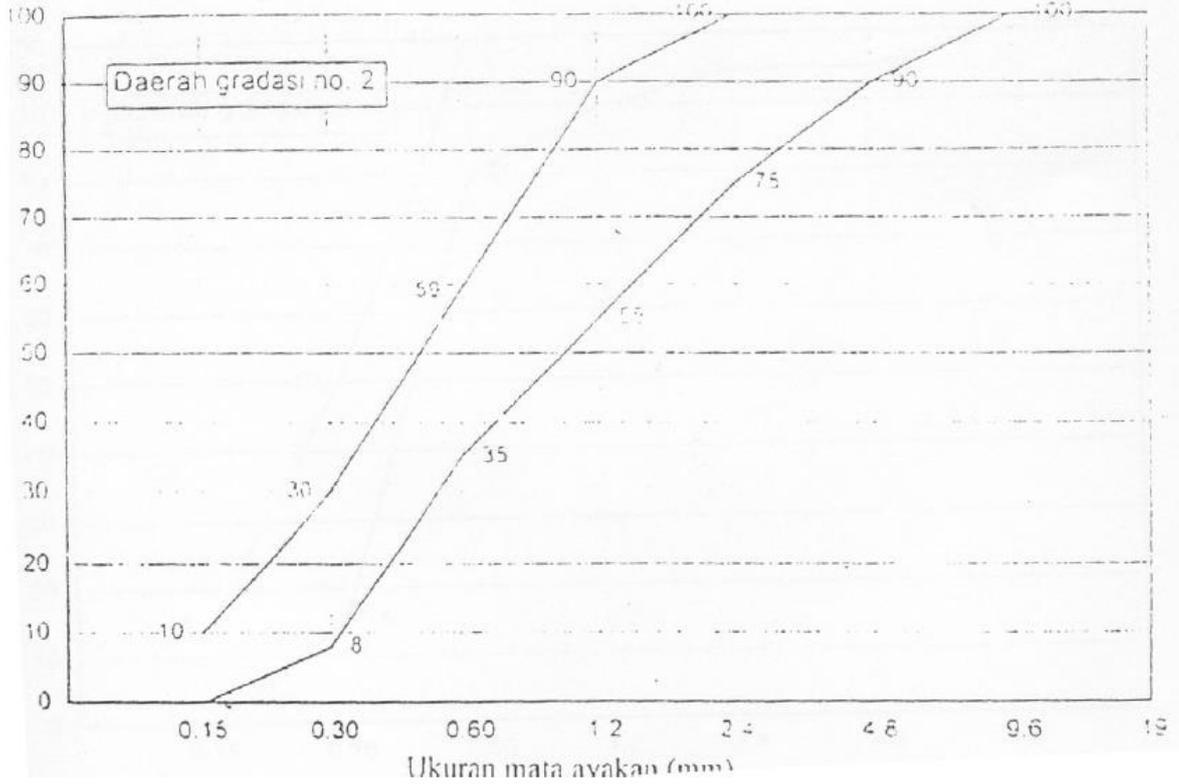


Lampiran 1

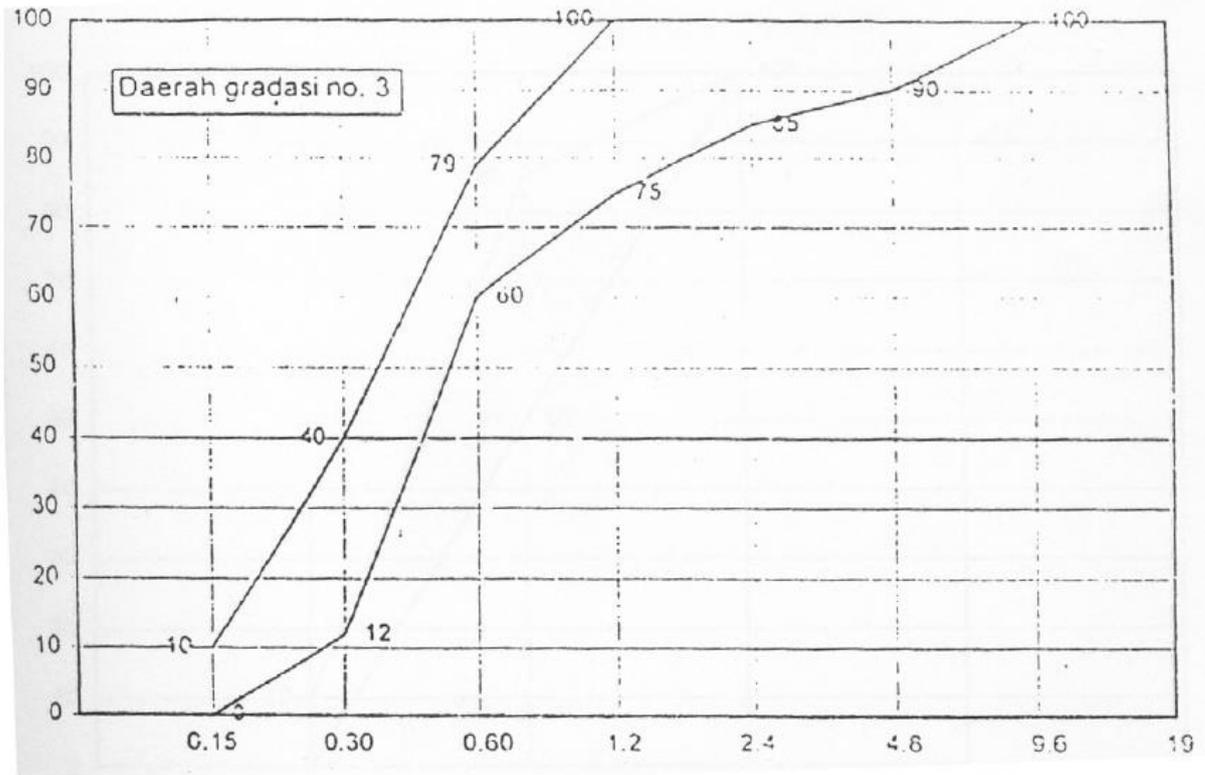
Daerah Gradasi No 1



