



**UJI KINERJA KUAT GESER *INTERFACE* BETON LAMA (*SUBSTRATE*) DAN
BETON BARU (*OVERLAY*) DENGAN VARIASI KUAT TEKAN *SUBSTRATE***

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Oleh:

Tri Aryanto
NIM. 13510134027

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**

PERSETUJUAN

Proyek akhir yang berjudul “Uji Kinerja Kuat Geser Interface Beton lama (*Substrate*) dan Beton Baru (*Overlay*) dengan Variasi Kuat Tekan *Substrate*” yang disusun oleh Tri Aryanto, NIM 13510134027 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 12 Oktober 2016
Dosen pembimbing

Faqih Ma'arif, S.Pd.T, M.Eng.
NIP. 19850407 201012 1 006

**PENGESAHAN
PROYEK AKHIR**

**Uji Kinerja Kuat Geser Interface Beton lama (*Substrate*) dan Beton Baru
(*Overlay*) dengan Variasi Kuat Tekan *Substrate***

Disusun oleh :

Tri Aryanto

13510134027

Telah Dipertahankan di depan Tim Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan
Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta
Pada Tanggal 3 Oktober 2016

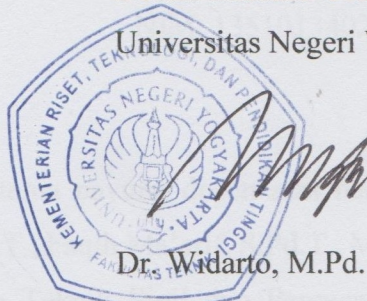
TIM PENGUJI

Jabatan	Nama Lengkap	Tanda Tangan
1. Ketua penguji	Faqih Ma'arif, S.Pd.T., M.Eng	
2. Penguji I	Dr. Slamet Widodo, M.T	
3. Penguji II	Drs. Agus Santoso, M.Pd	

Yogyakarta, 12 Oktober 2016

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Widarto, M.Pd.

NIP. 19631230 198812 1 001

SURAT PERNYATAAN

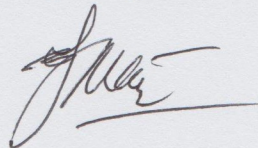
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tri Aryanto
NIM : 13510134027
Program Studi : Teknik Sipil dan Bangunan
Judul : Uji Kinerja Kuat Geser Interface Beton lama
(*Substrate*) dan Beton Baru (*Overlay*) dengan
Variasi Kuat Tekan *Substrate*

Menyatakan bahwa dalam proyek akhir ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya di sebuah Perguruan Tinggi. Sepanjang sepengetahuann saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 12 Oktober 2016

Yang menyatakan,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027

Proyek akhir ini di bawah penelitian tema payung dosen atas nama Drs. Agus Santoso, M.Pd., Dr. Slamet Widodo, M.T., Faqih Ma'arif, S.Pd.T., M.Eng dan Drs. Darmono M.T. di Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

MOTTO

Take a Time to Think, Quiet, Dream, and Prayer
(Anonym)

*Ilmu hanya milik Allah SWT, hanya ketika Allah
mengijinkan kita untuk tahu maka kita baru bisa
mempelajarinya*
(Tri)

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati Proyek Akhir ini saya persembahkan
untuk:

Kedua orangtuaku

Yang selalu mendoakan, mendukung, mengupayakan segala hal agar saya
bisa selalu belajar lebih baik lagi dan menjadi manusia yang lebih baik-

Kakakku

Yang selalu memberikanku motivasi dan segala bantuan agar dapat
belajar dengan segala yang kita punya

Teman-teman seperjuangan

Yang selalu menjadi motivator untuk tidak menyerah dan saling
mendukung satu sama lain

UJI KINERJA KUAT GESER *INTERFACE* BETON LAMA (*SUBSTRATE*) DAN BETON BARU (*OVERLAY*) DENGAN VARIASI KUAT TEKAN *SUBSTRATE*

