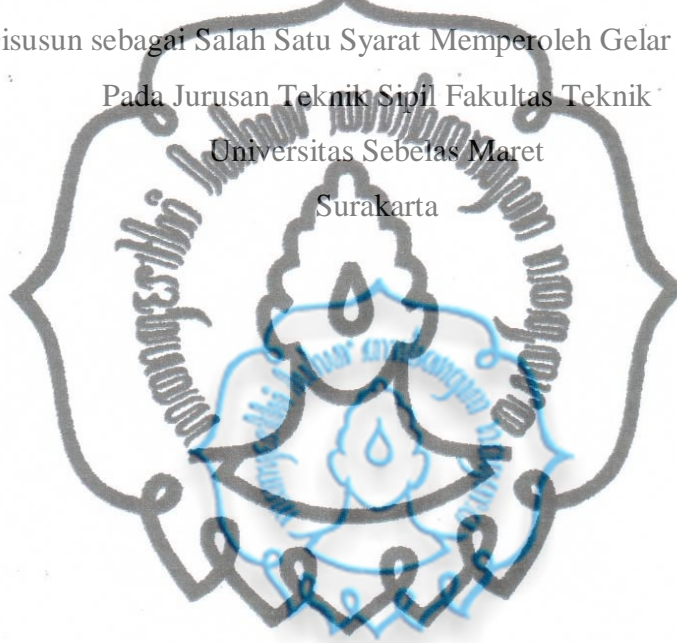


**TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS
BETON DENGAN VARIASI KADAR SLAG DAN AKTIVATOR
SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN**

*“Review on the Compressive Strength and Elasticity Modulus of Concrete
Using Variation Slag and Activator Level as the
Partial Cement Replacement”*

SKRIPSI

Disusun sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret
Surakarta



Oleh :

FEBRY ARIEF PURNOMO
NIM I 0107077

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2012

commit to user

LEMBAR PERSETUJUAN

TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS
BETON DENGAN VARIASI KADAR SLAG DAN AKTIVATOR
SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN

*“Review on the Compressive Strength and Elasticity Modulus of Concrete
Using Variation Slag and Activator Level as the
Partial Cement Replacement”*



Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Pendadaran
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Kusno Adi Sambowo, ST, PhD
NIP. 19691026 199503 1 002

Ir. Agus Supriyadi, MT
NIP. 19600322 198803 1 001

JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA

commit to user
2012

LEMBAR PENGESAHAN

**TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS
BETON DENGAN VARIASI KADAR SLAG DAN AKTIVATOR
SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN**

*“Review on the Compressive Strength and Elasticity Modulus of Concrete
Using Variation Slag and Activator Level as the
Partial Cement Replacement”*

SKRIPSI

Disusun oleh:

FEBRY ARIEF PURNOMO**NIM 10107077**

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta dan diterima guna memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana teknik

Pada Hari : Rabu

Tanggal : 8 Februari 2012

Tim Penguji Pendadaran :

1. Kusno Adi Sambowo, ST, PhD
NIP. 19691026 199503 1 002
2. Ir. Agus Supriyadi, MT
NIP. 19600322 198803 1 001
3. Ir. Supardi, MT
NIP. 19550504 198003 1 003
4. Agus Setiya Budi, ST, MT
NIP. 19700909 199802 1 001

Mengetahui,
a.n Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Disahkan
Ketua Jurusan Teknik sipil
Fakultas Teknik UNS

Kusno Adi Sambowo, ST, PhD
NIP. 19691026 199503 1 002

Ir. Bambang Santosa, MT
NIP 19590823 198601 1 001

MOTTO

*Melakukan perbuatan baik tidak akan pernah menimbulkan kerugian
bagi diri seseorang.*

*Kegagalan bukanlah saat dimana kita harus berhenti, dengan terus
berusaha keberhasilan akan datang dengan sendirinya.*

*Orang sukses tidak berbicara mengenai kecilnya kemungkinan untuk
menang, tapi besarnya kemauan untuk berjuang
sampai akhir. (Bong Chandra)*



PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, dengan segala kerendahan hati izinkan saya mempersembahkan karya ini saraya berucap terima kasih kepada:

Kedua orang tua saya Wigarno & Sri Widati serta adik saya Tian Kristanto yang selalu memberikan segala sesuatu baik dukungan, kepercayaan, doa, serta kasih sayang yang tak henti-hentinya setiap hari.

Pak Kusno Adi Sambono dan Pak Agus Supriyadi yang selalu ikhlas dan sabar memberikan bimbingan kepada saya.

Para staff markado, octo, gama, kethip, ihya, sastro, wahet, paijo, ika, mbendol, hari, ageng, satiro, aan, andi, alpien, agung, dan bonenk yang telah memberikan banyak sekali bantuan serta membuat hari-hari ngampus menjadi lebih berwarna dan tidak membosankan oleh tingkah unik kalian. Masa-masa indah di markado takkan mungkin terlupakan kawan, sukses untuk kita semua.

Keluarga besar Teknik Sipil UNS angkatan 2007. Menjadi bagian dari keluarga ini menjadi kebanggaan tersendiri bagi diri saya. Terima kasih teman-teman untuk persahabatannya selama ini.

PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi Kadar Slag dan Aktivator Sebagai Pengganti Sebagian Semen” guna memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak maka banyak kendala yang dihadapi penulis selama penyusunan skripsi ini. Untuk itu, Penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta,
2. Pimpinan Jurusan Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta,
3. Kusno Adi Sambowo, ST, MSc, PhD. selaku dosen pembimbing I,
4. Ir. Agus Supriyadi, MT. selaku dosen pembimbing II,
5. Ir. Purwanto, MT. selaku pembimbing akademik,
6. Tim Dosen Penguji Pendadaran,
7. Staf pengelola/laboran Laboratorium Bahan Bangunan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret,
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2007 dan semua pihak yang telah membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi pihak-pihak yang membutuhkan, khususnya bagi penulis sendiri.

Wassalamu’alaikum Wr. Wb.

Surakarta, Januari 2012

Penulis

commit to user

ABSTRAK

Febry Arief Purnomo, 2012, Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi Kadar Slag dan Aktivator sebagai Pengganti Sebagian Semen. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Slag merupakan limbah dari proses peleburan baja yang memiliki kandungan hampir sama dengan semen. Menggunakan slag sebagai bahan pengganti semen selain dari segi ekonomis membuat biaya pembuatan beton menjadi lebih murah, sekaligus juga memanfaatkan kembali limbah industri yang dapat merusak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan dari berbagai variasi kadar penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen serta pengaruhnya terhadap beton.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan 11 jenis campuran yang diuji dengan tiga buah benda uji untuk tiap campuran. Benda uji terdiri atas beton normal sebagai pembanding dan beton dengan slag sebagai pengganti sebagian semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% terhadap berat semen. Aktivator yang digunakan adalah Na_2CO_3 sebesar 5% dan 10% terhadap berat slag untuk setiap variasi kadar slag. Benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Kuat tekan dan modulus elastisitas beton diuji pada umur beton 28 hari.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen bila dibandingkan dengan beton normal mengakibatkan penurunan nilai kuat tekan sebesar 9,57% - 59,57% (aktivator 5%) dan 17,55% - 70,21% (aktivator 10%) seiring dengan semakin besarnya kadar penggunaan slag. Nilai modulus elastisitas juga cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya kadar penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen. Beton slag dengan aktivator 5% mempunyai nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang lebih besar bila dibandingkan dengan beton slag dengan aktivator 10%.

Kata kunci: kuat tekan, modulus elastisitas dan slag.

ABSTRACT

Febry Arief Purnomo, 2012, *Review on the Compressive Strength and Elasticity Modulus of Concrete Using Variation Slag and Activator Level as Partial Cement Replacement*. Final Project Civil Engineering Department of Engineering Faculty of Surakarta Sebelas Maret University.

Slag is a waste of the steel smelting process that has content almost the same with cement. Using slag as cement replacement materials other than economic terms makes the cost of making concrete become cheaper, as well as reuse of industrial waste that can damage the environment. This research aimed to find out the value of compressive strength and modulus of elasticity that produced from variation slag level as partial cement replacement and its influence on concrete.

This research used the experimental method with 11 mixtures which were tested in three samples each. The tested objects consisted of normal concrete as comparison and concrete with slag as partial cement replacement at 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% of cement weight. Activator used Na_2CO_3 at 5% and 10% of slag weight for each variation slag level. The test sample was a cylinder form with 15 cm of diameter and 30 cm of height. Compressive strength and modulus of elasticity concrete were tested at 28 days of concrete age.

Test results show that the use of slag as partial cement replacement when compared to normal concrete resulted compressive strength values decrease by 9,57% - 59,57% (activator 5%) and 17,55% - 70,21% (activator 10%) along with greater of use slag level. The value of modulus elasticity also tend to decrease along with greater of use slag level as partial cement replacement. Slag concrete with 5% activator has a value of compressive strength and modulus of elasticity greater when compared with slag concrete with 10% activator.

Keywords: *compressive strength, modulus of elasticity, slag.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK	vi
PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL.....	xv
 BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.5.1. Manfaat Teoritis.....	4
1.5.2. Manfaat Praktis	4
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Pengertian Beton	6
2.2.2. Material Penyusun Beton	7
2.2.2.1. Semen Portland	7
2.2.2.2. Agregat	10
2.2.2.3. Air	14
2.2.2.4. Slag	15

2.2.2.5. Alkali Aktivator	17
2.2.3. Sifat-sifat Beton	18
2.2.3.1. Sifat-sifat Beton Setelah Mengeras	18
2.2.3.2. Sifat-sifat Beton Setelah Mengeras	20
2.2.4. Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	21
2.2.5. Kuat Tekan.....	22
2.2.6. Modulus Elastisitas	23

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan dan Benda Uji Penelitian.....	26
3.1.1. Pengujian Bahan Pembentuk Beton.....	26
3.1.1.1. Agregat Halus.....	27
3.1.1.2. Agregat Kasar.....	29
3.1.2. Benda Uji.....	31
3.1.3. Pengujian Kuat Tekan.....	33
3.1.4. Pengujian Modulus Elastisitas	34
3.2. Rancang Campur (<i>Mix Design</i>)	36
3.2.1. Pembuatan Benda Uji.....	36
3.2.2. Pengujian Nilai <i>Slump</i>	37
3.2.3. Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>).....	38
3.3. Alat Uji Penelitian	39
3.4. Variabel Penelitian.....	40
3.5. Tahap Penelitian	40

BAB 4. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Bahan.....	43
4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus	43
4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar	45
4.1.2. Hasil Pengujian Slag	46
4.2. Rencana Campuran Adukan Beton.....	47
4.3. Hasil Pengujian.....	49
4.3.1. Hasil Pengujian <i>Slump</i>	49

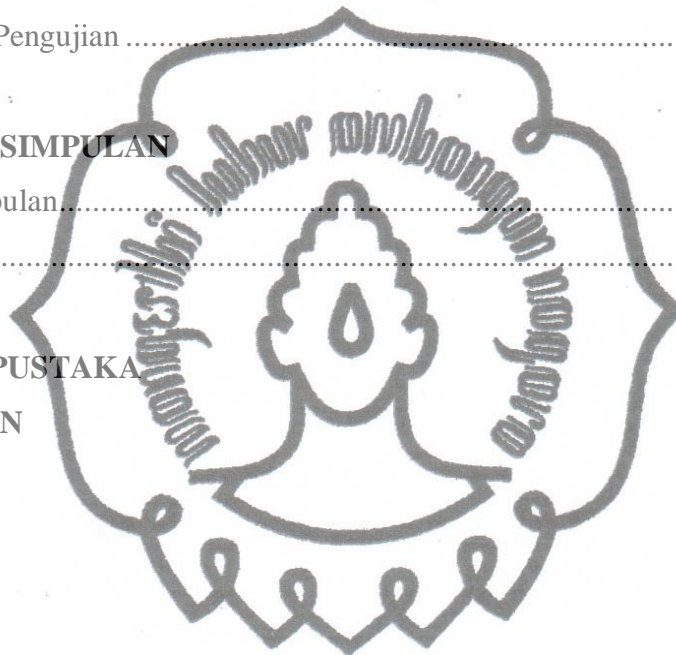
4.3.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan	50
4.3.3. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	52
4.3.4. Uji Normalitas <i>Chi-Kuadrat</i>	57
4.4. Pembahasan	60
4.4.1. Uji <i>Slump</i>	60
4.4.2. Kuat Tekan.....	60
4.4.3. Modulus Elastisitas	62
4.4.4. Hubungan Antara Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Hasil Pengujian	67

BAB 5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan.....	69
5.2. Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan bahan yang sangat sering digunakan dalam mengisi struktur suatu bangunan, baik pada gedung, jembatan maupun bangunan air. Beton sering dipilih sebagai bahan konstruksi bangunan karena beton lebih mudah dikerjakan, dari segi kekuatan beton mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi, selain itu beton juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan. Akan tetapi beton juga mempunyai kelemahan yaitu kemampuan beton untuk menahan gaya tarik sangat rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, didalam beton diberi baja tulangan sehingga terbentuklah struktur beton bertulang.

Beton terbentuk dari campuran semen, air dan agregat yang akan mengeras melalui proses kimiawi. Semakin pesatnya pembangunan menyebabkan kebutuhan semen dalam dunia konstruksi juga semakin meningkat, yang mana semen sendiri merupakan bahan utama dalam pembuatan beton. Oleh karena itu, perlu adanya suatu bahan alternatif yang dapat digunakan untuk menggantikan semen dalam beton atau setidaknya sebagai pengganti sebagian semen dengan persentase tertentu yang dapat mengurangi penggunaan semen.

Perkembangan industri yang sangat pesat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan diantaranya semakin banyak limbah yang akan dihasilkan oleh industri-industri tersebut. Dengan maksud untuk memperkecil dampak negatif dari banyaknya limbah yang dihasilkan terhadap lingkungan, maka pada penelitian ini kami bermaksud mempergunakan salah satu dari sekian banyak limbah industri di Indonesia yang tidak bermanfaat menjadi lebih bermanfaat bagi kehidupan kita terutama dalam dunia teknik sipil.

Salah satu limbah yang mungkin untuk dimanfaatkan adalah slag. Slag merupakan limbah industri peleburan besi yang telah mengalami proses pendinginan, berbentuk butiran runcing, sebagian besar mengandung oksida besi, silikat dan kapur yang sifat fisiknya hampir sama dengan pasir alami. Sebelum digunakan sebagai pengganti semen slag harus dihaluskan terlebih dahulu, hingga butirannya menyerupai semen agar dapat meningkatkan mutu beton.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yudhi Wirawan (2005), slag digunakan sebagai pengganti sebagian dari semen ke dalam campuran beton. Variasi penggunaan slag sebesar 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% dari berat semen, sedangkan kadar aktivator sebesar 5% dari berat slag. Dari penelitian tersebut ternyata diperoleh beton dengan mutu yang kurang baik, akan tetapi masih dimungkinkan terjadi peningkatan mutu seiring dengan semakin berkurangnya variasi kadar penggunaan slag.

Oleh karena itu pada penelitian ini akan dicoba menggunakan variasi kadar slag yang lebih kecil yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat semen. Selain menggunakan kadar aktivator sebesar 5% agar dapat digunakan sebagai pembanding dari penelitian sebelumnya, pada penelitian ini kadar aktivator juga akan ditingkatkan menjadi 10% dari berat slag. Diharapkan beton yang dihasilkan memiliki mutu yang lebih baik.

