



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**REKAYASA BETON BERKEKUATAN AWAL TINGGI
DENGAN PEMANFAATAN BATU KETAK (KALSIT)
TUBAN - GRESIK DAN PASIR SUNGAI BENGAWAN
SOLO**

ABDUL KARIM YASIN
NRP. 3113 030 109

AKBAR BAYU KRESNO SUHARSO
NRP. 3113 030 121

Dosen Pembimbing
Ridho Bayuaji, ST. MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

Tri Eddy Susanto, ST.MT. [PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk]
NIK. 811

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2016



FINAL PROJECT - RC145501

***HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE ENGINEERING
WITH UTILIZATION LIMESTONE (CALCITE) TUBAN -
GRESIK AND BENGAWAN SOLO RIVER SAND***

ABDUL KARIM YASIN
NRP. 3113 030 109

AKBAR BAYU KRESNO SUHARSO
NRP. 3113 030 121

Counsellor Lecturer
Ridho Bayuaji, ST. MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

Tri Eddy Susanto, ST.MT. [PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk]
NIK. 811

CIVIL ENGINEERING DIPLOMA PROGRAM
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology

2016

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR TERAPAN**

**“ REKAYASA BETON BERKEKUATAN AWAL
TINGGI DENGAN PEMANFAATAN BATU KETAK
(KALSIT) TUBAN – GRESIK DAN PASIR SUNGAI
BENGAWAN SOLO ”**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, Juni 2016

MAHASISWA I

ABDUL KARIM YASIN
NRP. 3113 030 109

MAHASISWA II

AKBAR BAYU KRESNO SUHARSO
NRP. 3113 030 121

Mengetahui,

Pembimbing I

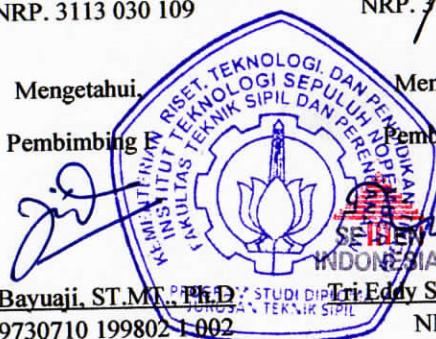
Ridho Bayuaji, ST.MT., Ph.D
NIP. 19730710 199802 1 002

Mengetahui,

Pembimbing II

Tri Eddy Susanto, ST.MT.
NIK. 811

30 JUN 2016



**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : ABDUL KARIM YASIN / AKBAR BAYU KRESNO SUHARSO
Nrp. : 3113030109 / 3113030121
Jurusan / Fak. : Teknik Sipil (D-3) / Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP)
Alamat kontak : Perumahan Griya Suci Permai F3/31 Kec. Manyar Kab. Gresik
a. Email : abdul.karim13@mhs. celt.s. ac. id
b. Telp/HP : 085733727222 / 085270435373

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif (Non-Exclusive Royalty-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

REKAYASA BETON BERKEKUATAN AWAL TINGGI DENGAN PEMANFAATAN BATU KETAK (KALSIT) TUBAN - GRESIK DAN PASIR SUNGAI BEUGAWAN SOLO

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.



Ridho Bayu Sari, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 19730710 1998021002

Dibuat di : Surabaya
Pada tanggal : 29 Juni 2016

Yang menyatakan,

Abdul Karim Yasin / AKBAR BAYU KRESNO SUHARSO
Nrp. 3113030109 / 3113030121

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhkan stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

REKAYASA BETON BERKEKUATAN AWAL TINGGI DENGAN PEMANFAATAN BATU KETAK (KALSIT) TUBAN – GRESIK DAN PASIR SUNGAI BENGAWAN SOLO

Nama Mahasiswa I	: Abdul Karim Yasin
NRP	: 3113 030 109
Nama Mahasiswa II	: Akbar Bayu Kresno Suharso
NRP	: 3113 030 121
Pembimbing I	: Ridho Bayuaji, ST.MT., Ph.D
NIP	: 19730710 199802 1 002
Pembimbing II	: Tri Eddy Susanto, ST.MT [PT. Semen Indonesia (persero) Tbk]
NIK	: 811

ABSTRAK

Beton berkekuatan awal tinggi merupakan beton yang memiliki salah satu dari sifat beton berkinerja tinggi yaitu berkekuatan awal tinggi dalam waktu 24 jam. Beton tersebut mampu mencapai mutunya lebih awal daripada beton normal yang membutuhkan waktu 28 hari. Dalam penelitian ini material – material yang digunakan adalah sebagai berikut : untuk bahan pengisi terdapat batu ketak (kalsit) berasal dari Tuban dan Gresik yang sebelumnya digunakan untuk beton non struktural dan pasir endapan sungai bengawan solo yang mengalir di sepanjang Kabupaten Bojonegoro yang merupakan pasir dengan kualitas yang tidak diunggulkan, untuk bahan pengikat terdapat semen produksi lokal yaitu Semen Portland Pozzoland yang berasal dari PT. Semen Gresik yang tersedia melimpah di pasaran, dimana ketiga bahan ini akan diteliti untuk diketahui karakteristiknya dalam campuran beton berkekuatan awal tinggi. Dikarenakan sebelumnya digunakan untuk campuran beton non struktural, maka untuk memperbaiki sifatnya diperlukan bahan tambahan kimia

berupa *High Range Water Reducer (HRWR)* yang berfungsi sebagai bahan yang dapat mengurangi air dalam jumlah besar sehingga menyebabkan faktor air semen yang rendah maka dapat menyebabkan kuat tekan yang tinggi serta meningkatkan kuat tekan sebesar 50 % pada umur 24 jam. Variabel dari penelitian ini yaitu berupa kadar semen sebesar 450 kg/m^3 dan 535 kg/m^3 .

Pada saat beton kondisi segar akan dilakukan pengujian slump dan slump retention untuk mengetahui kelecekannya dan pada saat beton kondisi keras akan dilakukan tes kuat tekan, uji porositas, dan *UPV test* pada umur 24 jam dan 28 hari. Pada penelitian ini penulis ingin mendapat informasi apakah dengan seluruh material lokal tersebut mampu digunakan atau tidak dengan persyaratan – persyaratan yang ada serta akan mencari informasi nilai konten semen yang optimum dan wajar diantara kedua variasi tersebut.

Hasil penelitian ini memberi kesimpulan bahwa, beton berkekuatan awal tinggi dengan pemanfaatan batu ketak (kalsit) Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo memiliki mutu kuat tekan struktural sedang ($264,87 - 274,50 \text{ Kg/cm}^2$) yang ditempuh dalam waktu 24 jam, dan mutu kuat tekan struktural tinggi ($565,85 - 636,19 \text{ Kg/cm}^2$) pada umur 28 hari. Dalam segi workabilitas lebih mudah dikerjakan dengan nilai slump $24,7 - 27,7 \text{ cm}$. Dalam segi kepadatan yang diukur dengan alat UPV, menghasilkan indeks bagus ($V. UPV = 3,86 \text{ Km/s}$) pada umur 24 jam dan ($V. UPV=4,17 - 4,18 \text{ Km/s}$) pada umur 28 hari. Serta dari segi harga, beton ini mampu menghemat pengeluaran sebesar 16% dibandingkan dengan beton normal.

Kata kunci : beton berkekuatan awal tinggi, batu ketak, pasir sungai bengawan solo, kuat tekan, 24 jam, 28 hari

**HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE ENGINEERING
WITH UTILIZATION LIMESTONE (CALCITE) TUBAN –
GESIK AND BENGAWAN SOLO RIVER SAND**

Student's Name I	: Abdul Karim Yasin
NRP	: 3113 030 109
Student's Name II	: Akbar Bayu Kresno Suharso
NRP	: 311 030 121
Lecturer I	: Ridho Bayuaji, ST.MT., Ph.D
NIP	: 19730710 199802 1 002
Lecturer II	: Tri Eddy Susanto, ST. MT [PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk]
NIK	: 811

ABSTRACT

High early strength concrete is concrete that has one of the properties of high-performance concrete that is high early strength within 24 hours. Concrete is capable of achieving quality earlier than normal concrete which takes 28 days. In this study the materials used is as follows: for fillers are ketak stone (calcite) from Tuban and Gresik previously used for concrete non-structural and sediment river sand of Bengawan Solo flowing in the Bojonegoro which is sand with the low quality, for the binder contained locally produced cement is Portland cement Pozzoland derived from PT. Semen Gresik is available in abundance in the market, where these three will be scrutinized for well-characterized in the high early strength concrete mixtures. Due to previously used for concrete non-structural, to improve its required chemical additives such as High Range Water Reducer (HRWR) which serves as a material that can reduce the large amounts of water, causing cement water factor is low, it can cause compressive strength is high and increasing the compressive strength by 50% at 24 hours. The variables studied in the form of cement content of 450 kg / m³ and 535 kg / m³.

By the time the fresh concrete conditions will be tested slump and slump retention to determine workability and when the hard conditions of the concrete compressive strength tests will be done, porosity test, and UPV test at the age of 24 hours and 28 days. In this study, the authors want to get information whether the whole of the local material capable of being used or not with the requirements - requirements that exist and will seek information value optimum cement content and reasonable between the two variations.

The results of this research, suggests that the high early strength concrete with utilization of ketak stone (caklcite) Tuban-Gresik and Bengawan Solo river sand, have a medium structural quality of compressive strength ($264,87\text{-}274,50 \text{ Kg/cm}^2$) within 1 day (24 hours), and high structural quality ($565,85\text{-}636,19 \text{ Kg/cm}^2$) within 28 day. In terms of workability is easier to work with the slump value $24,7\text{-}27,7 \text{ cm}$. In terms of density by UPV test, resulted a good indexs ($V.\text{UPV}=3,86 \text{ Km/s}$) at 1 day (24 hours) and ($V.\text{UPV}=4,17\text{-}4,18 \text{ Km/s}$) at 28 day. In terms of prices, this concrete is able to save 16% from normal concrete.

Keywords : High Early Strength Concrete, Ketak Stone, Bengawan Solo River Sand, Compressive Strength, 24 Hours, 28 day

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim Alhamdulillahirabbil 'alamin. Segala puji bagi Allah SWT. Hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan tugas akhir terapan yang berjudul "**REKAYASA BETON BERKEKUATAN AWAL TINGGI DENGAN PEMANFAATAN BATU KETAK (KALSIT) TUBAN – GRESIK DAN PASIR SUNGAI BENGAWAN SOLO**". Tugas akhir ini mendiskripsikan apa saja yang kami kerjakan guna mempersiapkan tugas akhir terapan.

Penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya penulisan proposal tugas akhir terapan ini, yaitu:

1. Bapak Ridho Bayuaji, ST.,MT.,PhD. Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan bimbingan selama proses penggerjaan proposal tugas akhir terapan ini.
2. Bapak Tri Eddy Susanto, ST.,MT. Selaku pembimbing penelitian selama pelaksanaan penelitian di Laboratorium beton PT.Semen Indonesia (persero) Tbk.
3. Bapak Ir. FX. Didik Harijanto, CES. selaku koordinator KPTA Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP-ITS beserta jajarannya yang telah membantu kelancaran administrasi dan pelaksanaan tugas akhir terapan ini.
4. Orang tua kami yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penulisan proposal tugas akhir terapan ini.
5. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil FTSP ITS yang telah memberikan motivasi kepada kami.

Dalam tugas akhir terapan ini, Kami menyadari bahwa tugas akhir terapan yang kami buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dengan rasa hormat kami mohon petunjuk,saran,dan kritik terhadap tugas akhir terapan ini, sehingga kedepanya diharapkan ada perbaikan terhadap tugas akhir ini serta dapat menambah pengetahuan bagi kami

Surabaya, 18 Januari 2016

Penyusun

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Definisi beton berkekuatan awal tinggi.....	7
2.2 Informasi dari penelitian sebelumnya	8
2.2.1 High Early Strength Concrete by Strategic Highway Research Program 1993	8
2.2.2 High Early Strength Concrete by Federal Highway Administration 2001	12
2.2.3 Rapid Strength Concrete by PT. Semen Indonesia 2015	15
2.2.4 Beton berkekuatan awal tinggi dengan material lokal by Yasin dan Suharso 2016	17
2.3 Faktor yang harus diperhatikan dalam beton berkekuatan awal tinggi	21
2.3.1 Tipe Semen Portland	22
2.3.2 Konten Semen	26
2.3.3 Faktor Air Semen	28
2.3.4 Admixture	29
2.4 Material Lokal	31
2.4.1 Batu Kapur (Agregat Kasar)	32
2.4.2 Pasir Sungai (Agregat halus).....	38
2.4.3 Semen Portland Pozzolan.....	41
2.5 High Range Water Reducing Admixture	45

2.6 Umur dan Mutu Beton Berkekuatan Awal Tinggi	46
2.6.1 Umur beton berkekuatan awal tinggi	46
2.6.2 Mutu Beton Berkekuatan awal tinggi	47
2.7 Desain Campuran Beton.....	47
2.8 Perawatan (Curing)	52
2.9 Pengujian Beton	53
2.9.1 Pengujian benda uji kondisi segar.....	54
2.9.2 Pengujian benda uji kondisi keras.....	55
BAB III. METODOLOGI	61
3.1 Metode Penelitian.....	61
3.2 Seleksi Variabel	61
3.2.1 Pemilihan Material Lokal.....	62
3.2.2 Pemilihan FAS.....	74
3.2.3 Pemilihan Konten Semen.....	75
3.2.4 Pemilihan Dosis Admixture.....	79
3.2.5 Pemilihan Komposisi Agregat Halus dan Agregat Kasar	81
3.2.6 Pemilihan Metode Mix Design.....	89
3.2.7 Rekapitulasi hasil seleksi variabel	95
3.3 Variabel Penelitian	96
3.4 Umur, Pengujian, dan Jumlah benda uji penelitian	97
3.4.1 Umur pengujian benda uji	97
3.4.2 Pengujian benda uji	97
3.4.3 Jumlah benda uji	97
3.5 Bahan dan Alat Penelitian	98
3.5.1 Bahan	98
3.5.2 Alat.....	98
3.6 Standar Penelitian.....	101
3.6.1 Pengujian Material	101
3.6.2 Desain Campuran	102
3.6.3 Pengujian Beton	102
3.7 Metodologi pengujian material	102
3.7.1 Agregat Kasar	102
3.7.2 Agregat Halus	117
3.8 Metodologi Perhitungan Desain Campuran	130

3.9 Metodologi Pembuatan Benda Uji	134
3.10 Metodologi Pengujian Benda Uji.....	135
3.10.1 Tes Porositas (<i>Porosity Test</i>)	135
3.10.2 Tes UPV	136
3.10.3 Uji Kuat Tekan.....	138
3.11 Flow Chart.....	140
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	143
4.1 Spesifikasi Material Penyusun.....	143
4.1.1 Semen Portland Pozzolan (PPC).....	143
4.1.2 Agregat Halus	145
4.1.3 Agregat Kasar	146
4.1.4 High Range Water Reducer (HRWR).....	148
4.2 Desain campuran beton	148
4.3 Pengujian Beton Kondisi Segar	148
4.3.1 Tes Slump (<i>Slump Test</i>)	148
4.3.2 Tes Ketahanan Slump (<i>Slump Retention Test</i>).....	149
4.4 Pengujian Beton Kondisi Keras	150
4.4.1 Tes Porositas (<i>Porosity Test</i>)	150
4.4.2 Ultrasonic Pulse Velocity (<i>Non Destructive Test</i>) .	151
4.4.3 Uji Kuat Tekan (<i>Destructive Test</i>)	152
4.5 Analisa Rencana Anggaran Biaya	152
BAB V PENUTUP	155
5.1 Kesimpulan	155
5.2 Saran	159
5.3 Rekomendasi.....	159
BAB VI DAFTAR PUSTAKA	161

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik korelasi umur beton dengan prosentase mutu beton yang dihasilkan (PBI, 1971 dan SHRP, 1993)	7
Gambar 2.2. Grafik hubungan antara rasio air semen dengan kuat tekan beton menggunakan variasi ukuran batu kapur 1 Inch dan 3/8 Inch (Ahmad, 1994)	33
Gambar 2.3. Lokasi Tambang Batu Kapur di Gresik (<i>Google Maps</i>).....	34
Gambar 2.4. Lokasi tambangbatu kapur di Tuban (<i>Google Maps</i>)	34
Gambar 2.5. Aktifitas Penambangan di Gunung Kapur Sekapuk Gresik (Dokumentasi Pribadi, 2016).....	35
Gambar 2.6. Aktifitas Penambangan di Gunung Kapur Kerek Tuban (Merdeka.com, 2013)	35
Gambar 2.7. Pemanfaatan Untuk Dijual dalam Bentuk Batu Pecah Seukuran Agregat Kasar untuk Beton Pada Umumnya di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016)	36
Gambar 2.8. Pemanfaatan Untuk Dijual dalam Bentuk Pasangan Batu Pondasi Rumah di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016) ..	36
Gambar 2.9. Pemanfaatan sebagai Material Penyusun Bis Beton di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016)	37
Gambar 2.10. Pemanfaatan sebagai material penyusun saluran air di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016)	37
Gambar 2.11. Pemanfaatan sebagai Material Penyusun Paving di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016)	38
Gambar 2.12. Lokasi Tambang Pasir Sungai BengawanSolo di Kecamatan Malo Kabupaten Bojonegoro (<i>Google Maps</i>).....	40

Gambar 2.13. Lokasi Tambang Pasir Sungai Bengawan Solo di Kecamatan Kalitidu Kabupaten Bojonegoro (<i>Google Maps</i>)	40
Gambar 2.14. Aktivitas penambangan pasir sungai bengawan solo di Kabupaten Bojonegoro (Antara news, 2013) ...	40
Gambar 2.15. Aktivitas penambangan pasir sungai bengawan solo di Kabupaten Bojonegoro (Antara news, 2013) ...	41
Gambar 2.16. Lokasi Pabrik Semen PT. Semen Gresik di Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik (<i>Google Maps</i>).....	43
Gambar 2.17. Lokasi Pabrik Semen PT. Semen Gresik di Kecamatan Kerek Kabupaten Tuban (Google Maps)	
.....	44
Gambar 2.18. Pabrik Tuban PT. Semen Gresik (Merdeka.com, 2013)	44
Gambar 2.19. Aktifitas Pengemasan Produk Semen PPC di Pabrik Tuban PT. Semen Gresik (Merdeka.com, 2013)..	45
Gambar 2.20. Ilustrasi pengujian slump (Sika Concrete Handbook, 2005).....	54
Gambar 2.21. Pengujian porositas beton dengan alat tabung <i>desicator</i> dan <i>vacuum pump</i> (Dokumentasi pribadi, 2016)	56
Gambar 2.22. Metode penyebaran dan penerimaan gelombang pulsa ultrasonik : (a) <i>Direct transmission</i> , (b) <i>Semi-direct transmission</i> , and (c) <i>Indirect</i> atau <i>surface transmission</i> (Neville, 1987)	57
Gambar 3. 1. Macam-Macam Pasir Yang Umum Digunakan di Jawa Timur : (a) Pasir Lumajang, (b) Pasir Brantas, (c) Pasir Bengawan Solo (Dokumentasi Pribadi, 2016)	63
Gambar 3. 2. Hasil XRD pasir lumajang (Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia)	64
Gambar 3. 3. Pola XRD pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro (Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia).....	65

Gambar 3. 4. Macam-macam batu pecah yang umum digunakan di Jawa Timur : (a) Batu Pecah Mojokerto (b) Batu Pecah Pasuruan, (c) Batu Kapur Keras (Ketak) Tuban dan Gresik (Dokumentasi Pribadi, 2016)..	68
Gambar 3. 5. Pola XRD batu pecah Pasuruan (Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia).....	68
Gambar 3. 6. Pola XRD batu ketak Tuban	69
Gambar 3. 7. Grafik analisa gradasi agregat halus	82
Gambar 3. 8. Grafik analisa gradasi agregat kasar	83
Gambar 3. 9. Lengkung gradasi agregat gabungan A. Halus 25% : A. Kasar 75%	86
Gambar 3. 10. Lengkung gradasi agregat gabungan A. Halus 40% : A. Kasar 60%	88
Gambar 3. 11. Uji pasir terhadap bahan organik	127
Gambar 3. 12. Uji Porositas Beton	136
Gambar 3. 13. Pengujian UPV.....	137
Gambar 3. 14. Hasil UPV di monitor alat tes	137
Gambar 3. 15. Beton saat keadaan uji kuat tekan	138
Gambar 3. 16. Beton kondisi setelah di uji kuat tekan	138
Gambar 3. 17. Hasil uji kuat tekan pada monitor alat uji	139
Gambar 3. 18. Diagram alir (Flow chart) penelitian.....	141
Gambar 3. 19. Material penyusun yang digunakan dalam penelitian.....	143
Gambar 3. 20. Pola XRD batu ketak Tuban	147
Gambar 4. 1. Pola XRD semen PPC PT. Semen Gresik.....	144
Gambar 4. 2. Gradasi butiran agregat halus pasir sungai Bengawan Solo Kabupaten Bojonegoro	145
Gambar 4. 3. Pola XRD pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro	146
Gambar 4. 4. Grafik lengkung analisa ayakan batu pecah.....	147
Gambar 4. 5. Titik pengambilan nilai slump	149
Gambar 4. 6. Grafik hubungan waktu dan nilai slump	150
Gambar 4. 7. Grafik hubungan umur terhadap nilai porositas beton	150

Gambar 4.8. Grafik hubungan umur dengan nilai kecepatan pulsa ultrasonik..... 151

Gambar 4.9. Grafik hubungan umur beton dengan nilai kuat tekan beton..... 152

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Desain campuran beton berkekuatan awal tinggi	9
Tabel 2.2. Spesifikasi Agregat dan Sifat Mekanik Beton yang Dihasilkan.....	11
Tabel 2.3. Mix design dan perkiraan open traffic time	12
Tabel 2.4. Desain campuran Rapid Strength Concrete	16
Tabel 2.5. Desain campuran pre-variabel beton	18
Tabel 2.6. Spesifikasi Teknis PPC PT. Semen Gresik.....	19
Tabel 2.7. Jenis Admixture dan Pengaruhnya terhadap Kuat Tekan Beton pada Umur 24 Jam	21
Tabel 2.8. Kuat tekan beton dan umur beton yang dihasilkan dengan menggunakan semen portland Tipe III	22
Tabel 2.9. Kuat tekan beton dan umur beton yang dihasilkan dengan menggunakan semen portland Tipe I.....	24
Tabel 2.10. Kuat tekan beton dan umur beton yang dihasilkan dengan menggunakan Rapid Set Cement.....	24
Tabel 2.11. Kuat tekan beton dan umur beton yang dihasilkan dengan menggunakan PPC	25
Tabel 2.12. Kualitas beberapa tipe semen untuk beton berkekuatan awal tinggi berdasarkan beberapa parameter	25
Tabel 2.13. Kelas Konten Semen	26
Tabel 2.14. Data Konten Semen yang digunakan dalam beberapa proyek pembuatan beton mutu tinggi.....	27
Tabel 2.15. Level Konten Semen pada Beton Berkekuatan Awal Tinggi	27
Tabel 2.16. Klasifikasi Faktor Air Semen	28
Tabel 2.17. Klasifikasi Faktor Air Semen pada Beton Berkekuatan Awal Tinggi.....	28
Tabel 2.18. Tipikal admixture kimia dalam beton berkekuatan awal tinggi	29
Tabel 2.19. Penggunaan Admixture pada Kondisi FAS Tertentu	30
Tabel 2.20. Admixture yang digunakan dalam beton berkekuatan awal tinggi	30

Tabel 2.21. Agregat Struktural Beton.....	32
Tabel 2.22. Detail Lokasi Penambangan kapur di daerah Gresik dan Tuban.....	34
Tabel 2.23. Jenis Pasir Sungai dari Jawa Timur dan Spesifikasinya	38
Tabel 2.24. Detail Lokasi Penambangan pasir sungai bengawan solo di daerah Bojonegoro.....	39
Tabel 2.25. Spesifikasi Teknis PPC PT. Semen Gresik.....	42
Tabel 2.26. Detail Lokasi Pabrik semen PT. Semen Gresik di Gresik dan Tuban	43
Tabel 2.27. Klasifikasi Mutu Beton dan Aplikasinya.....	47
Tabel 2.28. Jenis pengujian material dan standar yang digunakan	49
Tabel 2.29. Kriteria kecepatan pulsa untuk mengklasifikasikan kualitas beton.....	58
Tabel 3. 1. Analisa Kuantitatif Dan Kualitatif Praktis Pada Agregat Halus Atau Pasir.....	62
Tabel 3. 2. Kandungan mineral pasir lumajang	65
Tabel 3. 3. Kandungan mineral pasir Bojonegoro	66
Tabel 3. 4. Analisa Kuantitatif Dan Kualitatif Praktis Pada Agregat Halus Atau Pasir.....	66
Tabel 3. 5. Kandungan mineral batu Pasuruan	69
Tabel 3. 6. Kandungan mineral batu ketak	70
Tabel 3. 7. Kulaitas Beberapa Tipe Semen Untuk Beton Berkekuatan Awal Tinggi Berdasarkan Beberapa Parameter.....	70
Tabel 3. 8. Kulaitas Beberapa Tipe Admixture Untuk Beton Berkekuatan Awal Tinggi Berdasarkan Beberapa Parameter.....	72
Tabel 3. 9. Material Lokal yang Lolos Seleksi Variabel	73
Tabel 3. 10. Nilai FAS pada penelitian sebelumnya.....	74
Tabel 3. 11. Hasil Uji Workabilitas Dengan Slump Secara Kualitatif.....	75
Tabel 3. 12. Konten semen yang dihasilkan melalui hasil perhitungan beberapa metode mix design	76

Tabel 3. 13. Desain campuran beton K-175 hingga K-500 dengan PPC.....	76
Tabel 3. 14. Desain Campuran Untuk Penelitian Pendahuluan Dengan Semen Konten Semen 487 Kg/m ³	77
Tabel 3. 15. Hasil Uji Kualitatif Penelitian Pendahuluan pada Pemilihan Konten Semen	77
Tabel 3. 16. Hasil Seleksi Variabel Konten Semen	79
Tabel 3. 17. Dosis yang Direkomendasikan Oleh Product Data Sheet Sika Viscocrete 7150.....	80
Tabel 3. 18. Desain Campuran Untuk Penelitian Pendahuluan dosis admixture	80
Tabel 3. 19. Hasil Uji Kualitatif Penelitian Pendahuluan pada Pemilihan Dosis Admixture	80
Tabel 3. 20 Hasil analisa gradasi agregat	82
Tabel 3. 21. Batas atas dan batas bawah gradasi agregat campuran untuk ukuran agregat maksimum 20 mm	83
Tabel 3. 22. Hasil analisa ayakan pasir 25 % dan batu pecah 75 %	85
Tabel 3. 23. Hasil penelitian pendahuluan terhadap perbandingan 25% agregat halus dan 75% agregat kasar	86
Tabel 3. 24. Hasil analisa ayakan pasir 40 % dan batu pecah 60 %	87
Tabel 3. 25. Hasil penelitian pendahuluan terhadap perbandingan 25% agregat halus dan 75% agregat kasar	88
Tabel 3. 26. Material Penyusun Penelitian	95
Tabel 3. 27. Konten Semen Penelitian.....	96
Tabel 3. 28. Variabel Penelitian	96
Tabel 3. 29. Jumlah benda uji penelitian	97
Tabel 3. 30. Peralatan untuk pengujian material	98
Tabel 3. 31. Peralatan untuk pembuatan benda uji	100
Tabel 3. 32. Standar pengujian material	101
Tabel 3. 33. Standar pengujian beton	102
Tabel 3. 34. Standar warna bahan organik.....	127
Tabel 3. 35. Jenis pengujian material dan standar yang digunakan	131

Tabel 4. 1. Spesifikasi Semen Portland Pozzolan PT. Semen Gresik	143
Tabel 4. 2. Spesifikasi fisik agregat halus pasir sungai Bengawan Solo Kabupaten Bojonegoro	145
Tabel 4. 3. Spesifikasi fisik agregat halus batu kapur Kabupaten Gresik dan Tuban	147
Tabel 4. 4. Spesifikasi HRWR Sika Viscocrete 7150.....	148
Tabel 4. 5. Desain Campuran untuk Masing-Masing Variabel Penelitian.....	148
Tabel 4. 6. Nilai slump untuk masing-masing variabel penelitian	149
Tabel 4. 7. Hasil Pengujian Slump Retention.....	149
Tabel 4. 8. Hasil Pengujian Porositas Beton Rata-Rata.....	150
Tabel 4. 9. Hasil Tes Kepadatan Beton Rata-Rata (UPV Test)	151
Tabel 4. 10. Klasifikasi hasil tes UPV terhadap standar IS 13311-1 (1992)	151
Tabel 4. 11. Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata.....	152
Tabel 4. 12. Analisa biaya terhadap beton normal struktural ...	153
Tabel 4. 13. Analisa biaya terhadap beton kuat awal tinggi SK 450 dan SK 535	153

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material yang terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan (*admixture*) bila diperlukan (Subakti, 2012). Sebagai salah satu material bahan bangunan yang paling banyak digunakan dalam suatu konstruksi bangunan, beton mengalami berbagai perkembangan yang signifikan terutama pada teknologi beton berkinerja tinggi (*High Performance Concrete*) yang memiliki keunggulan kemudahan penggerjan serta memiliki kuat tekan yang tinggi. salah satu jenis beton berkinerja tinggi adalah beton berkekuatan awal tinggi (*High Early Strength Concrete*) yaitu beton dengan kemampuan pengerasan (*hardening*) yang cepat yaitu dengan waktu 24 jam, mampu menghasilkan prosentase kinerja kuat tekan 50% dari umur 28 hari (SHRP, 1993).

Beton berkekuatan awal tinggi dibuat berdasarkan permasalahan yang terjadi di dunia konstruksi perihal waktu yang diperlukan beton agar mencapai kekuatan yang disyaratkan sebelum menginjak ke pekerjaan pembetonan berikutnya. Elemen struktur beton yang menggunakan beton normal atau beton konvensional memerlukan waktu 7 hari bahkan 14 hari ($0.7 - 0.85 fc'$ 28 hari) untuk mencapai fc' minimum yang disyaratkan agar dapat segera melakukan pekerjaan pembetonan berikutnya. Tentu hal tersebut akan mengkonsumsi lebih banyak waktu dan juga biaya pekerja.