Grafik 3 daerah gradasi no.1

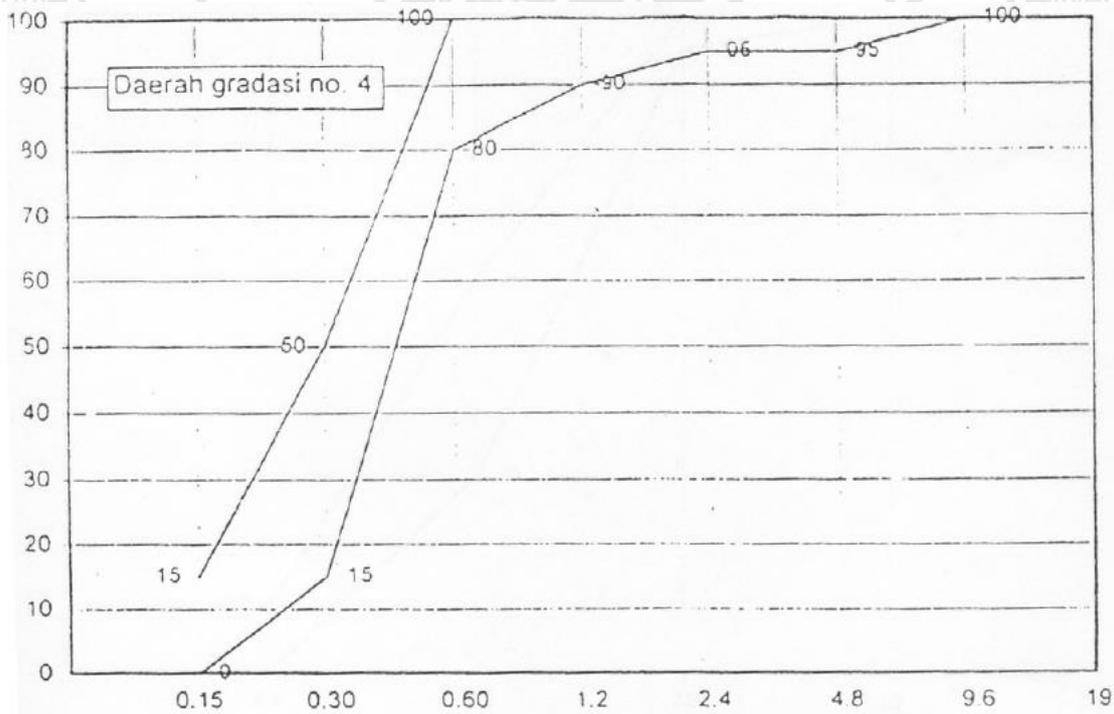


Grafik 4 daerah gradasi no.2



Ukuran mata ayakan (mm)