Slag yang kandungan kimia di dalamnya terdapat silica dan kapur, diharapkan bersama dengan bahan pengaktif (*activator*) jenis alkali dalam persentase tertentu mampu berperan sebagai semen yaitu sebagai pengikat bahan-bahan lain (agregat) di dalam suatu campuran adukan beton menjadi satu kesatuan yang homogen dan memiliki kekuatan, paling tidak mendekati semen.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang tersebut diatas, maka dapat dirumuskan suatu masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan dari berbagai variasi kadar penggunaan slag (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) dengan variasi aktivator 5% dan 10 % untuk menggantikan sebagian semen?
2. Bagaimana pengaruh slag sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton dilihat dari variasi kadar slag sebagai pengganti sebagian semen?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini supaya lebih terarah dan tidak terlalu luas tinjauannya, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Slag diambil dari PT. Ispat Indo Surabaya
2. Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe 1.
3. Aktivator yang digunakan adalah Na_2CO_3 .
4. Benda uji untuk pengujian kuat tekan berbentuk silinder dengan ukuran 150 mm x 300mm. Penggunaan benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing kandungan persen slag.
5. Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur minimal 28 hari.
6. Mix design direncanakan untuk $f'c = 30 \text{ MPa}$
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan dari berbagai variasi kadar penggunaan slag (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) dengan variasi aktivator 5% dan 10 % untuk menggantikan sebagian semen.
2. Mengetahui pengaruh slag sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton dilihat dari variasi kadar slag sebagai pengganti sebagian semen.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis
 - a. Ikut memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu dan teknologi, khususnya teknologi beton dan struktur beton.
 - b. Menambah pengetahuan tentang beton terutama penggunaan slag sebagai pengganti semen.
2. Manfaat Praktis
 - a. Memberikan gambaran mutu beton yang dihasilkan yang dihasilkan dari penggantian semen dengan Slag terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas.
 - b. Diharapkan akan dihasilkan alternatif bahan pengganti semen yang lebih ekonomis.
 - c. Diharapkan mampu memberikan solusi terhadap pemanfaatan limbah besi baja (slag) yang saat ini dirasakan masih kurang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan suatu bahan bangunan yang terbentuk dari proses pencampuran semen, air dan agregat. Semen dan air bercampur membentuk pasta yang selanjutnya pasta tersebut akan mengisi rongga-rongga antar agregat, sehingga beton menjadi sesuatu yang padat. Campuran ini bersifat plastis dan akan saling berikatan serta mengeras melalui reaksi kimia yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu. Beton mempunyai keunggulan yaitu kuat tekannya yang tinggi dan saat masih dalam bentuk beton segar campurannya bersifat plastis sehingga mudah dikerjakan, itulah sebabnya beton banyak digunakan dalam dunia konstruksi.

Beton merupakan bahan gabungan yang terdiri dari agregat kasar (batu pecah/kerikil) dan agregat halus (pasir) yang dicampur air sebagai bahan perekatnya dan air sebagai bahan pembantu untuk keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung, serta kadang-kadang ditambah bahan kimia tertentu (*chemical admixture*) atau bahan pengisi tertentu bila diperlukan. (*Neville, 1996*)

Bahan penyusun beton dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan bahan pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air sedangkan yang pasif yaitu pasir dan kerikil (disebut agregat halus dan agregat kasar). Kelompok yang pasif disebut pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat. (*Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996*)

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. (*Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996*)

Kuat tekan ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat halus, agregat kasar, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan factor utama dalam penentuan kuat tekan beton. (*Wang. C.K dan Charles G Salmon, 1993 : 9*)

Aktivator yang biasa dipergunakan sebagai bahan campuran slag adalah jenis alkali, yakni : OPC, Na_2C_3 , NaOH, Na_2SiO_3 (water glass) yang merupakan aktivator paling bagus digunakan. (*Glukhovsky, 1980 ; Wang et al, 1994 ; Mlolepsy and Petry, 1986 ; Douglas et al, 1991*).

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian Beton

Beton adalah batuan buatan yang diperoleh dengan mencampurkan semen portland, air, dan agregat serta dengan atau tanpa bahan tambahan dengan perbandingan tertentu. Bahan tambahan berupa bahan kimia, serat dan bahan buangan non kimia. Bahan serat yaitu serat baja, plastik, dan tumbuh – tumbuhan. Kelebihan dari beton adalah kuat tekan yang tinggi sedangkan kekurangannya adalah kuat tarik yang sangat rendah. (*Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996*)

2.2.2. Material Penyusun Beton

2.2.2.1. Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan dasar pembentuk semen portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Semen portland memiliki sifat-sifat yang dapat meningkatkan kekuatan. Sifat yang paling penting dari semen portland ini adalah mengeras melalui suatu reaksi kimia dengan air yang disebut hidrasi, dimana hidrasi ini akan menghasilkan panas. Hidrasi ini menghasilkan pengikatan yang terjadi pada permukaan butir Trikalsium Aluminat, sehingga akan terjadi rekatan yang kuat antara agregat dalam campuran mortar.

Komposisi kimia semen Portland pada umumnya terdiri dari CaO , SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang merupakan oksida dominan. Sedangkan oksida yang lain jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen. Keempat oksida utama tersebut didalam semen berupa senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_3AF dengan perbandingan tertentu pada setiap produk semen, tergantung pada komposisi bahan bakunya. Komposisi kimia semen Portland dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Semen Portland

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO_2)	17 – 25
Alumina (Al_2O_3)	3 – 8
Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO_3)	1 – 2
Soda/potash ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)	0,5 – 1

(Sumber:Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995)

Senyawa-senyawa utama semen Portland yaitu C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF memiliki sifat yang menentukan sifat kekuatan semen, sifat-sifat senyawa tersebut antara lain :

1. Trikalsium Silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas, selain itu juga berpengaruh besar terhadap pengerasan semen terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Senyawa ini juga kurang tahan terhadap agresi kimiawi, dan mengalami disintegrasi oleh sulfat tanah yang dapat menyebabkan retak-retak pada beton.

2. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$

C_2S bereaksi dengan air lebih lambat sehingga berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari dan memberikan kekuatan akhir. Unsur ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia dan juga mengurangi besar susut pengeringan.

3. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3CAO.Al_2O_3$

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dengan melepas sejumlah panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan kekuatan beton pada umur 14 hari. Senyawa ini juga mudah bereaksi dengan sulfat sehingga menyebabkan terjadinya retak-retak pada beton.

4. Tetrakalsium Aluminoferrit (C_4AF) atau $4CAO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Senyawa ini tidak terlalu mempengaruhi kekuatan dan sifat semen. C_4AF hanya berfungsi mempercepat dan menyempurnakan reaksi pada dapur pembakaran proses pembentukan semen.

Dari keempat unsur penyusun semen tersebut diatas point 1 dan 2 merupakan point yang paling dominan dalam memberikan sifat semen, karena mempunyai bagian lebih kurang 70 – 80 persen dari semen. (*Kardiyono Tjokrodimulyo, 1996*)

Perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah prosentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Adapun klasifikasi semen Portland menurut SII 0013-81 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

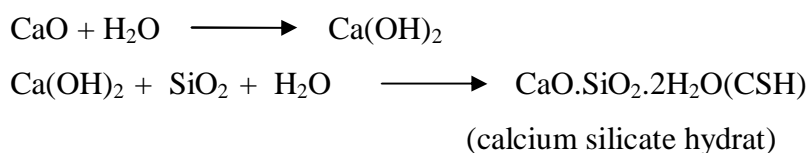
Tabel 2.2. Jenis-Jenis Semen Portland

Jenis Semen	Karakteristik Umum
Jenis I	Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus
Jenis II	Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
Jenis III	Semen portland yang penggunaannya memerlukan persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan
Jenis IV	Semen portland yang penggunaannya menuntut panas hidrasi rendah
Jenis V	Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

(Sumber : Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995 : 11)

Hidrasi semen

Senyawa kimia yang terkandung dalam semen merupakan bahan yang reaktif terhadap air. Apabila semen bercampur dengan air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi menghasilkan suatu pasta yang akan mengeras menurut waktu. Proses bereaksinya semen dengan air itulah yang dinamakan hidrasi semen. Reaksi hidrasi antara semen dan air dapat dilihat dibawah ini.



Reaksi hidrasi ini berlangsung sangat lambat dan bertambah lambat sejalan dengan bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan makin terbentuknya lapisan pasta semen yang menyelimuti butiran semen. Menurut Paulus Nugraha (1988 : 28), secara teoritis proses hidrasi akan berhenti bila tebal lapisan mencapai 25 μm .

Kehalusan partikel semen sangat berpengaruh terhadap kecepatan proses hidrasi yang terjadi antara semen dan air. Karena reaksi hidrasi ini dimulai dari permukaan butir-butir semen. Dengan semakin halusya semen, maka semakin luas permukaan spesifik semen dan akan menyebabkan kemungkinan terjadinya reaksi antara air dengan partikel semen persatuan waktu menjadi lebih besar, hal ini menyebabkan kecepatan reaksi bertambah besar.

2.2.2.2. Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat ataupun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian penting dalam pembuatan beton.. Kadar agregat dalam campuran beton berkisar antara 70%-75% dari volume total beton. Oleh karena itu kualitas agregat berpengaruh sekali terhadap kualitas beton. (*Paulus Nugraha, 1989 : 31*)

Pada umumnya, agregat digolongkan menjadi dua, yaitu :

- 1) Agregat halus (pasir), merupakan butiran mineral alami yang berukuran antara 0,15 mm dan 5 mm.
- 2) Agregat kasar, dibagi menjadi dua yaitu :
 - a. Batu pecah, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
 - b. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm dan 40 mm.

1) Agregat Halus

Menurut Tjokrodimuljo (1996), agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil antara 0,15 mm dan 5 mm. Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Pasir sebagai bahan pembentuk mortar bersama semen dan air, berfungsi mengikat agregat kasar menjadi satu kesatuan yang kuat dan padat.

Berdasarkan ASTM C 125-03, agregat halus adalah agregat yang lolos saringan 4,75 mm (No. 4) dan tertahan pada saringan 75 μ m (No. 200)

Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 33, syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut :

- 1) Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, bersifat kekal dalam arti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
- 2) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5 %, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak. Hal demikian dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams Header* dengan menggunakan larutan NaOH.
- 4) Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - (a) Sisa di atas ayakan 4 mm , harus minimum 2 % berat.
 - (b) Sisa di atas ayakan 1 mm , harus minimum 10 % berat.
 - (c) Sisa di atas ayakan 0,25 mm , harus berkisar antara 80 % - 90 % berat.

Pasir di dalam campuran beton sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Untuk memperoleh hasil beton yang seragam, mutu pasir harus dikendalikan. Oleh karena itu pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan. Batasan susunan butiran agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Batasan susunan butiran agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos saringan			
	Daerah 1 (Pasir Kasar)	Daerah 2 (Pasir Agak Kasar)	Daerah 3 (Pasir Agak Halus)	Daerah 4 (Pasir Halus)
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Kardiyono Tjokrodinuljo (1996)

2) Agregat Kasar

Menurut Tjokrodinuljo (1996) disebutkan bahwa agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar antara 5 mm dan 40 mm. Sifat dari agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek merusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen.

Berdasarkan ASTM C 125-03, agregat kasar adalah suatu agregat yang tertahan pada saringan 4,75 mm (No. 4).

Sifat-sifat bahan bangunan sangat perlu untuk diketahui, karena dengan mengetahui sifat dan karakteristik dari bahan tersebut, kita dapat menentukan langkah-langkah yang diambil dalam menangani bahan bangunan tersebut. Sifat-sifat dari agregat kasar yang perlu untuk diketahui antara lain ketahanan (*hardness*), bentuk dan tekstur permukaan (*shape and texture surface*), berat jenis agregat (*specific gravity*), ikatan agregat kasar (*bonding*), modulus halus butir (*fineness modulus*), dan gradasi agregat (*grading*).

Menurut PBI 1971 (NI-2) pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20 % dari berat agregat seluruhnya.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci.
3. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
4. Kekerasan butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan bejana penguji dari Rudelof dengan beton penguji 20 ton, yang harus memenuhi syarat-syarat :
 - (a) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24 % berat.
 - (b) Tidak terjadi pembubukan sampai 19-30 mm lebih dari 22 % berat.
 Kekerasan ini dapat juga diperiksa dengan mesin *Los Angeles*. Dalam hal ini tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50 %.
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 PBI 1971, harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - (a) Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0 % berat .
 - (b) Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90 % dan 98 % berat.
 - (c) Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, maksimum 60 % dan minimum 10 % berat.

Batasan susunan butiran agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Persyaratan gradasi agregat kasar

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos saringan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95 – 100
10	10-35	22-55
4,8	0-5	0-10

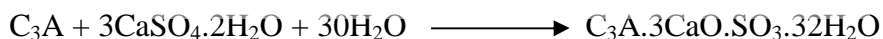
Sumber : Kardiyo Tjokrodinuljo (1996)

commit to user

2.2.2.3. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling penting. Air yang digunakan dalam campuran mortar mempunyai fungsi sebagai peningkat kelecakan dalam pembuatan mortar dan berperan penting dalam reaksi kimia yang disebut juga reaksi hidrasi. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan menyebabkan terjadinya pengikatan antara pasta semen dengan agregat, sedangkan fungsi lain sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Jumlah air dalam pembuatan mortar harus cukup supaya terjadi rekatan yang benar-benar kuat antara partikel di dalam campuran mortar, tetapi jumlahnya tidak boleh berlebih karena akan menimbulkan rongga-rongga pada mortar dan kekuatannya akan menurun. Bila jumlah air yang digunakan terlalu sedikit akan mempengaruhi kesempurnaan reaksi hidrasi semen dan proses pengerjaan (*workability*) yang sulit dalam pengadukan. Adapun reaksi kimia yang terjadi antar air dan semen yaitu sebagai berikut :



Secara umum air yang dapat digunakan dalam campuran adukan mortar adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan mortar dengan kekuatan lebih dari 90 % dari mortar yang memakai air suling. (PUBI 1982)

2.2.2.4. Slag

Slag adalah hasil limbah industri peleburan besi (*pig iron*), berbentuk runcing (tajam) dan sebagian besar mengandung oksida besi, silikat dan kapur serta mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang sama dengan pasir. Beberapa keuntungan penggunaan slag dalam campuran beton, adalah sebagai berikut : (Lewis, 1982)

- Meningkatkan kekuatan beton.
- Meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut.
- Mengurangi panas hidrasi dan memperkecil porositas.

Adapun kelemahan dari slag adalah beton yang dihasilkan akan berwarna kehitam-hitaman dan tidak semua daerah mempunyai slag sehingga sulit didapat. Slag dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen tetapi butirannya harus dihaluskan seperti semen karena semakin halus slag semakin bagus kontribusinya untuk peningkatan mutu beton (Harmonis, 2000).