Akan lebih serius permasalahan yang terjadi apabila menyangkut tentang perbaikan jalan utama dan juga jalan tol, tentu saja jalan tersebut tidak bisa ditutup dengan waktu terlalu lama untuk menghindari kemacetan lalu lintas. Oleh karena itu hal tersebut harus diminimalisir.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, telah dilakukan beberapa penelitian tentang teknologi beton yang memiliki sifat mekanis kuat tekan tinggi pada umur awal, misalnya:

2. Bagaimana pengaruh material batu ketak Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo terhadap mutu beton berkekuatan awal tinggi ditinjau dari segi workabilitas, porositas, kepadatan, dan kuat tekan ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini kami merumuskan ruang lingkup penelitian yang menjadi batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Material yang digunakan
 - a. Bahan pengikat : Semen PPC PT. Semen Gresik
 - b. Bahan pengisi :
 - Agregat Kasar : Batu ketak yang berasal dari gunung kapur Sekapuk Kabupaten Gresik dan gunung kapur Merak Urak Kabupaten Tuban
 - Agregat Halus : Pasir Sungai Bengawan Solo Kabupaten Bojonegoro
 - c. Addmixture : *High Range Water Reducer* (Tipe F) berbasis *Poly Carboxylate Modified* Sika Viscocrete 7150 PT. Sika Indonesia
2. Mix Design
Perhitungan desain campuran beton mengacu pada metode volume absolut IS (*Indian Standart*) yang dikembangkan lagi oleh Khumbar dan Murnal tahun 2013 tentang *High Performance Concrete* yang telah disesuaikan oleh penulis.
3. Pembuatan benda uji, perawatan, dan pengujian benda uji
 - a. Pembuatan benda uji :
 - Jenis benda uji berupa kubus 100x100x100 mm
 - Jumlah benda uji untuk per umur pengujian berjumlah 3 benda uji untuk masing-masing variabel.
 - b. Perawatan benda uji :
 - Metode *air curing* atau perawatan yang mengandalkan temperature suhu udara ruangan dengan suhu perawatan $\pm 36^{\circ}\text{C}$ (untuk pengujian umur 24 jam).

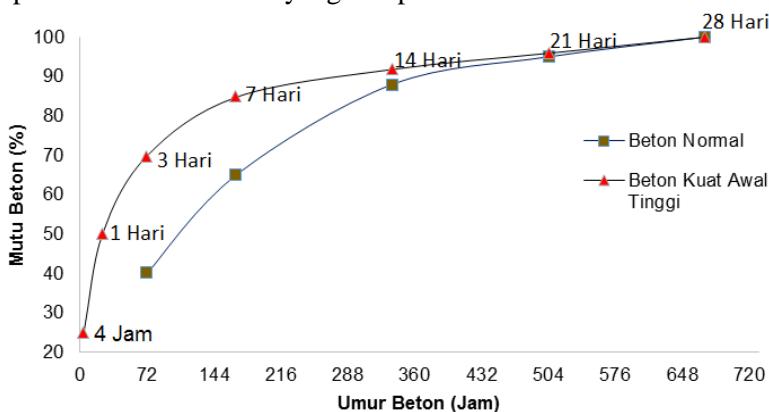
1. Mahasiswa mengetahui cara merencanakan dan membuat beton berkekuatan awal tinggi dengan pemanfaatan batu ketak Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo
2. Sebagai penelitian yang baru tentang pemanfaatan batu ketak (kalsit) Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo sebagai beton yang memiliki keunggulan yaitu kuat tekan pada umur awal yang dapat digunakan untuk aplikasi struktur bangunan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi beton berkekuatan awal tinggi

Beton berkekuatan awal tinggi (*High Early Strength Concrete*) merupakan salah satu jenis dari beton berkinerja tinggi (*High Performance Concrete*). Kuat tekan awal tinggi (*High Early Strength*) yang dimaksud adalah kuat tekan dari beton pada 24 jam pertama setelah pembuatan (Sika, 2013). Pendapat yang lain mengatakan bahwa beton berkekuatan awal tinggi merupakan beton yang membutuhkan 24 jam agar mampu mencapai 50% f_c' umur 28 hari dengan rasio air per semen (Faktor Air Semen) berkisar sebesar 0,3-0,4 (SHRP,1993). Berikut ialah grafik korelasi hubungan umur beton dengan prosentase mutu beton yang dicapai :



Gambar 2.1. Grafik korelasi umur beton dengan prosentase mutu beton yang dihasilkan (PBI, 1971 dan SHRP, 1993)

Dari gambar 1. diatas dapat di ambil informasi bahwa beton berkekuatan awal tinggi memiliki prosentase kekuatan 50% atau

(MM), *Rounded Gravel* (RG), *Dense Chrushed Limestone* (DL). Berikut ialah beberapa data yang dihasilkan oleh penelitian tersebut :

Tabel 2.1. Desain campuran beton berkekuatan awal tinggi

Material	CG Lilington	MM Lilington	RG Memphis	DL Van Buren
Semen Tipe III, (Kg/m ³)	522	522	522	522
Agregat kasar (Kg/m ³)	1032	942	990	1008
Agregat halus (Kg/m ³)	576	588	540	618
FAS	0,32	0,32	0,34	0,34
HRWR (Naphtalene Based) (mL/100 Kg) bahan bersifat semen	26	26	26	16
Kalsium Nitrit (gr/m ³)	2,4	2,4	2,4	2,4
Air Entraining Agent (mL/100 Kg) bahan bersifat semen	9	1	1	4
Slump (cm)	2,54	17,2	17,8	7,7
Kuat tekan 1 hari (Mpa)	37	38,7	39	36,5

Sumber : Strategic Highway Research Program, 1993

Dari beberapa data diatas pada tabel 2.1 , terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan :

1. Tipe Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini ialah semen tipe III dari Arkansas. dengan spesifikasi :

- Kehalusinan dengan Blaine = 5,590 cm²/gr
- Setting time awal = 1 jam 48 menit
- Setting time akhir = 2 jam 43 menit
- Kuat tekan umur 1, 3 dan 28 hari = 25,6 Mpa; 36,3 MPa; dan 39,5 MPa

meningkatkan panas hidrasi semen dalam beton agar diperoleh waktu pengikatan beton yang cepat.

Dalam penelitian ini HRWR yang digunakan berbasis Naphthalene atau admixture generasi 2 yang ditemukan pada tahun 1970. Accelerator yang digunakan ialah Kalsium Nitrit Ca(NO₂)₂.

5. Karakteristik Agregat

Dari beberapa tipe campuran diatas, hal yang paling menentukan apabila diamati secara detail adalah pengaruh jenis agregat terhadap sifat mekanik yang dihasilkan beton berkekuatan awal tinggi tersebut. Dalam tipe campuran tersebut hampir semua material dan konten nya sama, namun jenis agregat kasarnya yang berbeda. Berikut ialah spesifikasi agregat kasar dan juga sifat mekanik yang dihasilkan :

Tabel 2.2. Spesifikasi Agregat dan Sifat Mekanik Beton yang Dihasilkan

Parameter	CG Lilington	MM Lilington	RG Memphis	DL Van Buren
Berat Jenis (T/m ³)	2,64	2,48	2,55	2,72
Abrasi (%)	36,9	43,7	17,6	24
Strength (MPa)	37	38,7	39	36,5
Slump (cm)	2,54	17,2	17,8	7,7

Sumber : Strategic Highway Research Program, 1993

Dari tabel 2.2 tersebut, dapat disimpulkan bahwa agregat tipe RG atau *Rounded Gravel* dari Memphis merupakan agregat yang paling baik ditinjau dari spesifikasi agregat tersebut dengan mutu yang dihasilkan. Aggregat RG tersebut memiliki hasil tes abrasi yang paling kecil diantara agregat jenis lainnya sehingga kuat tekan yang dihasilkan pun juga tinggi. Selain kuat tekan nilai slump yang

1. Tipe Semen

Terdapat 4 jenis semen yang digunakan dalam percobaan pada riset ini, diantaranya adalah : Semen Tipe 1 atau biasa dikenal Ordinary Portland Cement (OPC), Semen Tipe 3, Regulated Set Portland Cement, dan Rapid Set Cement. Empat jenis semen tersebut merupakan tipe semen yang cocok untuk meningkatkan kuat tekan beton pada umur awal.

2. Konten Semen

Pembuatan beton tersebut mengacu pada konten semen yang digunakan rata-rata sebesar 400 Kg/m^3 dan masuk dalam range konten semen beton berkekuatan tinggi (*High Strength Concrete*) yaitu $400 - 600 \text{ Kg/m}^3$.

3. Faktor Air Semen

Agar mendapatkan kekuatan yang tinggi di awal, tentu faktor air semen yang digunakan tergolong rendah yaitu 0,4 dan tergolong FAS yang rendah dan cocok untuk beton mutu tinggi yang memiliki range 0,3 – 0,4.

4. Admixture

Terdapat 2 jenis admixture yang digunakan dalam penelitian tersebut, yaitu admixture tipe F (*HRWR-High Range Water Reducer*) atau biasa disebut *superplasticizer* untuk mengurangi kebutuhan air agar dengan FAS yang rendah dari beton mutu tinggi dapat tetap dikerjakan dan admixture Tipe C (*Accelerator*) berfungsi sebagai katalisator untuk meningkatkan panas hidrasi semen dalam beton agar diperoleh waktu pengikatan beton yang cepat. Dalam penelitian ini accelerator yang digunakan ialah kalsium klorida (CaCl_2) pada tipe campuran dengan Semen Portland Tipe I. Dibandingkan dengan semen portland tipe III, kandungan C_3S dan C_3A yang menyumbang percepatan rekasi hidrasi yang dihasilkan oleh semen

5. *Open Traffic Time*

Open traffic time merupakan waktu yang dibutuhkan agar jalan untuk lalu lintas dapat dibuka kembali setelah perbaikan. Dalam penelitian ini open traffic time yang dibutuhkan oleh beberapa tipe campuran beton berkekuatan awal tinggi tersebut dapat mulai dibuka mulai dari 4 jam hingga 72 jam. Syarat *open traffic time* meliputi waktu minimum dan kuat tekan minimum yang harus dipenuhi untuk membuka kembali jalan dan arus lalu lintas tersebut. Waktu minimum yang disyaratkan tergantung berdasarkan desain campuran, metode perawatan, temperatur lingkungan, dan ketebalan plat/slab. Khususnya jika waktu pembukaan dibutuhkan sangat cepat, maka memerlukan waktu 4 jam atau kurang. kuat tekan yang dihasilkan minimum adalah 13,8 MPa. Untuk proyek seperti itu dengan menggunakan alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) dapat digunakan untuk memantau kekuatan beton.

2.2.3 Rapid Strength Concrete by PT. Semen Indonesia 2015

Pada tahun 2015, Departemen Litbang Aplikasi Produk PT. Semen Indonesia mengembangkan teknologi beton berkekuatan awal tinggi yang diberi nama “*Rapid Strength Concrete*”. Dalam penelitian ini variabel yang diteliti ialah pengaruh pemabahan dosis Admixture tipe F yang bersifat *High Range Water Reducer* berbasis *Polycarboxylate Ether* dengan merk TamCem 60 RA yang diproduksi oleh PT. Normet Indonesia. Dosis yang ditambahkan ialah 0,6% dan 0,8% yang akan diketahui pengaruhnya dalam beton *Rapid Strength Concrete* Tersebut.

berkekuatan sangat tinggi (*Very High Strength Concrete*) dengan range $> 600 \text{ Kg/m}^3$.

3. Faktor Air Semen

Agar mendapatkan kekuatan yang tinggi di awal, tentu faktor air semen yang digunakan tergolong rendah yaitu 0,2 dan 0,25 yang tergolong dalam katagori FAS yang rendah, sehingga cocok digunakan dalam beton mutu sangat tinggi yang memiliki range 0,2 – 0,3. Dari hasil kuat tekan dihasilkan, beton dengan FAS 0,2 memiliki kekuatan lebih tinggi daripada 0,25.

4. Jenis Admixture

Jenis admixture yang digunakan dalam penelitian tersebut, yaitu admixture tipe F (*HRWR-High Range Water Reducer*) atau biasa disebut superplasticizer yang berfungsi mengurangi kebutuhan air, agar dengan FAS yang rendah beton mutu tinggi dapat dikerjakan. HRWR yang digunakan berbasis *Polycarboxylate Ehter* (PCE) merk TamCem 60 RA Produksi PT. Normet Indonesia dengan dosis 0,6% hingga 0,8%. Dari hasil kuat tekan dihasilkan serta slump yang dihasilkan oleh dosis 0,8% menghasilkan nilai yang tinggi baik dalam segi slump flow maupun kuat tekan. Penambahan admixture TamCem 60 RA yang dikombinasikan dengan semen portland tipe I dosis tinggi dapat menghasilkan mutu beton struktural kurang dari 24 jam, yaitu menghasilkan kuat tekan 18 hingga 25 MPa pada umur 8 jam.

2.2.4 Beton berkekuatan awal tinggi dengan material lokal by Yasin dan Suharso 2016

Pada tahun 2016, Penulis mengembangkan beton yang lebih ekonomis namun tetap memiliki mutu struktural pada umur awal. Pada penelitian ini penulis berkerjasama dengan

Dari data tersebut, terdapat hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Tipe Semen

Tipe semen yang digunakan dalam penelitian ini ialah Portland Pozzolan Cement (PPC) merupakan semen Portland yang digiling halus dengan bubuk pozzolan dengan kadar 6% hingga 40% dari masa semen portland pozzolan tersebut. Semen PPC memiliki fungsi ganda yaitu dapat digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan memerlukan panas hidrasi sedang.

Berikut ialah spesifikasi singkat semen portland pozzolan (PPC) PT. Semen Gresik :

Tabel 2.6. Spesifikasi Teknis PPC PT. Semen Gresik

Pengujian Kimia	Hasil
SiO ₂ (%)	23,1
Al ₂ O ₃ (%)	8,76
Fe ₂ O ₃ (%)	4,62
CaO (%)	58,66
MgO (%)	0,90
SO ₃ (%)	2,18
Hilang Pijar (%)	1,69
Pengujian XRD	Hasil
Tricalcium Silicate (C ₃ S) %	47,17
Dicalcium Silicate (C ₂ S) %	9,64
Tricalcium Aluminate (C ₃ A) %	6,80
Tetracalcium Aluminate Ferit (C ₄ AF) %	7,73
Pengujian Fisika	Hasil
Blaine	325 m ² /Kg
Waktu ikat awal	153 Menit
Waktu ikat akhir	4,15 Jam
Kuat tekan 3 hari	205 Kg/cm ²
Kuat tekan 7 hari	290 Kg/cm ²
Kuat tekan 28 hari	385 Kg/cm ²
Berat jenis	3.05 T/m ³

Sumber : PT. Semen Gresik

sehingga cocok digunakan dalam beton mutu sangat tinggi yang memiliki range 0,2 – 0,3.

4. Jenis Admixture

Beikut ialah jenis admixture yang digunakan pada campuran beton pre-variabel ini :

Tabel 2.7. Jenis Admixture dan Pengaruhnya terhadap Kuat Tekan Beton pada Umur 24 Jam

Parameter	Admixture		
	HRWR (PCM)	HRWR (Naphthalene)	CaCl ₂ + Naphthalene
Kuat tekan beton umur 24 jam (Kg/cm ²)	209,3	185,1	60

Sumber : yasin dan suharso 2016

Keterangan :

HRWR : High Range Water Reducer

PCM : Poly Carboxylate Modified

Dari data pada tabel 7, dapat diketahui bahwa dengan penambahan HRWR berbasis *Poly carboxylate Modified* saja cukup menghasilkan beton dengan kuat tekan awal tinggi dibanding menggunakan kombinasi HRWR dan CaCl₂. Selain keuntungan kuat tekan, beton bebas dari admixture yang bersifat korosif seperti pada CaCl₂ (*Calcium Chloride*) sehingga aman untuk diaplikasikan pada struktur beton bertulang. Kuat tekan yang dihasilkan pada pre-variabel ini mampu melebihi syarat minimum beton struktural K-225 namun dengan waktu 24 jam saja.

2.3 Faktor yang harus diperhatikan dalam beton berkekuatan awal tinggi

Dari beberapa penelitian yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, terdapat beberapa faktor yang

Nilai kuat tekan SHRP (1993) dan FHA (2001) dengan menggunakan semen portland tipe III masih lebih rendah daripada nilai kuat tekan beton *rapid strength concrete* PT. Semen Indonesia (2015) yaitu 59,37 – 66,39 MPa. Hal tersebut dikarenakan terdapat faktor lain yang sangat mempengaruhi mutu beton pada umur awal yaitu kombinasi antara semen Portland dengan admixture. *Rapid Strength Concrete* meskipun menggunakan semen Portland tipe I, digunakan juga admixture generasi ke 3 yang memiliki kemampuan lebih tinggi dari admixture generasi ke 1 dan 2 yang digunakan oleh SHRP (1993) dan FHA (2001).

2. Semen Portland tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

Semen jenis ini merupakan semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum, seperti konstruksi bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap : ketahanan sulfat, panas hidrasi, dan kuat awal tinggi.

Dibanding semen tipe III, OPC memiliki mutu lebih rendah, namun apabila dilakukan modifikasi seperti yang dilakukan oleh FHA dengan menambahkan admixture CaCl_2 sebagai accelerator akan memicu panas hidrasi beton sehingga mengkatkan kuat awal yang tinggi. Serta yang dilakukan oleh Departemen Litbang dan Aplikasi Produk PT. Semen Indonesia terhadap semen tipe I untuk Rapid Strength Concrete dengan cara memperhalus butiran semen dan meningkatkan kadar C_3S , serta dipadukan dengan admixture yang bersifat HRWR maka kuat tekan beton dapat meningkat pada umur awal. Namun membutuhkan biaya tambahan dalam memodifikasi semen OPC tersebut.

Berikut merupakan hasil kuat tekan dan umur beton yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan semen Portland tipe I:

PPC memiliki fungsi ganda yaitu dapat digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan memerlukan panas hidrasi sedang. Penggunaan PPC dalam beton berkekuatan awal tinggi merupakan penelitian awal yang dilakukan penulis, yang bertujuan memanfaatkan material lokal.

Kualitas PPC dibandingkan dengan Semen Portland tipe III, OPC, dan RSC dalam lingkup kuat tekan awal tinggi memang lebih lemah, yang diakibatkan oleh rendahnya kandungan C_3S dalam PPC. Namun, PPC digunakan dengan alasan dampak pada lingkungan akibat banyaknya emisi CO_2 yang dilepaskan untuk menghasilkan klinker OPC. Sehingga saat ini semen PPC banyak dijual di pasaran dan lebih mudah untuk didapatkan serta digunakan untuk masyarakat.

Berikut merupakan hasil kuat tekan dan umur beton yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan Portland Pozzolan Cement (PPC) :

Tabel 2.11. Kuat tekan beton dan umur beton yang dihasilkan dengan menggunakan PPC

Penelitian oleh	Kuat tekan	Umur
Yasin dan Suharso 2016	20,93 MPa	24 Jam

Sumber : Yasin dan Suharso, 2016

Berikut merupakan tabel untuk mengukur kualitas semen yang digunakan dalam beton berkekuatan awal tinggi berdasarkan hasil analisa terhadap penelitian sebelumnya yang dijelaskan diatas :

Tabel 2.12. Kualitas beberapa tipe semen untuk beton berkekuatan awal tinggi berdasarkan beberapa parameter

Parameter	Tipe Semen			
	Tipe III	Tipe I	RSC	PPC
Kuat tekan awal	■■■	■■□	■■■	■□□
Waktu yang diperlukan	■■■	■■□	■■■	■□□

Tabel 2.14. Data Konten Semen yang digunakan dalam beberapa proyek pembuatan beton mutu tinggi

Proyek	Mutu beton (MPa)	Konten Semen (Kg/m ³)
ENS, Cachan Prancis	80	449
LCPC University of Sher Brooke Canada	120	505
Bridge PLN, ASG	75	424
Arche De La Depense	60	425
Pretviset Bridge	86	430
Hassan II's Mosque in cassablanka	95	465
Kwang Tong by pass, Bridge	80	500
Two Union Square, Seattle	119	555
Lab. Beton ITS	100	578,25
Lab. Beton ITS	90	589,24
Tipikal Campuran beton di Prancis	89,55	584,73
Beton PPC PT. Semen Gresik	41,5	487
Rata-rata	86,34	499,35
Range Semen Konten (Kg/m³)	424 – 589,24	

Sumber : Buku Teknologi Beton Dalam Praktek (Subakti, 2012)

Dari data diatas, telah dijelaskan bahwa range konten semen untuk beton dengan mutu tinggi dan sangat tinggi pada aplikasi di lapangan berkisar 424 Kg/m³ hingga 589,25 Kg/m³.

Berikut merupakan level konten semen yang digunakan pada penelitian sebelumnya tentang beton berkekuatan awal tinggi :

Tabel 2.15. Level Konten Semen pada Beton Berkekuatan Awal Tinggi

Penelitian oleh	Mutu beton umur 24 Jam (MPa)	Konten Semen (Kg/m ³)	Level Semen Konten
SHRP 1993	39	522	High
FHA 2001	Min 13,5	410	High
PT. Semen Indonesia 2015	66,39	740	Very High
Yasin dan Suharso 2016	20,93	535	High

Berdasarkan data tersebut, beton berkekuatan awal tinggi menggunakan faktor air semen dengan klasifikasi high hingga very high.

2.3.4 Admixture

Beton berkekuatan awal tinggi memerlukan sekecil mungkin faktor air semen agar mendapatkan kuat tekan yang tinggi. Namun, jika faktor air semen kecil maka beton akan sulit dikerjakan apabila hanya mengandalkan workabilitas pada air saja. Oleh karena itu diperkenalkan admixture kimia untuk mengendalikan waktu pengerasan, mereduksi kebutuhan air, menambah kemudahan penggeraan beton (meningkatkan slump), dan sebagainya.

Dalam pembuatan beton berkekuatan awal tinggi terdapat beberapa jenis admixture yang digunakan, yaitu : Accelerating and Water Reducing Admixture dan High Range Water Reducing Admixture. Berikut merupakan spesifikasinya:

Tabel 2.18. Tipikal admixture kimia dalam beton berkekuatan awal tinggi

Admixture	Fungsi	Berbasis	Tipe
Accelerating admixture and Water Reducing	1. Mempercepat waktu hidrasi dari semen 2. mengurangi kebutuhan air 5 % -10%	Calcium Chlorida	E (Generasi 1)
		Alumunium Chlorida	
		Natrium Sulfat	
		Alumunium Sulfat	
		Calcium Nitrit	
High Range Water Reducing	1. Mempercepat waktu hidrasi dari semen 2. mengurangi kebutuhan air 20 % untuk Generasi 2 dan 40% Generasi 3	Ligno Sulphonat	F (Generasi 2)
		Gluconate	
		Naphtalene Sulphonat	
		Melamine	
		Vinyl Copolymers	F (Generasi 3)
		Polycarboxylate Ether	
		Modifed Polycarboxylate	

Sumber : Portland Cement Association, 1994 & Sika Concrete Handbook, 2005

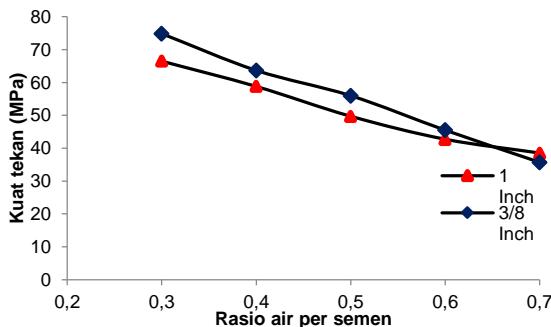
yang direkomendasikan oleh Portland Cement Association. Kuat tekan awal tertinggi dicapai oleh campuran Rapid Strength Concrete PT. Semen Indonesia sebesar 63,69 dengan FAS 0,2 (konten semen = 740 Kg/m³) menggunakan admixture jenis High Range Water Reducing Admixture berbasis Polycarboxylate Ether (HRWR generasi 3).

2.4 Material Lokal

Dalam pembuatan beton berkekuatan awal tinggi khususnya di Indonesia, material yang digunakan merupakan material berkualitas tinggi. Salah satu contohnya ialah, pembuatan Rapid Strength Concrete. Material yang digunakan ialah: pasir Lumajang sebagai agregat halus dan batu pecah Pasuruan (PT. Semen Indonesia, 2015). Tidak hanya digunakan dalam beton berkekuatan awal tinggi saja, namun untuk beton-beton pada umumnya yang menginginkan kualitas tinggi, material tersebut banyak digunakan. Hal tersebut berdampak terhadap ketersediaan material berkualitas tinggi tersebut yang semakin lama semakin langkah dan menyebabkan harga dari material tersebut semakin meningkat.

Salah satu alternatif dalam mengatasi permasalahan tersebut ialah, dengan cara memanfaatkan material lokal. Dalam penelitian ini, penulis berkerjasama dengan PT. Semen Indonesia (persero) Tbk, untuk melakukan penelitian tentang pemanfaatan material lokal dalam beton berkekuatan awal tinggi. Material lokal yang akan di teliti ialah: Batu kapur yang berada di wilayah Kabupaten Gresik dan Kabupaten Tuban, Pasir sungai yang didapatkan dari penambangan pasir di sekitar aliran sungai bengawan solo tepatnya di Kabupaten Bojonegoro, dan material lokal yang terakhir adalah semen portland pozzolan (PPC) produksi PT. Semen Gresik sebagai semen yang umum beredar di pasaran.

Menurut Ahmad tahun 1994, dalam penelitiannya tentang hubungan antara rasio air semen terhadap mutu beton yang dihasilkan oleh dua ukuran batu kapur yang berbeda. Dengan menggunakan ukuran batu kapur 3/8 inch (10 mm) dan 1 inch (25 mm) menghasilkan kuat tekan yang berbeda, batu kapur dengan ukuran 3/8 inch menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari ukuran 1 inch.



Gambar 2.2. Grafik hubungan antara rasio air semen dengan kuat tekan beton menggunakan variasi ukuran batu kapur 1 Inch dan 3/8 Inch (Ahmad, 1994)

Kabupaten Gresik dan Kabupaten Tuban merupakan daerah yang memiliki potensi hasil pertambangan batu kapur yang cukup besar berkisar $\pm 1.259.438.298 \text{ m}^3$. Pemanfaatan batu kapur sebagai agregat di Kabupaten Gresik dan Kabupaten Tuban kebanyakan dijual dalam bentuk batu kapur kotak untuk pondasi, batu kapur dinding, serbuk kapur, serta bahan baku semen Portland. Daerah Kabupaten Wonogiri memanfaatkan batu kapur yang keras biasa digunakan untuk pondasi rumah hal tersebut juga dapat di jumpai di daerah-daerah lainnya yang memiliki sumberdaya batu kapur yang melimpah. Selain sebagai batu pondasi, batu kapur keras dimanfaatkan untuk agregat kasar pada bangunan rumah sederhana, bis beton, dan saluran air. Hasil bangunan yang menggunakan pondasi batu kapur gamping ini, hingga beberapa tahun ternyata masih nampak kokoh. Hal itu



Gambar 2.5. Aktifitas Penambangan di Gunung Kapur Sekapuk Gresik
(Dokumentasi Pribadi, 2016)



Gambar 2.6. Aktifitas Penambangan di Gunung Kapur Kerek Tuban
(Merdeka.com, 2013)



Gambar 2.9. Pemanfaatan sebagai Material Penyusun Bis Beton di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016)



Gambar 2.10. Pemanfaatan sebagai material penyusun saluran air di Kecamatan Merakurak Kabupaten Tuban (Dokumentasi Pribadi, 2016)

Parameter	Jenis Pasir Sungai		
	Lumajang	Brantas	Bengawan Solo
Aplikasi	Agregat halus pada Beton normal – mutu tinggi	Agregat halus pada Beton normal	Campuran Agregat halus pada Beton normal dan pasangan batu
Ketersediaan	Cukup banyak namun sulit didapatkan	Cukup banyak beredar di pasaran	Cukup banyak beredar di pasaran
Harga	Rp. 222.000	Rp. 177.000	Rp. 127.000

Sumber : Data Uji Material Kampus ITS Manyar & Survey Toko Material

Pada penelitian ini dipilih agregat halus berupa pasir sungai Bengawan Solo sebagai material lokal, karena berdekatan dengan material penyusun beton lainnya dalam penelitian ini yang dapatkan di beberapa kawasan pantai utara Jawa Timur yaitu Tuban, Bojonegoro dan Gresik. Selain alasan tersebut, dalam penelitian ini juga dimaksutkan untuk mengetahui kualitas pasir sungai Bengawan Solo dalam beton berkekuatan awal tinggi yang sebelumnya hanya dipakai dalam campuran agregat halus dalam beton normal dan sebagai pasir pasangan batu pada bangunan.

Berikut merupakan lokasi tambang pasir sungai Bengawan Solo di daerah Kabupaten Bojonegoro, beserta pemanfaatan yang telah dilakukan :

Tabel 2.24. Detail Lokasi Penambangan pasir sungai bengawan solo di daerah Bojonegoro

Tambang pasir	Lokasi	koordinat
Malo	Kecamatan Malo, Kabupaten Bojonegoro	7°06'40.3"S 111°43'41.0"E
Kalitudu	Kecamatan Kalitudu, Kabupaten Bojonegoro	7°07'25.2"S 111°45'35.8"E

Sumber : Koran Tempo 2014 dan Google Maps



Gambar 2.15. Aktivitas penambangan pasir sungai bengawan solo di Kabupaten Bojonegoro (Antara news, 2013)

2.4.3 Semen Portland Pozzolan

PPC Merupakan semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan (SNI 15-0302-2004). Digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti : jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi, dan fondasi pelat penuh (PT. Semen Indonesia, 2013).