Oleh :
Tri Aryanto
NIM. 13510134027

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan masing-masing lapisan beton yang akan dibuat sambungan antara beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*) untuk mengetahui nilai kuat gesernya, dan pengaruh kuat tekan *substrate* terhadap kuat geser sambungan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium. Pada penelitian ini benda uji menggunakan silinder beton dengan dimensi 150 x 300 mm dan untuk pengujian menggunakan kubus dengan imensi 200 x 200 x 200 mm. Benda uji silinder terdiri dari 4 varian yaitu: Beton normal lapis *substrate* (BN-S) yang teridiri dari varian 20 MPa (BN-S-20), 25 MPa (BN-S-25), 30 MPa (BN-S-30) dan beton normal lapis *overlay* (BN-O) dengan varian 20 MPa (BN-O-20). Benda uji kubus terdiri dari 3 variasi yaitu: Sambungan lapis *substrate* 20 MPa dan *Overlay* 20 MPa (BNSO₂₀₋₂₀), Sambungan lapis *substrate* 25 MPa dan *Overlay* 20 MPa (BNSO₂₅₋₂₀), Sambungan lapis *substrate* 30 MPa dan *Overlay* 20 MPa (BNSO₃₀₋₂₀). Tiap varian pada benda uji silinder dan kubus terdiri dari 3 spesimen. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dan mencari harga dengan nilai rerata.

Hasil penelitian ini didapatkan sebagai berikut: (1) Pada uji tekan rerata lapis *substrate* berurutan sebesar 18,49 MPa, 24,13 MPa, 37,73 MPa, sedangkan uji tekan pada lapis *overlay* sebesar 22,2 MPa. (3) Hasil uji geser pada spesimen BNSO₂₀₋₂₀, BNSO₂₅₋₂₀, dan BNSO₃₀₋₂₀ berurutan sebesar 0,1058 MPa, 0,3855 MPa, 0,2700 MPa. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan perbedaan nilai kuat geser sambungan beton lama dan beton baru antara lain: (1) Perbedaan kuat tekan pada beton lama (*substrate*), dan (2) Faktor air semen.

Kata kunci: kuat geser, *substrate*, *overlay*, *interface*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan serta memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga setelah melalui beberapa proses penyusunan dapat menyelesaikan Proyek Akhir ini dengan judul “Uji Kinerja Kuat Geser Interface Beton lama (*Substrate*) dan Beton Baru (*Overlay*) dengan Variasi Kuat Tekan *Substrate*”. Proyek akhir ini disusun sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Ahli Madya pada Prodi Teknik Sipil dan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa tanpa bantuan dari semua pihak yang terkait baik secara langsung maupun tidak. Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak terkait yaitu:

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendoakan dan mendukung untuk selalu belajar lebih baik lagi dengan segala kerja keras mereka.
2. Kakak saya yang selalu memberikanku motivasi dan segala bantuan agar dapat belajar dengan segala yang kita punya.
3. Bapak Faqih Ma'arif, M.Eng., selaku dosen pembimbing Proyek Akhir.
4. Bapak Dr. Slamet Widodo, M.T., selaku penguji I.
5. Bapak Drs. Agus Santoso, M.Pd., selaku penguji II.
6. Bapak Didik Purwantoro, M.Eng. selaku dosen Pembimbing Akademik.

7. Bapak Sudarman, S. Pd. Selaku teknisi Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Bilal, Ari, Anas, dan Indah selaku anggota tim beton yang telah membantu saya dan memberikan semangat dalam pelaksanaan Proyek Akhir.
9. Teruntuk Nur Alifah yang saling membantu dari awal perkuliahan sampai sekarang.
10. Teman-teman kelas C angkatan 2013. Terima kasih atas bantuan, doa, dan dukungan yang selama kuliah hingga penulisan Tugas Akhir

Penyusun menyadari dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini tentunya masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penyusun perlu saran dan kritik yang bersifat membangun guna menyempurnakan dalam penulisan. Akhirnya semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penyusun, bagi mahasiswa, bagi Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan dan semua pihak pembaca.