Sebelum digunakan sebagai campuran beton, slag harus dihaluskan terlebih menyerupai butiran semen. Semakin halus butiran slag akan semakin besar *surface area* atau luasan permukaan sehingga slag akan semakin reaktif. Berdasarkan penelitian pengaruh slag sebagai pengganti semen pada beton salah satunya adalah mengurangi tingkat bleeding pada campuran beton, bila butiran slag yang digunakan halus menyerupai semen, maka bleeding dapat tereduksi. Namun, bila butiran slag lebih kasar dari semen, maka bleeding meningkat (R.Tixier, A.M. Arimo and B. Mobasher, 2001).

1. Sifat Fisik Slag

Slag memiliki bentuk yang tidak beraturan dan memiliki tekstur kasar mendekati runcing, berwarna abu – abu kehitaman (karena memiliki kandungan FeO yang cukup tinggi), mempunyai sifat kimia yang stabil dan sifat fisik yang hampir sama dengan pasir alami. Oleh karena itu, slag lebih banyak digunakan sebagai pengganti agregat halus. Namun, slag juga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti

sebagian semen tetapi materialnya harus dihaluskan hampir seperti semen agar didapatkan hasil yang optimum.



Gambar 2.1. Contoh slag

2. Komposisi Kimia Slag

Berdasarkan hasil uji laboratorium PT Ispat Indo Surabaya, komposisi kimia dari slag adalah sebagai berikut :

Tabel 2.5. Komposisi Kimia Slag

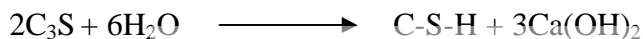
UNSUR	KADAR (%)
FeO	30 - 55
CaO	25 - 30
SiO ₂	12 - 18
MgO	4 - 6
MnO	2 - 4
Al ₂ O ₃	2 - 3
P ₂ O ₅	0.5 - 3

Sumber : Laboratorium Kimia PT. Ispat Indo Surabaya

3. Reaksi Kimia Slag

Yang perlu diperhatikan dari sifat kimia slag dalam hubungannya dengan campuran beton adalah kandungan CaO dan SiO₂. Dalam hal ini CaO bebas dalam campuran beton akan bereaksi dengan air selama proses hidrasi.

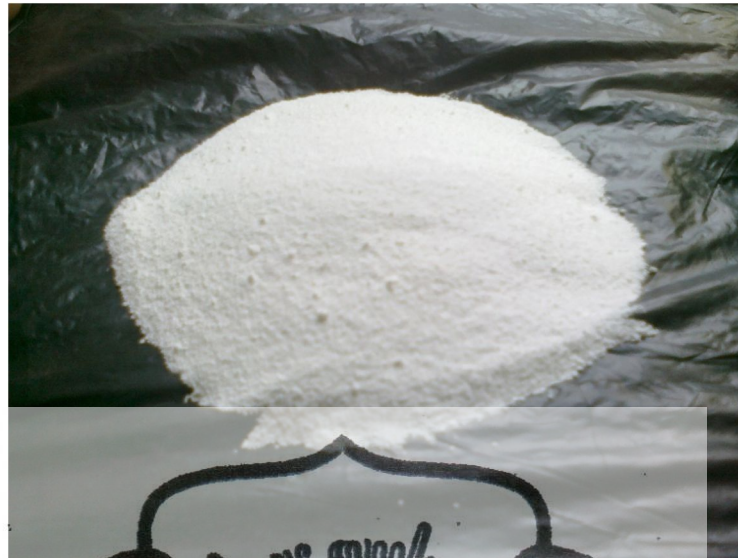
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Reaksi ini akan menghasilkan Ca(OH)₂ yang mempunyai volume besar sehingga menyebabkan beton mengembang. CSH (*calcium silicate hydrat*) yang dihasilkan oleh reaksi tersebut merupakan bahan padat yang akan mengurangi jumlah pori.

2.2.2.5. Alkali Aktivator

Aktivator yang dipakai dalam penelitian ini berfungsi untuk mempercepat proses reaksi pengikatan awal (*hidrasi*) dan pengerasan beton (*accelerator*). *Accelerator* meliputi bermacam-macam bahan kimia untuk membuat beton atau adukan mengadakan ikatan dalam beberapa menit. Pada umumnya dipakai bahan kimia yang berintikan pada karbonat, silika, dan silicofluorides. (*L.J. Murdock dan K.M. Brook, 1991*). Dalam penelitian ini aktivator yang digunakan adalah Na₂CO₃, karena Na₂CO₃ merupakan senyawa karbonat yang apabila bereaksi dengan slag dan agregat mampu mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan. Selain itu Na₂CO₃ juga mudah didapatkan dipasaran, biasanya dijual dalam bentuk serbuk sehingga mudah untuk dicampur dalam pengadukan beton.



Gambar 2.2. Contoh Aktivator Na_2CO_3

2.2.3. Sifat-sifat Beton

2.2.3.1 Sifat-sifat Beton Sebelum Mengeras

1. Kemudahan Pengerjaan (*Workability*)

Salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan (*workability*). *Workability* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa mengurangi homogenitas beton dan beton tidak mengalami bleeding (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (1996), unsur-unsur yang mempengaruhi sifat *workability* antara lain adalah berikut ini:

- Jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton, makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar ini dikerjakan.
- Penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai *fas* tetap.

- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil, bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- d. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- e. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan pengerjaan.
- f. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit jika dipadatkan dengan tangan.

2. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding merupakan istilah dalam teknik sipil yang berarti kecenderungan air campuran beton untuk naik keatas (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipadatkan. Bleeding disebabkan oleh ketidakmampuan bahan solid dalam campuran untuk menahan seluruh air ketika bahan itu bergerak.

3. Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Segregation adalah kecenderungan agregat atau butir-butir kerikil untuk memisahkan dari campuran adukan beton. Campuran beton yang kelebihan air dapat menyebabkan segregasi, dimana terjadi pengendapan partikel yang berat ke dasar beton segar dan partikel-partikel yang lebih ringan akan menuju ke permukaan beton segar. Hal-hal tersebut akan mengakibatkan beberapa keadaan pada beton yaitu terdapat lubang-lubang udara, beton menjadi tidak homogeny dan keawetannya berkurang.

2.2.3.2 Sifat-sifat Beton Setelah Mengeras

1. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan (*strength*) adalah sifat dari beton yang berkaitan dengan mutu dari beton tersebut untuk menerima beban dari luar. Kekuatan beton antara lain adalah kekuatan tekan, kekuatan tarik dan kekuatan geser. Pada keadaan normal kekuatan beton meningkat sejalan dengan bertambahnya umur beton karena proses hidrasi yang berjalan terus-menerus meskipun tidak secepat pada tahap awal.

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton dalam menahan beban yang diterima, semakin besar kuat tekan beton maka mutu beton juga semakin baik. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen dengan agregat halus, agregat kasar, air dan bahan tambah bila ada. Modulus elastisitas suatu bahan mempunyai hubungan yang erat dengan kekuatan suatu bahan dalam menahan suatu beban. Semakin tinggi modulus elastisitas, maka semakin kecil lendutan yang mungkin terjadi. Sedangkan hubungan kuat tekan dengan modulus elastis adalah semakin tinggi nilai kuat tekan beton, maka modulus elastisitasnya juga akan semakin tinggi.

2. Ketahanan (*Durability*)

Ketahanan (*durability*) adalah daya tahan beton terhadap suatu kondisi atau gangguan yang berupa gangguan dari dalam atau dari luar tanpa mengalami kerusakan selama bertahun-tahun. Gangguan dari luar dapat berupa cuaca, suhu, korosi dan bahan kimia lainnya. Sedangkan gangguan dari dalam berupa reaksi kimia antara semen dengan alkali atau sering disebut ASR (Alkali Silica Reaction) yang jika terlalu banyak dapat menyebabkan beton retak.

3. Rangkak dan Susut (*Creep and Shrinkage*)

Rangkak (*creep*) merupakan deformasi yang berjalan lambat akibat pembebanan dalam jangka waktu yang panjang dengan tegangan konstan. Rangkak disini dipengaruhi oleh umur beton, besar regangan, faktor air semen dan kekuatan beton. Proses susut (*shrinkage*) merupakan perubahan bentuk volume yang terjadi bila terjadi perubahan suhu. Hal yang mempengaruhi susut antara lain mutu agregat dan faktor air semen. Proses susut dan rangkak saling berkaitan karena berjalan bersamaan dan sering memberikan pengaruh yang sama yaitu deformasi yang bertambah sesuai dengan berjalannya waktu.

2.2.4. Perawatan Beton (*Curing*)

Selama pengerasan beton mengalami suatu reaksi kimia, yaitu proses hidrasi yang memerlukan air dalam jumlah yang cukup, sehingga perlu dihindari proses penguapan sebab akan menghentikan proses hidrasi akibat kehilangan air. Agar proses hidrasi dapat berlangsung secara baik diperlukan kelembaban permukaan beton yang tetap dan tidak boleh kering.

Ada beberapa metode perawatan beton yang dapat dilakukan :

- a. *Moist curing*, yaitu perawatan yang biasa dilakukan dengan merawat beton agar tetap basah dalam beberapa hari tertentu sejak pengecorannya.
- b. *Steam curing*, yaitu perawatan dengan memberikan uap pada beton dalam suatu ruangan, kamar atau tempat khusus.
- c. *Curing compound*, yaitu perawatan beton dengan cara melapisi permukaan beton dengan senyawa kimia.

Dalam penelitian ini perawatan beton dilakukan dengan metode *moist curing*.

Dengan cara menutup beton dengan karung goni yang telah dibasahi dengan air sehingga beton mendapatkan kelembaban yang cukup.

2.2.5. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji. Kuat tekan beton ditentukan oleh perbandingan semen dan agregat halus, agregat kasar dan air dari berbagai jenis campuran. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton.

Kekuatan tekan beton diwakili dengan tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 atau MPa dan juga memakai satuan kg/cm^2 . Kekuatan tekan beton merupakan sifat yang paling penting dari beton keras. Umumnya kuat tekan beton berkisar antara nilai 10-65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan kuat tekan pada umur 28 hari berkisar 17-35 MPa, untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar antara 30-45 MPa.

Beton relatif kuat menahan tekan. Keruntuhan beton sebagian disebabkan karena rusaknya ikatan pasta dan agregat. Besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain:

1. Faktor air semen.

Hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum adalah bahwa semakin rendah nilai faktor air semen, semakin tinggi kuat tekan betonnya. Namun kenyataannya, pada suatu nilai faktor air semen semakin rendah, maka beton semakin sulit dipadatkan. Dengan demikian, ada suatu nilai faktor air semen yang optimal dan menghasilkan kuat tekan yang maksimal.

2. Jenis semen dan kualitasnya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.

3. Jenis dan lekuk-lekuk (*relief*) bidang permukaan agregat..

Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih besar daripada kerikil.

4. Efisiensi dari perawatan (*curing*).

Kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan terjadi sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan di lapangan dan pada pembuatan benda uji.

5. Suhu.

Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.

6. Umur pada keadaan yang normal.

Kekuatan beton bertambah dengan bertambahnya umur, tergantung pada jenis semen. Misalnya semen dengan kadar alumina tinggi menghasilkan beton yang kuat hancurnya pada 24 jam, sama dengan semen portland biasa pada 28 hari. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

Pencatatan yang dilakukan saat pengujian kuat tekan adalah besarnya beban P pada saat silinder beton hancur. Untuk mendapatkan besarnya tegangan hancur pada benda uji silinder digunakan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana: f'_c = kuat tekan beton benda uji silinder (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas permukaan benda uji silinder (mm)

2.2.6. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan suatu ukuran nilai yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton untuk menahan deformasi (perubahan bentuk). Suatu bahan apabila dibebani maka akan mengalami deformasi yang disebut dengan regangan. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dalam arah aksial, semakin tinggi modulus elastisitas suatu bahan maka bahan tersebut semakin kuat menahan tegangan aksial akibat pembebanan dengan regangan yang sekecil mungkin. Biasanya struktur yang mempunyai nilai modulus elastisitas yang besar akan bersifat getas atau kaku, akan tetapi struktur itu akan memiliki kuat

tekan yang tinggi. Parameter ini sangat penting karena menunjukkan kemampuan beton untuk menahan beban maksimal sebelum struktur mengalami lendutan.

Tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu beton adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang sebagai akibat dari tekanan yang diberikan.

Murdock dan Brook (1991) menjelaskan bahwa modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.2) – (2.4)

$$\text{Modulus elastisitas } (E) = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

E = modulus elastisitas (N/mm^2)

σ = tegangan (N/mm^2)

ϵ = regangan (tanpa satuan)

P = beban yang diberikan (N)

A = luas tampang melintang (mm^2)

Δl = perubahan panjang akibat beban P (mm)

l = panjang semula (mm)

Berdasarkan rekomendasi ASTM C 469-94, perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan adalah *modulus chord*, adapun perhitungan modulus elastisitas *chord* (E_c) dapat dilihat pada Persamaan (2.5)

$$\text{Modulus elastisitas } (E_c) = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots (2.5)$$

commit to user

dimana:

E_c = modulus chord (MPa)

S_2 = tegangan sebesar 40% x f_c' (MPa)

S_1 = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal akibat tegangan sebesar 0,00005 (MPa)

ε_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2



BAB 3

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan memberikan suatu perlakuan terhadap obyek yang diteliti dalam kondisi terkontrol dengan urutan kegiatan yang sistematis untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variabel-variabel yang diselidiki.

Pemecahan masalah pada penelitian ini dengan menggunakan cara statistik, yaitu dengan urutan kegiatan dalam memperoleh data, data itu berguna sebagai dasar pembuatan keputusan diantaranya melalui proses pengumpulan data, pengolahan, analisis data, dan cara pengambilan keputusan secara umum berdasarkan hasil penelitian.

3.1. Bahan dan Benda Uji Penelitian

Bahan pembentuk beton harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui kelayakan penggunaan bahan tersebut di dalam beton yang akan dibuat. Apabila terdapat material yang tidak layak digunakan, maka akan ada tindakan sebagai solusi dari ketidaklayakan tersebut. Pengujian ini disebut pengujian pendahuluan. Hal ini dimaksudkan agar beton dapat mencapai mutu yang diinginkan sesuai perencanaan, $f_c' = 30$ MPa.

3.1.1. Pengujian Bahan Pembentuk Beton

Pengujian bahan pembentuk beton dimaksudkan untuk mengetahui kelayakan karakteristik bahan penyusun beton yang nantinya akan digunakan dalam rancang campur (*mix design*) terhadap satu target tertentu. Pengujian bahan dasar beton hanya dilakukan terhadap agregat halus dan agregat kasar.

3.1.1.1. Agregat Halus

a) Pengujian Kadar Lumpur

Pada penelitian ini, pasir digunakan sebagai agregat halus. Pasir berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga yang terbentuk dari campuran pasta semen dan agregat kasar. Salah satu spesifikasi pasir yang dapat digunakan dalam campuran beton yaitu kandungan lumpurnya tidak melebihi 5% dari berat keringnya.

Sesuai dengan PBI 1971 (N-20 atau ASTM), pasir yang mengandung lumpur 5% dari berat keringnya harus dicuci, karena kandungan lumpur yang berlebihan dalam pasir dapat mengganggu lekatan antara partikel dalam pencampuran beton sehingga dapat menurunkan kekuatan beton.