Kualitas PPC dibandingkan dengan Semen Portland tipe III, OPC, dan RSC dalam lingkup kuat tekan awal tinggi memang lebih lemah, yang diakibatkan oleh rendahnya kandungan C_3S dalam PPC. Namun, PPC digunakan dengan

Jenis Pengujian	SNI 15-0302-2004	Hasil Pengujian
	IP-U	
Kuat tekan :		
- Umur 3 hari (kg/cm^2)	≥ 125	203
- Umur 7 hari (kg/cm^2)	≥ 200	272
- Umur 28 hari (kg/cm^2)	≥ 250	371
Pengikatan Semen (False Set) :		
-Penetrasii Akhir (%)		68,87
Panas Hidrasi :		
- Umur 3 hari (kal/g)		64,21
- Umur 7 hari (kal/g)		76,83
Berat Jenis (T/m^3)		3,08

Sumber : PT. Semen Gresik, 2016

Berikut merupakan lokasi pabrik produksi PT. Semen Gresik di Kabupaten Tuban dan Kabupaten Gresik beserta pengaplikasian produk PPC sebagai material bahan bangunan :

Tabel 2.26. Detail Lokasi Pabrik semen PT. Semen Gresik di Gresik dan Tuban

Pabrik Semen	Lokasi	koordinat
Gresik	Kecamatan Gresik, Kabupaten Gresik	7°10'21.1"S 112°38'56.9"E
Tuban	Kecamatan Kerek Kabupaten Tuban	6°52'08.1"S 111°54'42.3"E

Sumber: Hasil Survey Yasin dan Suharso, 2016 dan Google Maps



Gambar 2.16. Lokasi Pabrik Semen PT. Semen Gresik di Kecamatan Gresik Kabupaten Gresik (*Google Maps*)



Gambar 2.19. Aktifitas Pengemasan Produk Semen PPC di Pabrik Tuban PT. Semen Gresik (Merdeka.com, 2013)

2.5 High Range Water Reducing Admixture

High Range Water Reducer (HRWR), merupakan bahan tambahan kimia Tipe F (ASTM C 494-82) yang digunakan untuk mengurangi air dalam jumlah cukup besar yaitu 20% - 40% (Subakti, 2012). Hal tersebut mengakibatkan faktor air semen kecil, berkisar $\leq 0,3$ hingga $< 0,25$, sehingga nilai kuat tekan beton mencapai level high hingga ultra high strength concrete (Portland Cement Association, 1994). Selain meningkatkan kuat tekan, HRWR juga menjaga konsistensi kelecahan dari campuran beton.

HRWR diserap oleh partikel-partikel semen dan terjadi gaya tolak menolak antar partikel semen dan menghasilkan penyebaran gel kalsium silikat hidrat (Gel C-S-H) dalam butiran semen secara merata. Hal tersebut memberikan workabilitas yang besar dari pada admixture kimia tipe A yaitu *water reducer* normal (Subakti, 2012).

2.6.2 Mutu Beton Berkekuatan awal tinggi

Percepatan umur beton, tentu harus berhubungan dengan percepatan mutu beton yang dihasilkan. Untuk pengaplikasian dalam elemen struktur, mutu yang harus dicapai ialah sebagai berikut :

Tabel 2.27. Klasifikasi Mutu Beton dan Aplikasinya

Kelas Mutu	f'_c (MPa)	σ_{bk}' (Kg/cm ²)	Aplikasi Beton
Struktural Mutu Tinggi	41 – 65	K500-K800	Elemen Struktur Beton Prategang
Struktural Mutu Sedang	20 – 40	K250- K450	Elemen Struktur Beton bertulang
Non Struktural	10 – 20	K125- K250	Elemen Non Struktural

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum, 2007

2.7 Desain Campuran Beton

Desain campuran beton merupakan proses memperhitungkan proporsi bahan dalam proporsi yang tepat. Campuran beton berkekuatan awal tinggi berbeda dari beton pada umumnya karena beberapa alasan berikut :

- Rasio air terhadap bahan bersifat semen (Faktor Air Semen) yang sangat rendah
- Semen konten yang tinggi apabila digunakan metode mix design yang normal
- Nilai Slump atau faktor pemasakan bisa disesuaikan menggunakan *High Range Water Reducing Admixture* (HRWR) tanpa mengubah dengan cara menambahkan kadar air.

Dalam penelitian beton berkekuatan awal tinggi dengan pemanfaatan material lokal, penulis menggunakan metode desain campuran berdasarkan IS 10262 (Indian Standar) yang dimodifikasi oleh Khumbar dan Murnal pada tahun 2013.

Tabel 2.28. Jenis pengujian material dan standar yang digunakan

No.	Pengujian	Standar acuan
1.	Berat Jenis Agregat Agregat Halus	ASTM C 128-93
2.	Berat Jenis Agregat Kasar	ASTM C 127-88
3.	Kadar Air Agregat Halus	ASTM C 128-93
4.	Kadar Air Agregat Kasar	ASTM C 127-88
5.	Penyerapan Agregat Halus	ASTM C 566-89
6.	Penyerapan Agregat Kasar	ASTM C 566-89
7.	Berat Volume Agregat halus	ASTM C 29/C 29 M – 91
8.	Berat Volume Agregat kasar	ASTM C 29/C 29 M – 91
9.	Kadar lumpur agregat halus	ASTM C 117-03
10.	Kadar lumpur agregat kasar	ASTM C 117-03
11.	Kadar organik agregat halus	ASTM C 40-99
12.	Abrasi agregat kasar	ASTM C 131-01

b. Langkah 2 : Menentukkan rasio air terhadap bahan bersifat semen (faktor air semen atau FAS)

Nilai faktor air semen (FAS) yang ditentukan oleh penulis sebesar 0,2. Nilai tersebut digunakan berdasarkan alasan berikut :

- b.1 Mengacu pada tabel klasifikasi nilai faktor air semen untuk beton berkekuatan sangat tinggi (Lihat tabel 2.16).
- b.2 Dengan menggunakan HRWR, maka dengan $FAS < 0,3$ masih dapat dikerjakan untuk menghasilkan mutu setinggi mungkin.
- b.3 Kualitas material penyusun penelitian yang tidak umum digunakan dan memiliki kualitas yang lebih rendah dari material yang digunakan dalam penelitian beton sejenis sebelumnya, maka dengan $FAS < 0,3$ diharapkan membantu meningkatkan mutu beton.

c. Langkah 3 : Menentukan kadar bahan bersifat semen

Kadar semen yang digunakan mengacu pada kisaran nilai konten semen untuk beton mutu tinggi, yaitu $400 - 600 \text{ Kg/m}^3$

Keterangan,

FAS : Faktor Air Semen

Kadar Air : Berat air dalam Kg/m³

Kadar Semen : Berat Semen dalam Kg/m³

f. Langkah 6 : Menghitung prosentase pembagian agregat kasar dan agregat halus

Dalam menentukan proporsi agregat kasar dan agregat halus, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu :

f.1 Melakukan hasil uji analisa gradasi agregat kasar dan agregat halus untuk dianalisa dalam perhitungan agregat gabungan

f.2 Dalam analisa agregat gabungan terdapat dua metode yang harus digunakan yaitu : metode matematik dan metode grafik kedua langkah diatas diatur dalam SNI 2834-2000.

Dari hasil perhitungan diatas akan dihasilkan berapa persen agregat kasar dan persen agregat halus dalam 100% kadar agregat gabungan.

g. Langkah 7 : Menghitung seluruh kebutuhan material penyusun beton dengan metode volume absolut

Perhitungan campuran per satuan volume pada beton, akan dijelaskan sebagai berikut :

g.1 Volume beton (a) = 1m³

$$\text{g.2 Volume semen (b)} = \frac{\text{masa semen}}{\text{berat jenis semen}} \times \frac{1}{1000} \dots\dots\dots (3)$$

mengembangkan kekuatan, daya tahan dan karakteristik mekanis lainnya pada beton tersebut (Raheem et al., 2013).

Sejumlah teknik curing dapat diterapkan, namun tergantung pada berbagai faktor yang harus dipertimbangkan perihal kondisi lokasi atau metode konstruksi. Berikut beberapa teknik curing menurut Raheem *et al* (2013) :

1. *Water Submerged Curing (WSC)*

Merendam benda uji beton dalam air.

2. *Spray Curing (SC)*

Menyemprotkan air pada benda uji dua kali sehari.

3. *Polythene Curing (PC)*

Melapisi setidaknya dua lapis membrane plastik untuk mencegah pergerakan uap air dari benda uji beton.

4. *Burlap Curing (BC)*

Menutupi benda uji beton dengan kain goni dengan kondisi yang basah.

5. *Moist Sand Curing (MSC)*

Mengubur benda uji beton pada tanah dengan kondisi yang lembab dengan membasahi dengan air setiap harinya.

6. *Air Curing (AC)*

Mengekspos atau membiarkan benda uji dirawat dalam kondisi suhu lingkungan di udara.

2.9 Pengujian Beton

Pengujian dalam teknologi beton dibagi menjadi dua bagian, yaitu : pengujian beton dalam kondisi basah atau segar dan pengujian beton dalam kondisi keras. Berikut penjelasannya :

Dalam skala laboratorium berturut dilakukan pada waktu 30, 60 dan 90 menit (Dhakal et al., 2014).

2.9.2 Pengujian benda uji kondisi keras

A. Tes Porositas (*Porosity Test*)

Tes Porositas mengukur besarnya persentase ruang-ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan tetap ada walaupun air yang digunakan telah menguap, sehingga akan mengurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton (Nugroho, 2010).

Prinsip dari pengujian ini adalah, mengukur prosentase perbandingan antara selisih berat benda uji kondisi jenuh dengan berat benda uji kering oven terhadap berat benda uji kondisi jenuh dengan berat benda uji dalam air. Berikut rumus yang digunakan untuk menentukan prosentase porositas pada beton :

$$\text{Porositas} = \frac{Ww - Wd}{Ww - Wh} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

Dimana.

Ww : Berat benda uji kondisi SSD

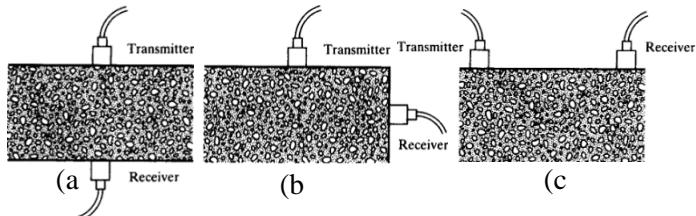
Wd : Berat benda uji kering oven

Wh : Berat Benda uji dalam air

Berat benda uji kondisi SSD yang dimaksud ialah, berat benda uji yang sudah jenuh terisi oleh air pada seluruh

Prinsip kerja alat UPV adalah dengan memproduksi dan menyalurkan gelombang pulsa/denyut kedalam beton, dan merata-rata waktu perjalanan gelombang tersebut dari titik awal ke titik akhir pada beton. Dalam pengujian terdapat

tiga metode yaitu : *Direct transmission*, *semi-direct transmission*, dan *indirect / surface transmission* (Neville, 1987).



Gambar 2.22. Metode penyebaran dan penerimaan gelombang pulsa ultrasonik : (a) *Direct transmission*, (b) *Semi-direct transmission*, and (c) *Indirect atau surface transmission* (Neville, 1987)

Indirect transmission biasanya digunakan untuk mengukur kedalaman retakan, sedangkan *direct transmission* biasa digunakan dalam mengukur tingkat kepadatan beton, estimasi kuat tekan hingga modulus elastisitas beton.

Menurut Malek (2014), nilai kecepatan UPV dapat dirumuskan sebagai berikut :

Dimana.

L = Jarak yang ditempuh gelombang pulsa (meter)

t = Waktu yang dibutuhkan gelombang pulsa (detik)

Karakteristik kualitas beton pada suatu struktur berdasarkan hasil uji UPV, dapat diklasifikasikan

P = Beban ultimate (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Klasifikasi nilai kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 2.27.

BAB III. **METODOLOGI**

3.1 Metode Penelitian

Metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mendapatkan hasil berupa data-data yang akan menegaskan hubungan antara variabel-variabel yang diselidiki. metode penelitian dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium.

Berkerjasama dengan Industri yang terlebih dahulu mengembangkan beton berkekuatan awal tinggi yaitu PT. Semen Indonesia dengan beton *Rapid Strength Concrete*, Program Studi Diploma Teknik Sipil melakukan kerjasama untuk mengembangkan beton berkekuatan awal tinggi yang berbasis material lokal. Oleh karena itu kami selaku mahasiswa yang diberi kesempatan untuk melaksanakan penelitian tersebut menggunakan fasilitas berupa tempat penelitian di Laboratorium Beton Departemen Litbang dan Aplikasi Produk, Gedung PPS (Pusat Penelitian Semen) PT. Semen Indonesia (persero) Tbk.

3.2 Seleksi Variabel

Seleksi variabel merupakan salah satu kegiatan yang sangat penting dalam penelitian, mekanisme penyeleksian variabel ialah menghilangkan variabel-variabel yang dirasa menghasilkan data-data yang memiliki sifat berikut :

1. Variabel yang dibuat tidak gradual yang mengakibatkan data tidak signifikan
2. Variabel telah diketahui hasilnya lebih awal dengan berlandaskan teori-teori dan keadaan di lapangan
3. Variabel tidak dapat dilaksanakan dalam kegiatan eksperimen

4. Variabel terlalu banyak dan tidak sebanding dengan material dan tenaga yang ada

Dari keempat penjelasan diatas, secara garis besar seleksi variabel digunakan untuk memberikan data yang tidak terlalu banyak (praktis), namun juga menghasilkan analisa data yang aplikatif dan menarik untuk di bahas.

Adapun proses seleksi variabel yang dilaksanakan dalam penelitian ini, meliputi : pemilihan material, pemilihan FAS, dan Pemilihan metode mix design. Berikut penjelasanya :

3.2.1 Pemilihan Material Lokal

Seleksi variabel untuk pemilihan material ini berupa pemilihan material lokal yang berada di sekitar daerah Jawa Timur sebagai Provinsi dari ITS dan PT. Semen Indonesia berada. Material tersebut dipilih berdasarkan analisa kuantitatif dan kualitatif.

A. Agregat Halus

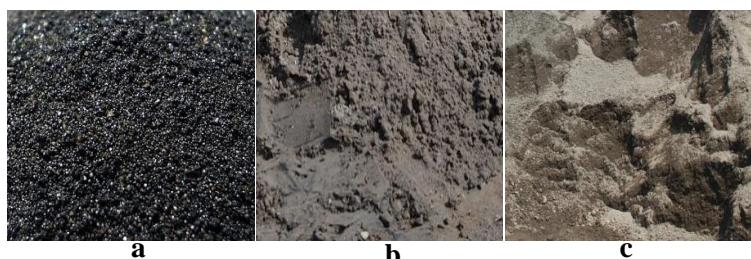
Agregat halus yang diseleksi merupakan agregat yang umum beredar di Jawa Timur, meliputi : Pasir Lumajang, Pasir Brantas Dan Pasir Bengawan Solo.

Tabel 3. 1. Analisa Kuantitatif Dan Kualitatif Praktis Pada Agregat Halus Atau Pasir

Parameter	Jenis Pasir Sungai		
	Lumajang	Brantas	Bengawan Solo
Berat Jenis (T/m ³)	2,7	2,5	2,69
Resapan (%)	1,52	4,67	1,71
Kadar Lumpur (%)	1,64	8,18	7,27
Harga rata-rata (per m ³)	Rp. 222.000	Rp. 177.000	Rp. 127.000

Parameter	Jenis Pasir Sungai		
	Lumajang	Brantas	Bengawan Solo
Lokasi penambangan	Lumajang	Malang, Kediri, Mojokerto	Tuban, Bojonegoro, Lamongan, Gresik
Warna	Hitam Pekat	Abu-abu kecoklatan	Coklat
Aplikasi di Lapangan	Agregat halus pada Beton normal – mutu tinggi	Agregat halus pada Beton normal	Campuran Agregat halus pada Beton normal dan pasangan batu
Ketersediaan jangka panjang	Langka	Cukup	Cukup banyak

Sumber : Data Lab. Material Dan Struktur Gedung Prodi Diploma Sipil ITS, 2016; dan Survey Lapangan, 2016



Gambar 3. 1. Macam-Macam Pasir Yang Umum Digunakan di Jawa Timur : (a) Pasir Lumajang, (b) Pasir Brantas, (c) Pasir Bengawan Solo (Dokumentasi Pribadi, 2016)

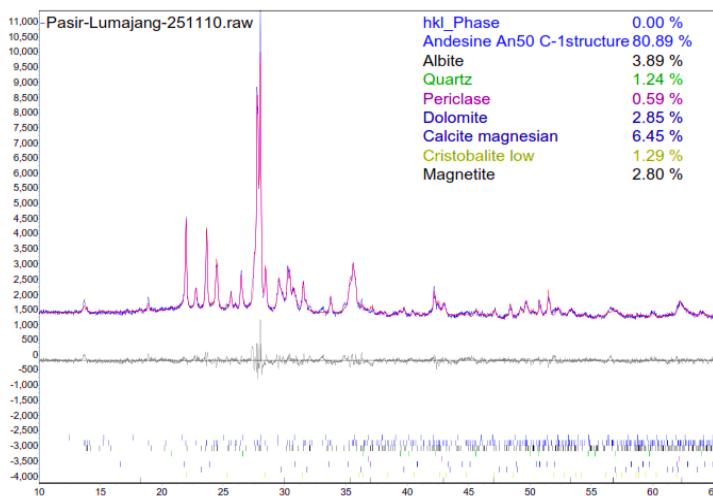
Ditinjau dari beberapa aspek diatas, maka dalam penelitian ini digunakan pasir sungai Bengawan Solo, dikarenakan beberapa alasan berikut :

1. Sifat fisik agregat seperti berat jenis resapan, dan kadar lumpur yang dihasilkan masih cukup memadai
2. Harga yang paling murah dari pasir jenis lainnya dikarenakan pengaplikasian sebelumnya yang hanya sebagai campuran pasir dan sebagai material mortar pasangan batu

3. Selain itu ketersediaan dalam jangka panjang pasir Bengawan Solo yang lebih banyak beredar dan tambang yang terdapat di sepanjang aliran sungai Bengawan Solo.

Berikut akan disajikan hasil analisa XRD (*X Ray Diffraction*) untuk mengetahui kandungan mineral dari beberapa jenis agregat halus terutama pasir sungai, yang nantinya diperlukan ketika disuatu tempat ingin mengaplikasikan beton berkekuatan awal tinggi dengan material agregat halus yang tipikal dengan yang digunakan dalam penelitian ini. hasil pengujian XRD , tersedia sebagai berikut :

A.1 Pasir Lumajang



Gambar 3. 2. Hasil XRD pasir lumajang (Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia)

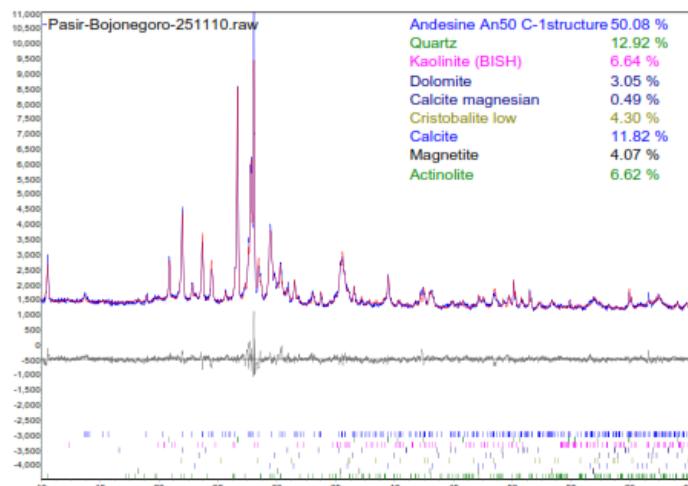
Tabel 3. 2. Hasil XRD berupa kandungan mineral dari pasir Lumajang

Kandungan Mineral	Nilai (%)
Andesine An50 C-1	80,89 %
Albite	3,89 %
Quartz	1,24 %
Periclaste	0,59 %
Dolomite	2,85 %
Calcite magnesia	6,45 %
Cristobalite low	1,29 %
Magnetite	2,80 %

Sumber : Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia

Dari data hasil uji XRD diatas pasir Lumajang termasuk pasir *andesine*, hal tersebut dibuktikan dengan kandungan yang paling tinggi yaitu mineral *andesine* sebesar 80,89 % .

A.2 Pasir Bengawan Solo Bojonegoro



Gambar 3. 3. Pola XRD pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro (Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia)

Tabel 3. 3. Hasil XRD berupa kandungan mineral dari pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro

Kandungan Mineral	Nilai (%)
Andesine An50 C-1	50,08 %
Albite	12,92 %
Quartz	6,64 %
Periclaste	3,05 %
Dolomite	0,49 %
Calcite magnesia	4,30 %
Cristobalite low	11,82 %
Magnetite	4,07 %

Sumber : Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia

Dari data hasil uji XRD diatas pasir Bojonegoro termasuk pasir jenis *andesine*, hal tersebut dibuktikan dengan pasir lumajang memiliki kandungan mineral *andesine* sebesar 50,08 %. Tetapi kualitasnya lebih rendah dari pasir lumajang yang mempunyai kandungan *andesine* sebesar 80,89 %.

B. Agregat Kasar

Agregat kasar yang diseleksi merupakan agregat yang umum beredar di Jawa Timur, meliputi: Batu Pecah Mojokerto, Batu Pecah Pasuruan, dan Batu Ketak (Kalsit) Tuban dan Gresik.

Tabel 3. 4. Analisa Kuantitatif Dan Kualitatif Praktis Pada Agregat Halus Atau Pasir

Parameter	Batu Pecah		
	Mojokerto	Pasuruan	Tuban dan Gresik (ketak/kalsit)
Lokasi penambangan	Mojokerto	Pasuruan	Tuban
Berat Jenis (T/m ³)	2,63	2,53	2,55

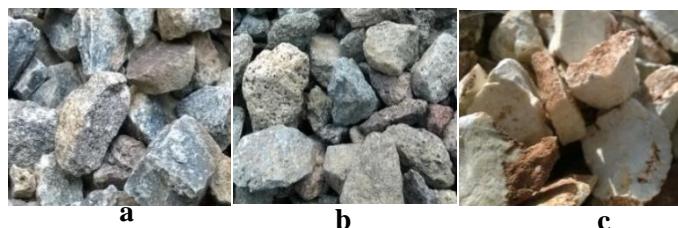
Parameter	Batu Pecah		
	Mojokerto	Pasuruan	Tuban dan Gresik (ketak/kalsit)
Resapan (%)	2,99	4,43	4,24
Kadar Lumpur (%)	0,83	0,95	1,11
Abrasi <i>Los Angles</i> (%)	24	29	32
Harga rata-rata (per m ³)	Rp. 262.000	Rp. 250.000	Rp. 133.000* Rp. 14.000**
Aplikasi di Lapangan	Agregat kasar pada Beton normal – mutu tinggi	Agregat kasar pada Beton normal – mutu tinggi	Agregat Beton Non Struktural dan pasangan batu
Ketersediaan jangka panjang	Langka	Cukup	Banyak

*) Sudah berbentuk batu pecah yang umum dijual di Kec. Merakurak Tuban;
 **) Harga di lokasi tambang gunung Kec. Sekapuk Gresik

Sumber : Data Lab. Material Dan Struktur Gedung Prodi Diploma Sipil ITS, 2016; Data uji material yasin & suharso, 2016; dan Survey Lapangan, 2016

Ditinjau dari beberapa aspek diatas, maka dalam penelitian ini digunakan batu kapur Tuban dan Gresik, dikarenakan beberapa alasan berikut :

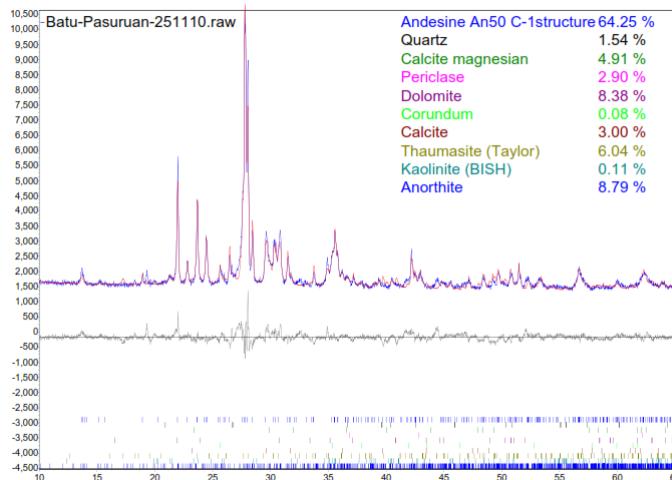
1. Sifat fisik agregat seperti berat jenis resapan, kadar lumpur dan nilai abrasi yang dihasilkan masih cukup memadai untuk beton struktural
2. Harga yang paling murah dari batu pecah jenis lainnya dikarenakan pengaplikasian sebelumnya yang hanya sebagai agregat beton non struktural dan pasangan batu pondasi
3. Potensi kualitas batu ketak di Tuban dan Gresik tidak didukung dengan teknologi penghancur batu yang memadai atau masih konvensional (masih menggunakan palu untuk menghancurkan)
4. Selain itu ketersediaan dalam jangka panjang batu kapur keras ini masih sangat banyak, karena tidak bisa dimanfaatkan untuk industri semen maupun industri pengolahan batu kapur lainnya



Gambar 3. 4. Macam-macam batu pecah yang umum digunakan di Jawa Timur : (a) Batu Pecah Mojokerto (b) Batu Pecah Pasuruan, (c) Batu Kapur Keras (Ketak) Tuban dan Gresik
 (Dokumentasi Pribadi, 2016)

Berikut akan disajikan hasil analisa XRD (*X Ray Diffraction*) untuk mengetahui kandungan mineral dari beberapa jenis agregat kasar, yang nantinya diperlukan ketika disuatu tempat ingin mengaplikasikan beton berkekuatan awal tinggi dengan material agregat kasar yang tipikal dengan yang digunakan dalam penelitian ini. hasil pengujian XRD , tersedia sebagai berikut :

B.1 Batu Pasuruan



Gambar 3. 5. Pola XRD batu pecah Pasuruan (Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia)

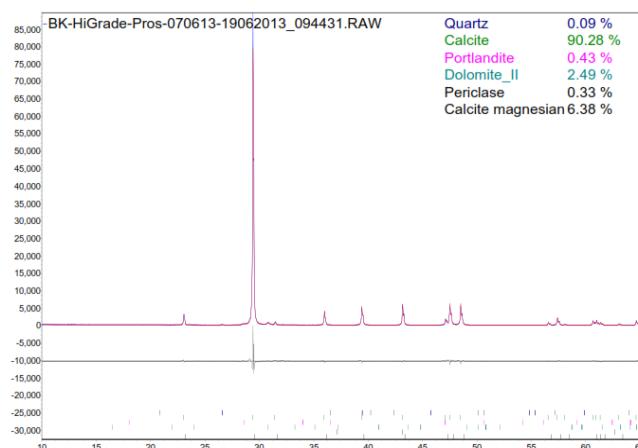
Tabel 3. 5. Hasil XRD bergupa kandungan mineral dari batu pecah Pasuruan

Kandungan Mineral	Nilai (%)
Andesine An50 C-1	64,25 %
Quartz	1,54 %
Calcite magnesian	4,91 %
Periclase	2,90 %
Dolomite	8,38 %
Corundum	0,08 %
Calcite	3,00 %
Thaumasite (Taylor)	6,04 %
Kaolinite (BISH)	0,11 %
Anorthite	8,79 %

Sumber : Lab. Aplikasi Semen PT. Semen Indonesia

Dari data hasil uji XRD diatas batu pecah Pasuruan termasuk jenis batu *andesine*, hal tersebut dibuktikan dengan kandungan yang paling tinggi yaitu mineral *andesine* sebesar 64,25 % .

B.1 Batu Ketak Tuban



Gambar 3. 6. Pola XRD batu ketak Tuban

Tabel 3. 6. Kandungan mineral batu ketak Tuban

Kandungan Mineral	Nilai (%)
Quartz	0,09 %
Calcite	90,28 %
Portlandite	0,43 %
Dolomite II	2,49 %
Periclase	0,33 %
Calcite Magnesian	6,38 %

Dari data hasil uji XRD diatas batu ketak Tuban termasuk jenis batu *calcite*, hal tersebut dibuktikan dengan kandungan yang paling tinggi yaitu mineral *calcitee* sebesar 90,28 % .

C. Semen Portland

Semen Portland yang diseleksi merupakan beberapa jenis semen yang telah digunakan pada beberapa penelitian beton berkekuatan awal tinggi yang telah ada. meliputi: Semen Portland Tipe III, Semen Portland Tipe I, *Rapid Set Cement*, dan Semen Portland Pozzolan (PPC).

Berikut merupakan tabel untuk mengukur kualitas semen yang digunakan dalam beton berkekuatan awal tinggi berdasarkan hasil analisa kualitatif :

Tabel 3. 7. Kulaitas Beberapa Tipe Semen Untuk Beton Berkekuatan Awal Tinggi Berdasarkan Beberapa Parameter

Parameter	Tipe Semen			
	Tipe III	Tipe I	RSC	PPC
Kuat tekan awal	■■■	■■□	■■■	■□□
Waktu yang diperlukan	■■■	■■□	■■■	■□□
Aplikasi dalam Elemen Struktur	■■■	■■■	■■■	■■□
Nilai Ekonomis	■□□	■■□	■□□	■■■

Parameter	Tipe Semen			
	Tipe III	Tipe I	RSC	PPC
Ketersediaan/Prodiksi	■□□	■■□	■□□	■■■
Keterangan : ■■■ (Sangat Baik); ■■□ (Baik), ■□□ (Kurang)				

Sumber : SHRP, 1993; FHA 2001; PT. Semen Indonesia, 2015; Yasin & Suharso, 2016

Ditinjau dari beberapa aspek diatas, maka dalam penelitian ini digunakan Semen Portland Pozzolan PPC, Kualitas PPC dibandingkan dengan Semen Portland tipe III, OPC, dan RSC dalam lingkup kuat tekan awal tinggi memang lebih lemah, yang diakibatkan oleh rendahnya kandungan C₃S dalam PPC. Namun, PPC digunakan dengan alasan :

1. Dampak pada lingkungan akibat banyaknya emisi CO₂ yang dilepaskan untuk menghasilkan klinker PC I, PC III, maupun RSC.
2. PPC dapat digunakan dalam aplikasi bangunan struktural
3. Semen PPC di Jawa Timur diproduksi oleh industri semen terbesar di Indonesia, yaitu PT. Semen Gresik yang lokasi produksinya berada di Gresik dan Tuban
4. PPC lebih mudah didapatkan dari semen Portland jenis lainnya

Untuk detail selengkapnya dapat dilihat pada bab 2.2.4 dan 2.3.1.