Yogyakarta, 5 September 2016
Penyusun

Tri Aryanto
NIM. 13510134027

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN	ii
PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN TEORI.....	7
A. Beton	7
B. Semen.....	18
C. Agregat.....	27

D. Air	32
E. Metode Pengujian Geser	34
F. Penelitian yang Relevan	44
BAB III METODE PENELITIAN.....	48
A. Metode Penelitian.....	48
B. Variabel Penelitian	48
C. Material yang Digunakan	52
D. Peralatan yang Digunakan.....	56
E. Prosedur Penelitian dan Analisa Penelitian.....	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	98
A. Hasil Pengujian	98
B. Pembahasan.....	110
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	130
A. Kesimpulan	130
B. Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA	132
LAMPIRAN.....	134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Bentuk-bentuk kehancuran beton silinder.....	17
Gambar 2.	Proses pembuatan semen.....	20
Gambar 3.	<i>Direct tension test</i>	34
Gambar 4.	<i>Pull-off test</i>	35
Gambar 5.	<i>Splitting test</i>	36
Gambar 6.	<i>Direct shear test</i>	37
Gambar 7.	<i>Bi-surface shear test</i>	38
Gambar 8.	<i>Butterfly test</i>	38
Gambar 9.	<i>Push-off test</i>	39
Gambar 10.	<i>Friction -transfer test</i>	40
Gambar 11.	<i>Guillotine test</i> : a) tampak depan b) tampak samping.....	40
Gambar 12.	<i>Slant shear test</i>	41
Gambar 13.	<i>Bending test</i> yang diusulkan oleh Ohame <i>et al</i>	42
Gambar 14.	<i>Bending test</i> yang diusulkan oleh Wall <i>et al</i>	42
Gambar 15.	<i>Bending test</i> yang diusulkan oleh Abu-tair <i>et al</i>	42
Gambar 16.	<i>Bending test</i> yang diusulkan oleh Kuneda <i>et al</i>	43
Gambar 17.	<i>Bending test</i> yang diusulkan oleh Kamada dan Li.....	43
Gambar 18.	<i>Patch test</i> : a) tekan b) tarik.....	44
Gambar 19.	<i>Patch test</i> : a) positif <i>bending</i> b) negatif <i>bending</i>	44
Gambar 20.	Hubungan antar variabel.....	52
Gambar 21.	Agregat kasar sebagai material penelitian.....	53
Gambar 22.	Agregat Halus.....	54
Gambar 23.	Semen PPC merk Gresik.....	54
Gambar 24.	Air yang digunakan dalam penelitian.....	55
Gambar 25.	Oli yang dipakai dalam penelitian.....	55

Gambar 26. Belerang.....	56
Gambar 27. Saringan No. 1 sampai No. 7.....	57
Gambar 28. Gelas ukur.....	58
Gambar 29. Timbangan dengan kapasitas 10 kg.....	58
Gambar 30. Timbangan dengan kapasitas 50 kg.....	59
Gambar 31. Timbangan dengan kapasitas 310 gram.....	59
Gambar 32. Meteran.....	60
Gambar 33. Jangka sorong.....	60
Gambar 34. Mixer pengaduk.....	61
Gambar 35. Kerucut <i>abrams</i>	62
Gambar 36. Begesting silinder.....	62
Gambar 37. Bekesting Kubus.....	63
Gambar 38. Cetok.....	64
Gambar 39. Oven.....	64
Gambar 40. Kuas.....	65
Gambar 41. Peat <i>capping</i> dan alat pelurusnya.....	66
Gambar 42. Kompor listrik.....	66
Gambar 43. Mesin tekan.....	67
Gambar 44. Cawan logam.....	67
Gambar 45. Perangkat LVDT.....	68
Gambar 46. Diagram alir penelitian kuat geser interface beton lama dan beton baru.....	71
Gambar 47. Grafik hubungan kuat tekan silinder dengan Faktor Air Semen.....	80
Gambar 48. Grafik presentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk butir maksimum 40 mm.....	84
Gambar 49. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton.....	85
Gambar 50. Desain begesting untuk kubus beton (tampak atas).....	87