Kadar lumpur pasir dihitung dengan Persamaan (3.1) sebagai berikut:

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{G_0 - G_1}{G_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dengan:

G_0 = berat pasir awal (100 gram)

G_1 = berat pasir akhir (gram)

b) Pengujian Kadar Zat Organik

Kandungan zat organik pada pasir umumnya besar. Hal ini terjadi karena pasir sebagai bahan dasar pembentuk beton biasanya diambil dari sungai dan sangat kotor. Aliran air sungai yang membuat zat organik atau semacamnya dapat terbawa dan mengendap pada pasir. Kandungan zat organik dapat membahayakan bila terlalu banyak terdapat pada campuran beton. Sifat zat organik yang mudah terurai membuatnya cepat membusuk sehingga menimbulkan pori pada beton. Kandungan zat organik pada pasir dapat diuji menggunakan larutan NaOH 3% pada percobaan perubahan warna *Abrams Harder* sesuai dengan PBI 1971 (N-20

atau ASTM). Pada Tabel 3.1 dapat dilihat kadar zat organik pada pasir berdasarkan perubahan warnanya.

Tabel 3.1. Tabel perubahan warna

Warna	Prosentase kandungan zat organik (%)
Jernih	0
Kuning muda	0 – 10
Kuning tua	10 – 20
Kuning kemerahan	20 – 30
Coklat kemerahan	30 – 50
Coklat	50 – 100

c) Pengujian *Specific Gravity*

Pengujian *specific gravity* agregat halus dengan berpedoman pada ASTM C 128 ditujukan agar mendapatkan:

- Bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir dalam kondisi kering dengan volume pasir total
- Bulk specific gravity SSD*, yaitu perbandingan antara berat pasir jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume pasir total
- Apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir dalam kondisi kering dengan volume butir pasir
- Absorbtion*, yaitu perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat pasir kering

Untuk menganalisis hasil pengujian dengan Persamaan (3.2) s/d (3.5) sebagai berikut:

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{a}{b + d - c} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity SSD} = \frac{d}{b + d - c} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{a}{b + a - c} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Absorbtion = \frac{d - a}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan:

- a = berat pasir kering *oven* (gram)
- b = berat *volumetricflash* berisi air (gram)
- c = berat *volumetricflash* berisi pasir dan air (gram)
- d = berat pasir dalam keadaan kering permukaan jenuh (500 gram)

d) Pengujian Gradasi

Gradasi pada pasir sebagai agregat halus menentukan sifat *workability* dan kohesi dari campuran beton, sehingga gradasi pada agregat halus sangat diperhatikan. Pengujian gradasi agregat halus menggunakan standar pengujian ASTM C 136. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gradasi atau variasi diameter butiran pasir, prosentase dan modulus kehalusannya. Modulus kehalusan adalah angka yang menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir pasir.

Modulus kehalusan pasir dihitung menggunakan Persamaan (3.6) sebagai berikut:

$$Modulus\ kehalusan\ as = \frac{100}{d - e} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan:

- d = Σ prosentase kumulatif berat pasir yang tertinggal selain dalam pan
- e = Σ prosentase kumulatif berat pasir yang tertinggal

3.1.1.2. Agregat Kasar

a) Pengujian *Specific Gravity*

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian adalah kerikil atau batu pecah dengan diameter maksimum 20 mm. Standar pengujian yang digunakan pada pengujian *specific gravity* agregat kasar adalah ASTM C 127. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui :

- Bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat kerikil dalam kondisi kering dengan volume kerikil total
- Bulk specific gravity SSD*, yaitu perbandingan antara berat kerikil jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume kerikil total
- Apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat kerikil dalam kondisi kering dengan volume butir kerikil
- Absorbtion*, yaitu perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat kerikil kering

Untuk menganalisis hasil pengujian dengan Persamaan (3.7) s/d (3.10) sebagai berikut:

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{f}{g - h} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity SSD} = \frac{g}{g - h} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{f}{f - h} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\text{Absorbtion} = \frac{g - h}{h} \times 100\% \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan:

f = berat agregat kasar (3000 gram)

g = berat agregat kasar setelah direndam 24 jam dan dilap (gram)

h = berat agregat kasar jenuh (gram)

b) Pengujian Gradasi

Gradasi pada pasir sebagai agregat kasar menentukan sifat pengerjaan dan sifat kohesi dari campuran beton, sehingga gradasi pada agregat kasar sangatlah diperhatikan. Pengujian gradasi agregat kasar menggunakan standar pengujian ASTM C 136. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gradasi atau variasi diameter butiran kerikil, prosentase dan modulus kehalusannya. Modulus

kehalusan adalah angka yang menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir pasir.

Modulus kehalusan pasir dihitung menggunakan Persamaan (3.11) sebagai berikut:

$$\text{Modulus kehalusan ker } k = \frac{m}{n} \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan:

m = Σ prosentase kumulatif berat kerikil yang tertinggal selain dalam pan

n = Σ prosentase kumulatif berat kerikil yang tertinggal

c) Pengujian Abrasi

Agregat kasar harus memiliki ketahanan terhadap keausan akibat gesekan. Standar pengujian abrasi pada agregat kasar menggunakan ASTM C 131, dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Bagian yang hilang akibat gesekan tidak boleh lebih dari 50%. Prosentase berat yang hilang dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.12) sebagai berikut:

$$\text{Prosen asbera yang hilang} = \frac{a}{b} \times 100\% \dots\dots\dots (3.12)$$

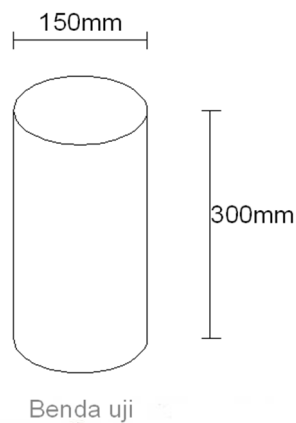
Dengan:

i = berat agregat kasar kering oven yang telah dicuci, sebelum pengausan (gram)

j = berat agregat kasar kering oven yang tertahan ayakan 2.3 mm dan telah dicuci, setelah pengausan (gram)

3.1.2. Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk uji kuat tekan dan uji modulus elastisitas adalah silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Benda uji

Benda uji seperti pada gambar di atas pada penelitian ini dibuat untuk diuji kuat tekan beton dan modulus elastisitasnya. Benda uji dibuat sebanyak 33 buah, yaitu:

- 3 buah benda uji normal
- 30 buah benda uji dengan slag sebagai bahan pengganti sebagian semen

Nama dan spesifikasi benda uji, dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Perincian benda uji silinder beton

Initial	Persentase Slag (%)	Aktivator (%)	Jumlah Benda Uji
NC	0	0	3
SC A-1	10	5	3
SC A-2	10	10	3
SC B-1	20	5	3
SC B-2	20	10	3
SC C-1	30	5	3
SC C-2	30	10	3
SC D-1	40	5	3
SC D-2	40	10	3
SC E-1	50	5	3
SC E-2	50	10	3

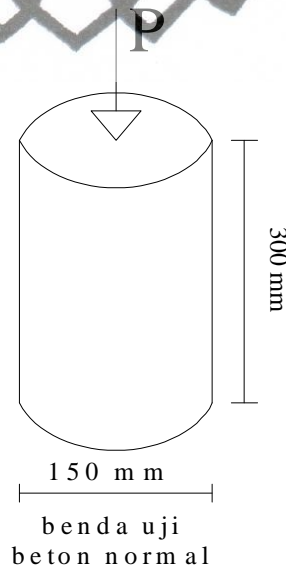
Keterangan:

- NC = Beton normal (beton tanpa penggantian sebagian semen)
- SC = Beton dengan slag sebagai pengganti sebagian semen (dengan masing-masing variasi penggantian sebagian semen, sebesar: 10% ; 20% ; 30% ; 40% dan 50% dari berat semen dengan variasi aktifator sebesar: 5% dan 10%)

3.1.3. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah untuk setiap jenis penggunaan variasi kadar slag sebagai pengganti sebagian semen. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati besarnya beban (P) maksimum atau beban pada saat beton hancur dengan menggunakan alat uji kuat tekan (*Compression Testing Machine*).

Pada pengujian kuat tekan beton, benda uji diberi beban (P) dari atas perlahan demi perlahan sampai beton tersebut hancur, terlihat dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pembebanan benda uji pada pengujian kuat tekan

Foto pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Alat uji kuat tekan (*Compression Testing Machine*)

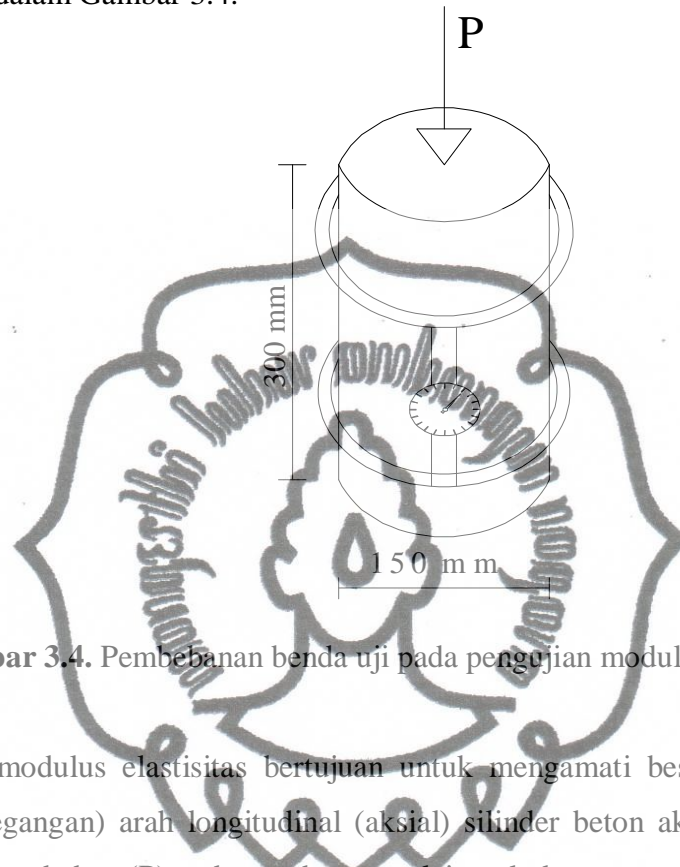
Langkah-langkah pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan benda uji silinder beton yang akan diuji.
- Meletakkan benda uji silinder beton pada alat uji kuat tekan (CTM).
- Mengatur jarum *Compression Testing Machine* tepat pada posisi nol.
- Mengaktifkan *Compression Testing Machine* kemudian membaca jarum penunjuk beban sampai silinder beton hancur.
- Mencatat besarnya nilai beban tekan maksimum yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai kuat tekan silinder beton.

3.1.4. Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah untuk setiap jenis penggunaan variasi kadar slag sebagai bahan pengganti sebagian semen.

Benda uji pada pengujian modulus elastisitas mengalami beban yang sama dengan pengujian kuat tekan beton. Namun, beban (P) yang diberikan hanya sampai $\pm 40\%$ dari kuat tekan beton rencana (f_c') 30 MPa. Sketsa dari pembebanan benda uji terlihat dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Pembebanan benda uji pada pengujian modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas bertujuan untuk mengamati besarnya perubahan panjang (regangan) arah longitudinal (aksial) silinder beton akibat pembebanan serta besarnya beban (P) pada saat beton mulai retak dengan menggunakan alat uji kuat tekan (*Compression Testing Machine*) dan alat ukur regangan (*extensometer*) yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Alat uji modulus elastisitas (CTM & *extensometer*)

Langkah-langkah pengujian modulus elastisitas beton adalah sebagai berikut :

- a. Menimbang berat, mengukur tinggi dan diameter benda uji.
- b. Memasang dan mengatur jarum *compressometer* dan *extensometer* pada posisi nol arah longitudinal pada mesin uji tekan.
- c. Pengujian dilakukan dengan beban pada kecepatan yang konstan, yaitu setiap penambahan 20 kN.
- d. Untuk pengambilan data dengan cara mencatat besarnya perubahan panjang (Δl) untuk setiap penambahan tekanan sebesar 20 kN yang dapat dibaca dari jarum *compressometer* dan *extensometer*.
- e. Menghitung regangan (ϵ) yang terjadi.

3.2. Rancang Campur (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton yang tepat dan sesuai dengan proporsi campuran adukan beton sangat diperlukan untuk mendapatkan kualitas beton yang baik. Penelitian ini menggunakan rancang campur beton yang mengacu pada peraturan SK.SNI.T-15-1990-03 dengan target kuat tekan (f_c') 30 MPa.

3.2.1. Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji:

- a. Menyiapkan dan menimbang bahan-bahan campuran adukan beton sesuai dengan rancang campur adukan beton (*mix design*).
- b. Mencampur bahan-bahan tersebut sampai homogen dengan cara dimasukkan ke dalam alat aduk beton dengan jumlah sesuai keperluan.
- c. Mengukur nilai *slump* adukan setelah tercampur homogen.
- d. Memasukkan adukan ke dalam cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm hingga penuh sambil dipadatkan dengan menggunakan *vibrator*.
- e. Setelah cetakan penuh dan padat, permukaannya diratakan dan diberi kode benda uji di atasnya, kemudian didiamkan selama 24 jam.
- f. Setelah 24 jam cetakan dibuka dan dilakukan *curing* selama 27 hari.

Proses dari pembuatan benda uji silinder beton dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pembuatan benda uji

3.2.2. Pengujian Nilai *Slump*

Slump beton adalah besaran kemampuan pengerjaan (*workability*) beton segar. Menurut SK-SNI M-12-1989-F, cara pengujian nilai *slump* adalah sebagai berikut:

- Membasahi cetakan dan pelat.
- Meletakkan cetakan diatas pelat dengan kokoh.
- Mengisi cetakan sampai penuh dengan 3 lapisan, tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan, kemudian setiap lapis ditusuk dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata.
- Segera setelah selesai penusukan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat dan semua sisa benda uji yang ada disekitar cetakan harus disingkirkan.
- Mengangkat cetakan perlahan-lahan tegak lurus keatas.
- Mengukur *slump* yang terjadi.

Pengujian nilai slump yang terjadi pada adukan beton dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Pengujian nilai slump

3.2.3. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam air dengan fungsi agar air dalam beton tidak menguap dengan cepat, sehingga proses hidrasinya sempurna dengan demikian mutu beton yang terjadi dapat sesuai dengan mutu rencana. Perawatan benda uji dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Benda uji yang telah berumur 24 jam dilepas dari cetakan silinder.
- b. Selanjutnya benda uji direndam dalam bak air selama 27 hari seperti terlihat pada Gambar 3.8.
- c. Setelah benda uji direndam selama 27 hari, benda uji diangkat dan diangin-anginkan sampai berumur 28 hari untuk selanjutnya dilakukan pengujian.



Gambar 3.8. Perawatan benda uji (*curing*)

3.3. Alat Uji Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Timbangan dengan kapasitas 2 kg dan 50 kg yang digunakan untuk mengukur berat material.
- Ayakan dengan ukuran diameter saringan 38 mm; 25 mm; 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,85 mm; 0,3 mm; 0,15 mm; 0 mm (pan) dan mesin penggetar ayakan yang digunakan untuk pengujian gradasi agregat.
- Oven dengan kapasitas temperatur 300 °C dan daya listrik 2200 W yang digunakan untuk mengeringkan material.
- Conical mould* dengan ukuran diameter atas 3,8 cm, diameter bawah 8,9 cm, tinggi 7,6 cm, lengkap dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) agregat halus
- Kerucut *Abrams* yang terbuat dari baja dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, tinggi 30 cm, lengkap dengan tongkat baja penusuk yang ujungnya ditumpulkan dengan panjang 60 cm dan diameter 16 mm. alat ini digunakan untuk mengukur nilai *slump* adukan beton
- Cetakan benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
- Alat uji kuat desak CTM (*Compression testing machine*).