D. Admixture

Admixture yang diseleksi terdiri dari beberapa jenis admixture yang telah digunakan pada beberapa penelitian beton berkekuatan awal tinggi sebelumnya. meliputi: Admixture Generasi 1 (*Accelerating And Water Reducing*), Admixture Generasi 2 (*High Range Water Reducing 20%*), dan Admixture Generasi 3 (*High Range Water Reducing*

40%). Untuk detail selengkapnya dapat dilihat pada bab 2.3.3 dan bab 2.2.4 poin 4.

Berikut merupakan tabel untuk mengukur kualitas semen yang digunakan dalam beton berkekuatan awal tinggi berdasarkan hasil analisa kualitatif :

Tabel 3. 8. Kulaitas Beberapa Tipe Admixture Untuk Beton Berkekuatan Awal Tinggi Berdasarkan Beberapa Parameter

Parameter	Tipe Admixture		
	Generasi 1	Generasi 2	Generasi 3
Kemampuan dalam FAS rendah	■□□	■■□	■■■
Meningkatkan Kuat Tekan Pada Umur Awal	■□□	■■□	■■■
Workabilitas	■□□	■■■	■■■
Sifat Non Korosif	■□□	■■■	■■■
Ketersediaan	■■□	■■□	■■■
Nilai Ekonomis	■■■	■■□	■□□

Keterangan : ■■■ (Sangat Baik); ■■□ (Baik), ■□□ (Kurang)

Sumber : Portland Cement Association, 1994; Sika Concrete Handbook, 2005; Survey lapangan, 2016

Ditinjau dari beberapa aspek diatas, maka dalam penelitian ini digunakan admixture generasi 3 yaitu *High range water reducer* (HRWR) atau bahan tambahan untuk mengurangi air dalam jumlah besar (mengurangi air hingga 40%). Adapun alasan pemilihan tersebut, diantaranya:

1. Beton tetap dapat dibuat (*mixing*) dengan FAS yang sangat kecil yaitu $FAS < 0,25$
2. Dengan FAS yang kecil tersebut mutu beton yang dihasilkan meningkat hingga level *Ultra High Strength Concrete* atau beton berkekuatan sangat tinggi
3. Mutu beton pada umur 1 hari dapat ditingkatkan hingga 50%
4. Dengan penambahan dosis HRWR 0,3 – 0,8 % nilai slump beton dapat mencapai workabilitas *soft plastic* atau plastis lembut, dan dengan dosis 0,8 – 2 % nilai

slump beton dapat mencapai workabilitas *Self Compacting Concrete (SCC)* dengan hanya FAS yang kecil

5. Aman untuk struktur beton bertulang dan beton prategang, karena HRWR generasi 3 tersusun atas bahan kimia berbasis : *vinyl copolymer*, *Polycarboxylate Ether*, dan *Modified Polycarboxylate copolymer*. Sehingga tidak mengandung bahan bersifat korosif atau biasa disebut *non chloride*.
6. Admixture Generasi 3 saat ini lebih banyak diproduksi oleh beberapa industri bahan kimia beton seperti PT. Sika Indonesia, PT. BASF Indonesia, dan PT. Normet Indonesia. Terutama PT. Sika Indonesia, salah satu pabriknya terdapat di Kawasan Industri Gresik (KIG) Jawa Timur.

Berdasarkan detail pemilihan material diatas dengan analisa-analisa kuantitatif dan kualitatif yang dilakukan oleh penulis, maka berikut hasil akhir material yang akan digunakan dalam variable penelitian :

Tabel 3. 9. Material Lokal yang Lolos Seleksi Variabel

No.	Nama Material	Lokasi Asal	Fungsi
1.	Pasir Sungai Bengawan Solo	Kab. Bojonegoro	Agregat Halus
2.	Batu Kapur Keras (Ketak)	Kabupaten Gresik dan Tuban	Agregat Kasar
3.	Semen Portland Pozzolan (PPC)	PT. Semen Gresik (Kab.Gresik dan Tuban)	Bahan Pengikat
4.	HRWR berbasis <i>Modified Polycarboxylate Copolymer</i>	PT. Sika Indonesia (Kab. Gresik)	Bahan Tambahan Kimia

3.2.2 Pemilihan FAS

Seleksi variabel untuk pemilihan FAS (Faktor Air Semen) ini berupa penentuan atau penetapan satu nilai FAS yang nantinya dipakai dalam penelitian. Proses penyeleksian FAS yang dilaksanakan berdasarkan beberapa pertimbangan, seperti hasil studi literatur dan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan.

Dalam menentukan FAS yang digunakan, berikut pertimbangannya :

1. Berdasarkan tabel klasifikasi faktor air semen oleh *Portland Cement Association* (1994), faktor air semen (FAS) yang digunakan berkisar : 0,3 – 0,45 (untuk beton mutu tinggi) dan < 0,3 (untuk beton berkekuatan sangat tinggi). Lihat bab 2.3.3.
2. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh SHRP (1993), FHA (2001), dan PT. Semen Indonesia (2015), nilai FAS dan mutu yang dihasilkan sebagai berikut :

Tabel 3. 10. Nilai FAS pada penelitian sebelumnya

Penelitian oleh	FAS	Mutu 24 Jam (MPa)
SHRP	0,32	39
FHA	0,40	Min 13,5
PT. Semen Indonesia	0,20	66,39

Dari tabel diatas, nilai faktor air semen 0,2 yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia memberikan mutu tertinggi pada umur 24 jam.

3. Nilai Faktor air semen 0,2 berdasarkan pertimbagnan pada poin 2, akan dilakukan penelitian pendahuluan untuk membuktikan apakah dapat dikerjakan dengan FAS sebesar 0,2 serta kondisi material lokal yang kami gunakan. Berikut hasilnya :

Tabel 3. 11. Hasil Uji Workabilitas Dengan Slump Secara Kualitatif

Dibuat Tanggal	Dokumentasi Slump	Keterangan
08 -03-16		<ul style="list-style-type: none"> - Volume campuran pre-trial = $0,001 \text{ m}^3$ - Pengujian slump menggunakan kerucut slump kecil untuk (kualitatif) - Beton segar bersifat soft plastic (palastis halus) dan homogen

Sumber : Hasil penelitian pendahuluan yasin dan suharso, 2016

Berdasarkan detail pemilihan nilai FAS dengan hasil kualitatif pada penelitian pendahuluan dilakukan oleh penulis, maka nilai FAS (Faktor Air Semen) yang akan digunakan ialah 0,2.

3.2.3 Pemilihan Konten Semen

Seleksi variabel konten semen ini dilatarbelakangi oleh hasil jumlah semen yang dihasilkan berdasarkan hasil kalkulasi beberapa jenis mix design menunjukkan angka yang sangat tinggi (Konten semen $> 600 \text{ Kg/m}^3$).

Seleksi variabel untuk pemilihan konten semen ini berupa penentuan atau penetapan konten semen yang nantinya dipakai dalam penelitian dengan tetap mengacu pada kisaran konten semen yang telah dihasilkan oleh beberapa desain campuran beton mutu tinggi pada beberapa proyek di dunia (lihat tabel 14. Bab 2.3.2). Dalam menentukan konten semen yang digunakan, berikut pertimbangannya :

1. Mempertimbangkan hasil perhitungan beberapa metode mix design yang menghasilkan konten semen yang tinggi, sebagai berikut :

Tabel 3. 12. Konten semen yang dihasilkan melalui hasil perhitungan beberapa metode mix design

Metode	Konten Semen Hasil Perhitungan (Kg/m ³)
SNI 2834-2000 (DOE)	1025,00
SNI 6468-2000 (ACI 211.1-91)	1028,30
IS Development Khumbar & Murnal 2013	745,00

Sumber : Hasil perhitungan mix design oleh yasin & Suharso, 2016

Dari data diatas, konten semen yang dihasilkan melalui perhitungan dengan ketiga metode tersebut melebihi kisaran nilai 424 Kg/m³ - 589,25 Kg/m³ (konten semen rata-rata yang dihasilkan oleh beberapa data desain campuran beton mutu tinggi). oleh karena itu, penulis tidak melanjutkan menggunakan metode tersebut untuk menentukan konten semen yang dipakai.

2. Melalui data hasil mix design beton K-175 hingga K-500 dengan menggunakan semen PPC yang diteliti oleh PT. Semen Gresik. Kami menggunakan salah satu konten semen padamutu yang paling tinggi yaitu K-500, dengan konten semen 487 Kg/m³.

Tabel 3. 13. Desain campuran beton K-175 hingga K-500 dengan PPC

Mutu Beton (Kg/cm ²)	Bahan / m ³ Beton				FAS
	PPC (Kg)	Water (Liter)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	
175	297	190	745	1143	0,64
225	325	190	716	1144	0,58
300	371	190	680	1134	0,51
350	402	190	642	1141	0,47
450	463	190	603	1119	0,41
500	487	190	577	1121	0,39

Sumber : Brosur Informasi Produk PPC PT. Semen Gresik

Rendahnya konten semen yang dihasilkan pada mix design tersebut disebabkan karena faktor air semen nya juga besar yaitu 0,39. Sedangkan untuk beton berkekuatan awal tinggi membutuhkan FAS < 0,3. Oleh karena itu, perlu diakukan modifikasi terhadap nilai FAS pada mix design tersebut agar dengan semen konten 487 Kg/m³ serta FAS < 0,3 beton dapat dikerjakan.

3. Untuk mengetahui apakah dengan semen konten 487 Kg/m³ beton dapat dikerjakan, maka dilakukan penelitian pendahuluan. Untuk metode mix design menggunakan IS Development Khumbar & Murnal (2013) yang disesuaikan oleh penulis (dimodifikasi) agar FAS dan konten Semen ditentukan di awal. Untuk detail pemilihan mix design akan di bahas lebih detail pada bab 3.2.5. berikut hasil yang didapat pada penelitian pendahuluan tersebut :

Tabel 3. 14. Desain Campuran Untuk Penelitian Pendahuluan Dengan Semen Konten Semen 487 Kg/m³

Bahan	Satuan	Kadar per m ³
Semen	[kg]	487
Agregat Halus	[kg]	581,74
Agregat Kasar	[kg]	1401,41
Air	[kg]	97,40
HRWR	%	0.8 – 2,0
FAS	-	0,2

Sumber : Hasil Peritungan mix design oleh yasin & Suharso, 2016

Tabel 3. 15. Hasil Uji Kualitatif Penelitian Pendahuluan pada Pemilihan Konten Semen

Dibuat Tanggal	Dokumentasi	Keterangan
08 -03-16		<ul style="list-style-type: none"> - Campuran beton dalam penelitian percobaan untuk mengamati secara kualitatif dirancang dengan volume 1 kubus atau 0,001 m³ - Dengan semen konten 487 kg/m³, FAS 0,2 dan dosis SP 2% (maksimum), beton masih belum homogen dan sulit dikerjakan

Dibuat Tanggal	Dokumentasi	Keterangan
10 -03-16		<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan konten semen 10% dari desain awal - Maka, Konten semen = $487 \times 1,1 = 535 \text{ Kg/m}^3$ - Dengan semen konten 487 kg/m³, FAS 0,2 dan dosis SP 2% (maksimum), beton sudah homogen dan dapat dikerjakan - Selain faktor pemilihan konten semen, juga perlu diperhatikan kondisi agregat harus dalam kondisi jenuh kering permukaan atau SSD

Sumber : Hasil penelitian pendahuluan yasin dan suharso, 2016

Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan tersebut, konten semen yang pertama ditetapkan yaitu 535 Kg/m³

4. Berdasarkan beberapa hasil evaluasi pada saat penentuan konten semen yang pertama, kondisi SSD agregat juga mempengaruhi workabilitas dan sifat homogenitas beton agar dapat dikerjakan. Dari kasus konten semen yang dinaikkan 10% dari 487 ke 535 kg/m³ juga dikarenakan kadar air yang sangat kecil yaitu 97,40 Kg/m³. Kadar air mengikuti FAS dan kontens semen yang ditentukan.

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

Maka,

$$\text{Kadar Air} = \text{FAS} \times \text{Kadar Semen}$$

Jadi kadar air benar-benar harus dijaga, jangan sampai kurang karena diserap oleh agregat yang kondisinya tidak SSD. Hal tersebut membuat beton sulit bahkan tidak dapat dikerjakan.

5. Pada pertengahan bulan Maret hingga awal April 2016, penulis diberi kesempatan mewakili ITS untuk mengikuti kompetisi beton berkekuatan awal tinggi yang diadakan oleh *American Concrete Institute (ACI) Kuala Lumpur Chapter* di Malaysia. Terdapat beberapa hal yang dapat saya pelajari dari kompetisi tersebut untuk diterapkan

pada tugas akhir, salah satunya ialah peraturan kompetisi tentang konten semen yang digunakan maksimum 450 Kg/m³, harus memiliki workabilitas *Self Compacting Concrete* (SCC) serta mutu minimum pada umur 24 jam ialah 15 MPa. Dari pengalaman kompetisi tersebut hal terpenting yang dapat dijadikan evaluasi untuk tugas akhir adalah dalam pembuatan beton dengan konten semen 450 Kg/m³ agar tetap dapat dikerjakan ialah : FAS harus dijaga, kondisi Agregat dipastikan SSD, dan Admixture yang digunakan dipastikan dalam kondisi yang aktif.

6. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, konten semen 450 Kg/m³ ditetapkan menjadi ketentuan konten semen yang kedua.

Berdasarkan detail pemilihan nilai konten semen diatas, dengan hasil kualitatif pada penelitian pendahuluan dan didukung dengan pengalaman kompetisi di Malaysia yang dilakukan oleh penulis, maka berikut hasil akhir konten semen yang akan digunakan dalam variable penelitian :

Tabel 3. 16. Hasil Seleksi Variabel Konten Semen

Variabel	Konten Semen (Kg/m ³)
1	450
2	535

3.2.4 Pemilihan Dosis Admixture

Seleksi variabel untuk pemilihan dosis admixture ini berupa penentuan atau penetapan satu nilai dosis admixture yang nantinya dipakai dalam penelitian. Proses penyeleksian dosis admixture yang dilaksanakan berdasarkan beberapa pertimbangan, seperti hasil studi literatur dan berdasarkan hasil penelitian pendahuluan.

Dalam menentukan dosis admixture yang digunakan, berikut pertimbangannya

1. Berdasarkan produk data sheet admixture yang kami gunakan, berikut dosis yang direkomendasikan :

Tabel 3. 17. Dosis yang Direkomendasikan Oleh Product Data Sheet Sika Viscocrete 7150

Nama Produk :	Sika Viscocrete 7150
Tipe Admixture :	High Range Water Reducer
Komposisi Kimia :	Modified Polycarboxylate Copolymer
Dosis :	
- Soft Plastic	0,3 – 0,8 % dari berat semen
- SCC	0,8 – 2,0 % dari berat semen

2. Dari kisaran nilai dosis admixture yang direkomendasikan yaitu 0,3 - 0,8 % dari berat semen, kami melakukan penelitian pendahuluan. Berikut hasilnya :

Tabel 3. 18. Desain Campuran Untuk Penelitian Pendahuluan dosis admixture

Bahan	Satuan	Kadar per m ³
Semen	[kg]	535
Agregat Halus	[kg]	803,54
Agregat Kasar	[kg]	1112,43
Air	[kg]	107,14
HRWR	%	0,3 -2,0
FAS	-	0,2

Sumber : Hasil Perhitungan mix design oleh yasin & Suharso, 2016

Tabel 3. 19. Hasil Uji Kualitatif Penelitian Pendahuluan pada Pemilihan Dosis Admixture

Dibuat Tanggal	Dokumentasi	Keterangan
10 -03-16		Dosis 0,3 – 0,8% beton masih sulit dikerjakan dan kurang homogen

Dibuat Tanggal	Dokumentasi	Keterangan
10 -03-16		Dosis 0,8 – 1,2% beton sudah homogen, dapat dikerjakan dan bersifat <i>soft plastic</i>
10 -03-16		Dosis 1,2 – 2% beton sangat mudah dikerjakan karena bersifat <i>self compacting concrete (SCC)</i>

Berdasarkan detail pemilihan dosis admixture diatas, dengan hasil kualitatif pada penelitian pendahuluan yang dilakukan oleh penulis, maka dosis yang akan digunakan ialah 0,8 – 1,2% dari berat semen. Digunakan kisaran karena tidak efektif dan hasilnya tidak signifikan jika dosis ditetapkan tunggal dan dibuat variabel. Sedangkan penelitian fokus pada sifat beton *soft plastic*.

3.2.5 Pemilihan Komposisi Agregat Halus dan Agregat Kasar

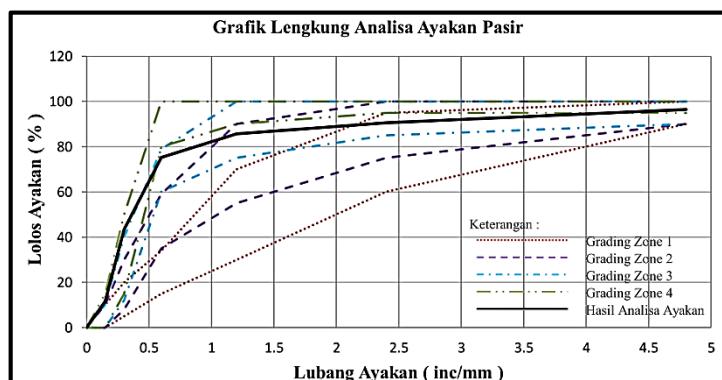
Seleksi pemilihan komposisi agregat halus dan agregat kasar ini dimaksudkan untuk memperoleh nilai perbandingan campuran antara agregat halus dengan kasar dalam menghasilkan gradasi agregat campuran yang memenuhi syarat, selain itu pula perbandingan tersebut harus dibuktikan kualitasnya melalui hasil penelitian pendahuluan, karena penentuan komposisi tersebut berpengaruh terhadap kepadatan dan homogenitas beton.

Berikut merupakan pertimbangan dalam pemilihan perbandingan agregat halus dan agregat kasar :

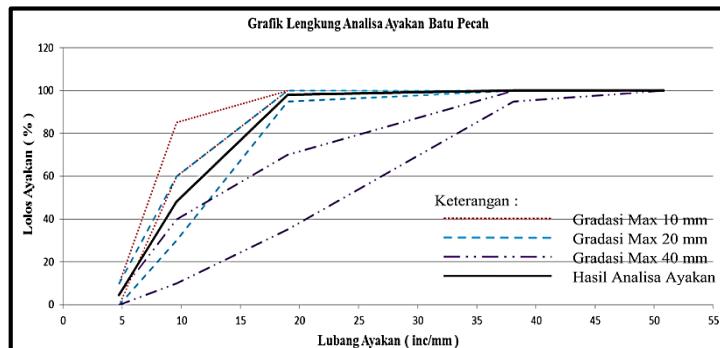
- Dalam hasil uji gradasi agregat halus dan kasar, masing-masing diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3. 20 Hasil analisa gradasi agregat

Lubang Ayakan inc/mm	A. Halus E% lolos	A.Kasar E% lolos
1 1/2 "	100,00	100,00
3/4 "	100,00	98,13
3/8 "	100,00	48,13
4,76	96,40	4,69
2,38	90,60	0,00
1,19	85,60	0,00
0,59	75,30	0,00
0,297	43,50	0,00
0,149	11,50	0,00
0	0,00	0,00
FM	3	7,5
Zona	3	Max. 20 mm



Gambar 3. 7. Grafik analisa gradasi agregat halus



Gambar 3. 8. Grafik analisa gradasi agregat kasar

Dari data diatas akan diolah untuk analisa gradasi agregat campuran menggunakan metode analitis/matematis dan grafis.

2. Berdasarkan hasil analisa gradasi agregat campuran metode analitis/mataematis, berikut komposisi yang dihasilkan :
 - 2.a Ukuran maksimum agregat = 20 mm (hasil analisa gradasi agregat)
 - 2.b Dalam SNI 2834-2000, telah diatur batas atas dan batas bawah agregat gabungan. Untuk ukuran agregat maksimum 20 mm, berikut batas atas dan batas bawah yang disyaratkan :

Tabel 3. 21. Batas atas dan batas bawah gradasi agregat campuran untuk ukuran agregat maksimum 20 mm

Lubang Ayakan inc/mm	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
3/4 "	100	100
3/8 "	45	75
4,76	30	48
2,38	23	42
1,19	16	34
0,59	9	27
0,297	2	11,9
0,149	0	4

2.c Persamaan 1 :

Ukuran ayakan $3/8"$ = 9,53 mm

Batas atas : 75%

Batas bawah : 45%

$$\text{Persamaan : } \frac{75+45}{2} = 100 C1 + 48,13 C2$$

2.d Persamaan 2 :

Ukuran ayakan 0,59 mm

Batas atas : 27%

Batas bawah : 9%

$$\text{Persamaan : } \frac{27+9}{2} = 75,3 C1 + 0,00 C2$$

2.e Eliminasi substitusi persamaan 1 dan persamaan 2 :

$$60 = 100 C1 + 48,13 C2 | \times 75,30$$

$$18 = 75,30 C1 + 0,00 C2 | \times 100,00$$

$$4518 = 7530 C1 + 3623,81 C2$$

$$\underline{1800 = 7530 C1} \quad -$$

$$2718 = 3623,81 C2$$

$$C2 = 0,75$$

$$C2 = 75\%$$

$$C1 + C2 = 1$$

$$C1 + 0,75 = 1$$

$$C1 = 0,25$$

$$C1 = 25\%$$

2.f Komposisi agregat berdasarkan hasil perhitungan analitis/matematis :

Agregat Halus : 25%

Agregat Kasar : 75%

Dari perhitungan analitis/matematis diperoleh komposisi agregat halus sebesar 25% dan agregat kasar sebesar 75%. Dari hasil analitis/matematis tersebut akan di klarifikasi dengan metode grafis untuk mengetahui apakah dengna komposisi tersebut, juga memenuhi syarat pada metode grafis.

3. Berdasarkan hasil analisa gradasi agregat gabungan metode grafis, berikut komposisi yang dihasilkan :

- 3.a Membuat tabel untuk pembuatan grafis sebagai berikut :

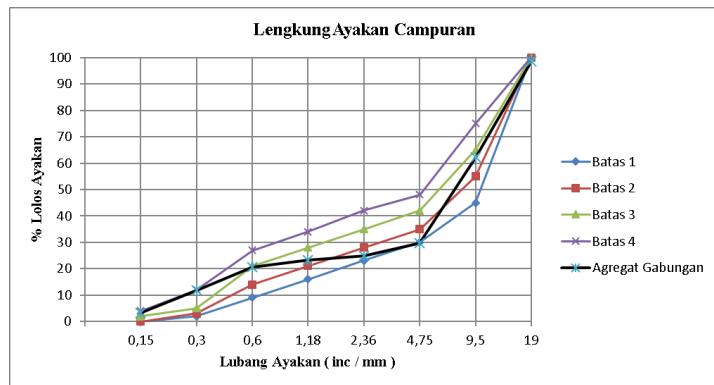
Untuk campuran

25% A. Halus : 75% A. Kasar, menghasilkan data sebagai berikut :

Tabel 3. 22. Hasil analisa ayakan pasir 25 % dan batu pecah 75 %

Lubang Ayakan inc/mm	A. Halus E% tertahan	A. KAsar E% tertahan	Campuran A. Halus dan A. Kasar		E Gabungan % Tertahan	E Gabungan % Lolos
			A. halus (%)	A. Kasar (%)		
			25	75		
1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	0,00	1,88	0,00	1,41	1,41	98,59
3/8 "	0,00	51,88	0,00	38,91	38,91	61,09
4,76	3,59	95,31	0,90	71,48	72,38	27,62
2,38	9,39	100,00	2,35	75,00	77,35	22,65
1,19	14,40	100,00	3,60	75,00	78,60	21,40
0,59	24,72	100,00	6,18	75,00	81,18	18,82
0,297	56,54	100,00	14,14	75,00	89,14	10,87
0,149	88,47	100,00	22,12	75,00	97,12	2,88
0	100,00	100,00	25,00	75,00	100,00	0,00
Jumlah	297,11	749,06		Jumlah	636,07	
Fkr	2,97	7,49		Fkr Gabungan	6,36	

- 3.b. dari tabel dia tas, diproses menjadi grafik lengkung gradasi agregat gabungan sebagai berikut



Gambar 3. 9. Lengkung gradasi agregat gabungan A.
Halus 25% : A. Kasar 75%

- Dari hasil analisa grafis agregat gabungan 25% A. Halus dan 75% A. Kasar, kami melakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui apakah campuran dapat dikerjakan dan homogen dengan perbandingan tersebut. berikut hasil yang didapatkan :

Tabel 3. 23. Hasil penelitian pendahuluan terhadap perbandingan 25% agregat halus dan 75% agregat kasar

Dibuat Tanggal	Dokumentasi	Keterangan
08 -03-16		Dengan perbandingan 25% A. Halus dan 75% A. Kasar, beton masih belum homogen dan tampak kadar agregat kasar terlalu banyak dari akregat halus

Setelah dilakukan penelitian pendahuluan dengan komposisi campuran pasir 25 % dan kerikil 75 % beton masih sulit dikerjakan dan kurang homogen

5. Mengubah gradasi agregat campuran karena hasil penelitian pendahuluan masih sulit homogen, oleh karena itu perlu mengubah komposisi perbandingan agregat halus dan agregat kasar.

- 5.a Membuat tabel untuk pembuatan grafis sebagai berikut :

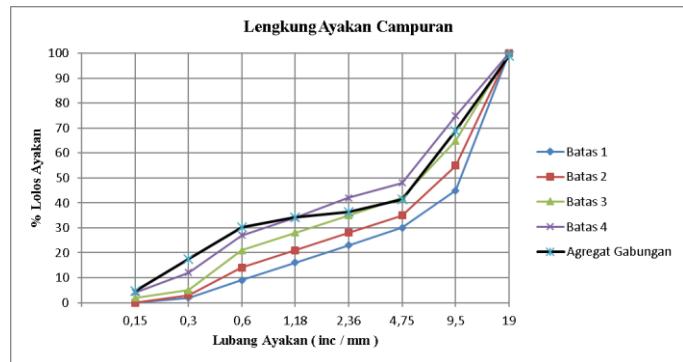
Untuk campuran :

40% A. Halus : 60% A. Kasar, menghasilkan data sebagai berikut :

Tabel 3. 24. Hasil analisa ayakan pasir 40 % dan batu pecah 60 %

Lubang Ayakan inc/mm	Pasir E% tertahan	B.Pecah E% tertahan	Campuran Pasir dan Batu Pecah		E Gabungan % Tertahan	E Gabungan% Lolos
			Pasir (%)	Batu Pecah (%)		
			40	60		
1 1/2 "	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	0,00	1,88	0,00	1,13	1,13	98,88
3/8 "	0,00	51,88	0,00	31,13	31,13	68,88
4,76	3,59	95,31	1,44	57,19	58,62	41,38
2,38	9,39	100,00	3,76	60,00	63,76	36,24
1,19	14,40	100,00	5,76	60,00	65,76	34,24
0,59	24,72	100,00	9,89	60,00	69,89	30,11
0,297	56,54	100,00	22,62	60,00	82,62	17,38
0,149	88,47	100,00	35,39	60,00	95,39	4,61
0	100,00	100,00	40,00	60,00	100,00	0,00
Jumlah	297,11	749,06		Jumlah	568,28	
Fkr	2,97	7,49		Fkr Gabungan	5,68	

- 5.b. Membuat grafik lengkung ayakan campuran dari perhitungan tabel yang telah dilakukan



Gambar 3. 10. Lengkung gradasi agregat gabungan A.
Halus 40% : A. Kasar 60%

- Dari hasil analisa grafis agregat gabungan 40% A. Halus dan 60% A. Kasar, kami melakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui apakah campuran dapat dikerjakan dan homogen dengan perbandingan tersebut. berikut hasil yang didapatkan :

Tabel 3. 25. Hasil penelitian pendahuluan terhadap perbandingan 25% agregat halus dan 75% agregat kasar

Dibuat Tanggal	Dokumentasi	Keterangan
08 -03-16		Dengan perbandingan 40% A. Halus dan 60% A. Kasar, beton dapat homogen dan tidak menunjukkan tanda agregat kasar terlalu dominan

Dari penelitian pendahuluan yang dilakukan dengan komposisi A. Halus 40 % dan A. Kasar 60 %, beton sudah homogen dan dapat dikerjakan.

3.2.6 Pemilihan Metode Mix Design

Seleksi pemilihan metode mix design ini berupa penentuan atau penetapan satu metode mix design yang akan digunakan dalam penelitian ini. Proses penyeleksian ini berhubungan dengan proses seleksi variable konten semen, yang mana letak permasalahanya ialah pada hasil hasil beberapa metode perhitungan mix design yang konten semen nya terlalu tinggi.