Gambar 51. Pencetakan beton <i>substrate</i>	88
Gambar 52. Persiapan begesting dan setting beton <i>substrate</i> sebelum ditambah <i>overlay</i>	89
Gambar 53. Pencetakan beton <i>overlay</i>	89
Gambar 54. Sketsa <i>slump test</i>	91
Gambar 55. Perawatan beton dengan perendaman.....	92
Gambar 56. Pengujian kuat tekan silinder beton.....	95
Gambar 57. Pengujian kuat geser sambungan beton.....	96
Gambar 58. Sketsa pengujian kuat geser sambungan beton.....	96
Gambar 59. Keruntuhan setelah pembebanan.....	97
Gambar 60. Pengujian kuat geser sambungan pada benda uji BNSO ₂₀₋₂₀	107
Gambar 61. Pengujian kuat geser sambungan pada benda uji BNSO ₂₅₋₂₀	108
Gambar 62. Pengujian kuat geser sambungan pada benda uji BNSO ₃₀₋₂₀	108
Gambar 63. Grafik zona modulus kehalusan agregat kasar.....	113
Gambar 64. Grafik zona modulus kehalusan butir pasir progo.....	115
Gambar 65. Grafik nilai kuat tekan silinder spesimen lapisan beton.....	123
Gambar 66. Grafik kuat geser sabungan beton lama (<i>substrate</i>) dan beton baru (<i>overlay</i>).....	126
Gambar 67. Grafik hubungan kuat tekan <i>substrate</i> dengan kuat geser sambungan.....	127
Gambar 68. Grafik hubungan FAS (faktor air-semen) dengan kuat geser sambungan.....	128

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Penyebab-penyebab utama variasi kekuatan.....	18
Tabel 2.	Jenis-jenis semen portland dengan sifat-sifatnya.....	26
Tabel 3.	Syarat gradasi agregat halus / pasir.....	29
Tabel 4.	Gradasi kerikil menurut BS.....	29
Tabel 5.	Batas maksimum ion klorida.....	32
Tabel 6.	Batas toleransi kotoran pada air.....	33
Tabel 7.	Nilai devisiasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.....	78
Tabel 8.	Persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.....	80
Tabel 9.	Penetapan nilai <i>slump</i> (cm).....	81
Tabel 10.	Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton.....	82
Tabel 11.	Persyaratan jumlah pemakaian semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.....	83
Tabel 12.	Pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar.....	99
Tabel 13.	Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus.....	100
Tabel 14.	Pengujian berat jenis kerikil alami dan kerikil SSD.....	102
Tabel 15.	Pengujian berat jenis pasir alami dan pasir SSD.....	102
Tabel 16.	Pengujian kadar air kerikil alami dan kerikil SSD.....	103
Tabel 17.	Pengujian kadar air pasir alami dan pasir SSD.....	104
Tabel 18.	Kebutuhan material tiap meter kubik beton.....	105
Tabel 19.	Nilai <i>slump</i> pada sampel benda uji.....	105
Tabel 20.	Nilai uji kuat tekan silinder.....	106
Tabel 21.	Data pengujian geser beton.....	109
Tabel 22.	Data benda uji kuat geser <i>interface</i> sambungan beton.....	109
Tabel 23.	Pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar.....	111
Tabel 24.	Zona Modulus kehalusan butir agregat kasar.....	112
Tabel 25.	Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus.....	114

Tabel 26. Zona modulus kehalusan butir agregat halus.....	114
Tabel 27. Langkah-langkah perencanaan campuran (<i>mix design</i>).....	116
Tabel 28. Formulasi perbandingan kebutuhan bahan pembuat beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa.....	118
Tabel 29. Formulasi perbandingan kebutuhan bahan pembuat beton dengan kuat tekan rencana 25 MPa.....	118
Tabel 30. Formulasi perbandingan kebutuhan bahan pembuat beton dengan kuat tekan rencana 30 MPa.....	118
Tabel 31. Kebutuhan material tiap pengecoran.....	121
Tabel 32. Nilai <i>slump</i> pada sampel adukan beton.....	121
Tabel 33. Nilai uji kuat tekan beton silinder.....	122
Tabel 34. Kuat tekan lapis <i>substrate</i> dan lapis <i>overlay</i> pada spesimen BN-SO-20.....	123
Tabel 35. Kuat tekan lapis <i>substrate</i> dan lapis <i>overlay</i> pada spesimen BN-SO-25.....	124
Tabel 36. Kuat tekan lapis <i>substrate</i> dan lapis <i>overlay</i> pada spesimen BN-SO-30.....	124
Tabel 37. Hasil pengujian geser pada benda uji BN-SO-20.....	125
Tabel 38. Hasil pengujian geser pada benda uji BN-SO-25.....	125
Tabel 39. Hasil pengujian geser pada benda uji BN-SO-30.....	126

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur terus berkembang seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Kebutuhan akan tempat tinggal dan fasilitas umum terus ditingkatkan agar masyarakat dapat hidup dengan kesejahteraan yang baik. Beton merupakan bahan struktural yang sangat luas digunakan untuk sistem-sistem konstruksi. Teknologi beton terus dikembangkan agar mendapatkan manfaat yang maksimal dari segala aspek.

Beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lain) dengan semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu (Wuryati dan Candra, 2001). Material yang menggunakan beton banyak dipakai karena kemudahan dalam memperoleh bahan-bahan penyusunnya. Harga yang murah dan kemudahan dalam pelaksanaannya juga menjadikan beton banyak digunakan sebagai komponen struktur utama bangunan. Beton sendiri dikenal sebagai material yang kuat terhadap gaya tekan namun lemah terhadap gaya tarik.

Beton yang dibuat, diharapkan dapat menghasilkan beton yang baik dan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Pengujian agregat dan pembuatan benda uji setelah dilakukan *mix design* menjadi sangat penting untuk menjamin mutu beton karena sifat-sifat agregat berbeda antara satu tempat dengan tempat yang lain. Selain mutu bahan, ada beberapa faktor lain yang mempengaruhi mutu beton antara lain: jenis semen, faktor air semen, gradasi/susunan butir

bahan batuan, pelaksanaan pembuatan beton, dan *curing* (pematangan) beton. Pada prakteknya di lapangan, umumnya beton yang disuplai oleh perusahaan pembuatan beton (*ready mix*). Perusahaan biasanya mampu menjamin kualitas keseragaman bahan dasar untuk menjamin keseragaman kualitas beton. Kualitas atau mutu beton yang dimaksud disini adalah kuat tekan beton pada umur ke-28 hari.

Dalam Slamet (2013), konstruksi *multi-layer concrete*, di mana dalam terdapat *interface* (pertemuan) antara permukaan beton lama (*substrae*) dengan beton baru (*overlay*) dapat ditemui pada konstruksi baru yang mengadopsi *sandwich system* maupun pada kasus *overlay* perbaikan/rehabilitasi *existing structures* sebagaimana dilakukan pada *rigid pavement*, *industrial floors*, lantai parkir, ataupun *deck slab* jembatan.

Interface atau pertemuan merupakan bagian terlemah dalam struktur yang menyebabkan permasalahan pada lekatan antara beton lama dan beton baru. Menurut Bakhsh (2010) dalam Slamet (2013), adhesi *interface* antara dua lapis beton dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya: 1) kebersihan permukaan *substrate* dari zat-zat kontaminan yang dapat menyebabkan licinnya permukaan beton dan terganggunya lekatan pada *interface*, 2) kekasaran yang sangat ditentukan perlakuan terhadap permukaan *substrate*, 3) komposisi beton segar untuk material *overlay/concrete topping*, 4) teknik pengecoran dan pemadatan *overlay/concrete topping*, 5) perawatan, dan 6) umur beton.

Kuat geser beton adalah kekuatan suatu komponen struktur atas penampang yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan

menahan gaya-gaya lateral. Menurut Nawi (1998:44), kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan-percobaan yang lain karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan-tegangan lainnya. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser jarang merupakan suatu hal penting karena tegangan geser biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah beton mengalami kegagalan tarik diagonal.

Chmielewska (2005) dalam Julio dan Santos (2009) menyajikan ulasan tentang pengujian sambungan dengan mengkategorikan menjadi 4 kategori berupa: a) *direct tension*, b) *bending*, c) *splitting*, dan d) *shearing*. Kategori pertama termasuk *direct tension test* dan *pull-off test* dan pengukuran kekuatan sambungan dalam tegangan tekan. Kategori kedua meliputi beberapa pengujian sambungan dimana spesimen diuji dalam lentur, seperti *modulus of rupture test* and *the path test*. Kategori ketiga meliputi *splitting test* dan *wedge splitting test* dan pengukuran kekuatan sambungan dalam tegangan tekan yang dikombinasikan dengan penekanan. Kategori keempat meliputi *direct shear test*, *slant shear test*, *guillotine test*, *patch test*, *push-off test (L-shaped test)*, dan *friction-transfer test (twist-off test)* dan dalam mengevaluasi kekuatan sambungan dalam tegangan geser digabungkan dengan yang lain seperti tekan dan torsi.