Grafik 5 daerah gradasi no.3

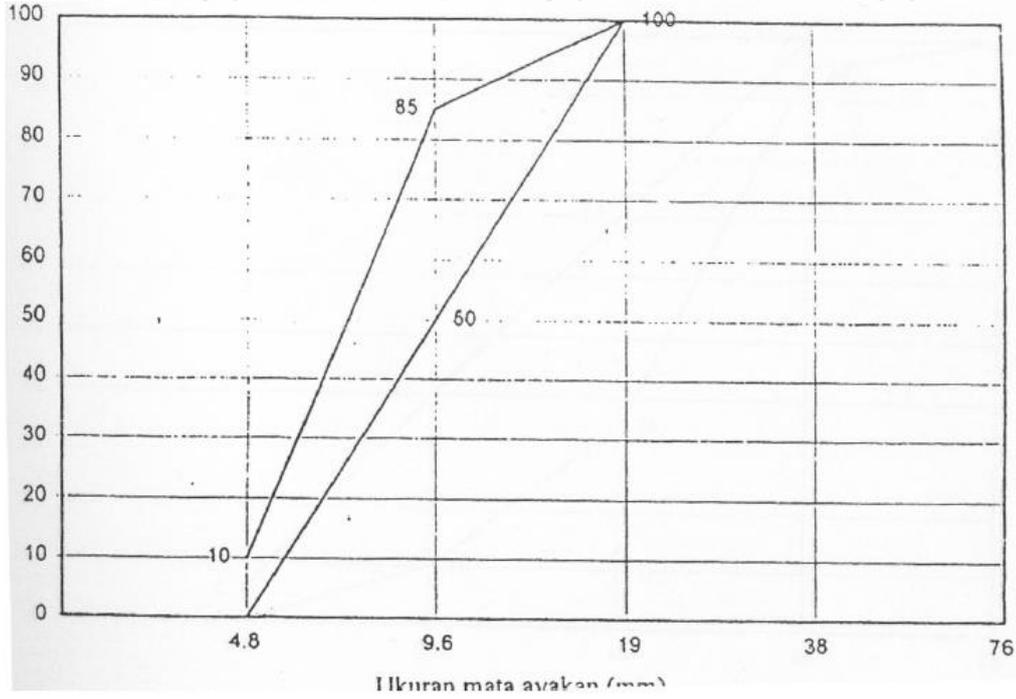


Ukuran mata ayakan (mm)