Dalam pemilihan metode mix design, penulis mencoba beberapa metode, yaitu : SNI 2834 2000 / DOE, SNI 6468 2000/ACI 211.1-91, dan IS 10262 modified by Khumbar & Murnal 2013. Berikut rincian singkat perhitungan masing-masing metode mix design dan penjelasan tentang letak permasalahan yang menyebabkan konten semen yang dihasilkan tinggi :

1. SNI 2834-2000/DOE

- **Step 1 : Menentukan nilai kuat tekan**
Pada penelitian ini, nilai kuat tekan tidak ditentukan
- **Step 2 : Menentukan nilai deviasi standar**
Pada penelitian ini, deviasi standar tidak ditentukan
- **Step 3 : Menentukkan nilai tambah margin**
Pada penelitian ini, nilai tambah margin tidak ditentukan
- **Step 4 : Menentukan kekuatan rata-rata yang ditargetkan**
Pada penelitian ini, kekuatan rata-rata tidak ditentukan
- **Step 5 : Menentukan jenis semen**
Pada penelitian ini, Semen yang digunakan PPC PT. Semen Gresik

➤ **Step 6 : Menentukan jenis agregat**

Pada penelitian ini, Agregat kasar menggunakan batu kapur Gresik dan Tuban dan Agregat halus berupa pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro

➤ **Step 7 : Menentukan Faktor Air Semen bebas**

Pada penelitian ini, Faktor air semen bebas ditentukan sebesar 0,2

➤ **Step 8 : Menentukan Faktor Air Semen maksimum**

Pada penelitian ini, Faktor air semen maksimum tidak ditentukan

➤ **Step 9 : Menentukan Slump**

Pada penelitian ini, Nilai Slump tidak ditentukan

➤ **Step 10 : Menentukan ukuran agregat maksimum**

Pada penelitian ini, ukuran agregat maksimum yang digunakan ialah 20 mm (berdasarkan hasil uji materanalisa gradasi agregat)

➤ **Step 11 : Menentukan kadar air bebas**

Kadar air bebas dihitung sesuai pada pasal 4.2.3.5.

$$\text{Kadar air} = \frac{2}{3} \times W_h + \frac{1}{3} \times W_k$$

Dimana,

Wh : perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wb : perkiraan jumlah air untuk agregat kasar
(Tabel 3)

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air} &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\ &= 205 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

➤ **Step 12 : Menentukan kadar semen**

Kadar semen dihitung sesuai pada pasal 5 poin 12.

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air}}{\text{FAS}}$$

Dimana,

$$\text{Kadar air} = 205 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{FAS} = 0,2$$

$$\text{Kadar Semen} = \frac{205}{0,2} = 1025 \text{ Kg/m}^3$$

Dari serangkaian langkah-langkah perhitungan dengan metode SNI 2834-2000 / DOE ini, pada step 11 dan 12 perlu diperhatikan bahwa kadar semen sangat dipengaruhi oleh kadar air dan FAS (Faktor Air Semen). Hal yang menjadi permasalahan ialah, kadar air pada metode ini menggunakan ketentuan yang sudah ditetapkan oleh SNI tersebut atau dapat dikatakan metode ini mengandalkan workabilitas pada air saja (tanpa admixture). Sehingga dengan FAS yang rendah (FAS = 0,2), konten semen yang dihasilkan sangat tinggi yaitu 1025 Kg/m³. Konten semen tersebut melebihi kisaran nilai penggunaan konten semen yang wajar dilapangan untuk beton mutu tinggi yang bernilai 424 – 589,24 kg/m³. Oleh karena itu metode SNI 2834-2000 / DOE ini tidak dapat diteruskan dalam penelitian ini.

2. SNI 6468-2000/ACI 211.1-91

➤ Step 1 : Menentukan nilai slump

Pada penelitian ini, nilai slump tidak ditentukan

➤ Step 2 : Menentukan nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

Pada penelitian ini, niali kuat tekan rata-rata yang ditargetkan tidak ditentukan

➤ Step 3 : Menentukkan ukuran agregat maksimum

Pada penelitian ini, ukuran agregat maksimum yang digunakan ialah 20 mm (berdasarkan hasil uji materanalisa gradasi agregat)

➤ **Step 4: Menghitung estimasi kadar air dan kadar udara**

Kadar udara dan kadar air ditentukan dan dihitung berdasarkan pasal 5.1 poin 4.

Untuk agregat dengan ukuran maksimum 20 mm, maka sesuai dengan tabel 2 pasal 5.1 poin 4. Estimasi pertama kadar air dan kadar udara yang didapat ialah :

Estimasi pertama kadar air = 181 Kg/m³

Kadar udara = 1,5% (untuk beton dengan superplasticizer)

Kadar air dan kadar rongga udara harus dikoreksi berdasarkan persamaan 4 dan 5 pasal 5.1 poin 4.

Kadar air dan kadar rongga udara aktual dihitung sebagai berikut :

Kadar Rongga Udara = 1 –

$$\frac{\text{Berat isi padat kering oven}}{\text{berat jenis relatif (kering)}} \times 100$$

Berdasarkan hasil uji material didapatkan nilai :

Berat isi padat kering oven pasir = 1,6268 T/m³

Berat jenis kering oven pasir = 2,84 T/m³

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Kadar Rongga Udara} &= 1 - \left(\frac{1,6268}{2,84} \right) \times 100\% \\ &= 42,72\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koreksi kadar air, liter/m}^3 &= [V - 35] \times 4,75 \\ &= (42,72 - 35) \times 4,75 \\ &= 36,66 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan air total = Estimasi kadar air +Koreksi kadar air

$$= 181 \text{ Kg/m}^3 + 36,66 \text{ Kg/m}^3$$

$$= 217,66 \text{ Kg/m}^3$$

- **Step 5: Menentukan rasio (w/c+p) atau FAS**
Pada penelitian ini, Faktor air semen bebas ditentukan sebesar 0,2
- **Step 6: Menghitung kebutuhan bahan bersifat semen**
Kebutuhan semen harus dihitung berdasarkan pasal 5.1 poin 6. sebagai berikut :

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{kadar air}}{\text{FAS}}$$

Dimana,

Kadar air = 217,66 Kg/m³

FAS = 0,2

$$\text{Kadar Semen} = \frac{217,66}{0,2} = 1088,3 \text{ Kg/m}^3$$

Dari serangkaian langkah-langkah perhitungan dengan metode SNI 6468-2000/ACI 211.1-91 ini, pada step 5 dan 6 perlu diperhatikan bahwa kadar semen sekali lagi, sangat dipengaruhi oleh kadar air dan FAS (Faktor Air Semen). Hal yang menjadi permasalahan ialah, kebutuhan air total pada metode ini menggunakan ketentuan yang sudah ditetapkan oleh SNI. Sehingga dengan FAS yang rendah (FAS = 0,2), konten semen yang dihasilkan sangat tinggi yaitu 1088,3 Kg/m³. Konten semen tersebut melebihi kisaran nilai penggunaan konten semen yang wajar dilapangan untuk beton mutu tinggi yang bernilai 424 – 589,24 kg/m³. Oleh karena itu metode SNI 6468-2000/ACI 211.1-91 ini tidak dapat diteruskan dalam penelitian ini.

3. IS 10262 modified by Khumbar & Murnal 2013

- **Step 1 : Menetapkan kuat tekan target**
Pada penelitian ini, nilai kuat tekan yang ditargetkan tidak ditentukan

- **Step 2 : Menentukan rasio (w/c+p) atau FAS**
Pada penelitian ini, Faktor air semen bebas ditentukan sebesar 0,2
- **Step 3 : Menentukan kadar bahan bersifat semen**
Kadar semen ditentukan berdasarkan grafik 6.12 pasal 6.3.1.4, dimana terdapat persamaan linear yang ditetapkan yaitu :

$$y = -1665x + 1078$$

Dimana,

y = Kadar bahan bersifat semen

x = Nilai FAS (Faktor Air Semen)

Maka,

$$y = -1665 \times 0,2 + 1078$$

= 745 Kg/m³ (**kadar bahan bersifat semen**)

- **Step 4 : Menentukan kadar air**
Kadar air ditentukan pasal 6.4.7 , dimana terdapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{kadar\ air}{FAS} = Kadar\ semen$$

$$\text{Kadar air} = \text{kadar semen} \times FAS$$

Dimana,

Kadar semen = 745 Kg/m³

FAS = 0,2

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air} &= 745\text{Kg}/\text{m}^3 \times 0,2 \\ &= 149,00\text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Dari serangkaian langkah-langkah perhitungan dengan metode *IS 10262 modified by Khumbar & Murnal 2013* ini, pada step 3 dan 4 perlu diperhatikan bahwa kadar semen ditentukan berdasarkan grafik yang telah ditentukan, dan

kadar air dihitung setelah kadar semen didapatkan. Jadi pada metode ini kadar semen sangat bergantung pada grafik persamaan $y = -1665x + 1078$ dimana FAS merupakan fungsi x pada persamaan tersebut.

Meskipun Konten semen yang dihasilkan masih tinggi yaitu 745 Kg/m^3 lebih dari kisaran nilai $424 - 589,24 \text{ kg/m}^3$, namun metode ini dapat dimodifikasi dengan cara menentukan konten semen berdasarkan nilai yang telah ditentukan pada seleksi variabel konten semen pada penelitian ini, karena konten semen tidak akan bergerak akibat kadar air. Kadar air dihitung setelah konten semen ditentukan.

3.2.7 Rekapitulasi hasil seleksi variabel

1. Material Penyusun

Material lokal yang digunakan pada penelitian ini adalah :

Tabel 3. 26. Material Penyusun Penelitian

No.	Nama Material	Lokasi Asal	Fungsi
1.	Pasir Sungai Bengawan Solo	Kab. Bojonegoro	Agregat Halus
2.	Batu Kapur Keras (Ketak)	Kabupaten Gresik dan Tuban	Agregat Kasar
3.	Semen Portland Pozzolan (PPC)	PT. Semen Gresik (Kab.Gresik dan Tuban)	Bahan Pengikat
4.	HRWR berbasis <i>Modifed Polycarboxylate Copolymer</i>	PT. Sika Indonesia (Kab. Gresik)	Bahan Tambahan Kimia

2. Faktor Air Semen (FAS)

Faktor Air Semen ditetapkan satu nilai, yaitu 0,2.

3. Konten Semen

Konten semen ditetapkan 2 (dua) nilai, sekaligus menjadi varian variabel penelitian .

Tabel 3. 27. Konten Semen Penelitian

Variabel	Konten Semen (Kg/m ³)
1	450
2	535

4. Dosis Admixture

Faktor Air Semen ditetapkan kisaran nilai 0,8 – 1,2 % dari berat semen.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan segala sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk memperoleh informasi tentang apa hal yang diteliti dan untuk ditarik kesimpulanya. Berdasarkan hasil seleksi variabel pada penelitian pendahuluan, berikut merupakan hasil akhir penentuan variabel yang akan digunakan pada penelitian kali ini :

Tabel 3. 28. Variabel Penelitian

Parameter	Satuan	Variabel Campuran Beton	
		KS 450	KS 535
Konten Semen	[Kg/m ³]	450	535
HRWR	[%]	0,8 – 1,2	0,8 – 1,2
FAS	-	0,2	0,2
Material	-	Sesuai pada tabel 3.16.	

Dari variabel yang tercantum pada tabel 3.18, dapat diketahui bahwa penulis ingin mendapatkan informasi, apakah dengan menggunakan seluruh material lokal yang telah terpilih sebagai variabel penelitian, mampu untuk digunakan atau tidak untuk memenuhi persyaratan-persyaratan yang ada. Serta akan mencari informasi nilai konten semen yang optimum diantara kedua variasi tersebut.

3.4 Umur, Pengujian, dan Jumlah benda uji penelitian

3.4.1 Umur pengujian benda uji

Dalam penelitian ini, umur benda uji yang di tetapkan ialah sebagai berikut :

1. **Umur 1 Hari (24 Jam)** : Untuk mengetahui mutu yang dihasilkan pada umur awal
2. **Umur 28 Hari** : Untuk mengetahui mutu yang dihasilkan pada umur akhir (hidrasi beton mencapai 100%)

3.4.2 Pengujian benda uji

Dalam penelitian ini, pengujian benda uji yang akan dilaksanakan ialah sebagai berikut :

1. **Kuat tekan beton** :Untuk mengetahui nilai kuat tekan benda uji
2. **UPV** :Untuk mengetahui kualitas kepadatan beton berdasarkan hasil kecepatan rambatan gelombang pulsa ultrasonik
3. **Tes porositas** :Untuk menetahui kadar rongga udara dalam benda uji

3.4.3 Jumlah benda uji

Setelah mengetahui umur dan macam macam jenis pengujian benda uji, maka dilakukan kalkulasi untuk menentukan jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini. Dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3. 29. Jumlah benda uji penelitian

Variabel	Umur	KT & UPV (Kubus 10x10x10)	Porosity (Kubus 5x5x5)
KS 450	1 hari	3	3
	28 hari	3	3

Variabel	Umur	KT & UPV (Kubus 10x10x10)	Porosity (Kubus 5x5x5)
KS 535	1 hari	3	3
	28 hari	3	3
Jumlah benda uji :		12	12

3.5 Bahan dan Alat Penelitian

3.5.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Agregat Kasar
Agregat kasar yang digunakan berasal dari batu kapur keras yang terdapat di wilayah Gresik dan sekitarnya
2. Agregat Halus
Agregat halus yang digunakan berasal dari pasir Bengawan Solo yang terdapat di wilayah Bojonegoro
3. Air
Air yang digunakan berasal dari air PDAM yang terdapat di Laboratorium Pusat Penelitian Semen Gresik.
4. Semen
Semen yang digunakan adalah *Portland Pozzolan Cement* (PPC).

3.5.2 Alat

a. Peralatan untuk uji material

Tabel 3. 30. Peralatan untuk pengujian material

No.	Nama perlatan	Fungsi
1	Loyang	Tempat prepasarasi material untuk pengujian material yang digunakan pada saat pengujian : Berat Jenis, Kadar Air Penyerapan Air, dan abrasi.

No.	Nama perlatan	Fungsi
2.	Gelas ukur	Digunakan sebagai wadah yang memiliki skala ukuran volume dalam pengujian kandungan lumpur agregat dan kadar organic agregat.
3.	Ember	Tempat untuk menyiapkan agregat yang disiapkan dalam kondisi SSD.
4.	Mould baja dan tongkat rojok	Tempat untuk pengujian berat volume agregat.
5.	Satu set alat analisa ayakan	Mengetahui gradasi butiran agregat.
6.	Timbangan	Untuk mengetahui masa material yang harus digunakan dalam seluruh kegiatan uji material.
7.	Oven	Digunakan untuk menghilangkan kadar air dan berfungsi untuk mengetahui hasil pengujian : berat jenis, kadar air, dan penyerapan air.
8.	Penggaris	Mengukur tinggi kadar lumpur pada
9.	<i>Standart Colour Chart</i> dan larutan NaOH	Mengetahui index kandungan bahan organik yang dihasilkan oleh agregat dengan mencocokkan warna yang timbul dengan alat berupa plat indikator standar warna.
10.	Mould slump dan pemedat kecil	Mengetahui apakah agregat halus sudah dalam kondisi SSD atau tidak

No.	Nama perlatan	Fungsi
11.	Keranjang air	Segarai perlengkapan dalam pengujian berat jenis agregat.
12.	Satu set mesin uji abrasi agregat kasar	Mengetahui prosentase besarnya abrasi dari agregat kasar

b. Peralatan untuk pembuatan benda uji

Tabel 3. 31. Peralatan untuk pembuatan benda uji

No.	Nama perlatan	Fungsi
1	Timbangan	Menimbang material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji beton
2	Ember	Digunakan sebagai wadah untuk preparasi material penyusun beton.
3.	Mesin pengaduk beton	Digunakan untuk mencampur seluruh material penyusun menjadi adonan beton yang homogen .
4.	Sekop	Alat untuk mengaduk secara manual membantu pengadukan masinal, alat untuk memasukkan beton segar ke cetakan, dan sebagai alat penghalus permukaan benda uji pada saat di mould.
5.	Tongkat dan Palu pemadat	Digunakan sebagai alat pematad adonan beton segar pada saat proses pencetakan benda uji

No.	Nama perlatan	Fungsi
6.	Mould cetakan benda uji kubus 10 x 10 x 10 cm	Sebagai acuan atau cetakan pembentuk benda uji yang telah distandartkan oleh peraturan beton yang berlaku

3.6 Standar Penelitian

Untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material penyusun beton maka diperlukan pengujian terhadap material yang digunakan. Baik dalam pengujian material, desain campuran, dan pengujian beton dilakukan dengan mengacu pada standar SNI dan ASTM.

3.6.1 Pengujian Material

Berikut standar yang digunakan dalam pengujian material :

Tabel 3. 32. Standar pengujian material

No.	Pengujian	Standar acuan
1.	Berat Jenis Agregat Agregat Halus	ASTM C 128-93
2.	Berat Jenis Agregat Kasar	ASTM C 127-88
3.	Kadar Air Agregat Halus	ASTM C 128-93
4.	Kadar Air Agregat Kasar	ASTM C 127-88
5.	Penyerapan Agregat Halus	ASTM C 566-89
6.	Penyerapan Agregat Kasar	ASTM C 566-89
7.	Berat Volume Agregat halus	ASTM C 29/C 29 M – 91
8.	Berat Volume Agregat kasar	ASTM C 29/C 29 M – 91
9.	Kadar lumpur agregat halus	ASTM C 117-03
10.	Kadar lumpur agregat kasar	ASTM C 117-03
11.	Kadar organik agregat halus	ASTM C 40-99
12.	Abrasi agregat kasar	ASTM C 131-01

3.6.2 Desain Campuran

Desain campuran beton dihitung dengan metode IS 10262 modified by Khumbar & Murnal 2013 yang disesuaikan oleh penulis.

3.6.3 Pengujian Beton

Berikut standar yang digunakan dalam pengujian beton :

Tabel 3. 33. Standar pengujian beton

No.	Proses pengujian	Standar acuan
1.	<i>Slump Test</i>	ASTM C 143/143M-05a
2.	Pengambilan sampel benda uji skala laboratorium	ASTM C 192/C 192M-06
3.	Tes UPV (<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>)	ASTM C 597-09
4.	Tes Porositas	ASTM C 642
6.	Uji Kuat Tekan	ASTM C 39/C39M-16
7.	Evaluasi mutu beton (data statistik)	ACI 214R-11

3.7 Metodologi pengujian material

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material pembentuk beton. Pengujian dilakukan sesuai dengan standar yang ada. Dalam penelitian ini hanya dilakukan pengujian terhadap agregat halus dan kasar, sedangkan terhadap semen tidak dilakukan pengujian.

3.7.1 Agregat Kasar

Dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat karakteristik dari agregat kasar yang nantinya akan dibutuhkan untuk mix desgin. Pengujian – pengujian yang dilakukan antara lain :

3.7.1.1 Pengujian Kelembapan Kerikil

Kelembaban kerikil bertujuan untuk mengukur kelembaban / kadar air kerikil dengan cara kering. Metode pengujian ini mencakup penentuan persentase kelembaban dan kemampuan agregat dalam penguapan dan pengeringan. Baik kelembaban permukaan maupun penguapan air pada pori – pori agregat. Sebagian agregat mungkin berisi air yang bersifat kimiawi. Air yang terkandung dalam agregat yang bersifat kimiawi tersebut tidak mempunyai kemampuan dalam penguapan dan tidak termasuk dalam persentase yang ditentukan dalam metode tes ini. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada ASTM C-556 (Kelembaban Agregat).

Kelembaban

$$= \frac{(berat\ asli\ objek + cawan) - (berat\ objek + cawan(sudah\ dioven))}{(berat\ objek + cawan(sudah\ dioven))} \times 100\ %$$

Berikut langkah – langkah pengujian kelembapan kerikil :

- a. Peralatan
 1. 2 cawan
 2. Timbangan
 3. Oven
- b. Bahan
 1. Kerikil asli 1000 gr (2 kali)
- c. Prosedur Pengujian
 1. Menimbang berat kedua cawan
 2. Menimbang berat kerikil 1 kg + cawan
 3. Memasukan kerikil 1 kg + cawan, kedalam oven dengan temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam
 4. Setelah 24 jam, mengeluarkan kerikil dan cawan dari oven dan dinginkan
 5. Setelah dingin langsung menimbangnya
 6. Menghitung kelembaban pasir tersebut

Perhitungan Kadar Air

$$\begin{aligned}
 \text{Kerikil Kondisi SSD (A)} &= 1200 \quad \text{gram} \\
 \text{Kerikil Setelah Kering Oven (B)} &= 1169 \quad \text{gram} \\
 \text{Kelembaban} = \frac{A - B}{A} \times 100\% &= \frac{1200 - 1169}{1169,3} \times 100\% \\
 &= 2,626 \quad \%
 \end{aligned}$$

3.7.1.2 Pengujian Berat Jenis Kerikil

Berat jenis kerikil bertujuan untuk mengukur berat jenis kerikil dalam kondisi SSD (kering permukaan). Metode pengujian ini mencakup penentuan kepadatan rata – rata jumlah partikel agregat kasar (tidak termasuk volume rongga antara partikel), kepadatan relative (spesifik gravitasi), dan penyerapan agregat kasar. Tergantung pada prosedur yang digunakan, kepadatan (kg/m^3) (lb/ft^3) dinyatakan sebagai kering oven (*Oven Dry*), kering permukaan (*SSD*), atau kepadatan jelas jenuh. Demikian juga, kepadatan relative (spesifik gravitasi), kuantitas berdimensi, dinyatakan sebagai *Oven Dry*, *SSD*, atau seperti nampak kepadatan relative (jelas spesifik gravitasi). Kepadatan *Oven Dry* dan kepadatan relative *oven dry* ditentukan setelah pengeringan agregat. Kepadatan *SSD*, kepadatan relative *SSD* , dan penyerapan ditentukan setelah perendaman agregat dalam air selama durasi yang ditentukan. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada ASTM C-127 (Metode uji Standar Untuk Kepadatan, Kepadatan Relatif (Spesifik Gravity), dan Penyerapan Agregat Kasar)

Persamaan untuk menghitung berat jenis kerikil :

1. Berat jenis kering oven

$$\text{Berat Jenis Kering Oven} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

dengan :

A adalah berat benda uji kering oven (gram);

- B adalah berat tempat dalam air yang berisi air (gram);
 C adalah berat tempat dalam air dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram);
 S adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).
2. Berat Jenis kondisi jenuh kering permukaan
- $$Berat\ Jenis\ SSD = \frac{S}{(B + S - C)}$$
- dengan :
- B adalah berat tempat dalam air yang berisi air (gram);
 C adalah berat tempat dalam air dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram);
 S adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).
3. Berat Jenis kondisi jenuh kering permukaan
- $$Berat\ Jenis\ Semu = \frac{A}{(B + A - C)}$$
- dengan :
- A adalah berat benda uji kering oven (gram);
 B adalah berat tempat dalam air yang berisi air (gram);
 C adalah berat tempat dalam air dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram);

Berikut langkah – langkah pengujian berat jenis kerikil :

- a. Peralatan
 - 1. Lap Pengering
 - 2. Timbangan digital
 - 3. Oven
 - 4. Ember
 - 5. Keranjang air
- b. Bahan
 - 1. Kerikil 3000 gram
 - 2. Air

c. Prosedur Pengujian

1. Menimbang timba
2. Merendam kerikil 6000 gram dengan air selama 24 jam
3. Mengeringkan kerikil dengan cara mengusap hingga kering pada kerikil yang telah direndam selama 24 jam
4. Menimbang 3000 gram kerikil timbang kerikil yang sudah di usap tersebut
5. Selanjutnya merendam kerikil SSD tersebut ke dalam bak air dengan keranjang air untuk menimbang didalam rendaman air hingga mendapatkan berat kerikil dalam air
6. Setelah itu memasukkan ke data perhitungan lalu menghitung berat jenis kerikil tersebut.
7. Menimbang kerikil sisanya 300 gram yang telah diusap pada langkah ke-3 dan memasukkannya kedalam oven selama 24 jam
8. Menimbang kembali kerikil yang telah di oven dan mencatat hasil berat kerikil tersebut.

Perhitungan Berat Jenis SSD

$$\text{Kerikil Kondisi SSD (A)} = 3000 \text{ gram}$$

$$\text{Kerikil + Tempat Dalam Air (B)} = 2445 \text{ gram}$$

$$\text{Tempat Dalam Air (C)} = 624,1 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{A}}{(\text{A} + \text{C} - \text{B})} = \frac{3000}{(3000 + 624,1 - 2445)}$$

$$= 2,545 \text{ gram / cm}^3$$

Perhitungan Berat Jenis Kering Oven

$$\text{Kerikil Kondisi Kering Oven (A)} = 3000 \text{ gram}$$

$$\text{Kerikil + Tempat Dalam Air (B)} = 2480 \text{ gram}$$

$$\text{Tempat Dalam Air (C)} = 624,1 \text{ gram}$$

$$= \frac{\text{A}}{3000}$$

$$\begin{array}{l} \text{Berat} \\ \text{Jenis} \end{array} \quad (A + C - B) \quad (3000 + 624,1 - 2480) \\ = 2,623 \quad \text{gram / cm}^3$$

Perhitungan Berat Jenis Apparent

$$\text{Kerikil Kondisi SSD} = 3000 \quad \text{gram}$$

$$\begin{array}{l} \text{Kerikil SSD Setelah Kering} \\ \text{Oven (A)} \end{array} = 2878 \quad \text{gram}$$

$$\begin{array}{l} \text{Kerikil + Tempat Dalam} \\ \text{Air (B)} \end{array} = 1821 \quad \text{gram}$$

$$\text{Tempat Dalam Air} = 624,1 \quad \text{gram}$$

$$\begin{array}{l} \text{Berat} \\ \text{Jenis} \end{array} = \frac{A}{(A - B)} = \frac{2877,9}{2878 - 1821} \\ = 2,723 \quad \text{gram / cm}^3$$

3.7.1.3 Pengujian Air Resapan Kerikil

Percobaan ini dilakukan Untuk mengetahui kadar air resapan dalam kerikil yaitu adalah peningkatan massa kerikil akibat air menembus ke dalam pori-pori partikel, selama jangka waktu yang ditentukan, tetapi tidak termasuk air ada permukaan luar dari partikel, dinyatakan sebagai persentase dari massa kering. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada ASTM C-127 (Metodeuji Standar Untuk Kepadatan, Kepadatan Relatif (Spesifik Gravity), dan Penyerapan Agregat Kasar)

Persamaan untuk menghitung air resapan :

$$\text{Air Resapan} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$$

Keterangan :

W_1 = berat agregat SSD (gr)

W_2 = berat agregat oven

Berikut langkah – langkah pengujian air resapan kerikil :

- a. Peralatan
 1. Timbangan
 2. Oven
 3. Ember
 4. Kain lap
 5. Cawan
- b. Bahan
 1. Kerikil
 2. Air
- c. Prosedur Pengujian
 1. Menimbang nampan kerikil
 2. Merendam kerikil selama 24 jam pada satu ember
 3. Mengangkat dan mengeringkan dengan lap atau kain kering sehingga kondisi permukaan kerikil kering (ssd)
 4. Menimbang kerikil dalam kondisi kering sebanyak 3000 gr atau 3 kg
 5. Setelah menimbang memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatute 110°c
 6. Mengambil kerikil didalam oven setelah 24 jam dan menimbang kembali dalam kondisi kering.

Perhitungan Penyerapan

Kerikil Kondisi SSD (A)	=	3000	gram
Kerikil Setelah Kering Oven (B)	=	2878	gram
Resapan = $\frac{A - B}{A} \times 100\%$	=	$\frac{3000 - 2878}{2877,9}$	$\times 100\%$
	=	4,243	%

3.7.1.4 Pengujian Berat Volume Kerikil

Pengujian berat volume bertujuan mengukur berat volume/ isi kerikil, yaitu perbandingan berat kerikil dengan volume

cetakan. Berat volume agregat adalah massa per satuan volume bahan agregat dalam jumlah yang besar , di mana volume termasuk volume partikel itu sendiri dan volume rongga antara partikel. Metode pengujian ini sering digunakan untuk menentukan nilai-nilai berat isi yang diperlukan untuk digunakan untuk berbagai metode memilih proporsi untuk campuran beton. Pengujian berat volume pasir ini akan dilakukan dalam tiga metode, yaitu metode dengan di lepas (berat volume lepas), metode dengan di rojok (berat volume rojok), dan metode dengan di goyang (berat volume goyang). Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada SNI 03-4804-1998 (Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat).

Persamaan untuk menghitung berat volume :

$$\text{Berat Volume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \quad W_1 = \text{berat silinder (gr)}$$

$W_2 = \text{berat silinder + kerikil (gr)}$
 $V = \text{volume silinder (cm}^3\text{)}$

Berikut langkah – langkah pengujian berat volume kerikil :

- a. Peralatan
 - 1. Timbangan
 - 2. Sekop
 - 3. Tempat takaran kerikil diameter 20 cm, t = 30,5 cm
 - 4. Rojokan
- b. Bahan
 - 1. Kerikil
- c. Prosedur Pengujian
 - Berat volume lepas :
 - 1. Menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai praktek.
 - 2. Menimbang tempat takaran kerikil.
 - 3. Memasukkan kerikil ke dalam takaran hingga penuh.