- h. Alat ukur regangan (*extensometer*).
- i. Alat bantu lain:
 - 1) Gelas ukur 250 ml untuk pengujian kadar lumpur dan kandungan zat organik dalam pasir
 - 2) Gelas ukur 1000 ml untuk menakar air
 - 3) Vibrator, digunakan untuk memadatkan adukan beton saat pembuatan benda uji.
 - 4) Cangkul, ember, sekop, cetok, dll

3.4. Variabel Penelitian

Variabel adalah segala sesuatu yang akan menjadi obyek pengamatan penelitian. Variabel juga dapat diartikan sebagai faktor-faktor yang berperan penting dalam peristiwa atau gejala yang akan diteliti. Ada dua variabel dalam penelitian ini yaitu variabel bebas dan variabel tak bebas. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah beton normal dan beton dengan slag sebagai bahan pengganti sebagian semen. Sedangkan variabel tak bebas adalah kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

3.5. Tahap Penelitian

Dalam penelitian ilmiah, penelitian harus dilaksanakan dengan sistematika dan urutan yang jelas dan teratur, sehingga nanti akan diperoleh hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap. Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian selengkapny adalah sebagai berikut :

- a. Tahap I, Persiapan

Pada tahap ini seluruh bahan dan peralatan yang akan digunakan dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

- b. Tahap II, Uji bahan

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap bahan yang digunakan. Dari pengujian-pengujian tersebut dapat diketahui apakah bahan yang akan

digunakan untuk penelitian tersebut memenuhi syarat atau tidak bila digunakan sebagai data rancang campur adukan beton. Tahap ini dilakukan pengujian terhadap :

1. Agregat halus, antara lain dilakukan uji : Kadar lumpur, Kadar organik, *Spesific grafiti*, Gradasi
2. Agregat kasar, antara lain dilakukan uji : Abrasi, *Spesific grafiti*, Gradasi

c. Tahap III, Pembuatan *mix design*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan *mix design* dengan kuat tekan rencana 30 Mpa. Hasil *mix design* tersebut dipakai untuk pembuatan benda uji silinder beton.

d. Tahap IV, Pembuatan benda uji

Pada tahap ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut:

- 1) Pembuatan adukan beton.
- 2) Pemeriksaan nilai *slump*.
- 3) Pengecoran ke dalam bekisting.
- 4) Pelepasan benda uji dari cetakan.
- 5) Perawatan beton selama 28 hari.

e. Tahap V, Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton pada umur 28 hari. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS.

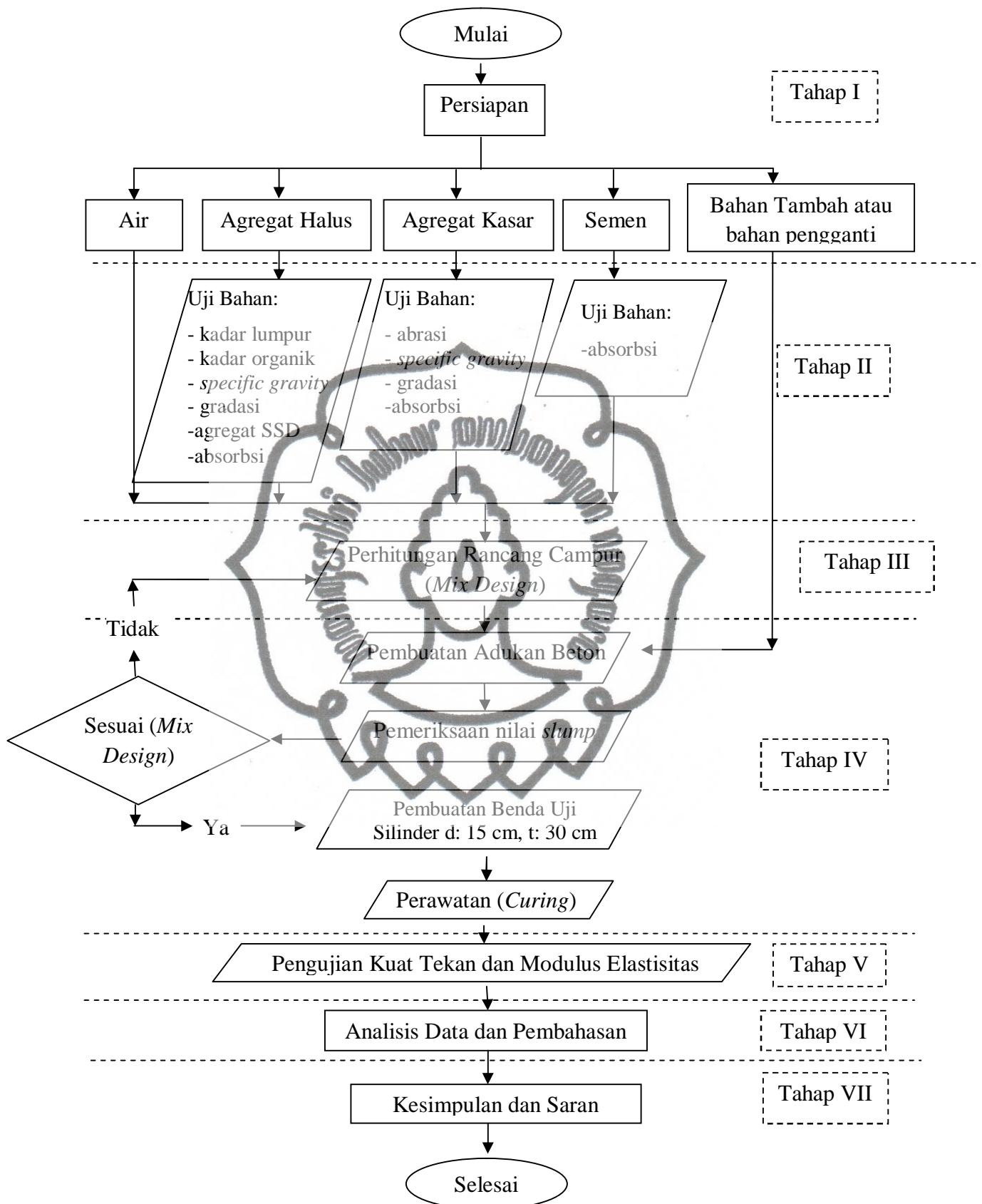
f. Tahap VI, Analisis data

Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk mendapatkan suatu kesimpulan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti dalam penelitian.

g. Tahap VII, Pengambilan kesimpulan

Pada tahap ini, data yang telah dianalisa dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

Tahapan dalam penelitian ini disajikan secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.9



Gambar 3.9. Bagan alir tahap-tahap metode penelitian

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian bahan dan benda uji dilaksanakan sesuai dengan tata cara dan standar pengujian yang terdapat pada standar ASTM. Waktu pelaksanaan percobaan disesuaikan dengan jadwal penelitian dan ijin penggunaan Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS Surakarta.

Dalam bab ini akan disajikan hasil penelitian dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh. Data rinci hasil pemeriksaan bahan dasar dan penyusun beton disajikan dalam Lampiran A.

4.1.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian kadar lumpur, kandungan zat organik, *specific gravity*, gradasi agregat dan berat jenis. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 4.1.

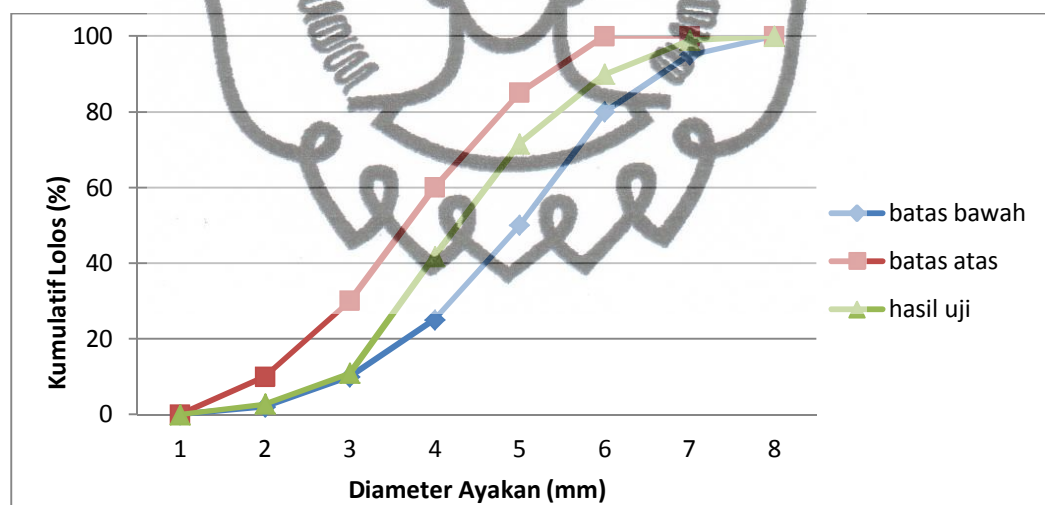
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan zat organik	Kuning muda	Kuning	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,53 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,55 gr/cm ³	2,5 - 2,7	Memenuhi syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	2,59 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	0,60 %	-	-
Modulus halus	2,83	2,3 – 3,1	Memenuhi syarat

Untuk hasil pengujian gradasi agregat halus dan syarat batas dari ASTM C-136 dapat dilihat pada Tabel 4.2. dan Gambar 4.1.

Tabel 4.2. Analisis Data Gradasi Agregat Halus

Diameter Ayakan (mm)	Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	Syarat ASTM C-33
	Berat (gr)	Presentase (%)	Kumulatif (%)		
9,5	0	0	0	100	100
4,75	32	1,07	1,07	98,93	95 - 100
2,36	269	8,99	10,06	89,94	80 - 100
1,18	550	18,38	27,37	71,56	50 - 85
0,85	891	29,78	58,22	41,77	25 - 60
0,3	925	30,92	89,14	10,86	10 - 30
0,15	243	8,12	97,26	2,74	2 - 10
0	82	2,74	100	0	0
Jumlah	2992	100	383,12	-	-

**Gambar 4.1.** Grafik gradasi agregat halus

4.1.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar *split* (batu pecah) yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi pengujian berat jenis (*specific gravity*), keausan (*abrasi*) dan gradasi agregat kasar. Hasil-hasil pengujian tersebut disajikan dalam Tabel 4.3, sedangkan Tabel 4.4 menyajikan hasil analisis ayakan terhadap sampel

agregat kasar sehingga dapat diketahui gradasinya. Perhitungan serta data pengujian secara lengkap terdapat pada Lampiran A.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

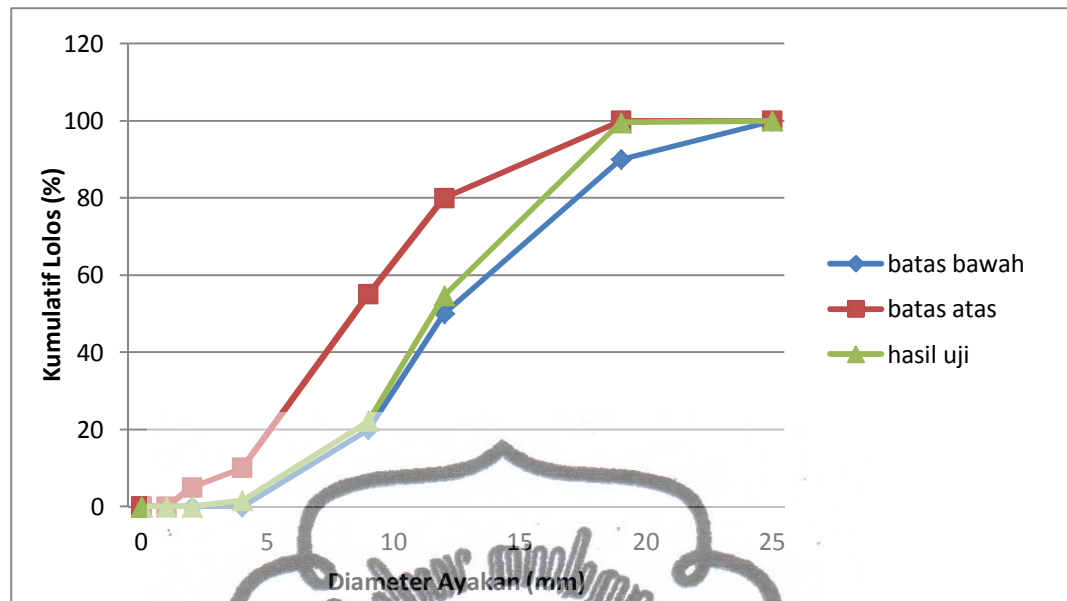
Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,44 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,48 gr/cm ³	-	-
<i>Apparent specific gravity</i>	2,53 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	1,40 %	-	-
Abrasi	42 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus halus butir	7,2204	5 - 8	Memenuhi syarat

Untuk hasil pengujian gradasi agregat kasar dan syarat batas dari ASTM C-33 dapat dilihat pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.2.

Tabel 4.4. Analisis Data Gradasi Agregat Kasar

Diameter Ayakan (mm)	Tertahan			Berat Lolos Kumulatif (%)	Syarat ASTM C-33
	Berat (gr)	Presentase (%)	Kumulatif (%)		
25	0	0	0	100	100
19	12	0,41	0,41	99,59	90 – 100
12,5	1301	44,94	45,35	54,65	-
9,5	941	32,50	77,86	22,14	20 – 55
4,75	595	20,55	98,41	1,59	0 – 10
2,36	46	1,59	100	0	0 – 5
1,18	0	0	100	0	-
0,85	0	0	100	0	-
0,3	0	0	100	0	
0,15	0	0	100	0	
Pan	0	0	100	0	-
Jumlah	2647	100	822,04	0	-

Dari Tabel 4.4 didapat grafik gradasi beserta batas gradasi yang disyaratkan ASTM C-33 yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik gradasi agregat kasar

4.1.3 Hasil Pengujian Slag

Pengujian komposisi kimia slag yang berasal dari limbah peleburan baja dan besi di PT Ispat Indo Surabaya telah diteliti oleh Laboratorium Kimia PT Ispat Indo Surabaya dan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Komposisi Kimia Slag

Unsur	Kadar(%)
FeO	30 - 55
CaO	25 - 30
SiO ₂	12 - 18
MgO	4 - 6
MnO	2 - 4
Al ₂ O ₃	2 - 3
P ₂ O ₅	0.5 - 3

Sumber : Laboratorium Kimia PT. Ispat Indo Surabaya

Hasil pengujian kemampuan menyerap air (*absorpsi*) antara semen dengan slag sesuai ASTM C-128 dapat dilihat dari tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Absorpsi Semen Portland dan Slag.