Kuat geser perlu dipertimbangkan karena pada sambungan berpotensi untuk terjadi retak, pada permukaan sambungan terdiri dari dua komposisi material yang berbeda, bagian permukaan beton yang dicor pada waktu yang berbeda, dan dapat merupakan bagian dua elemen yang berbeda. Hal ini

meyebabkan *interface* menjadi bagian yang terlemah dalam sistem struktur yang ada.

B. Identifikasi Masalah

Sesuai dengan uraian dalam latar belakang penelitian dan kajian pustaka yang telah dilakukan, maka dapat diidentifikasi permasalahan pada penelitian ini diantaranya:

1. Mencari metode pengujian yang murah dan mudah namun representatif terhadap nilai kuat geser.
2. Belum diketahuinya pengaruh komposisi campuran beton segar terhadap kuat geser beton.
3. Belum diketahuinya pengaruh umur beton terhadap kuat geser beton.
4. Belum diketahuinya pengaruh kekasaran terhadap nilai kuat geser beton.
5. Belum diketahuinya pengaruh perbedaan kuat tekan antara beton lama dan beton baru terhadap kuat geser beton.

C. Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih fokus, maka dalam pelaksanaan penelitian ini ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Benda uji tidak menggunakan bahan tambah untuk sambungan.
2. Variasi kuat tekan rencana beton lama (*substrate*) yaitu 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa.
3. Nilai kuat tekan rencana beton baru (*overlay*) yaitu 20 MPa.
4. Pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui nilai kuat tekan pada beton *substrate* dan *overlay* masing-masing hanya dilakukan pada umur 28 hari.

5. Pengujian kuat geser dilakukan pada umur beton *substrate* 56 hari.
6. Tidak adanya *shear connector* yang berupa variasi permukaan bidang geser.

D. Rumusan Masalah

Merujuk pada identifikasi masalah dengan menyesuaikan kepada batasan-batasan masalah, maka berikut diuraikan beberapa rumusan masalah yang berkaitan dengan kuat geser *interface* beton lama dengan beton baru adalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai kuat tekan pada masing-masing lapisan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*) pada masing-masing spesimen benda uji?
2. Berapakah kuat geser *interface* sambungan beton lama dengan beton baru dengan variasi kuat tekan beton lama (*substrate*)?
3. Faktor apa sajakah yang mempengaruhi perbedaan nilai kuat geser pada sambungan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*)?

E. Tujuan Penelitian

Selanjutnya berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan di atas, maka berikut beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kuat tekan masing-masing lapisan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*).
2. Mengetahui kuat geser sambungan beton lama dengan beton baru dengan variasi beton lama.
3. Mengetahui faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai kuat geser pada benda uji.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian terkait kuat geser *interface* beton lama dan beton baru diharapkan memberikan manfaat kepada penulis dan pembaca sekalian yang meliputi:

1. Upaya mengenalkan pengujian geser sebagai bagian standar pengujian beton.
2. Menambah pengetahuan tentang kuat geser interface beton lama dengan beton baru.
3. Menjadikan pendorong untuk mengembangkan penelitian-penelitian selanjutnya agar dapat dipakai secara nyata dimasa yang akan datang.
4. Selanjutnya secara akademik memberikan sumbangan pemikiran sebagai pustaka pengembangan mata kuliah struktur beton dan bahan bangunan terkait sifat mekanik beton.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Beton

1. Definisi Beton

Beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lain) dengan semen, yang dipersatukan dengan oleh air dalam perbandingan tertentu. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih (Wuryati dan Candra, 2001).

Dalam SNI 7656:2012 menyatakan pada dasarnya beton terdiri dari agregat, semen hidrolis, air, dan boleh mengandung bahan bersifat semen lainnya dan atau bahan tambahan kimia lainnya. Beton dapat mengandung sejumlah rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambahan kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan. Beberapa bahan bersifat semen seperti abu terbang, pozolan alam / tras, tepung terak tanur tinggi dan serbuk silika dapat digunakan bersama-sama dengan semen hidrolis untuk menekan harga atau untuk

memberikan sifat-sifat tertentu seperti misalnya untuk mengurangi panas hidrasi awal, menambah perkembangan kekuatan akhir, atau menambah daya tahan terhadap reaksi alkali-agregat atau serangan sulfat, menambah kerapatan, dan ketahanan terhadap masuknya larutan-larutan perusak.