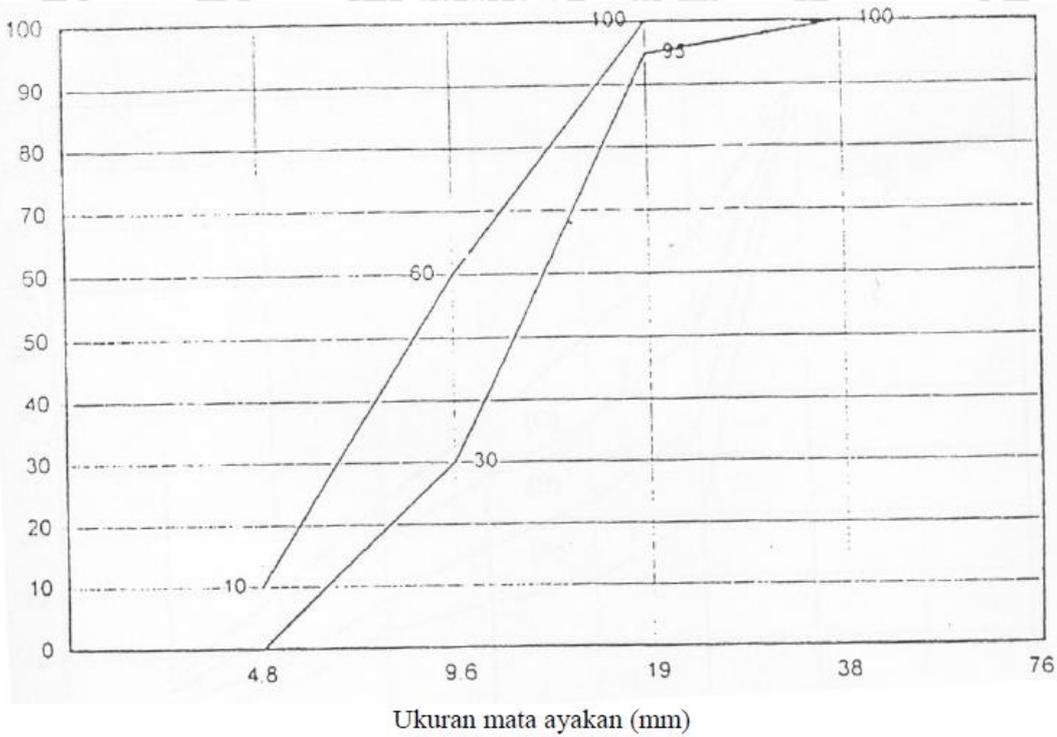
Grafik 6 daerah gradasi no.4



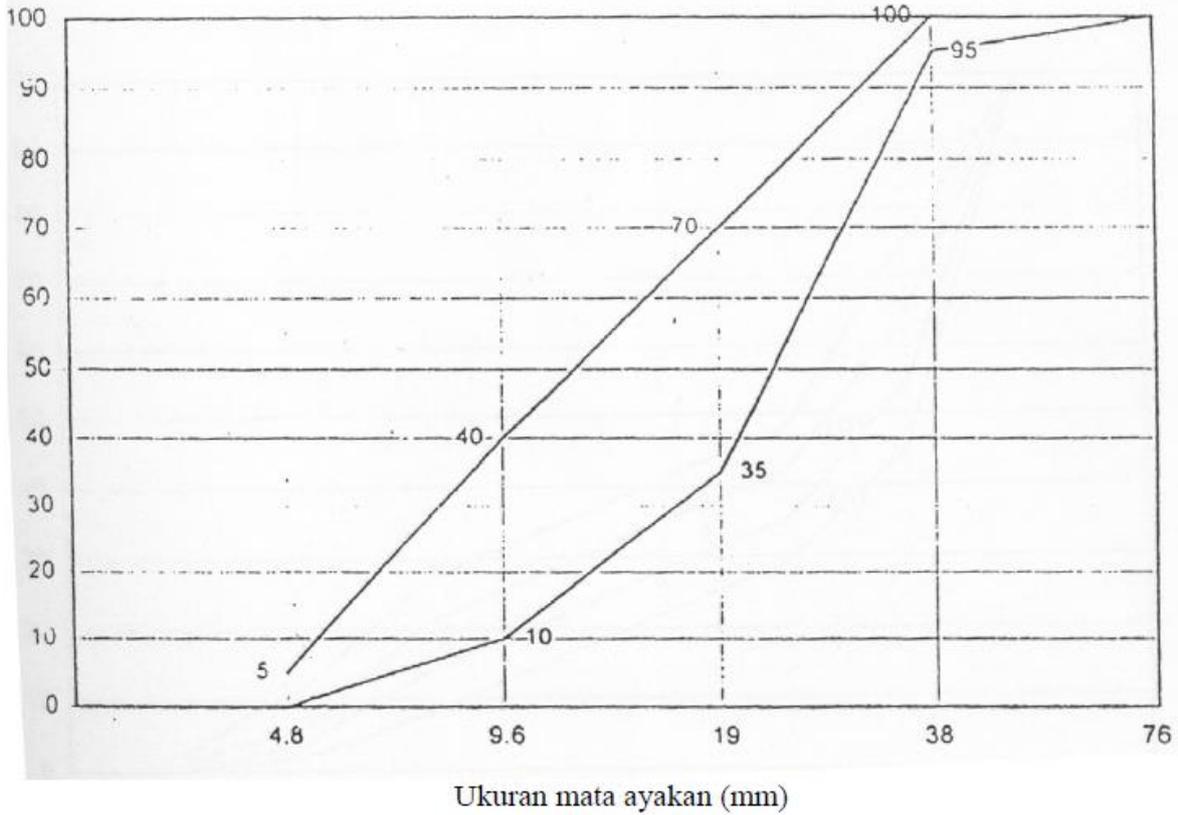
Lampiran 2



Grafik 7 batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 10 mm