Simbol	Keterangan	Berat (gram)	
		Semen Portland	Slag
a	Kondisi Kering	22	22
b	Kondisi Basah	29,5	28

$$\text{Absorbtion (Semen Portland)} = \frac{b-a}{a} \times 100\% = \frac{29,5-22}{22} \times 100\% = 34\%$$

$$\text{Absorbtion (Slag)} = \frac{b-a}{a} \times 100\% = \frac{28-22}{22} \times 100\% = 22\%$$

Dari hasil uji absorpsi di atas, terlihat bahwa daya serap semen portland lebih tinggi daripada daya serap slag.

4.2. Rencana Campuran

Perhitungan rencana campuran adukan beton menggunakan standar Dinas Pekerjaan Umum (SK SNI T-15-1990-03), dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan per 1 m³ yaitu :

- a. Semen = 489,13 kg
- b. Pasir = 595,03 kg
- c. Kerikil = 970,84 kg
- d. Air = 225 liter

Perhitungan mix design secara lengkap dilampirkan pada lampiran B. Kebutuhan bahan untuk setiap 3 benda uji kuat tekan dan modulus elastisitas disajikan pada Tabel 4.7..

Tabel 4.7. Kebutuhan Bahan untuk Setiap Adukan (3 benda uji kuat tekan)

Variasi Slag	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (liter)	Slag (kg)	Aktuator Na_2CO_3 (kg)
0%	8,55	10,40	16,98	3,93	0,00	-
						-
10%	7,69	10,40	16,98	3,93	0,86	0,043
						0,086
20%	6,84	10,40	16,98	3,93	1,71	0,086
						0,171
30%	5,98	10,40	16,98	3,93	2,57	0,128
						0,257
40%	5,13	10,40	16,98	3,93	3,42	0,171
						0,342
50%	4,275	10,40	16,98	3,93	4,275	0,214
						0,4275

Total material yang dibutuhkan untuk membuat 33 sampel kuat tekan:

- a. Air = 43,23 liter
- b. Semen = 68,38 kg
- c. Pasir = 114,4 kg
- d. Kerikil = 186,78 kg
- e. Slag = 25,67 kg
- f. Aktivator Na_2CO_3 = 1,925 kg

4.3. Hasil Pengujian

4.3.1. Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian nilai *slump* menggunakan kerucut *Abrams* dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm. Dari pengujian nilai *slump* tampak bahwa dengan adanya slag dan aktivator sebagai bahan pengganti sebagian semen akan mempengaruhi *workability*, yang diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan, dan pemadatan.

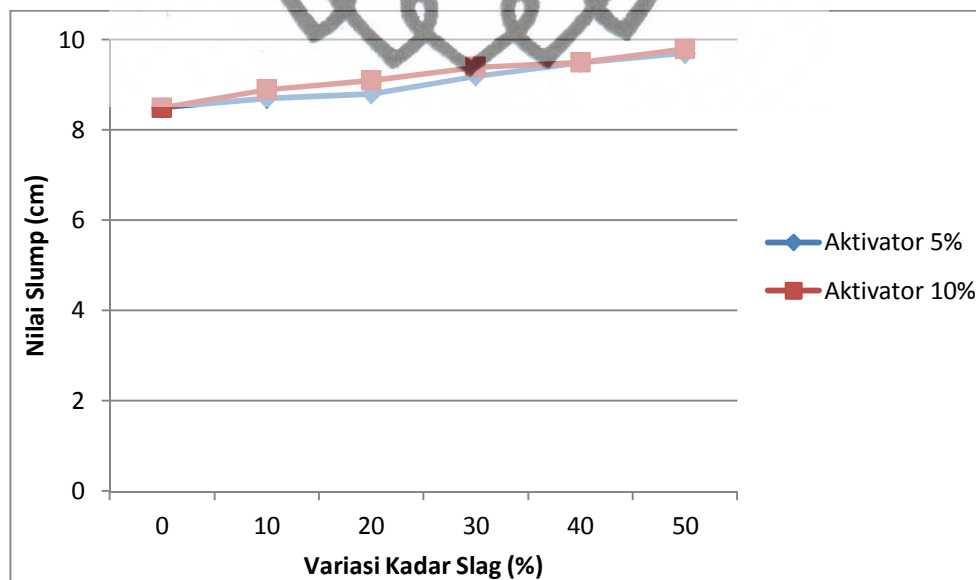
Pengujian ini dilakukan pada setiap adukan beton dengan *cement replacement* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8.. Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Variasi Slag (%)	Nilai Slump (cm)	
	Aktivator 5%	Aktivator 10%
0	8,5	8,5
10	8,7	8,9
20	8,8	9,1
30	9,2	9,4
40	9,5	9,5
50	9,7	9,8

Dari hasil pengujian nilai *slump* menunjukkan bahwa nilai *slump* meningkat seiring bertambahnya persentase slag dan aktivatornya dalam campuran beton.

Hubungan antara nilai *slump* beton normal dan beton menggunakan slag sebagai pengganti sebagian semen dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3. Hubungan variasi kadar slag dan aktivator sebagai pengganti sebagian semen dengan nilai *slump*

4.3.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{\max}).

Dari data pengujian kuat desak dapat diperoleh kuat desak maksimum beton. Sebagai contoh perhitungan kuat tekan diambil data dari benda uji NC-a pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian didapat:

$$P_{\max} = 640 \text{ kN} = 640000 \text{ N}$$

$$A = 0,25 \times \pi \times D^2 = 0,25 \times \pi \times 150^2 \text{ mm}^2$$

$$= 17671,46 \text{ mm}^2$$

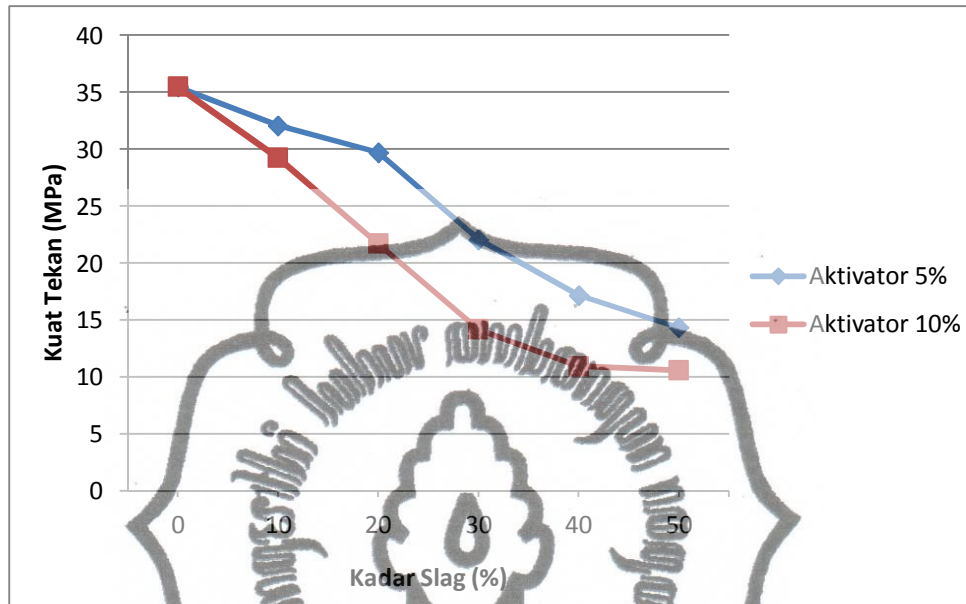
$$\text{Maka } f_c' = \frac{640000 \text{ N}}{17671,46 \text{ mm}^2} = 36,2165 \text{ MPa}$$

Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan slag sebagai pengganti sebagian semen pada umur 28 hari selengkapnya disajikan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan slag sebagai pengganti sebagian semen pada umur 28 hari

No	Kode benda uji	Pmax (kN)	fc' (MPa)	fc' rata-rata (MPa)
1	NC a	640	36,22	35,46
	NC b	620	35,08	
	NC c	620	35,08	
2	SC A-1 a	560	31,69	32,07
	SC A-1 b	540	30,56	
	SC A-1 c	600	33,95	
3	SC A-2 a	500	28,29	29,24
	SC A-2 b	520	29,43	
	SC A-2 c	530	29,99	
4	SC B-1 a	530	29,99	29,71
	SC B-1 b	410	23,20	
	SC B-1 c	520	29,43	
5	SC B-2 a	390	22,07	21,69
	SC B-2 b	360	20,37	
	SC B-2 c	400	22,64	
6	SC C-1 a	390	22,07	22,07
	SC C-1 b	410	23,20	
	SC C-1 c	370	20,94	
7	SC C-2 a	240	13,58	14,15
	SC C-2 b	260	14,71	
	SC C-2 c	300	16,98	
8	SC D-1 a	310	17,54	17,17
	SC D-1 b	300	16,98	
	SC D-1 c	300	16,98	
9	SC D-2 a	200	11,32	10,94
	SC D-2 b	200	11,32	
	SC D-2 c	180	10,19	
10	SC E-1 a	260	14,71	14,34
	SC E-1 b	270	15,28	
	SC E-1 c	230	13,02	
11	SC E-2 a	170	9,62	10,56
	SC E-2 b	200	11,32	
	SC E-2 c	190	10,75	

Dari Tabel 4.9 diperoleh grafik yang menggambarkan perbandingan pengaruh penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen (beton dengan kadar slag 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) pada beton dari kinerja kuat tekan yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji dengan berbagai variasi kadar slag dan aktivator sebagai pengganti sebagian semen

4.3.3. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian dilakukan pada benda uji silinder beton dengan menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*) dengan pembebanan secara konstan untuk mengetahui besar beban yang diterima sampai dengan beban maksimum (saat beton mulai retak) dan *extensometer* untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi sehingga dapat diketahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap pembebanan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Menghitung regangan (ϵ) yang terjadi dengan Persamaan (2.4).

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3}$$

Dengan:

Δl = Penurunan arah longitudinal

l = Tinggi beton relatif (jarak antar dua ring dial) = 200 mm

$$\times 10^{-3} \quad = \text{Konversi satuan dial } \textit{extensometer} \mu\text{m ke mm}$$

Kemudian, untuk menghitung tegangan yang terjadi digunakan Persamaan (2.3).

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dengan:

σ = Tegangan (MPa)

P = Beban yang diberikan (N)

A = Luas tampang melintang (mm^2)

Sebagai contoh perhitungan diambil dari data benda uji NC a umur 28 hari pada saat menerima beban (P) = 20 kN

Menghitung regangan yang terjadi:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Delta l}{l} \times 10^{-3} \\ &= \frac{1}{200} \times 10^{-3} \\ &= 0,000005 \end{aligned}$$

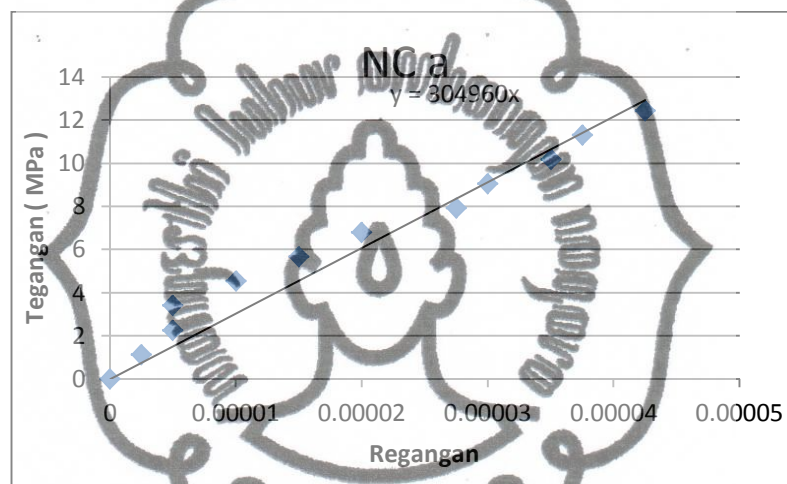
Menghitung tegangan (σ) yang terjadi:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{20000}{0.25 \times \pi \times 150^2} \text{ N/mm}^2 \\ &= 1,1317685 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kurva tegangan-regangan diperoleh dengan memplotkan data tegangan pada setiap kenaikan 20 kN beban aksial dengan regangan yang terjadi pada setiap benda uji. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran C, dengan analisa regresi pada program *Microsoft excel*, didapatkan grafik tegangan-regangan dan persamaan regresi linier.

Nawy, nilai modulus elastisitas beton didapat dari kemiringan suatu garis lurus (linier) yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar 40% f_c').

Sebelum mendapatkan nilai persamaan regresi linier, terlebih dahulu dibuat kurva regresi *polynomial* orde-2 dari nilai tegangan-regangan. Garis regresi linier diambil mulai dari nilai tegangan-regangan 0 sampai terlihat kurva regresi *polynomial* mulai melengkung (diambil 40% f_c'). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hubungan tegangan-regangan benda uji NC a umur 28 hari

Selanjutnya dari persamaan regresi linier seperti terlihat pada Gambar 4.6 dapat dihitung nilai modulus elastisitas. Sebagai contoh diambil persamaan regresi tegangan-regangan pada benda uji NC a umur 28 hari. Untuk perbandingan, dilakukan perhitungan modulus elastisitas benda uji NC a umur 28 hari sebagai berikut:

Diketahui:

Persamaan regresi linier: $y = 30496 x$

Kemudian dihitung nilai modulus elastisitas (E_c) menggunakan Persamaan (2.6).

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}$$

$$\begin{aligned}
 S_2 &= 0,4 \times f_c' \\
 &= 0,4 \times 36,22 \\
 &= 14,488 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan persamaan tegangan-regangan:

$$y = 30496 x$$

Untuk: $S_2 = 14,488 \text{ MPa}$	→	didapat $\varepsilon_2 = 0,000475$
$\varepsilon_1 = 0,00005$	→	didapat $S_1 = 1,5248$

Sehingga nilai modulus elastisitas betonnya adalah:

$$\begin{aligned}
 E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \\
 &= \frac{14,488 - 1,5248}{0,000475 - 0,00005} \\
 &= 30496 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Validasi modulus elastisitas beton dengan formula SK SNI-T-15-1991:

$$\begin{aligned}
 E &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{36,22} \\
 &= 28286,035 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Validasi modulus elastisitas beton dengan formula ACI 318-89, *Revised* 1992, 1996:

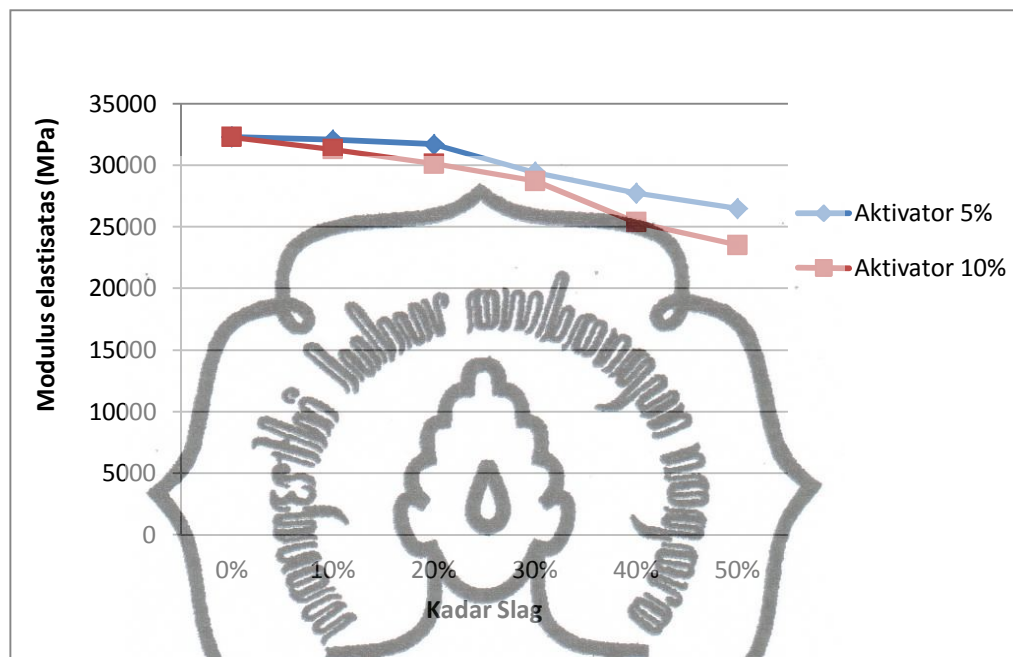
$$\begin{aligned}
 E &= 4730 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 4730 \times \sqrt{30,84} \\
 &= 26267,475 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan selanjutnya disajikan pada Tabel 4.10, dimana mencantumkan nilai modulus elastisitas beton dari perhitungan untuk setiap variasi kadar slag sebagai pengganti sebagian semen.