4. Menimbang berat setelah diisi kerikil tersebut
5. Menghitung volume takaran
- Berat volume goyang :
 1. Menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai praktek.
 2. Menimbang tempat takaran kerikil (A).
 3. Memasukkan 1/3 kerikil dari tempat takaran. Menggoyang secukupnya. Menambahkan lagi 1/3 bagian dari tempat takaran. Menggoyangnya lagi secukupnya dan seterusnya sampai penuh
 4. Menimbang berat setelah diisi kerikil tersebut (B)
 5. Menghitung volume takaran
- Berat volume rojok :
 1. Menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai praktek.
 2. Menimbang tempat takaran kerikil (A).
 3. Memasukkan 1/3 kerikil dari tempat takaran. Merojok sebanyak 25 kali. Menambahkan lagi 1/3 bagian dari tempat takaran. Merojok lagi 25 kali dan seterusnya sampai penuh
 4. Menimbang berat setelah diisi kerikil tersebut (B)
 5. Menghitung volume takaran

Perhitungan Berat Volume Lepas

Takaran (A)	=	0,009	Ton
Takaran + Kerikil (B)	=	0,026	Ton
Volume Takaran (C)	=	0,014	m ³
Berat	=	0,026	-
Volume	=	0,009	
		0,0142	
	=	1,190	Ton/m ³

Perhitungan Berat Volume Rojok

Takaran (A)	=	0,009	Ton
Takaran + Kerikil (B)	=	0,028	Ton

Volume Takaran (C)	=	0,014	m3
Berat	=	0,028	- 0,009
Volume	=	0,0142	
	=	1,331	Ton/m3

Perhitungan Berat Volume Ketok

Takaran (A)	=	0,009	Ton
Takaran + Kerikil (B)	=	0,027	Ton
Volume Takaran (C)	=	0,014	m3
Berat	=	0,027	- 0,009
Volume	=	0,0142	
	=	1,289	Ton/m3

3.7.1.5 Tes Kebersihan Kerikil Terhadap Lumpur

Tujuan pengujian ini adalah untuk memberikan informasi kadar lumpur pada agregat halus. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada *ASTM C-117-03* (Metode Uji Standar Untuk Bahan Halus dari 75 μm (Ayakan No.200) Pada Mineral Agregat dengan Pencucian). Pengujian kebersihan kerikil terhadap lumpur adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada kerikil yang akan digunakan dalam pembuatan beton menurut SK SNI S-04-1989 kandungan lumpur yang terdapat pada agregat kasar (kerikil) tidak boleh melebihi 1% (ditentukan pada keadaan kering lolos ayakan 0.063mm. Adapun pengaruh lumpur yang terkandung dalam kerikil yang terdapat pada beton yang dihasilkan, yaitu:

1. Lumpur mengandung air sehingga memungkinkan kecendrungan penggunaan air berlebih sehingga dapat merubah faktor air semen yang digunakan pada mix desain.
2. Sifat lumpur tidak dapat menjadi satu dengan semen sehingga menghalangi pengikatan antara semen dan agregat sehingga dapat mempengaruhi kekuatan beton, yang

- nantinya juga akan berpengaruh pada mutu dan umur beton yang akan dihasilkan
3. Unsur Sulfat pada lumpur dapat memberikan pengaruh yang paling besar yaitu menyebabkan pengembangan pada beton dan korosi pada tulangan beton

Persamaan untuk menghitung pengujian ini :

$$A = [(B-C)/B] \times 100$$

Dimana :

- A = presentase dari material yang lebih halus dari saringan $75\mu\text{m}$ (No.200) dengan cara pencucian.
 B = berat asli keing dari sampel (gram)
 C = berat kering dari sampel setelah pencucian

Berikut langkah – langkah pengujian tes kebersihan kerikil terhadap lumpur :

- a. Peralatan
 1. Timbangan
 2. Loyang
 3. Oven
- b. Bahan
 1. Kerikil
 2. Air
- c. Prosedur Pengujian
 1. Ambil kerikil normal dan memasukkanya ke dalam ember.
 2. Menimbang loyang sebelum digunakan untuk menimbang kerikil, diketahui berat loyang sebesar 186,3 gram.
 3. Menyeting timbangan sehingga timbangan tersebut kembali ke nol.
 4. Memasukkan kerikil normal ke dalam loyang perlahan-lahan hingga berat kerikil mencapai 1000 gram (V1)

5. Kerikil normal yang telah ditimbang dicuci hingga bersih pada air suling.
6. Kerikil normal yang telah di cuci, dimasukkan ke loyang, lalu kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $1100\text{C} \pm 50\text{C}$.
7. Menghitung prosentase kandungan lumpur dari kerikil tersebut.

Perhitungan Kadar Lumpur

Kerikil Asli (A) = 1200 gram

Kerikil Setelah Dicuci (B) = 1187 gram

$$\begin{aligned} \text{Kadar Lumpur} &= \frac{A - B}{B} \times 100 \\ &= \frac{1200 - 1187}{1186,6} \times 100\% \\ &= 1,129 \% \end{aligned}$$

3.7.1.6 Analisa Saringan Kerikil

Analisis saringan kerikil bertujuan untuk mengukur distribusi ukuran kerikil/gradasi kerikil. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan gradasi / pembagian butir agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir – butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir – butirnya bervariasi akan terjadi volume pori akan kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar. Sehingga pori – porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatanya tinggi. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada *ASTM C 136-01* (Metode Standar Uji Analisa Saringan Untuk Agregat Halus dan Agregat Kasar) dan *SNI 03-2847-2002*. Menurut *SNI 03-2847-2002* kekasaran kerikil dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu kerikil halus, agak halus, agak kasar, dan kasar.

Berikut langkah – langkah analisa saringan kerikil :

- a. Peralatan
 - 1. Oven
 - 2. Saringan kerikil
 - 3. Kuas
 - 4. Pembersih ayakan
 - 5. Mesin penggetar
 - 6. Loyang
 - 7. Timbangan
- b. Bahan
 - 1. Kerikil
- c. Prosedur Pengujian
 - 1. Mengambil kerikil kering seberat 16000 gram menggunakan timbangan
 - 2. Membersihkan saringan kerikil terlebih dahulu menggunakan kuas hingga tidak ada kerikil pada saringan
 - 3. Menimbang ember sebagai wadah menggunakan timbangan digital
 - 4. Menyusun urutan saringan dari yang berdiameter terbesar hingga terkecil
 - 5. Menuangkan kerikil tersebut kedalam susunan saringan
 - 6. Menggetarkan secara manual susunan saringan selama 5 menit
 - 7. Menimbang wadah berisikan kerikil yang telah digetarkan secara satu per satu menggunakan timbangan digital
 - 8. Membersihkan saringan hingga kembali bersih

3.7.1.7 Pengujian Keausan Kerikil

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus kerikil/batu pecah dengan menggunakan alat mesin Los Angeles. Pengujian ketahanan aus kerikil dengan cara ini memberikan gambaran yang berhubungan dengan kekerasan dan kekuatan kerikil, serta kemungkinan terjadinya pecah butir-

butir kerikil selama penumpukan, pemindahan maupun selama pengangkutan. Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no 12 (1,18 mm) terhadap berat semula dalam persen. Untuk menguji kekuatan agregat kasar dapat menggunakan bejana Rudolf ataupun dengan alat uji los angeles test. Mesin yang digunakan untuk pengujian keausan ini adalah mesin los angeles. Mesin ini berbentuk slinder dengan diameter 170 cm yang terbuat dari baja. Dalam pengujian ini menggunakan bola-bola baja yang berukuran 4 – 6 cm sebagai nilai bantu untuk menghancurkan agregat. Jumlah bola yang digunakan tergantung dari tipe gradasi dan agregat yang diuji. Di dalam mesin los angeles terdapat sirip yang berfungsi sebagai pembalik material yang diuji dan lama pengujian tergantung dari jumlah berat material. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada **SNI-2417-2008** (Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles).

Berdasarkan SK SNI 2417 – 1991, keausan agregat tergolong sebagai berikut :

1. Apabila nilai keausan yang diperoleh $> 40\%$, maka agregat yang diuji tidak baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan.
2. Apabila nilai keausan agregat yang diperoleh $< 40\%$, maka agregat yang diuji baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan.

Rumus untuk menentukan keausan agregat adalah :

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Dimana : A : Berat awal benda uji

B : Berat akhir benda uji yang lolos saringa 2,36 mm.

Berikut langkah – langkah uji keausan kerikil :

- a. Peralatan
 - 1. Mesin los angeles dengan 500 putaran.
 - 2. Saringan 12,5 mm, 9,5 mm dan saringan 2,36 mm.
 - 3. Bola baja.
 - 4. Timbangan digital
 - 5. Oven
 - 6. Wadah
 - 7. Stopwatch
- b. Bahan
 - 1. Kerikil
- c. Prosedur Pengujian
 - 1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles.
 - 2. Mengambil agregat kasar sebanyak 5000 gr, yaitu agregat yang lolos saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm.
 - 3. Mencuci agregat tersebut hingga bersih dan oven selama 24 jam, dan setelah mengoven mendinginkannya agar suhunya sama dengan suhu ruangan.
 - 4. Setelah dingin memasukkan benda uji ke dalam mesin los angeles dan 6 buah bola baja.
 - 5. Menyalakan mesin dengan kecepatan putaran 30 – 33 rpm yaitu sekitar 500 putaran selama 15 menit.
 - 6. Setelah selesai mengeluarkan agregat dari mesin los angeles dan saring dengan menggunakan saringan 2,36 mm.
 - 7. Menimbang berat agregat yang lolos dan tertahan saringan 2,36 mm tersebut.
 - 8. Melakukan pengolahan data.

Perhitungan Keausan

Berat Benda Uji Utuh (A) = 5000 gram

Berat Benda Uji Tertahan 1.7 mm (B) = 3400 gram

$$\begin{aligned} \text{L.A. Grading} &= \frac{A - B}{A} \% = \frac{5000 - 3400}{5000} \times 100\% \\ &= 32,000 \% \end{aligned}$$

3.7.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Bengawan Solo. Pengujian agregat halus ini dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat karakteristik dari agregat halus yang nantinya akan dibutuhkan untuk mix desgin. Pengujian – pengujian yang dilakukan antara lain :

3.7.2.1 Pengujian Kelembapan Pasir

Kelembaban pasir bertujuan untuk mengukur kelembaban / kadar air pasir dengan cara kering. Metode pengujian ini mencakup penentuan persentase kelembaban dan kemampuan agregat dalam penguapan dan pengeringan. Baik kelembaban permukaan maupun penguapan air pada pori – pori agregat. Sebagian agregat mungkin berisi air yang bersifat kimiawi. Air yang terkandung dalam agregat yang bersifat kimiawi tersebut tidak mempunyai kemampuan dalam penguapan dan tidak termasuk dalam persentase yang ditentukan dalam metode tes ini. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada *ASTM C-556* (Kelembaban Agregat).

$$\begin{aligned} \text{Kelembaban} &= \frac{(berat asli objek + cawan) - (berat objek + cawan(sudah dioven))}{(berat objek + cawan(sudah dioven))} \\ &\times 100 \% \end{aligned}$$

Berikut langkah – langkah pengujian kelembapan pasir :

- a. Peralatan
 - 1. 2 cawan
 - 2. Timbangan
 - 3. Oven
- b. Bahan
 - 1. Pasir asli 500 gr (2 kali)

c. Prosedur Pengujian

1. Menimbang berat kedua cawan
2. Menimbang berat pasir asli 500 gr + cawan
3. Memasukan pasir asli 500 gr + cawan ke dalam oven dengan temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam
4. Setelah 24 jam, mengeluarkan pasir dan cawan dari oven dan dinginkan
5. Setelah dingin langsung menimbangnya
6. Menghitung kelembaban pasir tersebut

Perhitungan Kadar Air

Pasir Kondisi Asli (A)	=	500	gram
Pasir Setelah Kering Oven (B)	=	490	gram
Kelembaban	$= \frac{A - B}{B} \times 100\%$	$= \frac{500 - 489,8}{489,8}$	$\times 100\%$
		= 2,082	%

3.7.2.2 Pengujian Berat Jenis Pasir

Berat jenis pasir bertujuan untuk mengukur berat jenis pasir dalam kondisi SSD (kering permukaan). Metode pengujian ini mencakup penentuan kepadatan rata – rata jumlah partikel agregat yang baik, (tidak termasuk volume void antara partikel), kepadatan relatif (spesifik gravitasi), dan penyerapan agregat yang baik. Pengujian berat jenis ini dilakukan dalam tiga kondisi agregat, yaitu dalam kondisi jenuh kering permukaan atau *saturated surface dry (SSD)*, dalam kondisi kering oven, dan dalam kondisi semu (*apparent*). Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada SNI 03-1970-1990 (Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus) dan SNI-1970-2008 (Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus).

Persamaan untuk menghitung berat jenis pasir :

1. Berat jenis kering oven

$$\text{Berat Jenis Kering Oven} = \frac{\mathbf{A}}{(\mathbf{B} + \mathbf{S} - \mathbf{C})}$$

dengan :

A adalah berat benda uji kering oven (gram);

B adalah berat piknometer yang berisi air (gram);

C adalah berat piknometer dengan benda uji dan air sampai
batas pembacaan (gram);

S adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

2. Berat Jenis kondisi jenuh kering permukaan

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{\mathbf{S}}{(\mathbf{B} + \mathbf{S} - \mathbf{C})}$$

dengan :

B adalah berat piknometer yang berisi air (gram);

C adalah berat piknometer dengan benda uji dan air sampai
batas pembacaan (gram);

S adalah berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

3. Berat Jenis kondisi jenuh kering permukaan

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{\mathbf{A}}{(\mathbf{B} + \mathbf{A} - \mathbf{C})}$$

dengan :

A adalah berat benda uji kering oven (gram);

B adalah berat piknometer yang berisi air (gram);

C adalah berat piknometer dengan benda uji dan air sampai
batas pembacaan (gram);

Berikut langkah – langkah pengujian berat jenis pasir :

- a. Peralatan

1. Labu takar
2. Timbangan digital
3. Cawan

- b. Bahan
 - 1. Pasir
 - 2. Air
- c. Prosedur Pengujian
 - 1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
 - 2. Membuat pasir SSD(*Saturated Surface Dry*) dengan cara :
 - a. Mencampur pasir yang kering dengan pasir yang direndam air sampai homogen
 - b. Mengecek tingkat SSD (*Saturated Surface Dry*) dengan alat 2/3 kerucut terpancung
 - c. Menambahkan pasir ke dalam alat setiap 1/3 bagian dirojok 8 kali
 - d. Mengangkat alat perlahan
 - e. Mengukur gundukan pasir dengan membalik alat kerucut, jika tingginya 2/3 dari tinggi kerucut maka pasir sudah SSD (*Saturated Surface Dry*)
 - 4. Menimbang labu takar, lalu mencatatnya
 - 5. Menimbang pasir yang sudah dalam kondisi SSD sebanyak 1000 gr dalam cawan
 - 6. Memasukkan 500 gr pasir SSD kedalam oven dan menimbang dan mencatat beratnya setelah 24 jam didalam oven tersebut
 - 7. Memasukkan pasir SSD sisanya seberat 500 gr kedalam labu takar, lalu menambahkan air sampai batas tulisan "ISO", memutar labu dalam keadaan miring agar gelembung udara keluar semua.
 - 8. Menambahkan air lagi hingga batas labu takar, lalu menimbangnya
 - 9. Mengeluarkan pasir dan air dalam labu takar lalu membersihkan tabung hingga bersih.
 - 10. Memasukkan air kedalam labu takar hingga batas tulisan "ISO".
 - 11. Menimbang air dalam labu takar lalu mencatatnya.

Perhitungan Berat Jenis SSD

Pasir Kondisi SSD (A)	=	250	gram
Pasir + Air + Labu Takar (B)	=	873	gram
Air + Labu Takar (C)	=	716	gram
Berat Jenis	=	250	
	=	(250 + 715,5 - 873)	
	=	2,694	gram / cm ³

Perhitungan Berat Jenis Kering Oven

Pasir Kondisi Kering Oven (A)	=	250	gram
Pasir + Air + Labu Takar (B)	=	878	gram
Air + Labu Takar (C)	=	716	gram
Berat Jenis	=	250	
	=	(250 + 715,5 - 878)	
	=	2,841	gram / cm ³

Perhitungan Berat Jenis Apparent

Pasir Kondisi SSD Kering Oven	=	250	gram
Pasir SSD Setelah Kering Oven (A)	=	249	gram
Pasir + Air + Labu Takar (B)	=	873	gram
Air + Labu Takar (C)	=	716	gram
Berat Jenis	=	249	
	=	(249 + 715,5 - 873)	
	=	2,712	gram / cm ³

3.7.2.3 Pengujian Air Resapan Pasir

Percobaan ini dilakukan Untuk mengetahui kadar air resapan dalam pasir yaitu adalah peningkatan massa pasir akibat air menembus ke dalam pori-pori partikel, selama jangka waktu yang ditentukan, tetapi tidak termasuk air ada permukaan luar dari partikel, dinyatakan sebagai persentase dari massa kering. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada SNI-

1970-2008 (Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus).

Persamaan untuk menghitung air resapan :

$$\text{Air Resapan} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$$

Keterangan : W_2 : W_1 = berat agregat SSD (gr)
 W_2 = berat agregat oven (gr)

Berikut langkah – langkah pengujian air resapan pasir :

- a. Peralatan
 - 1. Timbangan
 - 2. Oven
 - 3. Cawan
- b. Bahan
 - 1. Pasir kondisi SSD
 - 2. Air
- c. Prosedur Pengujian
 - 1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan
 - 2. Meletakkan mangkok ke neraca digital, kemudian dinolkan kembali
 - 3. Membuat pasir SSD (Saturated Surface Dry) dengan cara :
 - a. Mencampur pasir yang kering dengan pasir yang direndam air sampai homogen
 - b. Mengecek tingkat SSD (Saturated Surface Dry) dengan alat 2/3 kerucut terpancung
 - c. Menambahkan pasir ke dalam alat setiap 1/3 bagian dirojok 8 kali
 - d. Mengangkat alat perlahan
 - e. Mengukur gundukan pasir dengan membalik alat kerucut, jika tingginya 2/3 dari tinggi kerucut maka pasir sudah SSD (Saturated Surface Dry)

4. Menimbang pasir SSD (Saturated Surface Dry) seberat 500 gram.
5. Setelah menimbang memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperature 110°C.
6. Setelah 24 jam mengambil pasir tersebut, mendinginkan, dan menimbang kembali dalam kondisi kering.

Perhitungan Penyerapan

Pasir Kondisi SSD (A)	=	500	gram
Pasir Setelah Kering Oven (B)	=	498,8	gram
Resapan	=	$\frac{A - B}{B} \times 100\%$	$\frac{500 - 498,8}{498,8} \times$
		=	0,241 %

3.7.2.4 Pengujian Berat Volume Pasir

Pengujian berat volume bertujuan mengukur berat volume/isi pasir, yaitu perbandingan berat pasir dengan volume cetakan. Pengujian berat volume pasir ini akan dilakukan dalam tiga metode, yaitu metode dengan dilepas (berat volume lepas), metode dengan di rojok (berat volume rojok), dan metode dengan di goyang (berat volume goyang). Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada SNI 03-4804-1998 (Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat).

Persamaan untuk menghitung berat volume :

$$\text{Berat Volume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V}$$

Keterangan : W_1 = berat silinder (gr)
 W_2 = berat silinder + pasir (gr)
 V = volume silinder (cm^3)

Berikut langkah – langkah pengujian berat volume pasir :

- a. Peralatan
 - 1. Timbangan
 - 2. Sekop
 - 3. Tempat takaran kerikil diameter 20 cm, $t = 30,5$ cm
 - 4. Rojokan
- b. Bahan
 - 1. Pasir
- c. Prosedur Pengujian
 - Berat volume lepas :
 - 1. Menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai praktek.
 - 2. Menimbang tempat takaran pasir.
 - 3. Memasukkan pasir ke dalam takaran hingga penuh.
 - 4. Menimbang berat setelah diisi pasir tersebut
 - 5. Menghitung volume takaran
 - Berat volume goyang :
 - 1. Menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai praktek.
 - 2. Menimbang tempat takaran pasir (A).
 - 3. Memasukkan $\frac{1}{3}$ pasir dari tempat takaran. Menggoyang secukupnya. Menambahkan lagi $\frac{1}{3}$ bagian dari tempat takaran. Menggoyangnya lagi secukupnya dan seterusnya sampai penuh
 - 4. Menimbang berat setelah diisi pasir tersebut (B)
 - 5. Menghitung volume takaran
 - Berat volume rojok :
 - 1. Menyiapkan alat dan bahan sebelum memulai praktek.
 - 2. Menimbang tempat takaran pasir (A).
 - 3. Memasukkan $\frac{1}{3}$ pasir dari tempat takaran. Merojok sebanyak 25 kali. Menambahkan lagi $\frac{1}{3}$ bagian dari tempat takaran. Merojok lagi 25 kali dan seterusnya sampai penuh
 - 4. Menimbang berat setelah diisi pasir tersebut (B)
 - 5. Menghitung volume takaran

Perhitungan Berat Volume Lepas

Takaran (A)	=	0,01	Ton
Takaran + Pasir (B)	=	0,03	Ton
Volume Takaran (C)	=	0,01	m3
Berat	=	0,03	- 0,009
Volume	=	0,0142	
	=	1,261	Ton/ m3

Perhitungan Berat Volume Rojok

Takaran (A)	=	0,01	Ton
Takaran + Pasir (B)	=	0,03	Ton
Volume Takaran (C)	=	0,01	m3
Berat	=	0,03	- 0,009
Volume	=	0,0142	
	=	1,627	Ton/ m3

Perhitungan Berat Volume Goyang

Takaran (A)	=	0,01	Ton
Takaran + Pasir (B)	=	0,03	Ton
Volume Takaran (C)	=	0,01	m3
Berat	=	0,03	- 0,009
Volume	=	0,0142	
	=	1,394	Ton/ m3

3.7.2.5 Tes Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur

Tujuan pengujian ini adalah untuk memberikan informasi kadar lumpur pada agregat halus. Menurut PBI 1971, agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (dientkan terhadap berat kering). yang diartikandengan lumpur adalah bagian-bagian yang melalui ayakan 0,063mm. apabila kadar lumpur melampaui 5% maka agregat harus dicuci. Standar yang

digunakan dalam pengujian ini mengacu pada *ASTM C117 – 76* (Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Basah)).

Persamaan untuk menghitung pengujian ini :

$$A = [(B-C)/B] \times 100$$

Dimana :

A = presentase dari material yang lebih halus dari saringan $75\mu\text{m}$ (No.200)

dengan cara pencucian.

B = berat asli keing dari sampel (gram)

C = berat kering dari sampel setelah pencucian

Berikut langkah – langkah tes kebersihan pasir terhadap lumpur :

- a. Peralatan
 - 1. Botol Bening
 - 2. Penggaris
 - 3. Plastik
 - 4. Karet gelang
- b. Bahan
 - 1. Pasir
 - 2. Air
- c. Prosedur Pengujian
 - 1. Mengisi botol bening dengan pasir setinggi 6 cm dari dasar botol.
 - 2. Menambahkan air pada botol hingga mendekati penuh.
 - 3. Mengocok botol berisi pasir dan air tersebut yang telah ditutup oleh plastik dan karet.
 - 4. Mendiamkan botol tersebut selama 24 jam dalam keadaan masih ditutup oleh plastik dan karet.
 - 5. Setelah 24 jam, mengukur tinggi endapan lumpur dan tinggi pasir.
 - 6. Mengamati dan mencatat hasil pengujian.

Perhitungan Kadar Lumpur

$$\begin{array}{lcl}
 \text{Tinggi Endapan Lumpur (A)} & = & 2 \quad \text{gram} \\
 \text{Tinggi Pasir Bersih (B)} & = & 50 \quad \text{gram} \\
 \text{Kadar Lumpur} & = & \frac{A}{B} \times 100 = \frac{2}{50} \times 100\% \\
 & & = 4,00 \quad \%
 \end{array}$$

3.7.2.6 Tes Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik

Tujuan pengujian ini adalah untuk memberikan informasi jumlah kotoran organik yang terkandung dalam pasir dengan indikator warna. Prosedur dalam tes ini ialah menggunakan solusi warna standar dan menggunakan kaca standar warna. Untuk mendefinisikan lebih tepat warna cairan supernatan sampel uji, maka lima kaca warna standar harus digunakan dengan menggunakan warna-warna berikut :

Tabel 3. 34. Standar warna bahan organik

<i>Gardner colour standart no.</i>	<i>Organic plate No.</i>
5	1
6	2
11	3 (standart)
14	4
16	5



Gambar 3. 11. Uji pasir terhadap bahan organik

Ketika sampel sudah melalui prosedur ini dan menghasilkan warna yang lebih gelap dari warna standar, atau piring Organik No.3 (*Gardner* colour standart No.11), maka agregat halus yang diuji kemungkinan mengandung kotoran organik yang merugikan. Dianjurkan untuk melakukan pemeriksaan lebih lanjut, sebelum agregat halus tersebut digunakan dalam beton. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada *ASTM C-40-99* (Metode Standar Pengujian Untuk Kotoran Organik yang Terkandung Dalam Agregat Halus untuk Beton).

Berikut langkah – langkah pengujian tes kebersihan pasir terhadap bahan organik :

- a. Peralatan
 1. Botol Bening
 2. Standar warna organic plate
 3. Plastik
 4. Karet gelang
- b. Bahan
 1. Pasir
 2. Larutan NaOH
- c. Prosedur Pengujian
 1. Mengisi botol bening dengan pasir sejumlah 130 mL
 2. Menambahkan larutan NaOH sebanyak 200 mL
 3. Mengocok botol berisi pasir dan larutan tersebut yang telah ditutup oleh plastik dan karet
 4. Mendiamkan botol tersebut selama 24 jam dalam keadaan masih ditutup oleh plastik dan karet
 5. Setelah 24 jam, Mensejajarkan botol dengan kaca standar warna
 6. Mengamati dan mencatat hasil paraktikum

Kadar Organik

Dibandingkan dengan Warna Standart

Warna Standart Nomor : 2

3.7.2.7 Analisa Saringan Pasir

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan gradasi / pembagian butir agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butir – butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan besar. Sebaliknya bila ukuran butir – butirnya bervariasi akan terjadi volume pori akan kecil. Hal ini karena butiran yang kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar. Sehingga pori – porinya menjadi sedikit, dengan kata lain kemampatannya tinggi. Menurut SNI 03-2847-2002 kekasaran pasir dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada *ASTM C 136-01* (Metode Standar Uji Analisa Saringan Untuk Agregat Halus dan Agregat Kasar) dan SNI 03-2847-2002.

Kekasaran Pasir dikelompokkan menjadi 4 Zona

- Zone/Daerah 1 : Pasir Kasar
- Zone/Daerah 2 : Pasir Agak Kasar
- Zone/Daerah 3 : Pasir Agak Halus
- Zone/Daerah 4 : Pasir Halus

Berikut langkah – langkah pengujian analisa saringan pasir :

- a. Peralatan
 1. Oven
 2. Saringan pasir
 3. Kuas
 4. Pembersih saringan
 5. Mesin penggetar
 6. Loyang
 7. Timbangan
- b. Bahan

1. Pasir
- c. Prosedur Pengujian
 1. Mengoven pasir kurang lebih 8 jam hingga kadar air tidak ada
 2. Membersihkan saringan pasir terlebih dahulu menggunakan kuas hingga tidak ada pasir pada saringan
 3. Menimbang saringan satu per satu menggunakan timbangan digital
 4. Menyusun urutan saringan dari yang berdiameter terbesar hingga terkecil
 5. Menimbang pasir yang telah dioven seberat 1000 gram menggunakan alat timbangan digital
 6. Menuangkan pasir tersebut kedalam susunan saringan
 7. Meletakkan susunan saringan tersebut ke mesin penggetar, kemudian menguncinya agar tidak berpindah
 8. Menggetarkan susunan saringan selama 10 menit
 9. Menimbang saringan yang telah digetarkan tanpa mengeluarkan pasir secara satu per satu menggunakan timbangan digital
 10. Membersihkan saringan hingga kembali bersih

3.8 Metodologi Perhitungan Desain Campuran

Desain campuran beton dihitung dengan metode IS 10262 modified by Khumbar & Murnal 2013 yang disesuaikan oleh penulis. Adapun langkah-langkah untuk menghitung desain campuran pada penelitian ini, sebagai berikut :

a. Langkah 1 : Menyajikan hasil pengujian material

Pengujian material yang digunakan berupa pengujian fisik dari agregat kasar dan agregat halus yang hasil akhirnya akan digunakan dalam perhitungan desain campuran, berikut beberapa uji material yang dilakukan beserta standar yang digunakan :

Tabel 3. 35. Jenis pengujian material dan standar yang digunakan

No.	Pengujian	Standar acuan
1.	Berat Jenis Agregat Agregat Halus	ASTM C 128-93
2.	Berat Jenis Agregat Kasar	ASTM C 127-88
3.	Kadar Air Agregat Halus	ASTM C 128-93
4.	Kadar Air Agregat Kasar	ASTM C 127-88
5.	Penyerapan Agregat Halus	ASTM C 566-89
6.	Penyerapan Agregat Kasar	ASTM C 566-89
7.	Berat Volume Agregat halus	ASTM C 29/C 29 M – 91
8.	Berat Volume Agregat kasar	ASTM C 29/C 29 M – 91
9.	Kadar lumpur agregat halus	ASTM C 117-03
10.	Kadar lumpur agregat kasar	ASTM C 117-03
11.	Kadar organik agregat halus	ASTM C 40-99
12.	Abrasi agregat kasar	ASTM C 131-01

b. Langkah 2 : Menentukan rasio air terhadap bahan bersifat semen (faktor air semen atau FAS)

Nilai faktor air semen (FAS) yang ditentukan oleh penulis sebesar 0,2.

c. Langkah 3 : Menentukan kadar bahan bersifat semen

Kadar semen yang digunakan yaitu semen konten 450 Kg/m^3 dan 535 Kg/m^3 .

d. Langkah 4 : Menentukan kadar High Range Water Reducer

Dalam penelitian ini Dosis *High Range Water Reducer* (HRWR) yang digunakan berbasis *Modifed Poly Carboxylate Copolymer* yang digunakan ialah 0,8 – 1,2 % dari bahan berat semen.

e. Langkah 5 : Menghitung kebutuhan air

Berikut merupakan hubungan persamaan antara faktor air semen dengan kadar air :

$$FAS = \frac{\text{Kadar Air}}{\text{Kadar Semen}} \dots \dots \dots \quad (14)$$

Sehingga,

Keterangan,

FAS : Faktor Air Semen

Kadar Air : Berat air dalam Kg/m³

Kadar Semen : Berat Semen dalam Kg/m³

f. Langkah 6 : Menghitung prosentase pembagian agregat kasar dan agregat halus

Dalam menentukan proporsi agregat kasar dan agregat halus, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu :

f.1 Melakukan hasil uji analisa gradasi agregat kasar dan agregat halus untuk dianalisa dalam perhitungan agregat gabungan

f.2 Dalam analisa agregat gabungan terdapat dua metode yang harus digunakan yaitu : metode matematik dan metode grafik kedua langkah diatas diatur dalam SNI 2834-2000.