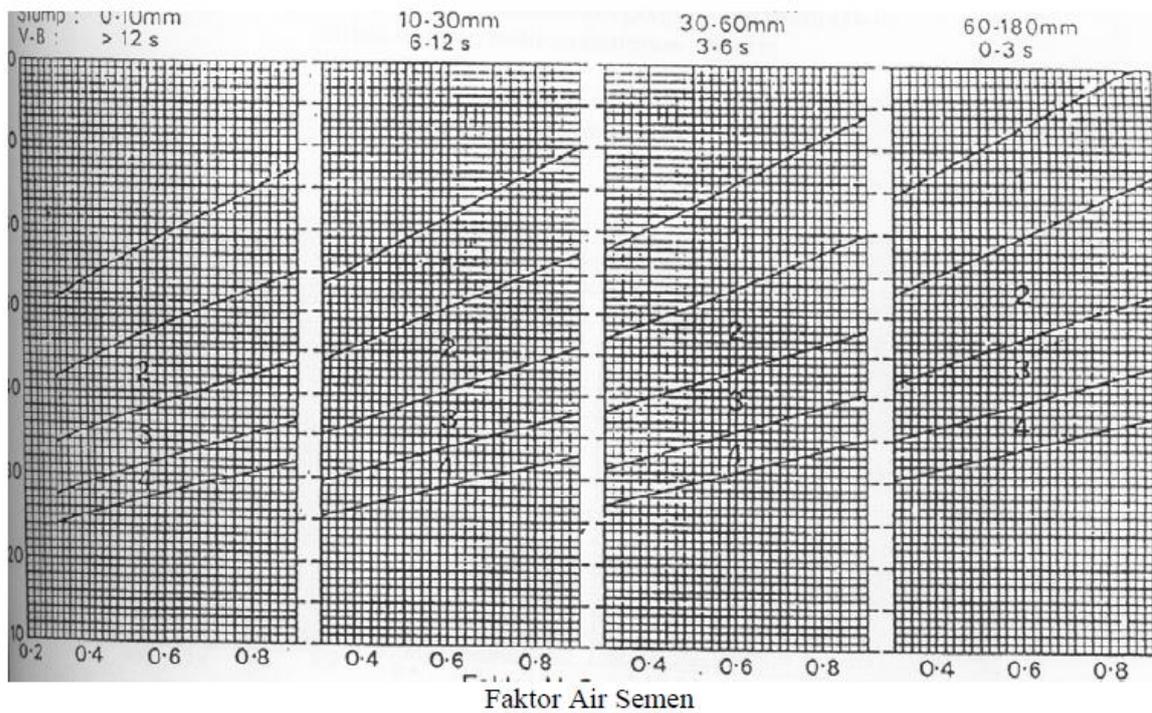


Grafik 8 batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 20 Mm

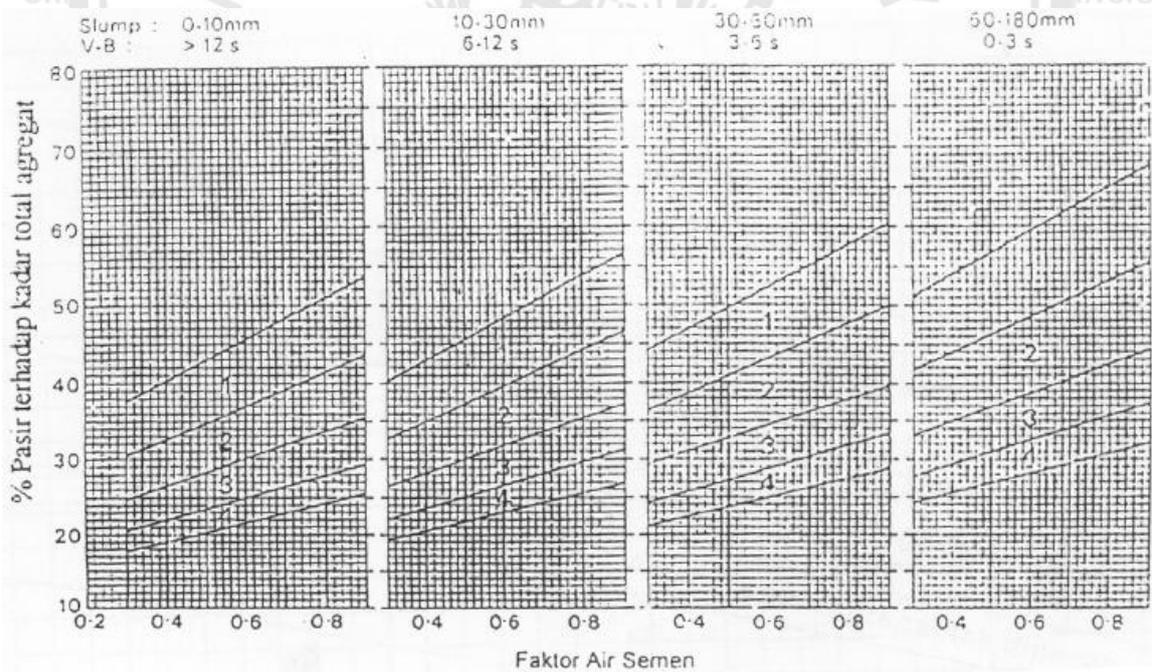


Grafik 9 batas gradasi kerikil