Pada beton yang baik, setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula dengan halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas pasta atau mortar menentukan kualitas beton. Semen adalah unsur kunci dalam beton, meskipun jumlahnya hanya 7-15% dari campuran. Beton dengan jumlah semen yang sedikit (sampai 7%) disebut beton kurus (*lean concrete*), sedangkan beton dengan jumlah semen yang banyak sampai (15%) disebut beton gemuk (*rich concrete*).

Sifat masing-masing bahan juga berbeda dalam hal perilaku beton segar maupun pada saat sudah mengeras, selain faktor biaya yang perlu diperhatikan. Dilain pihak, secara volumetris beton diisi oleh agregat sebanyak 61-76%.

2. Sifat-sifat beton

Campuran beton setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara mencampur, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, cara merawat dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton. Sifat-sifat beton yang akan diuraikan tidak selalu semua harus dimiliki

oleh setiap konstruksi beton, dan sifat-sifat tersebut juga relatif ditinjau dari sudut pemakaian beton itu sendiri. Yang penting beton harus memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan tujuan pemakaian itu. Misalnya suatu kolom bangunan, yang terpenting harus memiliki kekuatan tekan yang tinggi yang cukup kuat untuk menahan beban bangunan itu, sedang sifat kerapatan air tidak penting untuk diperhatikan; sebaliknya lantai suatu bak air harus memiliki sifat rapat air. Dengan kata lain, sifat-sifat penting dari beton yang harus ada dalam suatu konstruksi harus disesuaikan dengan kebutuhan, sehingga konstruksi lebih ekonomis. (Wuryati dan Candra, 2001)

Sifat umum pada beton selanjutnya adalah sebagai berikut:

a. Kemampuan dikerjakan (*workability*)

Yang dimaksud dengan *workability* adalah bahwa bahan-bahan beton setelah diaduk bersama, menghasilkan adukan yang bersifat sedemikian rupa sehingga adukan mudah diangkut, dicetak/dituang, dan dipadatkan menurut tujuannya tanpa terjadi perubahan yang menimbulkan kesukaran atau penurunan mutu (Wuryati dan Candra, 2001). Kemudahan pengerjaan dapat dilihat dari nilai *slump* yang identik dengan tingkat keplastisan beton. Semakin elastis beton, semakin mudah pengerjaannya. Unsur-unsur yang mempengaruhinya antara lain:

1) Jumlah air pencampur

Semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.

2) Kandungan semen

Jika FAS tetap, semakin banyak semen berarti semakin banyak kebutuhan air sehingga keplastisannya akan lebih tinggi.

3) Gradasi campuran pasir-kerikil

Jika memenuhi syarat dan sesuai dengan standar, akan lebih mudah dikerjakan.

4) Bentuk butiran agregat kasar

Agregat berbentuk bulat-bulat lebih mudah untuk dikerjakan.

5) Butir maksimum

6) Cara pemadatan dan alat pemadat

b. Sifat tahan lama (*Durability*)

Sifat tahan lama pada beton, merupakan sifat dimana beton tahan terhadap pengaruh luar selama dalam pemakaian. Sifat tahan lama pada beton dapat dibedakan dalam beberapa hal, antara lain sebagai berikut:

1) Tahan terhadap pengaruh cuaca; pengaruh cuaca yang dimaksud

adalah pengaruh yang berupa hujan dan pembekuan pada musim dingin, serta pengembangan dan penyusutan yang diakibatkan oleh basah dan kering silih berganti.

2) Tahan terhadap pengaruh zat kimia; daya perusak kimiawi oleh

bahan-bahan seperti air laut, rawa-rawa dan air limbah, zat-zat kimia hasil industri dan air limbahnya, buangan air kotor kota

yang berisi kotoran manusia, lemak, susu, gula, dan sebagainya perlu diperhatikan terhadap keawetan beton.