Tabel 4.10. Hasil perhitungan modulus elastisitas pada beton dengan slag sebagai pengganti sebagian semen

No	Kode benda uji	Ec perhitungan (Mpa)	Ec rata-rata	E Validasi SNI (Mpa)	E Validasi ACI (Mpa)	Selisih (%)	
						Terhadap SNI	Terhadap ACI
1	NC a	30496	32294	27988,52	28167,17	15,38	14,65
	NC b	31281					
	NC c	35105					
2	SC A-1 a	32026	32065	26614,94	26784,82	20,48	19,71
	SC A-1 b	29126					
	SC A-1 c	35043					
3	SC A-2 a	32918	31307,67	25413,64	25575,85	23,19	22,41
	SC A-2 b	29763					
	SC A-2 c	31242					
4	SC B-1 a	30738	31701,33	25617,77	25781,28	23,75	22,96
	SC B-1 b	29089					
	SC B-1 c	35277					
5	SC B-2 a	33354	30130,67	21890,21	22029,93	37,64	36,77
	SC B-2 b	27783					
	SC B-2 c	29255					
6	SC C-1 a	33162	29420	22079,74	22220,67	33,24	32,40
	SC C-1 b	25193					
	SC C-1 c	29905					
7	SC C-2 a	28728	28726,67	17677,94	17790,78	62,50	61,47
	SC C-2 b	28329					
	SC C-2 c	29123					
8	SC D-1 a	29853	27754,33	19472,50	19596,79	42,53	41,63
	SC D-1 b	26118					
	SC D-1 c	27292					
9	SC D-2 a	32148	25373,67	15545,87	15645,10	63,22	62,18
	SC D-2 b	22372					
	SC D-2 c	21601					
10	SC E-1 a	27207	26499	17795,40	17908,99	48,91	47,96
	SC E-1 b	21267					
	SC E-1 c	31023					
11	SC E-2 a	23101	23543,67	15275,48	15372,99	54,13	53,15
	SC E-2 b	26040					
	SC E-2 c	21490					

Dari Tabel 4.10 diperoleh grafik yang menggambarkan perbandingan modulus elastisitas beton menggunakan slag sebagai pengganti sebagian semen (beton dengan kadar slag 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%). Grafik modulus elastisitas tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Hasil perhitungan modulus elastisitas pada berbagai variasi kadar slag dan aktivator sebagai pengganti sebagian semen

4.3.4. Uji Normalitas *Chi-Kuadrat*

Uji *chi-kuadrat* dimaksudkan untuk mengetahui apakah perbedaan dari proporsi sampel pertama dengan yang dari sampel kedua, sampel ketiga dan yang seterusnya itu disebabkan oleh faktor kebetulan saja (*chance*).

Uji *chi-kuadrat* ini digunakan pada sampel lebih dari 2 ($k > 2$) dan pada penelitian ini menggunakan tingkat signifikansi sebesar 95%.

Dalam penelitian ini $v = (n-1) = (3-1) = 2$

Dengan taraf signifikansi 95% maka dari tabel distribusi χ^2 maka didapat

$$\chi^2_{(0,95;(n-1))} = 0,103$$

Jika $\chi^2 < \chi^2_{(0,95;(n-1))}$ maka sampel dapat diterima

Jika $\chi^2 > \chi^2_{(0,95;(n-1))}$ maka sampel tidak dapat diterima

Sebagai contoh perhitungan diambil dari data benda uji SC 20-b

Diketahui:

$$x^2_{(0,95;(n-1))} = 0,103$$

$$o = 23,2013$$

$$e = 27,5397$$

$$(o-e)^2/e = (23,2013-27,5397)^2/27,5397$$

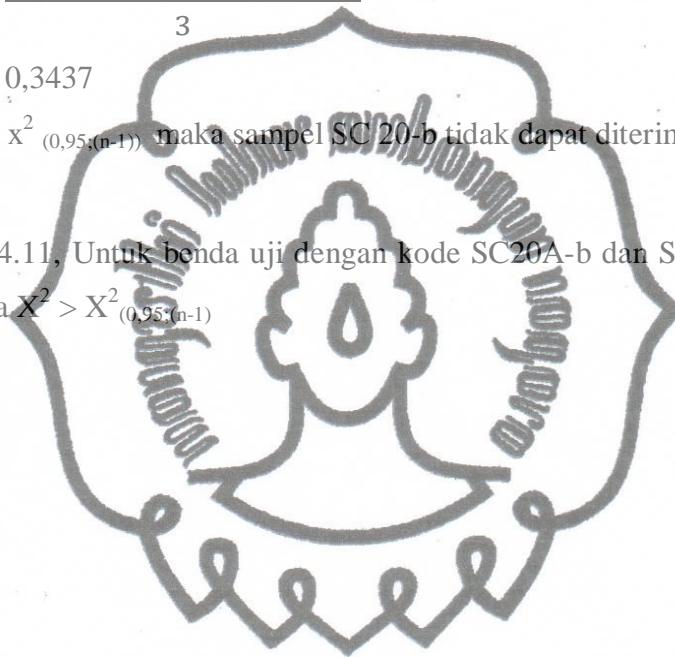
$$= 0,6835$$

$$x^2 = \frac{0,21 \quad 3 \quad 0, \quad 3 \quad 0,12 \quad 2}{3}$$

$$= 0,3437$$

Karena $x^2 > x^2_{(0,95;(n-1))}$ maka sampel SC 20-b tidak dapat diterima

Dari Tabel 4.11, Untuk benda uji dengan kode SC20A-b dan SC30B-c dianggap gagal karena $X^2 > X^2_{(0,95;(n-1))}$



Tabel 4.11. Uji *chi-kuadrat* untuk hasil uji kuat tekan beton dengan slag sebagai pengganti sebagian semen

Kode benda uji	Kuat tekan (o)	rata-rata (e)	$(o-e)^2/e$	X^2	$X^2(0,95;(n-1))$
NC a	36,2166	35,4621	0,0161	0,0080	0,103
NC b	35,0848		0,0040		
NC c	35,0848		0,0040		
SC10A a	31,6895	32,0668	0,0044	0,0621	0,103
SC10A b	30,5577		0,0710		
SC10A c	33,9531		0,1110		
SC10B a	28,2942	29,2374	0,0304	0,0170	0,103
SC10B b	29,4260		0,0012		
SC10B c	29,9919		0,0195		
SC20A a	29,9919	27,5397	0,2183	0,3437	0,103
SC20A b	23,2013		0,6835		
SC20A c	29,4260		0,1292		
SC20B a	22,0695	21,6922	0,0066	0,0426	0,103
SC20B b	20,3718		0,0804		
SC20B c	22,6354		0,0410		
SC30A a	22,0695	22,0695	0,0000	0,0387	0,103
SC30A b	23,2013		0,0580		
SC30A c	20,9377		0,0580		
SC30B a	13,5812	15,0902	0,1509	0,1320	0,103
SC30B b	14,7130		0,0094		
SC30B c	16,9765		0,2358		
SC40A a	17,5424	17,1652	0,0083	0,0041	0,103
SC40A b	16,9765		0,0021		
SC40A c	16,9765		0,0021		
SC40B a	11,3177	10,9404	0,0130	0,0260	0,103
SC40B b	11,3177		0,0130		
SC40B c	10,1859		0,0520		
SC50A a	14,7130	14,3357	0,0099	0,0645	0,103
SC50A b	15,2789		0,0620		
SC50A c	13,0153		0,1216		
SC50B a	9,6200	10,5632	0,0842	0,0472	0,103
SC50B b	11,3177		0,0539		
SC50B c	10,7518		0,0034		

Keterangan:



= data tidak memenuhi syarat dalam uji *Chi-Kuadrat*

commit to user

4.4. Pembahasan

4.4.1. Uji Slump

Workability merupakan faktor yang penting dalam pembuatan adukan beton. *Workability* yang memadai sangat diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan dan pemadatan. Dari pengujian nilai *slump* tampak bahwa penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen pada saat rancang campur (*mix design*) akan mempengaruhi *workability*.

Dari Tabel 4.6 menunjukkan bahwa nilai *slump* mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan pemberian variasi kadar slag. Hal tersebut dikarenakan nilai daya serap (*absorbtion*) slag yaitu sebesar 22%, lebih rendah dibanding dengan nilai daya serap semen yaitu sebesar 34% (Tabel 4.6.). Semakin banyak menggunakan slag sebagai pengganti semen, maka daya ikat air dan agregat akan semakin rendah. Hal ini menyebabkan air yang seharusnya digunakan untuk pasta tidak menyatu dengan agregat, sehingga kadar air dalam campuran beton tidak meresap sebagaimana mestinya. Keadaan demikian menyebabkan nilai *slump* akan semakin tinggi dan meningkatkan *workability*.

4.4.2. Kuat Tekan

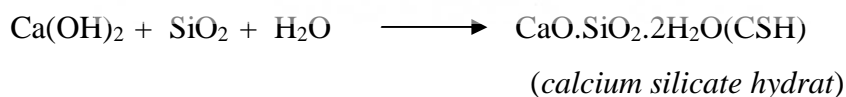
Dari hasil penelitian ini dapat diketahui seberapa besar pengaruh variasi jumlah kadar penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen ditinjau dari nilai kuat tekan beton. Pengaruh variasi kadar penggunaan slag dan aktivator sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi kadar aktivator 5% dan 10% terhadap kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12. Pengaruh penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi kadar aktivator 5% dan 10% terhadap kuat tekan beton

Kadar Slag (%)	Kuat tekan (MPa)		Selisih dengan beton normal			
			MPa		%	
	Beton Slag dengan kadar aktivator 5%	Beton Slag dengan kadar aktivator 10%	Beton Slag dengan kadar aktivator 5%	Beton Slag dengan kadar aktivator 10%	Beton Slag dengan kadar aktivator 5%	Beton Slag dengan kadar aktivator 10%
0	35,462	35,462	0	0	0	0
10	32,067	29,237	-3,395	-6,225	-9,574	-17,553
20	29,709	21,692	-5,753	-13,770	-16,223	-38,829
30	22,069	14,147	-13,393	-21,315	-37,766	-60,106
40	17,165	10,940	-18,297	-24,522	-51,595	-69,149
50	14,336	10,563	-21,126	-24,899	-59,574	-70,213

Berdasarkan Tabel 4.12 dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya persentase kadar slag yang diberikan. Penurunan nilai kuat tekan ini terjadi baik pada beton slag dengan aktivator 5% maupun beton slag dengan aktivator 10%. Hal ini disebabkan karena kandungan kapur pada slag yang relatif kecil sekitar 25%, ini jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan semen yang kandungan kapurnya mencapai 60%.

Reaksi hidrasi antara semen dan air



Reaksi hidrasi diatas dihasilkan dari semen yang mempunyai kandungan kapur sekitar dua pertiga bagian semen, sedangkan kandungan silikanya sekitar seperlima bagian semen. Pada slag yang kandungan kapurnya hanya sekitar seperempat bagian saat ditambahkan air maka proses reaksi kimia yang terjadi menjadi tidak sempurna, sehingga beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang kurang baik bila dibandingkan dengan beton normal.

Selama proses hidrasi Ca(OH)_2 bereaksi dengan SiO_2 dan H_2O menghasilkan CSH (*calcium silicate hydrat*) yang bersifat padat. Pada reaksi hidrasi slag, Ca(OH)_2 (*calcium hidroksida*) yang dihasilkan relatif kecil dikarenakan

kandungan CaO dalam slag yang rendah, hal tersebut menyebabkan CSH yang terbentuk menjadi kurang sempurna. Ca(OH)_2 merupakan senyawa yang mempunyai volume besar sehingga menyebabkan beton mengembang, dikarenakan Ca(OH)_2 yang dihasilkan sedikit maka beton menjadi kurang mengembang sehingga beton menjadi kurang padat.

Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa beton slag dengan aktivator 10% mengalami penurunan kuat tekan yang lebih signifikan dibanding beton slag dengan aktivator 5%. Hal tersebut dikarenakan Na_2CO_3 jika bereaksi dengan CaO akan menghasilkan Na_2O (natrium oksida) dan CaCO_3 (kalsium karbonat), sifat dari kalsium karbonat jika mengalami pemanasan suhu ruangan yang cukup lama akan terpecah dan menjadi serbuk remah yang lunak dan juga menghasilkan gas CO_2 (karbon dioksida). Hal ini terjadi karena pada reaksi tersebut setiap molekul dari kalsium akan bergabung dengan 1 atom oksigen diudara dan molekul karbon akan berikatan dengan oksigen dan menghasilkan gas CO_2 . Apabila senyawa tersebut terlalu banyak dihasilkan justru akan membuat beton menjadi lemah dan berpori karena banyak gas CO_2 yang keluar dari dalam beton.