Dari hasil perhitungan diatas akan dihasilkan berapa persen agregat kasar dan persen agregat halus dalam 100% kadar agregat gabungan.

g. Langkah 7 : Menghitung seluruh kebutuhan material penyusun beton dengan metode volume absolut

Perhitungan campuran per satuan volume pada beton, akan dijelaskan sebagai berikut :

$$g.1 \text{ Volume beton (a)} = 1\text{m}^3$$

$$g.2 \text{ Volume semen (b)} = \frac{\text{masa semen}}{\text{berat jenis semen}} \times \frac{1}{1000} \dots\dots\dots (16)$$

$$g.3 \text{ Volume air (c)} = \frac{\text{masa air}}{\text{berat jenis air}} \times \frac{1}{1000} \dots\dots\dots (17)$$

$$g.4 \text{ Volume HRWR (d)} = \frac{\text{masa HRWR}}{\text{berat jenis HRWR}} \times \frac{1}{1000} \dots\dots\dots (18)$$

$$g.5 \text{ Volume Agregat Gabungan (e)} = [a - (b + c + d)] .. (19)$$

$$g.6 \text{ Volume Agregat Halus (f)} = \% A. \text{Halus} \times e \dots\dots\dots (20)$$

$$g.7 \text{ Volume Agregat Kasar (g)} = \% A. \text{Kasar} \times e \dots\dots\dots (21)$$

Dari beberapa persamaan diatas, masa yang telah diketahui terlebih dahulu adalah semen, air, dan HRWR. Sedangkan masa dari agregat halus dan agregat kasar harus dihitung sebagai berikut :

$$g.8 \text{ Masa agregat halus} = f \times B_j. \text{Agregat halus} \times 1000 .. (22)$$

$$g.9 \text{ Masa agregat kasar} = f \times B_j. \text{Agregat kasar} \times 1000 ... (23)$$

h. Langkah 8 : Merangkum hasil akhir perhitungan desain campuran

Dari hasil perhitungan langkah 1 – 7, dapat diperoleh rangkuman rincian desain campuran beton dalam volume per m^3 . Berat jenis beton secara analitis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

B_j Beton (Kg/m^3) :

$$= m. \text{semen} + m. \text{air} + m. \text{HRWR} + m. \text{Ag halus} + m. \text{Ag kasar}$$

3.9 Metodologi Pembuatan Benda Uji

Pada proses ini, bahan campuran mulai dari agregat kasar, agregat halus, semen, air, bahan tambahan bahan kimia *Sika Viscocrete 7150* akan dicampur dan diaduk menjadi satu (ASTM C192-76).

Berikut langkah – langkah pengadukan komposisi beton berkekuatan awal tinggi ini :

- a. Peralatan
 1. Mesin aduk (Molen)
 2. Sekop
 3. Wadah
- b. Bahan
 1. Semen
 2. Pasir
 3. Kerikil
 4. Air
 5. *Sika Viscocrete 7150*
- c. Prosedur Pengadukan
 1. Memasukkan material yang terdiri dari semen, pasir, dan air sesuai komposisi perhitungan mix desain ke dalam mesin aduk. . Setelah masuk semua material, menyalakan mesin aduk sampai, tunggu hingga tercampur secara homogen. Setelah itu mengosongkan mesin aduk dan mengeringkannya selama 1 menit.
 2. Mengisi mesin aduk berturut-turut dengan sekitar 25% agregat kasar dahulu, 100% dari pasir, 50% air. Campur selama 1 menit sampai terdapat gelembung – gelembung udara.
 3. Menghentikan mesin aduk dan tambahkan sisa agregat kasar dan air. Campur selama 1 menit (jika diperlukan) untuk menyamakan suhu bahan. Jika tidak, campuran selama 10 detik dan kemudian menambahkan seluruh jumlah semen. Mencatat waktu sebagai awal dari total

waktu pencampuran. Setelah pencampuran selama 1 menit, menghentikan mixer; menambahkan *Sika Viscocrete 7150* agar diperlukan workability yang lebih baik

4. Melanjutkan pencampuran sampai campuran beton homogeny.
5. Memeriksa nilai slump dari adukan beton tersebut
6. Selanjutnya dilakukan pengecoran dengan menuangkan adukan beton ke dalam cetakan kubus $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$
7. Kemudian setelah terisi penuh, maka permukaan diratakan menggunakan sekop.
8. Memberi tanda dari masing – masing sampel.

3.10 Metodologi Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dalam penelitian ini meliputi uji tes porositas, tes UPV, dan Uji kuat tekan

3.10.1 Tes Porositas (*Porosity Test*)

Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka dengan rumus (Lawrence H.Van Vlack, 1989)

:

$$P = \{ \{(wb-wk)/vb\} \times \{(1/\rho_{air})\} \times (100\%) \}$$

Dimana :

P = porositas

wb = massa basah sampel setelah direndam (gram)

wk = massa kering sampel setelah direndam (gram)

vb = volume benda uji (cm^3) ($\frac{1}{4} \pi d^2 t$)

ρ_{air} = massa jenis air (gr/cm^3).



Gambar 3. 12. Uji Porositas Beton

Berikut langkah – langkah pengujian porositas beton :

- a. Peralatan
 1. Timbangan digital
 2. Alat uji porositas
- b. Bahan
 1. Benda uji kubus 5x5x5 cm³ (dipotong dan diambil dari benda uji sampel kubus 10x10x10 cm³)
- c. Prosedur Pengujian
 1. Menimbang benda uji yang akan dilakukan pengujian
 2. Memasukkan benda uji kedalam alat uji porositas yang telah berisi air.
 3. Setelah 24 jam, mengambil kembali benda uji dari alat uji porositas.
 4. Mengelap kering permukaan benda uji tersebut dan kemudian menimbangnya

3.10.2 Tes UPV

Ultrasonic Pulse Velocity test (tes UPV) adalah metode untuk memperkirakan kekuatan beton secara tidak langsung, tes bersifat non destruktif dengan mengukur kecetapan gelombang ultrasonik pada media beton, kemudian menggunakan formula tertentu. Dalam penelitian ini pengujian UPV dilakukan pada beton yang sudah dalam kondisi keras pada umur 24 jam dan 28 hari.



Gambar 3. 13. Pengujian UPV



Gambar 3. 14. Hasil UPV di monitor alat tes

Berikut langkah – langkah pengujian UPV :

- a. Peralatan
 1. Alat uji UPV
- b. Bahan
 1. Benda uji kubus $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$
 2. Pasta selulose / Cairan perangkai berwujud gemuk (Stempet)
- c. Prosedur Pengujian
 1. Menyiapkan benda uji kubus $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ yang akan dilakukan pengujian
 2. Mengoleskan stemped pada permukaan kedua transducer
 3. Meletakkan receiver transducer dan transmitter transducer pada benda uji dengan saling berhadapan seperti pada gambar 2.3
 4. Setelah itu mencatat hasil angka yang keluar dari alat digital UPV

3.10.3 Uji Kuat Tekan

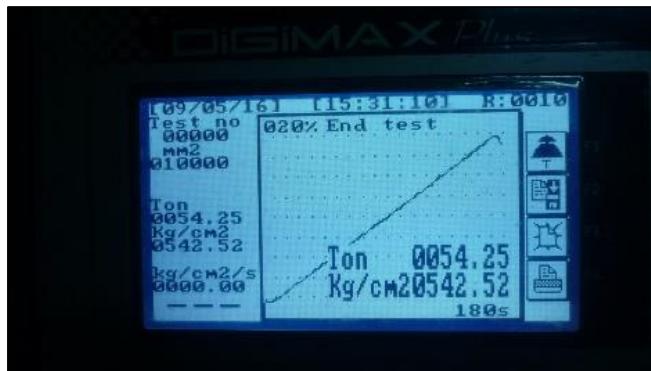
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan hancur dari silinder beton yang mewakili beton dalam mix design. Pengujian ini dilakukan pada saat beton berumur 24 jam agar mendapatkan nilai peningkatan yang signifikan dan dilakukan juga pengujian kuat tekan pada umur 28 hari. Masing – masing variasi per umur pengujian dilakukan sebanyak 3 benda uji untuk mendapatkan hasil yang akurat dan mengetahui deviasi dari ketiga benda uji tersebut. Standar yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada SNI 03-1974-1990.



Gambar 3. 15. Beton saat keadaan uji kuat tekan



Gambar 3. 16. Beton kondisi setelah di uji kuat tekan



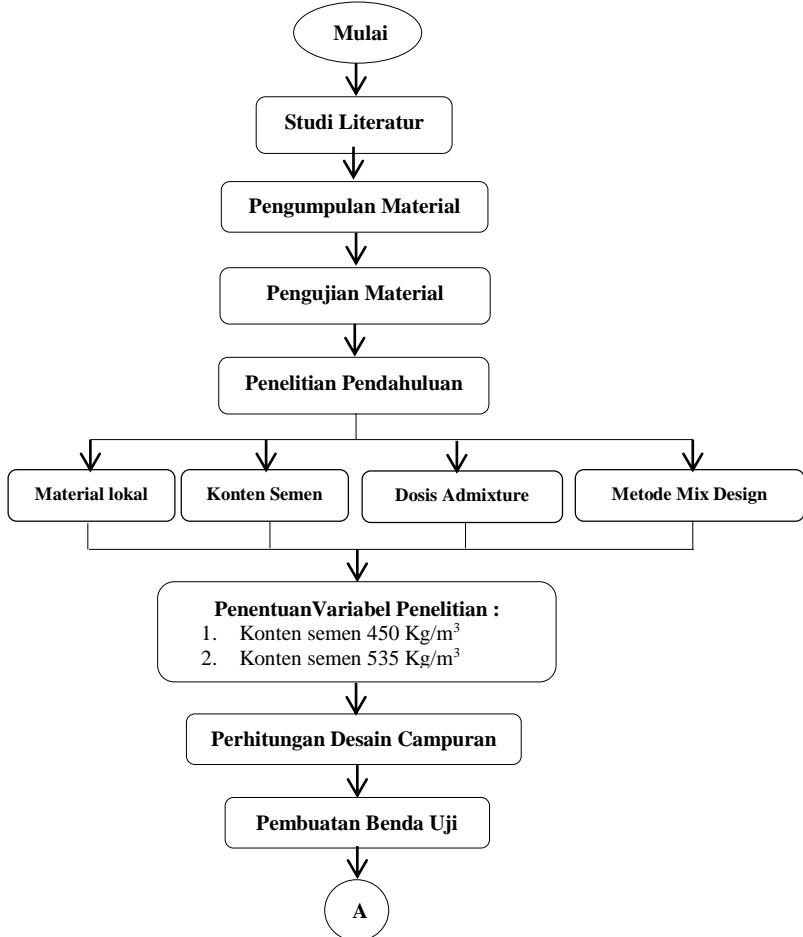
Gambar 3. 17. Hasil uji kuat pada monitor alat uji

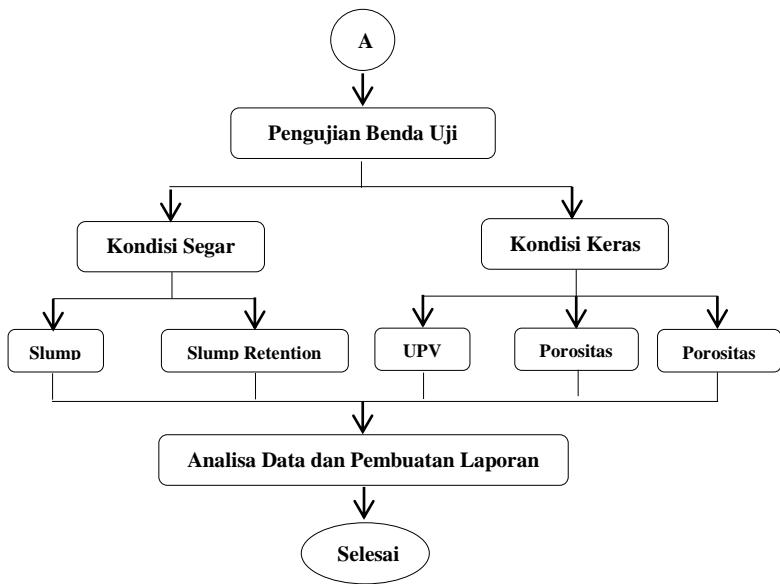
Berikut langkah – langkah pengujian uji kuat tekan :

- a. Peralatan
 1. Alat uji kuat tekan
- b. Bahan
 1. Benda uji kubus $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$
- c. Prosedur Pengujian
 1. Menyiapkan benda uji kubus $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ yang akan dilakukan pengujian
 2. Meletakkan benda uji pada alat uji kuat tekan
 3. Menjalankan alat uji kuat tekan
 4. Setelah itu mencatat hasil angka yang keluar dari alat uji kuat tekan

3.11 Flow Chart

Metode penelitian yang dilaksanakan pada penelitian ini, digambarkan sesuai dengan diagram alir (*flow chart*) berikut :





Gambar 3. 18. Diagram alir (Flow chart) penelitian

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini meliputi hasil pengujian material penyusun, perhitungan desain campuran, dan hasil pengujian benda uji beton dalam kondisi segar dan kondisi keras.

4.1 Spesifikasi Material Penyusun



Gambar 3. 19. Material penyusun yang digunakan dalam penelitian

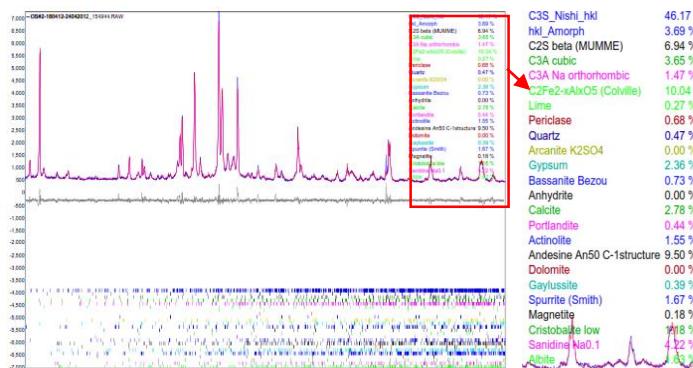
4.1.1 Semen Portland Pozzolan (PPC)

Semen Portland yang kami gunakan ialah semen portland pozzolan (PPC) produksi PT. Semen Gresik, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4. 1. Spesifikasi Semen Portland Pozzolan PT. Semen Gresik

Jenis Pengujian	SNI 15-0302-	Hasil Pengujian
	2004	IP-U
Komposisi Kimia		
SiO ₂ (%)	-	23,98
Al ₂ O ₃ (%)	-	10,59
Fe ₂ O ₃ (%)	-	4,12
CaO (%)	-	55,37
MgO (%)	≤ 6,00	1,18
SO ₃ (%)	≤ 4,00	2,03

Jenis Pengujian	SNI 15-0302-	Hasil Pengujian
	2004	
	IP-U	
Hilang Pijar (%)	≤ 5,00	2,72
Kapur Bebas (%)	-	0,67
Bagian Tidak Larut (%)	-	14,23
Pengujian XRD		
C ₃ S (%)	-	46,17
C ₂ S (%)	-	6,94
C ₃ A (%)	-	3,65
C ₄ AF (%)	-	7,73
Pengujian Fisika		
Kehalusan dengan alat blaine (m ² /kg)	≥ 280	347
Waaktu engikatan dengan jarum vicat :		
- Pengikatan awal (Menit)	≥ 45	120
- Pengikatan akhir (Menit)	≤ 420	255
Kekekalan dengan autoclave :		
- Pemuaian (%)	≤ 0,8	0,18
- Penyusutan (%)	≤ 0,2	-
Kuat tekan :		
- Umur 3 hari (kg/cm ²)	≥ 125	203
- Umur 7 hari (kg/cm ²)	≥ 200	272
- Umur 28 hari (kg/cm ²)	≥ 250	371
Pengikatan Semu (False Set) :		
-Penetrasi Akhir (%)		68,87
Panas Hidrasi :		
- Umur 3 hari (kal/g)		64,21
- Umur 7 hari (kal/g)		76,83
Berat Jenis (T/m ³)		3,08



Gambar 4. 1. Pola XRD semen PPC PT. Semen Gresik

Dari data diatas, menunjukkan bahwa semen portland yang kami gunakan telah memenuhi syarat SNI untuk semen portland pozzolan berdasarkan hasil pengujian kimia, XRD, dan fisika.

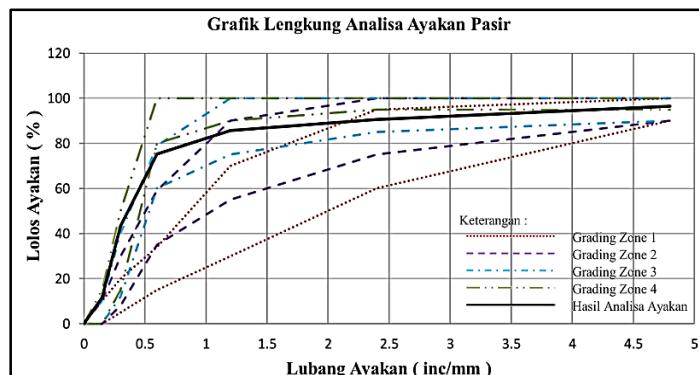
4.1.2 Agregat Halus

Agregat Halus yang kami gunakan ialah pasir sungai Bengawan Solo yang didapatkan dari Kabupaten Bojonegoro, dengan spesifikasi sebagai berikut :

A. Spesifikasi fisik

Tabel 4. 2. Spesifikasi fisik agregat halus pasir sungai Bengawan Solo Kabupaten Bojonegoro

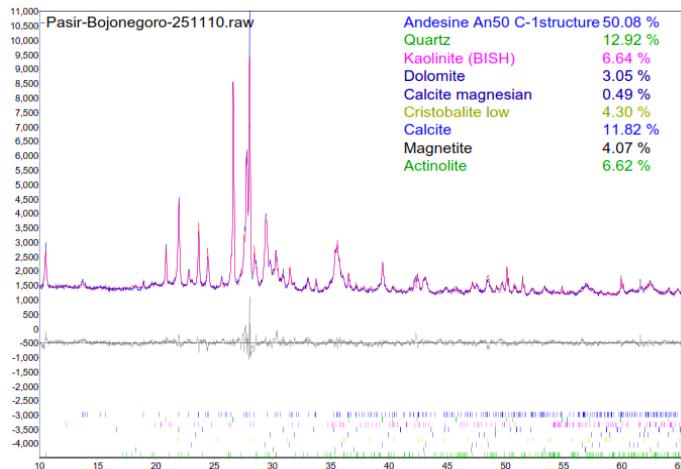
Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis	T/m ³	2,84
Kadar Air	%	0,24
Penyerapan	%	2,1
Berat Volume	T/m ³	1,62
Kadar Lumpur	%	4
Kadar organik	-	No.2 (Teh Encer)



Gambar 4. 2. Gradasi butiran agregat halus pasir sungai Bengawan Solo Kabupaten Bojonegoro

Dari data pengujian fisik, pasir sungai bengawan solo telah memenuhi beberapa syarat ASTM, sehingga dapat digunakan untuk material penyusun beton.

B. Spesifikasi mineral hasil uji XRD



Gambar 4. 3. Pola XRD pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro

Dari data pengujian XRD, menunjukkan bahwa pasir bengawan soloBojonegoro memiliki kandungan mineral yang paling tinggi yaitu andesine, dengan prosentase 50,08%.

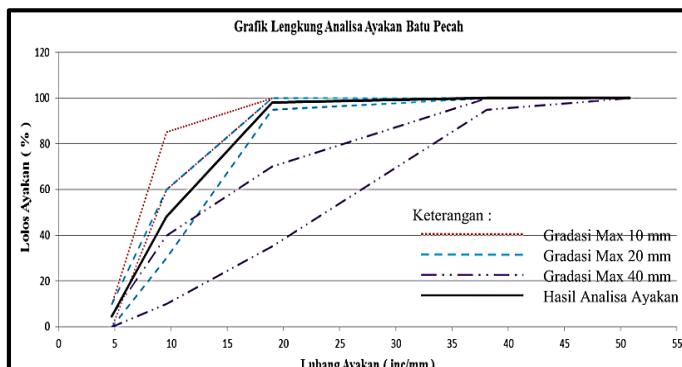
4.1.3 Agregat Kasar

Agregat Kasar yang kami gunakan ialah batu kapur yang didapatkan dari Kabupaten Gresik dan Kabupaten Tuban, dengan spesifikasi sebagai berikut :

A. Spesifikasi fisik

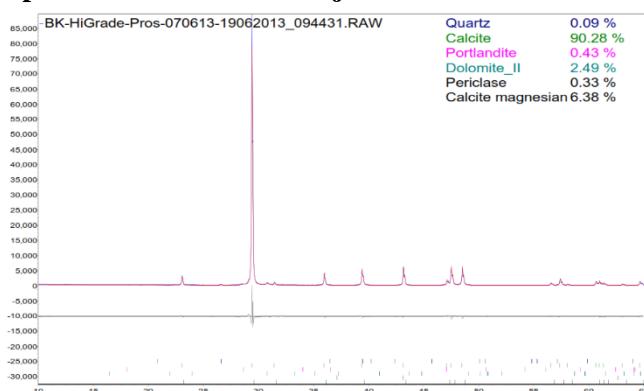
Tabel 4. 3. Spesifikasi fisik agregat halus batu kapur Kabupaten Gresik dan Tuban

Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis	T/m ³	2,84
Kadar Air	%	0,24
Penyerapan	%	2,1
Berat Volume	T/m ³	1,62
Kadar Lumpur	%	4
Abrasi dengan alat <i>Los Angles</i>	-	No.2 (Teh Encer)



Gambar 4. 4. Grafik lengkung analisa ayakan batu pecah

B. Spesifikasi mineral hasil uji XRD



Gambar 3. 20. Pola XRD batu ketak Tuban

4.1.4 High Range Water Reducer (HRWR)

High Range Water Reducer admixture yang kami gunakan ialah Sika Viscocrete 7150 produksi PT. Sika Indonesia, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4. 4. Spesifikasi HRWR Sika Viscocrete 7150

Kandungan kimia	Warna	Dosis
<i>Modified Polycarboxylate Copolymer</i>	Cairan Putih Keruh	0,3 - 0,8% (<i>Softplastic</i>) 0,8 – 2 % (<i>SCC</i>)

4.2 Desain campuran beton

Perhitungan desain campuran dengan metode IS 10262 modified by Khumbar & Murnal 2013 yang disesuaikan oleh penulis yang telah dijelaskan pada bab 2.7 menghasilkan hasil seperti berikut :

Tabel 4. 5. Desain Campuran untuk Masing-Masing Variabel Penelitian

Material	Satuan	Variabel Semen Konten	
		450 Kg/m ³	535 Kg/m ³
PPC	Kg	450,00	535,00
Agregat Halus	Kg	856,78	803,54
Agregat Kasar	Kg	1186,14	1112,43
Air	Kg	90,00	107,14
HRWR (% dari PPC)	%	0,80	0,80
FAS	-	0,20	0,20

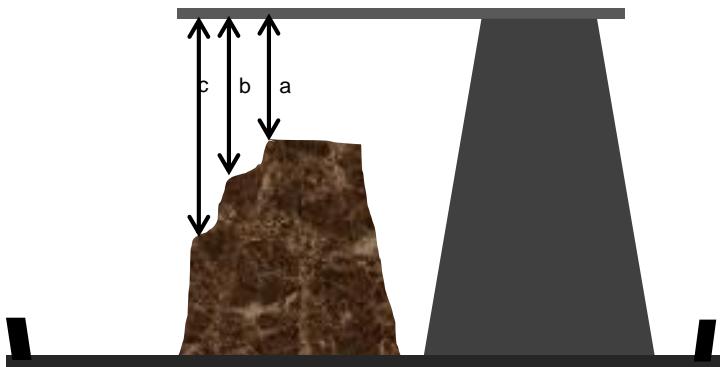
4.3 Pengujian Beton Kondisi Segar

4.3.1 Tes Slump (*Slump Test*)

Berikut merupakan nilai slump yang dihasilkan oleh masing-masing variabel konten semen (KS):

Tabel 4. 6. Nilai slump untuk masing-masing variabel penelitian

Titik	Nilai Slump (cm)	
	KS 450 Kg/m ³	KS 535 Kg/m ³
a	21	25
b	25	28
c	28	30
Rata-rata (cm)	24,7	27,7



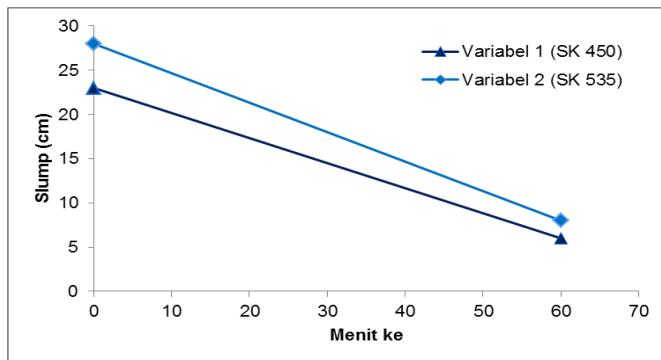
Gambar 4. 5. Titik pengambilan nilai slump

4.3.2 Tes Ketahanan Slump (*Slump Retention Test*)

Berikut merupakan nilai ketahanan slump (*Slump Retention*) yang dihasilkan oleh masing-masing variabel semen konten (SK) pada saat waktu awal (*initial*) dan pada menit ke-60 :

Tabel 4. 7. Hasil Pengujian Slump Retention

Menit ke-	Nilai Slump (cm)	
	KS 450 Kg/m ³	KS 535 Kg/m ³
0	23	28
60	6	8
<i>Slump retention</i> (cm/jam)	<i>18</i>	<i>20</i>



Gambar 4. 6. Grafik hubungan waktu dan nilai slump

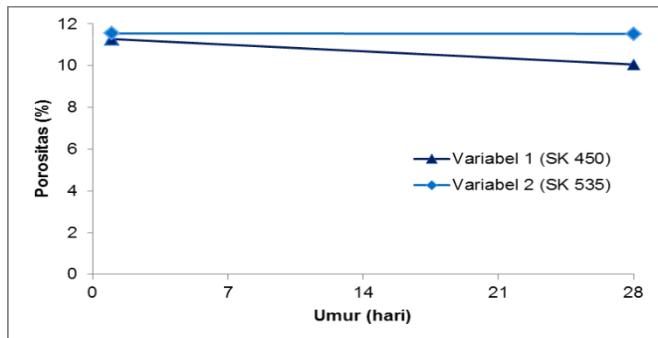
4.4 Pengujian Beton Kondisi Keras

4.4.1 Tes Porositas (*Porosity Test*)

Berikut merupakan prosentase porositas yang dihasilkan oleh masing-masing variabel semen konten (SK) pada umur 1 hari (24 Jam) dan 28 hari :

Tabel 4. 8. Hasil Pengujian Porositas Beton Rata-Rata

Umur (hari)	Porosity (%)	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	11,28	11,55
28	10,06	11,53



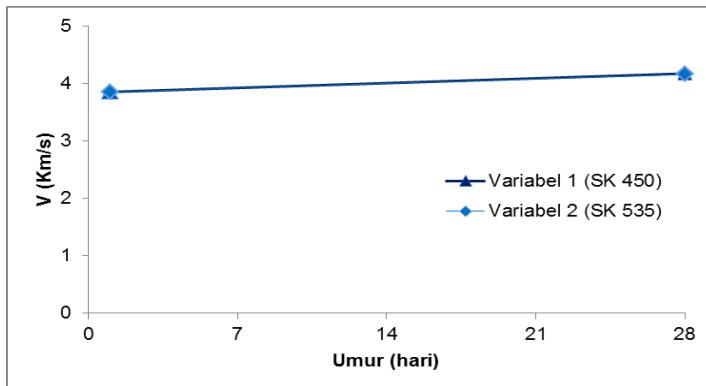
Gambar 4. 7. Grafik hubungan umur terhadap nilai porositas beton

4.4.2 Ultrasonic Pulse Velocity (*Non Destructive Test*)

Berikut merupakan nilai kecepatan pulsa ultrasonik (V) yang dihasilkan oleh masing-masing variabel semen konten (SK) pada umur 1 hari (24 Jam) dan 28 hari :

Tabel 4. 9. Hasil Tes Kepadatan Beton Rata-Rata (UPV Test)

Umur (hari)	<i>V – Direct UPV Test (Km/s)</i>	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	3,86	3,86
28	4,18	4,17



Gambar 4. 8. Grafik hubungan umur dengan nilai kecepatan pulsa ultrasonik

Kualitas beton menurut IS 13311-1 (1992) berdasarkan hasil tes UPV, sebagai berikut :

Tabel 4. 10. Klasifikasi hasil tes UPV terhadap standar IS 13311-1 (1992)

Variabel	Umur (hari)	
	1	28
SK 450 Kg/m ³	Baik	Baik
SK 535 Kg/m ³	Baik	Baik

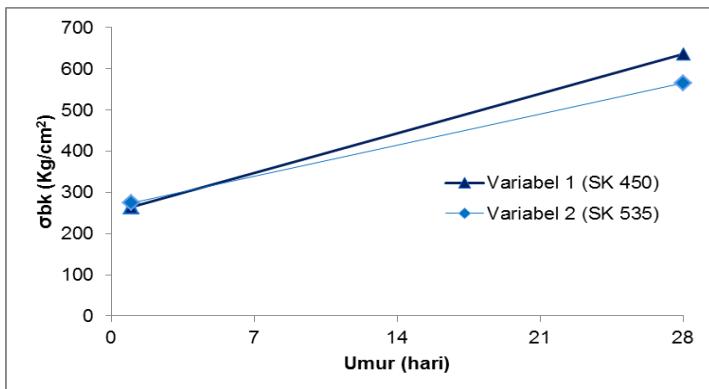
Keterangan : Range 3,5 – 4,5 termasuk dalam klasifikasi baik

4.4.3 Uji Kuat Tekan (*Destructive Test*)

Berikut merupakan nilai kuat tekan (σ_{bk}) yang dihasilkan oleh masing-masing variabel semen konten (SK) pada umur 1 hari (24 Jam) dan 28 hari :

Tabel 4. 11. Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

Umur (hari)	σ_{bk} (Kg/cm ²)	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	264,87	274,50
28	636,19	565,85



Gambar 4. 9. Grafik hubungan umur beton dengan nilai kuat tekan beton

4.5 Analisa Rencana Anggaran Biaya

Analisis biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan beton berkekuatan awal tinggi dengan pemanfaatan batu ketak (kalsit) Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo akan dibandingkan dengan biaya pembuatan beton dengan material normal pada umumnya :