atau koral ukuran maksimum 40 mm

Lampiran 3

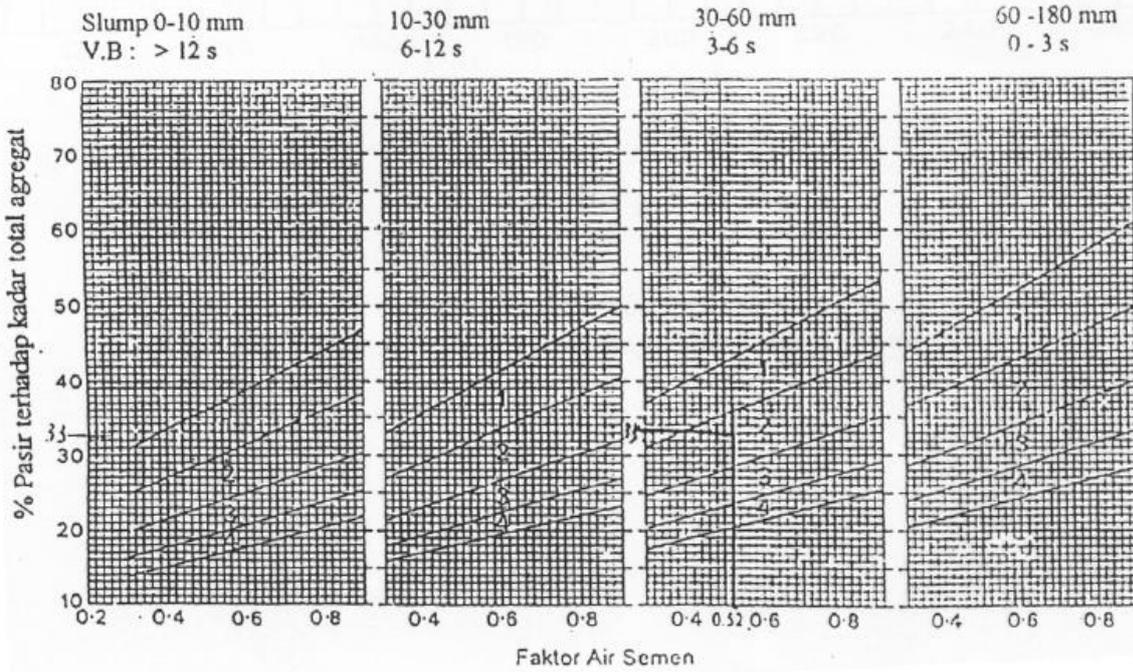


Grafik 13 Persen pasir terhadap kadar toal agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 10 mm