4.4.3. Modulus Elastisitas

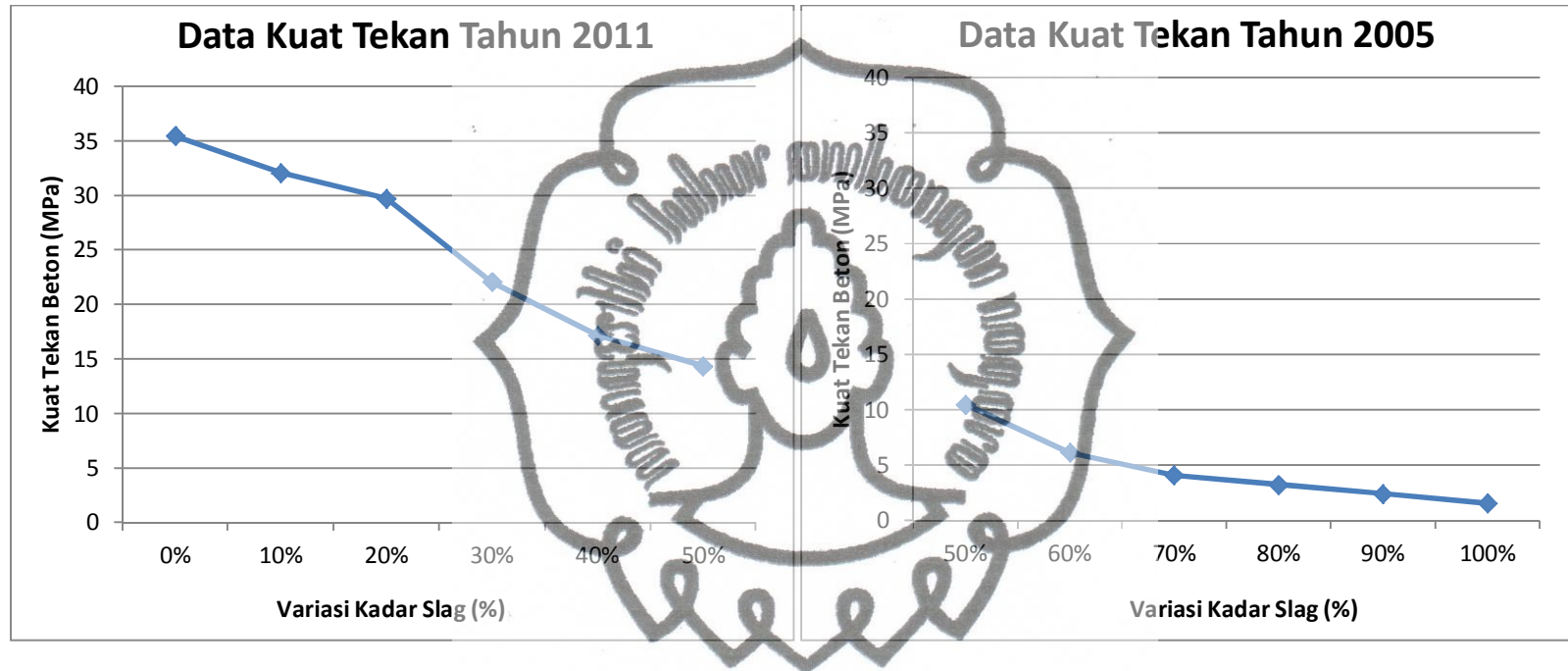
Modulus elastisitas merupakan suatu ukuran nilai yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton untuk menahan deformasi (perubahan bentuk). Hal ini membantu untuk menganalisa perkembangan tegangan regangan pada elemen struktur yang sederhana dan untuk menentukan analisa tegangan-regangan, momen dan lendutan pada struktur yang lebih kompleks. Modulus elastisitas beton ditentukan dari hubungan antara tegangan-regangan beton pada daerah elastis. Pengaruh variasi kadar penggunaan slag dan aktivator sebagai pengganti sebagian semen terhadap modulus elastisitas beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Pengaruh variasi kadar penggunaan slag dan aktivator sebagai pengganti sebagian semen terhadap modulus elastisitas beton.

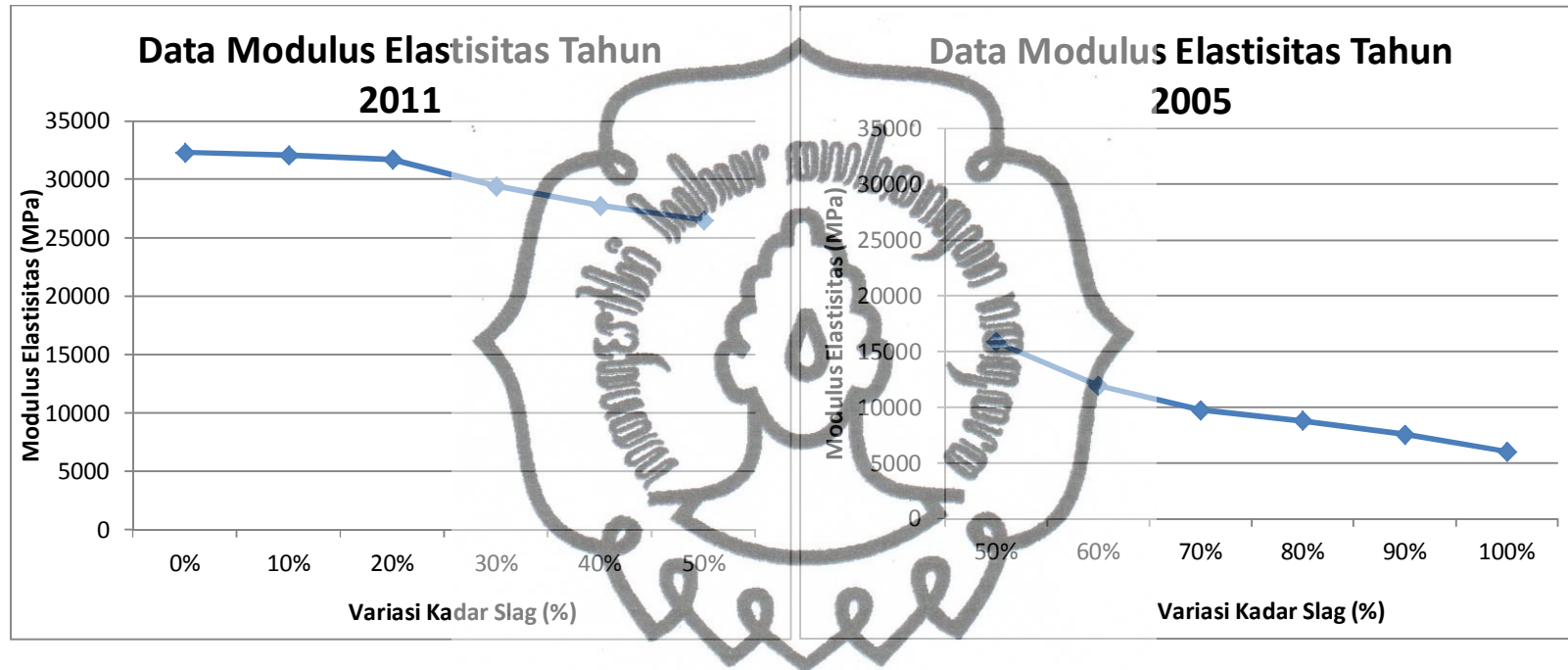
Kadar Slag (%)	Modulus Elastisitas (MPa)		Selisih dengan beton normal			
			MPa		%	
	Beton Slag dengan kadar aktivator 5%	Beton Slag dengan kadar aktivator 10%	Beton Slag dengan kadar aktivator 5%	Beton Slag dengan kadar aktivator 10%	Beton Slag dengan kadar aktivator 5%	Beton Slag dengan kadar aktivator 10%
0	32294	32294	0	0	0	0
10	32065	31307,67	-229	-986,33	-0,709	-3,054
20	31701,33	30130,67	-592,67	-2163,33	-1,835	-6,699
30	29420	28726,67	-2874	-3567,33	-8,899	-11,046
40	27754,33	25373,67	-4539,67	-6920,33	-14,057	-21,429
50	26499	23543,67	-5795	-8750,33	-17,945	-27,096

Nilai modulus elastisitas beton pada umumnya berbanding lurus dengan nilai kuat tekannya. Apabila nilai kuat tekan beton tinggi, maka nilai modulus elastisitasnya juga cenderung tinggi. Berdasarkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan nilai modulus elastisitas berbanding lurus dengan nilai kuat tekannya, semakin kecil nilai kuat tekan ternyata nilai modulus elastisitas juga menjadi semakin kecil.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yudhi Wirawan (2005), slag digunakan sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi penggunaan slag sebesar 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% dari berat semen, sedangkan kadar aktivator yang digunakan sebesar 5% dari berat slag. Dengan membandingkannya dengan penelitian ini dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya penambahan persentase kadar slag. Besarnya nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.7. Perbandingan nilai kuat tekan dengan penelitian sebelumnya (Yudhi Wirawan, 2005) dari berbagai variasi kadar slag dengan aktivator 5%



Gambar 4.8. Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan penelitian sebelumnya (Yudhi Wirawan, 2005) dari berbagai variasi kadar slag dengan aktivator 5%

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, f_c' yang digunakan pada bangunan yang direncanakan sesuai dengan aturan-aturan dalam tata cara tidak boleh kurang dari 17,5 MPa sedangkan material beton yang dapat digunakan dalam konstruksi bangunan tahan gempa adalah beton dengan kuat tekan minimal mencapai 20 MPa. Beton yang dihasilkan dari penggantian sebagian semen dengan slag sebesar 30% dengan aktivator 5% mempunyai nilai kuat tekan sebesar 22,07 MPa. Oleh karena itu pada kadar penggantian slag sebesar 30%, beton yang dihasilkan masih bisa dipergunakan sebagai pengisi struktur bangunan rumah hunian maupun untuk bangunan tahan gempa.

➤ Perhitungan biaya pembuatan 1 m³ campuran beton

Kebutuhan material untuk pembuatan 1 m³ campuran beton normal :

- Semen : 450,00 kg
- Pasir : 609,90 kg
- Kerikil : 995,10 kg

Kebutuhan material untuk pembuatan 1 m³ campuran beton slag 30% :

- Semen : 342,39 kg
- Pasir : 595,03 kg
- Kerikil : 970,84 kg

Harga material :

- Semen : Rp. 1,250.00 per kg
- Pasir : Rp. 120,000.00 per m³ (berat jenis pasir : 1400 kg/m³)
: Rp. 85.71 per kg
- Kerikil : Rp. 230,000.00 per m³ (berat jenis kerikil : 1800 kg/m³)
: Rp 127.78 per kg

Tabel 4.14. Perhitungan biaya pembuatan 1 m³ campuran beton

No	Material	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A.	Beton Normal			
1.	Semen	450,00 kg	1,250.00	562,500.00
2.	Pasir	609.90 kg	85.71	52,274.63
3.	Kerikil	995.10 kg	127.78	127,153.88
			Jumlah A	741,928.51
B.	Beton Slag 30%			
1.	Semen	342.39 kg	1,250.00	427,987.50
2.	Pasir	595.03 kg	85.71	51,000.02
3.	Kerikil	970.84 kg	127.78	124,053.93
			Jumlah B	603,041.45

Dari segi ekonomi penggunaan slag sebagai bahan pengganti semen, membuat biaya produksi pembuatan beton menjadi lebih murah. Pada pembuatan 1 m³ beton slag dengan kadar 30% membutuhkan biaya Rp. 603,041.45, ini menghemat biaya sampai Rp. 138,887.04 bila dibandingkan dengan beton normal untuk setiap 1 m³ campuran beton. Jadi bisa dikatakan penggunaan beton slag dengan kadar 30% bisa menghemat biaya pembuatan beton untuk konstruksi bangunan sebesar 18.72% bila dibandingkan dengan beton normal.

4.4.4. Hubungan Antara Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian diketahui bahwa peningkatan modulus elastisitas diikuti pula dengan peningkatan kuat tekan. Maka dari itu dapat dicari rumus empiris hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan hasil penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.15. Hubungan antara kuat desak dan modulus elastisitas perhitungan

Kode	f'c rata-rata	Ec Perhitungan	Rumus Empiris
Benda Uji	(MPa)	(MPa)	Hasil Perhitungan
NC	35,4621	32294	$5423,0 \times \sqrt{f'c'}$
SC A-1	32,0698	32065	$5662,2 \times \sqrt{f'c'}$
SC A-2	27,2374	31308	$5998,9 \times \sqrt{f'c'}$
SC B-1	29,7089	31139	$5713,0 \times \sqrt{f'c'}$
SC B-2	21,6922	30131	$6469,4 \times \sqrt{f'c'}$
SC C-1	22,0695	29420	$6262,5 \times \sqrt{f'c'}$
SC C-2	14,1471	28727	$7637,6 \times \sqrt{f'c'}$
SC D-1	17,1652	27754	$6698,9 \times \sqrt{f'c'}$
SC D-2	10,9404	25373	$7671,1 \times \sqrt{f'c'}$
SC E-1	14,3357	26499	$6998,7 \times \sqrt{f'c'}$
SC E-2	10,5632	23544	$7244,0 \times \sqrt{f'c'}$

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan pada penelitian memiliki rumus empiris rata-rata hasil perhitungan sebagai berikut:

$$E_c = 6525,4 \cdot \sqrt{f'c'} \quad (\text{Rumus empiris hasil perhitungan rata-rata})$$

Sedangkan hubungan antara modulus elastisitas dan kuat desak dalam beton normal memiliki rumus empiris sebagai berikut :

$$E_c = 4730 \cdot \sqrt{f'c'} \quad (\text{ACI 318-89, Revised 1992,1996})$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'c'} \quad (\text{SK SNI-T-15-1991})$$

dengan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

$f'c'$ = Kuat tekan beton (MPa)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan rata-rata beton dengan variasi kadar penggunaan slag 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% sebagai pengganti sebagian semen masing-masing adalah 35,46 MPa; 32,07 MPa; 29,71 MPa; 22,07 MPa; 17,17 MPa, 14,34 MPa (untuk aktivator 5%) 35,46 MPa; 29,24 MPa; 21,69 MPa; 14,15 MPa, 10,94 MPa; 10,56 MPa (untuk aktivator 10%).
2. Nilai modulus elastisitas rata-rata beton dengan variasi kadar penggunaan slag 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% sebagai pengganti sebagian semen masing-masing adalah 32294 MPa; 32065 MPa; 31701 MPa; 29420 MPa; 27754 MPa, 26499 MPa (untuk aktivator 5%) 32294 MPa; 31308 MPa; 30131 MPa, 28727 MPa; 25374 MPa; 23544 MPa (untuk aktivator 10%).
3. Beton slag dengan kadar aktivator 5% mempunyai nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton slag dengan kadar aktivator 10%.
4. Penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton. Semakin besar persentase penggunaan kadar slag dan aktivator menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan. Akibat penambahan persentase kadar slag dari 10% - 50%, kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan sebesar 9,57% - 59,57% (untuk beton slag dengan aktivator 5%) dan 17,55% - 70,21% (untuk beton slag dengan kadar aktivator 10%). Hal ini dikarenakan kandungan kapur slag yang rendah sekitar 25% mengakibatkan reaksi hidrasi yang terjadi tidak berlangsung secara sempurna seperti halnya reaksi hidrasi yang terjadi pada semen.

5. Nilai modulus elastisitas beton sebanding dengan nilai kuat tekannya. Semakin besar beban yang dapat ditahan oleh beton, semakin besar pula nilai modulus elastisitasnya. Faktor-faktor yang menyebabkan nilai modulus elastisitas beton meningkat, sama halnya seperti kuat tekan beton.

5.2. Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini kiranya diperlukan beberapa koreksi yang harus diperhatikan agar penelitian-penelitian selanjutnya dapat lebih baik. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu memastikan bahwa alat-alat yang akan digunakan untuk penelitian dalam kondisi baik.
2. Pada saat pembuatan benda uji, diharapkan campuran homogen agar tidak terjadi perbedaan hasil pengujian yang signifikan.
3. Perlu dilakukan pengujian untuk umur beton lebih dari 28 hari, hal ini mengingat slag memerlukan waktu untuk bereaksi dalam beton.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan persentase kadar aktivator Na_2CO_3 yang berbeda atau dengan menggunakan aktivator lain.
5. Pada penelitian ini seiring dengan semakin besarnya persentase kadar penggunaan slag sebagai pengganti sebagian semen ternyata nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dihasilkan semakin menurun, maka pada penelitian selanjutnya bisa dicoba slag digunakan sebagai bahan tambah atau pengganti agregat halus pada campuran beton diharapkan beton yang dihasilkan mempunyai mutu yang baik.