Tabel 4. 12. Analisa biaya beton dengan material normal

Jenis Material	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Vol / m3		Jumlah Harga (Rp)	
			Beton Normal KS 450	Beton Normal KS 535	Beton Normal KS 450	Beton Normal KS 535
Semen PPC	Kg	1.625,00	450	535	731.250,00	869.375,00
Pasir Sungai Bengawan Solo	Kg	91,00	-	-	-	-
Pasir Brantas	Kg	127,00				
Pasir Lumajang	Kg	148,00				
Batu Ketak (Kalsit) Tuban-Gresik	Kg	62,00	-	-	-	-
Batu Alam (Andesin) Pasuruan	Kg	197,00				
Batu Alam (Andesin) Mojokerto	Kg	207,94	1186,14	1112,43	240.155,69	225.231,76
Sika Viscocrete 7150	Liter	54.500,00	3,6	4,28	196.200,00	233.260,00
Total (Rp) :					1.285.412,94	1.438.353,51

Tabel 4. 13. Analisa biaya terhadap beton dengan material batu ketak dan pasir sungai bengawan solo

Jenis Material	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Vol / m3		Jumlah Harga (Rp)	
			KS 450	KS 535	KS 450	KS 535
Semen PPC	Kg	1.625,00	450	535	731.250,00	869.375,00
Pasir Sungai Bengawan Solo	Kg	91,00	856,78	803,54	77.966,98	73.122,14
Pasir Brantas	Kg	127,00				
Pasir Lumajang	Kg	148,00				
Batu Ketak (Kalsit) Tuban-Gresik	Kg	62,00	1186,14	1112,43	73.540,68	68.970,66
Batu Alam (Andesin) Pasuruan	Kg	197,00				
Batu Alam (Andesin) Mojokerto	Kg	207,94				
Sika Viscocrete 7150	Liter	54.500,00	3,6	4,28	196.200,00	233.260,00
Total (Rp) :					1.078.957,66	1.244.727,80

Beton hasil penelitian kami menghasilkan biaya yang lebih rendah atau lebih murah 15,6% untuk konten semen 450 Kg/m³ dan 16,1% untuk konten semen 535 Kg/m³. Faktor utama yang menyebabkan harga yang lebih ekonomis tersebut, dikarankan terdapat rekayasa material yang digunakan yaitu mengganti agregat normal dengan batu ketak (kalsit) dan pasir sungai Bengawan Solo.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Untuk mengklasifikasikan material penyusun, dilakukan pengujian berupa pengujian fisik dan karakteristik mineral dengan uji XRD. Serta untuk merancanakan campuran beton berkekuatan awal tinggi dengan menggunakan material batu ketak Tuban-Gresik dan pasor sungai Bengawan Solo kami menggunakan metode desain campuran metode IS 10262 modified by khumbar murnal 2013 yang disesuaikan. Berikut rangkuman singkat dari klasifikasi material dan desain campuran yang dihasilkan :

a. Karakteristik agregat berdasarkan hasil pengujian fisik :

Tabel 5. 1. Spesifikasi fisik agregat

Parameter	Satuan	Agregat	
		Pasir Sungai	Batu Ketak
Berat Jenis	[kg]	2,84	2,62
Kadar lumpur	%	4	1,13
Kadar air	%	2,085	2,63
peyerapan	%	0,24	4,24
<i>Fine Modulus</i>	-	3	7,5
Abrasi	%	-	32
Zona Gradasi	-	3	Max.20mm

b. Karakteristik agregat berdasarkan hasil pengujian XRD :

Tabel 5. 2. Spesifikasi hasil uji XRD

Kandungan Mineral	Nilai (%)	
	Pasir Sungai	Batu Ketak
Andesine	50,08	-
Calcite	11,82	90,28

- c. Komposisi hasil desain campuran (mix design) berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode IS 10262 modified by khumbar murnal 2013 yang disesuaikan :

Tabel 5. 3. Komposisi hasil desain campuran

Material	Satuan	Variabel Semen Konten	
		450 Kg/m³	535 Kg/m³
PPC	Kg	450,00	535,00
Pasir Sungai	Kg	856,78	803,54
Batu Kapur	Kg	1186,14	1112,43
Air	Kg	90,00	107,14
HRWR (% dari PPC)	%	0,80	0,80
FAS	-	0,20	0,20

2. Untuk mengetahui pengaruh material batu ketak (kalsit) Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro dalam campuran beton berkekuatan awal tinggi, dari segi : workabilitas dilakukan uji slump-slump retention, Porositas dilakukan uji tes porositas, kepadatan dilakukan uji UPV, dan kuat tekan dilakukan uji kuat tekan.

a. Workabilitas

a.1 Hasil Pengujian Slump test :

Tabel 5. 4. Nilai slump test

Variabel	Nilai Slump (cm)	Slump Beton Normal (cm)
KS 450 Kg/m ³	24,7	
KS 535 Kg/m ³	27,7	10 -12

Ditinjau dari hasil pengujian slump, beton yang kami rancang lebih mudah dikerjakan dari pada beton normal pada umumnya dengan nilai slump yang dihasilkan 24,7 – 27,7 cm. Hal tersebut dikarenakan pada penelitian ini digunakan admixture berupa HRWR yang membantu meningkatkan workabilitas beton. Dengan nilai slump

tersebut beton dikatagorikan dalam kondisi workabilitas *soft plasticis*.

a.2 Hasil pengujian Slump Retention :

Tabel 5. 5. Nilai slump retention

Variabel	Nilai Slump menit ke-0(cm)	Nilai Slump menit ke6-0(cm)
KS 450 Kg/m ³	23	6
KS 535 Kg/m ³	28	8

Ditinjau dari hasil pengujian slump, beton yang kami rancang lebih mengalami penurunan nilai slump sebesar 18 – 20 cm / jam. Pada menit ke-60 nilai slump beton mencapai 6 – 8 cm.

b. Porositas dan kepadatan

b.1 Hasil tes porositas :

Tabel 5. 6. Nilai porositas

Umur (hari)	Porosity (%)	
	KS 450 Kg/m ³	KS 535 Kg/m ³
1	11,28	11,55
28	10,06	11,53

Ditinjau dari hasil pengujian porositas, beton yang kami rancang memiliki prosentase porositas 11,28 – 11,55 % dan seiring bertambahnya umur, porositas tersebut tumbuh menjadi padatan sehingga nilai prosentase porositas semakin mengecil. Hal tersebut menandakan bahwa beton mengindikasikan bahwa beton yang kami kerjakan mengalami pertumbuhan kekuatan dari umur 24 jam ke 28 hari.

b.2 Hasil tes kepadatan beton dengan UPV :

Tabel 5. 7. Nilai kecepatan pulsa *UPV test*

Umur (hari)	V – Direct UPV Test (Km/s)	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	3,86	3,86
28	4,18	4,17

Dari hasil tes kepadatan beton dengan UPV, nilai kecepatan gelombang pulsa ultrasonik yang dihasilkan pada umur 1 hari dan 28 hari, berdasarkan IS 13311-1 (1992) nilai V- UPV tersebut tergolong klasifikasi “Good” atau baik. Hal tersebut menandakan bahwa beton dibuat dengan homogen dan konsisten.

c. Hasil pengujian kuat Tekan

Tabel 5. 8. Hasil pengujian kuat tekan beton

Umur (hari)	σ_{bk} (Kg/cm ²)	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	264,87	274,50
28	636,19	565,85

Dari hasil pengujian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa pada umur awal (1 hari) nilai kuat tekan beton sudah tergolong mutu struktural sedang (250 – 400 Kg/cm²) yang pada umumnya dicapai di 28 hari. Pada umur akhir (28 hari) nilai kuat tekan beton tergolong mutu struktural tinggi (400 -800 Kg/cm²).

Kuat tekan pada umur 28 hari variable KS 450 Kg/m³ lebih tinggi daripada KS 535 Kg/m³ yang artinya konten semen memiliki nilai optimum, tidak selalu konten semen yang tinggi menghasilkan mutu yang lebih tinggi. Hal tersebut dapat dibuktikan pada penelitian sebelumnya seperti pada contoh berikut :

Tabel 5. 9. Mutu beton dan konten semen yang digunakan

No.	Proyek	Mutu beton (MPa)	Konten Semen (Kg/m ³)
1	Bridge PLN, ASG	75	424
	Arche De La Depense	60	425
2	Hassan II's Mosque in cassablanca	95	465
	Kwang Tong by pass, Bridge	80	500
3	Lab. Beton ITS	100	578,25
	Lab. Beton ITS	90	589,24

5.2 Saran

1. Dalam penelitian selanjutnya perlu dikembangkan varibel-variabel yang merupakan faktor yang paling penting dalam beton berkekuatan awal tinggi, seperti FAS yang dapat divariasikan lebih kecil dari 0,2 dan Konten Semen yang mungkin bisa lebih rendah dari 450 dan 535 Kg/m³
2. Perlu ditambahkan pengujian dalam waktu kurang dari 24 jam, seperti 7 Jam atau 12 Jam untuk mengetahui seberapa besar mutu beton yang dihasilkan pada umur tersebut. Memngingat bahwa apabila diaplikasikan pada bangunan gedung untuk pembuatan atau produksi beton pracetak dan pada bangunan bangunan transportasi untuk perbaikan jalan, pastinya memerlukan waktu yang lebih cepat dari 24 jam.
3. Dalam aplikasi dilapangan, perlu ditambahkan bahan tambahan kimia berupa *Retarding admixture* atau bahan tambahan kimia yang menunda setting time beton agar nantinya nilai slump dapat dipertahankan.

5.3 Rekomendasi

1. Dari hasil tugas akhir terapan yang kami kerjakan, perlu juga diterapkan di lapangan untuk aplikasi beton struktural yang membutuhkan waktu cepat. Mengingat pada penelitian ini telah berhasil membuat beton dengan karakteristik tersebut.

2. Melalui penelitian ini, kedepanya akan diusulkan menjadi pedoman untuk pembuatan beton struktural di daerah lokasi tempat material yang kami gunakan, agar masyarakat tahu bahwa material yang ada di lokasi tersebut berpotensi untuk dijadikan material beton struktural yang cepat.
3. Melalui penelitian ini, diharapkan terdapat kerjasama antara ITS dan Semen Indonesia untuk mengembangkan alat crusher agregat dalam skala home industry untuk masyarakat disekitar sumber batu kapur tersebut agar proses nya tidak lagi manual dan lebih produktif dan lebih terstandar dalam menghasilkan batu kapur tersbut. Mengingat potensinya yang dapat digunakan sebagai material penyusun beton mutu struktural cepat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Untuk mengklasifikasikan material penyusun, dilakukan pengujian berupa pengujian fisik dan karakteristik mineral dengan uji XRD. Serta untuk merancanakan campuran beton berkekuatan awal tinggi dengan menggunakan material batu ketak Tuban-Gresik dan pasor sungai Bengawan Solo kami menggunakan metode desain campuran metode IS 10262 modified by khumbar murnal 2013 yang disesuaikan. Berikut rangkuman singkat dari klasifikasi material dan desain campuran yang dihasilkan :

a. Karakteristik agregat berdasarkan hasil pengujian fisik :

Tabel 5. 1. Spesifikasi fisik agregat

Parameter	Satuan	Agregat	
		Pasir Sungai	Batu Ketak
Berat Jenis	[kg]	2,84	2,62
Kadar lumpur	%	4	1,13
Kadar air	%	2,085	2,63
peyerapan	%	0,24	4,24
<i>Fine Modulus</i>	-	3	7,5
Abrasi	%	-	32
Zona Gradasi	-	3	Max.20mm

b. Karakteristik agregat berdasarkan hasil pengujian XRD :

Tabel 5. 2. Spesifikasi hasil uji XRD

Kandungan Mineral	Nilai (%)	
	Pasir Sungai	Batu Ketak
Andesine	50,08	-
Calcite	11,82	90,28

- c. Komposisi hasil desain campuran (mix design) berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode IS 10262 modified by khumbar murnal 2013 yang disesuaikan :

Tabel 5. 3. Komposisi hasil desain campuran

Material	Satuan	Variabel Semen Konten	
		450 Kg/m³	535 Kg/m³
PPC	Kg	450,00	535,00
Pasir Sungai	Kg	856,78	803,54
Batu Kapur	Kg	1186,14	1112,43
Air	Kg	90,00	107,14
HRWR (% dari PPC)	%	0,80	0,80
FAS	-	0,20	0,20

2. Untuk mengetahui pengaruh material batu ketak (kalsit) Tuban-Gresik dan pasir sungai Bengawan Solo Bojonegoro dalam campuran beton berkekuatan awal tinggi, dari segi : workabilitas dilakukan uji slump-slump retention, Porositas dilakukan uji tes porositas, kepadatan dilakukan uji UPV, dan kuat tekan dilakukan uji kuat tekan.

a. Workabilitas

a.1 Hasil Pengujian Slump test :

Tabel 5. 4. Nilai slump test

Variabel	Nilai Slump (cm)	Slump Beton Normal (cm)
KS 450 Kg/m ³	24,7	
KS 535 Kg/m ³	27,7	10 -12

Ditinjau dari hasil pengujian slump, beton yang kami rancang lebih mudah dikerjakan dari pada beton normal pada umumnya dengan nilai slump yang dihasilkan 24,7 – 27,7 cm. Hal tersebut dikarenakan pada penelitian ini digunakan admixture berupa HRWR yang membantu meningkatkan workabilitas beton. Dengan nilai slump

tersebut beton dikatagorikan dalam kondisi workabilitas *soft plasticis*.

a.2 Hasil pengujian Slump Retention :

Tabel 5. 5. Nilai slump retention

Variabel	Nilai Slump menit ke-0(cm)	Nilai Slump menit ke6-0(cm)
KS 450 Kg/m ³	23	6
KS 535 Kg/m ³	28	8

Ditinjau dari hasil pengujian slump, beton yang kami rancang lebih mengalami penurunan nilai slump sebesar 18 – 20 cm / jam. Pada menit ke-60 nilai slump beton mencapai 6 – 8 cm.

b. Porositas dan kepadatan

b.1 Hasil tes porositas :

Tabel 5. 6. Nilai porositas

Umur (hari)	Porosity (%)	
	KS 450 Kg/m ³	KS 535 Kg/m ³
1	11,28	11,55
28	10,06	11,53

Ditinjau dari hasil pengujian porositas, beton yang kami rancang memiliki prosentase porositas 11,28 – 11,55 % dan seiring bertambahnya umur, porositas tersebut tumbuh menjadi padatan sehingga nilai prosentase porositas semakin mengecil. Hal tersebut menandakan bahwa beton mengindikasikan bahwa beton yang kami kerjakan mengalami pertumbuhan kekuatan dari umur 24 jam ke 28 hari.

b.2 Hasil tes kepadatan beton dengan UPV :

Tabel 5. 7. Nilai kecepatan pulsa *UPV test*

Umur (hari)	V – Direct UPV Test (Km/s)	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	3,86	3,86
28	4,18	4,17

Dari hasil tes kepadatan beton dengan UPV, nilai kecepatan gelombang pulsa ultrasonik yang dihasilkan pada umur 1 hari dan 28 hari, berdasarkan IS 13311-1 (1992) nilai V- UPV tersebut tergolong klasifikasi “Good” atau baik. Hal tersebut menandakan bahwa beton dibuat dengan homogen dan konsisten.

c. Hasil pengujian kuat Tekan

Tabel 5. 8. Hasil pengujian kuat tekan beton

Umur (hari)	σ_{bk} (Kg/cm ²)	
	SK 450 Kg/m ³	SK 535 Kg/m ³
1	264,87	274,50
28	636,19	565,85

Dari hasil pengujian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa pada umur awal (1 hari) nilai kuat tekan beton sudah tergolong mutu struktural sedang (250 – 400 Kg/cm²) yang pada umumnya dicapai di 28 hari. Pada umur akhir (28 hari) nilai kuat tekan beton tergolong mutu struktural tinggi (400 -800 Kg/cm²).

Kuat tekan pada umur 28 hari variable KS 450 Kg/m³ lebih tinggi daripada KS 535 Kg/m³ yang artinya konten semen memiliki nilai optimum, tidak selalu konten semen yang tinggi menghasilkan mutu yang lebih tinggi. Hal tersebut dapat dibuktikan pada penelitian sebelumnya seperti pada contoh berikut :

Tabel 5. 9. Mutu beton dan konten semen yang digunakan

No.	Proyek	Mutu beton (MPa)	Konten Semen (Kg/m ³)
1	Bridge PLN, ASG	75	424
	Arche De La Depense	60	425
2	Hassan II's Mosque in cassablanca	95	465
	Kwang Tong by pass, Bridge	80	500
3	Lab. Beton ITS	100	578,25
	Lab. Beton ITS	90	589,24

5.2 Saran

1. Dalam penelitian selanjutnya perlu dikembangkan varibel-variabel yang merupakan faktor yang paling penting dalam beton berkekuatan awal tinggi, seperti FAS yang dapat divariasikan lebih kecil dari 0,2 dan Konten Semen yang mungkin bisa lebih rendah dari 450 dan 535 Kg/m³
2. Perlu ditambahkan pengujian dalam waktu kurang dari 24 jam, seperti 7 Jam atau 12 Jam untuk mengetahui seberapa besar mutu beton yang dihasilkan pada umur tersebut. Memngingat bahwa apabila diaplikasikan pada bangunan gedung untuk pembuatan atau produksi beton pracetak dan pada bangunan bangunan transportasi untuk perbaikan jalan, pastinya memerlukan waktu yang lebih cepat dari 24 jam.
3. Dalam aplikasi dilapangan, perlu ditambahkan bahan tambahan kimia berupa *Retarding admixture* atau bahan tambahan kimia yang menunda setting time beton agar nantinya nilai slump dapat dipertahankan.

5.3 Rekomendasi

1. Dari hasil tugas akhir terapan yang kami kerjakan, perlu juga diterapkan di lapangan untuk aplikasi beton struktural yang membutuhkan waktu cepat. Mengingat pada penelitian ini telah berhasil membuat beton dengan karakteristik tersebut.

2. Melalui penelitian ini, kedepanya akan diusulkan menjadi pedoman untuk pembuatan beton struktural di daerah lokasi tempat material yang kami gunakan, agar masyarakat tahu bahwa material yang ada di lokasi tersebut berpotensi untuk dijadikan material beton struktural yang cepat.
3. Melalui penelitian ini, diharapkan terdapat kerjasama antara ITS dan Semen Indonesia untuk mengembangkan alat crusher agregat dalam skala home industry untuk masyarakat disekitar sumber batu kapur tersebut agar proses nya tidak lagi manual dan lebih produktif dan lebih terstandar dalam menghasilkan batu kapur tersbut. Mengingat potensinya yang dapat digunakan sebagai material penyusun beton mutu struktural cepat.

BAB VI

DAFTAR PUSTAKA

- 211, A. C. (2002). *Standart Practice for Selection Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*. American: ACI COmmitee 211.
- ASTM. (2000). *Annual Book of ASTM Standart : Concrete and Agregates* . Amerika: ASTM.
- Brandt, A. (1995). *Cement-based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*. London: E & FN Spon.
- Brett Ozolin, S. T. (2007). *Rapid Pavement Construction Tools, Materials and Methods*. Washington: Departmen of Civil and Environment Engineering University.
- Delatte, N. (2008). *Concrete Pavement Design, Construction And Performance*. New York: Taylor & Francis.
- Eric Bescher, G. K. (2011). *The Role of Calcium Sulfoaluminate in the Sustainability of Concrete*. Los Angeles: Department of Materials Science and Engineering University of California.
- High Early Strength Concrete* . (2013). Diambil kembali dari American Concrete Pavement Association: http://1204075.sites.myregisteredsite.com/Concrete_Pavement/Technical/FATQ/Design/High_Early_Strength_Concrete.asp
- Indonesia, S. (2013, February 2). *Inovasi Semen 5 Jam Langsung Kering*. Diambil kembali dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.: <http://www.semenindonesia.com/page/read/inovasi-semenjam-langsung-kering-2467>

- Standart, N. I. (2000). *SNI 03-6468-2000: Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang*. Jakarta: PUSLITBANG Teknologi Pemukiman.
- Subakti, A. (2012). *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Surabaya: ITS Press.
- Wang, S. (2006). High-Early-Strength Engineered Cementitious Composites. *ACI Materials Journal*, 97-105.
- Yasruddin. (2015). Studi Pasir Sebagai Agregat Halus Pada Laston Permukaan (Asphaltic Concrete-Wearing Course, AC-WC). *POROS TEKNIK Volume 7*, 1-53.
- Zia, P. (1993). *Mechanical Behavior of High Performance Concrete, Volume 4: High Early Strength Concrete*. Washington, DC: Strategic Highway Research Program.

BIODATA PENULIS



Abdul Karim Yasin ,

Penulis lahir pada tanggal 23 bulan Maret Tahun 1995 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis bernama lengkap Abdul Karim Yasin ini merupakan lulusan dari MI.NU Trate Putra Gresik, juga pernah bersekolah di SMPN 3 Gresik, dan SMAN 1 Manyar Gresik. Selain itu, penulis juga pernah aktif di kegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun.Untuk pelatihan dan organisasi, penulis sempat mengikuti

LKMM pra-TD 2013 dan dilanjutkan ke tingkat *Training Management of Organization* TMO 2014, sempat menduduki posisi sekertaris departemen Riset dan Teknologi HMDS ITS 2014/2015, dan Staff Ahli atau Ketua Divisi DS Champion (Kompetisi Teknik Sipil) *Research and Technology Departement* HMDS ITS 2015/2016. Adapun prestasi penulis baik akademi maupun non akademik, yaitu : Juara 1 *Internasional Marching band* di Thailand 2014, 2 (Dua) kali Juara 1 Lomba Beton Nasional (Jakarta 2014 dan Malang 2015), Mewakili ITS di ajang PIMNAS 28 PKM-P (Kendari, Sulawesi Tenggara) 2015, mewakili ITS di ajang lomba beton SCC *high early strength* tingkat Internasional (ACI Kuala Lumpur-Uitm Malaysia) 2016, 2 (Dua) kali sebagai pemakalah Seminar Nasional di ATPW ITS (2015 dan 2016), memperoleh no. registrasi paten penemuan tentang bahan pengganti semen bersama tim PKM-P dari HAKI 2015, dan yang terakhir ialah penulis diberi anugrah Juara 2 Mahasiswa Berprestasi ITS tingkat D3 Se-ITS 2016.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Allah S.W.T Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat dan hidayahnya kai dapat menyelesaikan tugas akhir ini, serta Rasulullah Muhammad S.A.W selaku utusan-Nya yang telah memberikan contoh untuk menjadi panutan bagi umatnya.
2. Ibu Zakiyatul Anifah S.Pd.I dan Bapak Ismail Yasin, selaku orang tua yang tangguh, selalu memberikan nasihat-nasihat yang membangun sehingga mengantar saya sukses selama kuliah di D3 T. Sipil ITS ini. Berkat doa restunya dan segala pengorbanan yang tidak pernah bisa saya balas, kecuali dengan menjadi anak yang sholeh dan cerdas, dan berkat beliau saya dapat seperti ini, menjadi seorang mahasiswa yang tangguh.
3. Abdul Bashid Yasin dan Roudhoh Sita Yasin, selaku saudara kandung, yang selalu mendoakan saya selaku kakak dan mengantikkan posisi saya sebagai penjaga ayah dan ibu di rumah selama saya sibuk kuliah.
4. Bapak Ridho Bayuaji S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen pembimbing dan juga dosen motivator yang telah membimbing saya dari tidak tahu apa-apa tentang beton sampai menjadi “cukup” ahli dalam beton. Selain TA, beliau juga membimbing dalam kompetisi beton Nasional sampai Internasional dan selalu memperoleh juara. Dan juga membimbing sampai akhirnya menjadi peringkat 2 Mahasiswa berprestasi ITS 2016. Dan juga yang memberikan saran untuk melakukan riset di PT.Semen Indonesia (persero) Tbk, sebagai penemu beton *Rapid Strength Concrete* di Indonesia.
5. Bapak Tri Eddy Susanto S.T., MT, selaku pembimbing di laboratorium beton PT. Semen Indonesia (persero) Tbk.

Begitu ikhlasnya beliau kepada kami dalam membimbing, sampai akhirnya kami mengerti arti riset yang sebenarnya. Dimana riset itu harus bermanfaat, tidak perlu banyak data, yang penting data tersebut berguna dan dapat di aplikasikan untuk masyarakat.

6. Bapak Buyung, Bapak Didik, Ibu sulfi dan Ibu Oky selaku tim KPPA Diploma Teknik Spil ITS, yang membantu kami dalam mengurus surat-surat dan segala administrasi Tugas Akhir kami sehingga kami juga dapat melakukan TA di PT. Semen Indonesia (persero) Tbk.
7. Akbar Bayu Kresno Suharso atau sekarang Akbar Bayu Kresno Suharso A.Md, Selaku patner TA yang selalu sabar, yang selalu memahami kesibukan saya dan baik kepada saya. Semoga nantinya persahabatan kita terus terjalin hingga tua kelak.
8. Bapak Rizki, Bapak Bangikt, Bapak Arba'in, Bapak Chatur, Mbak Nahla, Bapak Roganda dan mas Zaenal, selaku pendamping di Lab. PT. Semen Indonesia (persero) Tbk, terimakasih atas arahan nya selema di penelitian, terimakasih atas bantuanya juga selama di Lab.
9. Mas Tian, Mas Fathirul, Mas Wahyu, Mas Adam, Mas taufan dan senior yang lain, selaku kakak selema saya kuliah di D3 T. Sipil ITS yang selalu memberikan nasihat dan membantu dalam pembentukkan karakter saya dan memotivasi saya untuk terus menjadi mahasiswa panutan yang lain dan juga membantu menjaga iklim kompetisi di kampus ITS Manyar karena saya diberi amanah untuk menjadi ketua DS Champion HMDS ITS.
10. Dan seluruh pihak-pihak yang lain, yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuanya terimakasih atas doanya.

BIODATA PENULIS



Akbar Bayu Kresno Suharso ,
Penulis dilahirkan di Semarang, 21 Desember 1995 dan merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Sekar Melati Surabaya, SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya. SMP Negeri 3 Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Setelah lulus dari SMA Negeri 15 Surabaya tahun 2013, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma III ITS dan diterima di program studi Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS pada tahun 2013 dan

terdaftar dengan NRP 3113.030.121. Pada program studi Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS ini penulis mengambil bidang studi Bangunan Gedung. Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS di Departemen Big Event periode 2014 – 2015 sebagai sekertaris departemen dan Paduan Suara Mahasiswa ITS. Untuk pelatihan, penulis juga sempat mengikuti LKMM Pra-TD 2013, LKMM TD 2013, pra-LA 2014 PSM ITS dan LA 2014 PSM ITS. Selain itu, Penulis sempak aktif juga dalam berbagai seminar dan kegiatan kepanitiaan di ITS yang beberapa diantaranya adalah pernah menjadi konseptor dalam acara kegiatan besar D'village 5th Edition yang diadakan oleh HMDS FTSP ITS, pengisi konser paduan suara De Novo yang daiadakan oleh PSM ITS dan pemakalah Seminar Nasional di ATPW ITS. Penulis sempat mengikuti kerja praktek di PT. PT Waskita Karya (Persero), Tbk pada proyek pembangunan RSUD Dr. Soewandhie Pemerintah Kota Surabaya.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses penulisan tugas akhir terapan ini penulis banyak mendapatkan bantuan dalam bentuk saran, kritik, jasa, bimbingan serta do'a dari berbagai pihak. Oleh karena itu sudah sepantasnya penulis menghantarkan ucapan terima kasih kepada :

1. Allah SWT. , segala puji dan syukur saya panjatkan atas kehadiran-Nya. Dengan rahmat dan hidayahnya lah tugas akhir terapan ini dapat terselesaikan. Serta junjungan nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya yang telah menjadi panutan suri tauladan bagi pribadi saya sendiri.
2. Kedua orang tua saya, Kotimah dan Suharso. Tugas akhir terapan ini saya persembahkan untuk mama dan papa. Segala do'a, air mata, dan keringat yang kalian limpahkan tak akan terbatas oleh apapun. Terima kasih atas semua do'a, cinta dan kasih sayang yang senantiasa setiap waktu Mama dan Papa berikan selama ini.
3. Bapak Ridho Bayuaji S.T., M.T., Ph.D, dan Bapak Tri Eddy Susanto S.T., MT [PT. Semen Indonesia (persero) Tbk.] selaku pembimbing dari tugas akhir terapan ini.
4. Bapak Buyung, Bapak Didik, Ibu Sulfi dan Ibu Oky selaku tim KPPA Diploma Teknik Spil ITS, yang membantu kami dalam mengurus surat-surat dan segala administrasi Tugas Akhir kami.
5. Semua dosen Diploma Sipil FTSP ITS yang telah memberikan banyak ilmu, pembelajaran, sharing pengalaman dan bimbingannya yang telah diberikan selama masa perkuliahan yang saya jalankan.
6. Abdul Karim Yasin selaku patner TA saya yang selalu sabar, dan tidak lelah untuk memberi arahan kepada saya dalam

penyelesaian tugas akhir ini. Semoga nantinya persahabatan kita terus terjalin hingga tua kelak.

7. Bapak Rizki, Bapak Bangkit, Bapak Arba'in, Bapak Chatur, Mbak Nahla, Bapak Roganda dan mas Zaenal, selaku pendamping di Lab. PT. Semen Indonesia (persero) Tbk,
8. Seluruh keluarga besar saya, mbah, om, tante, pakde, bude, bulek, saudara – saudara sepupu saya yang senantiasa memberikan do'a dan dukungannya.
9. Farah Savira sebagai pendamping saya yang tidak kenal lelah dalam membantu saya baik dalam segi jasa, materi, dan do'a dalam penyelesaian tugas akhir terapan ini, senantiasa sabar dalam menghadapi ego dan segala kekurangan saya, mensupport dan menemani saya ketika sedang suntuk, lelah, stress, suka maupun duka dalam penggerjaan tugas akhir terapan ini.
10. Teman – teman saya dan sahabat – sahabat saya, kelas BG '13, X '13, BE HMDS FTSP ITS 2014/2015, HMDS, Brotherhood, DS 33, DS 34, DS 35, LA 14, Thunder, PSM ITS, dan Durex Libels. Maafkan tak bisa menyebutkan nama satu persatu. Tapi makasih buat semua bantuan dalam bentuk apapun, semoga pertemanan dan persahabatan kita tetap terjalin selamanya.
11. Seluruh civitas akademik program studi Diploma Sipil FTSP ITS.
12. Dan juga seluruh pihak-pihak yang lain, yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan dan do'a dalam kelancaran dan kesuksesan penggerjaan tugas akhir terapan ini.