Grafik 14 Persen pasir perhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

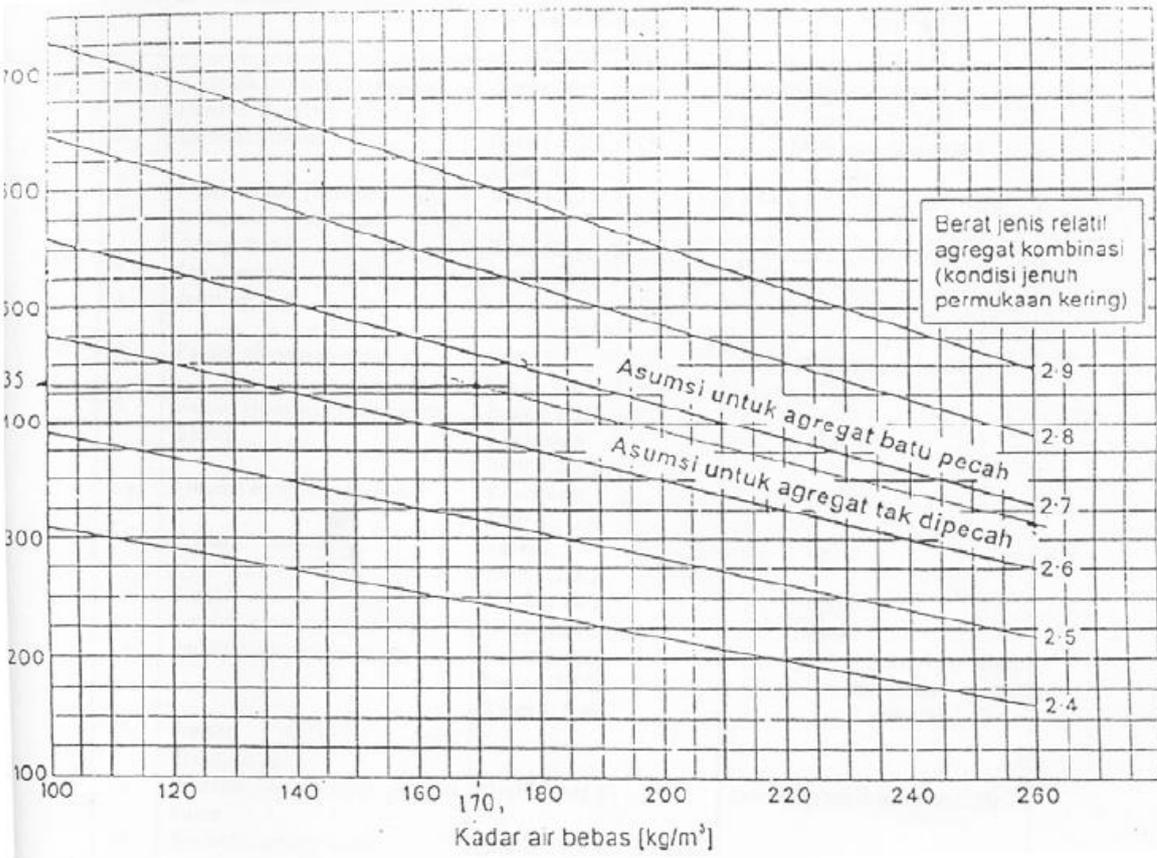
Ukuran agregat maksimum : 40 mm



Grafik 15 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm



Lampiran 4



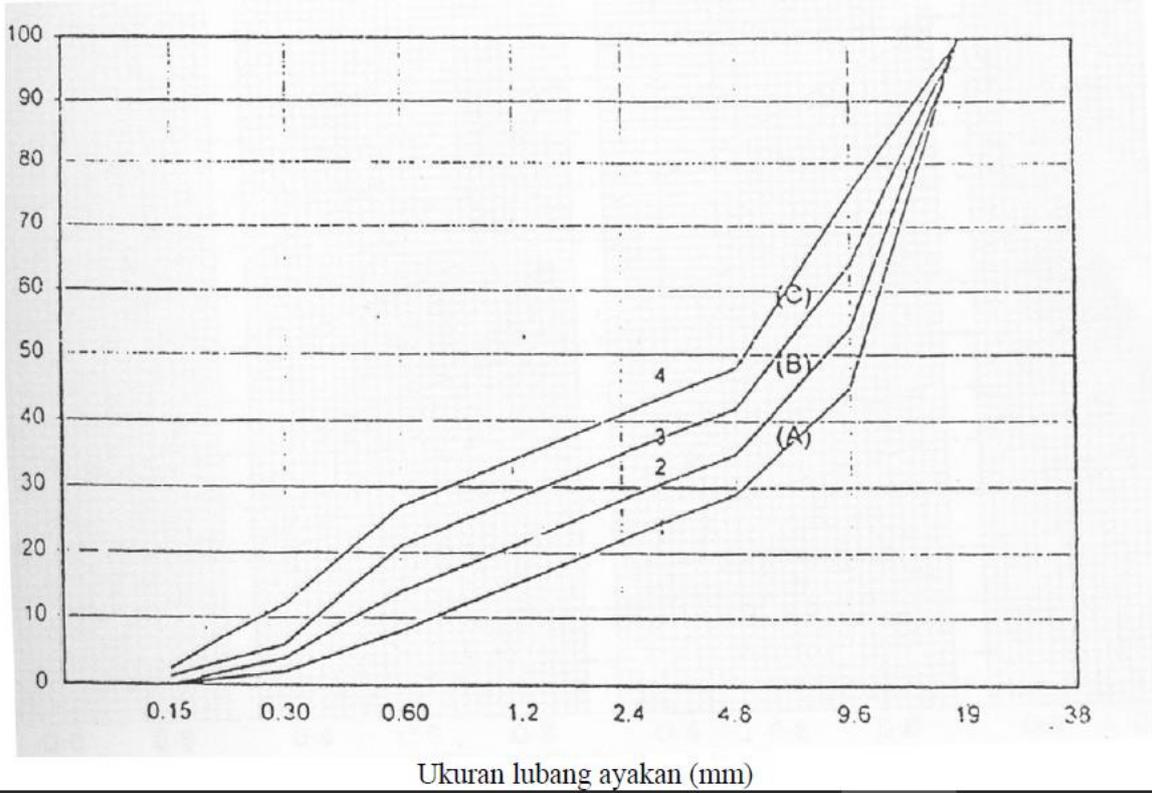
Grafik 16 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan



Lampiran 5

Grafik 10

Batas gradasi agregat gabungan untuk besar butir Maksimum (10mm)





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL  
LABORATORIUM STRUKTUR & BAHAN KONSTRUKSI**

Jl. Mayjend. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia  
Telp. : +62-341-587710 Fax : +62-341-580120 Pes. 1125 - 1126

**SURAT KETERANGAN**

No : 28 /UN10.F07.40/VI/2017

Yang bertanda tangan dibawah ini, Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UB, Menerangkan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini :

No	Nama	NIM	Lembaga
1	Syah Rizal Pamungkas	135060700111004	Teknik Industri Universitas Brawijaya Malang

Untuk melengkapi data Penyelesaian Tugas Akhir, telah melakukan penelitian Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya pada Bulan Mei – Juni 2017

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Malang, 14 Juni 2017  
Kepala Laboratorium

Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS  
NIP 19511211 198103 2 001





**PT VARIA USAHA BETON**  
(GRUP SEMEN GRESIK)  
*Your Concrete Partner*



SURAT KETERANGAN

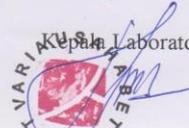
No 001 / BSPPKJ / JM / 07 / 2017

Yang bertanda tangan dibawah ini, kepala laboratorium Batching Plant PT. Varia Usaha Beton. Menerangkan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini :

No	Nama	NIM	Lembaga
1	Syah Rizal Pamungkas	135060700111004	Teknik Industri Universitas Brawijaya Malang

Untuk melengkapi data Penyelesaian Tugas Akhir, Telah melakukan perencanaan dan pembuatan beton melalui pengawasan dan bimbingan oleh kepala laboratorium Batching Plant PT. Varia Usaha Beton.

Malang, 20 Juli 2017

Kepala Laboratorium  
  
 Didi Priastono