- 3) Tahan terhadap erosi; beton dapat mengalami kikisan yang diakibatkan oleh adanya orang yang berjalan kaki dan lalu lintas di atasnya, gerakan ombak laut, atau oleh partikel-partikel yang terbawa oleh angin dan atau air.

c. Sifat kedap air

Beton mempunyai kecenderungan mengandung rongga-rongga yang diakibatkan oleh adanya gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan selesai, atau ruangan yang saat mengerjakan (selesai dikerjakan) mengandung air. Semakin banyak rongga ini, maka kemungkinan masuknya air semakin besar, dan kemungkinan terbentuknya pipa kapiler makin besar. Sifat kedap air pada beton terutama didapat jika di dalam beton itu tidak terdapat pipa kapiler yang menerus, karena melalui pipa kapiler inilah air akan menembus beton itu. Untuk mengurangi kemungkinan masuk air ke dalam beton, beton harus dibuat sepadat mungkin. Untuk mendapatkan beton kedap air, perbandingan air semen harus direduksi seminimal mungkin sejauh kemudahan dikerjakan masih tercapai dan air cukup untuk keperluan hidrasi semen.

d. Susut (deformasi non-elastis)

Penyusutan merupakan salah satu penyebab utama dari retak pada bangunan, karena bahan bangunan umumnya basah pada waktu

didirikan dan mengering kemudian. Penyusutan bangunan sangat bervariasi, mulai dari nol pada kaca dan metal, hingga yang maksimum pada bahan organik. Susut juga terjadi pada semua bahan yang memakai semen sebagai pengikat. Susut didefinisikan sebagai perubahan volume yang terjadi ketika air masuk atau keluar dari gel semen, atau ketika air mengubah keadaan fisik atau kimiawinya di dalam pasta.

Susut beton adalah jauh lebih kecil dibandingkan dengan susut dari pasta, karena pengaruh perlawanan dari agregat dan bagian lain yang tidak mengering. Susut dipengaruhi oleh:

- 1) Kadar agregat
- 2) Kadar air
- 3) Kadar semen dan bahan kimia pembantu
- 4) Kondisi perawatan dan penyimpanan
- 5) Pengaruh ukuran

Susut sendiri terbagi dalam beberapa jenis yaitu:

- 1) Susut pengeringan (*drying shrinkage*)

Hilangnya air dari beton menyebabkan susut. Hal ini dapat dihindari dengan memakai faktor air-semen yang rendah dengan disertai pemadatan dan perawatan yang baik.

- 2) Susut plastis / susut kimiawi

Susut ini menyebabkan bertambahnya porositas pasta dan tidak tercemin pada ukuran volumenya. Ini menyebabkan retak-retak

pada permukaan di atas tulangan. Volume beton dapat berkurang karena pendarahan, kebocoran, dan penyerapan air oleh begesting. Pada tahap ini, dimana susut tinggi, faktor air-semen tidak berpengaruh banyak pada susut. Namun pada umur yang lebih lanjut susut semakin banyak dengan bertambahnya faktor air-semen. Penambahan 1% air akan menambah susut sampai 2%.

3) Susut karbonasi (*Carbonation shrinkage*)

Pasta semen mengandung Ca(OH)_2 bebas yang diproduksi dari hidrasi alite dan belite (C_3S dan C_2S). Ca(OH)_2 pada keadaan lembab akan bereaksi dengan CO_2 yang terdapat di udara dan menghasilkan CaCO_3 di tempat yang bebas dari tegangan air. CO_2 juga menyerang dan menguraikan kalsium silikat dan aluminat yang terhidrasi. Ini disertai dengan pengurangan volume pasta. Inilah susut karbonasi. Susut maksimum terjadi pada kadar lengas relatif 50%. Kedalaman karbonasi tergantung porositas pasta, tetapi tidak lebih dari beberapa milimeter. Jadi karbonasi berpengaruh pada permukaan.

4) Susut mandiri (*autogenous shrinkage*)

Perubahan volume setelah pengikatan diteruskan dengan hidrasi tanpa perubahan kelengasan dari/ke pasta. Terjadi pada bagian dalam dan struktur beton yang masif. Besarnya susut relatif kecil. Mekanisme adalah kehilangan air bebas tidak atau hanya

menyebabkan susut yang sedikit. Namun ketika pengeringan terus berlangsung, air yang terserap juga akan menguap. Perubahan volume adalah sama dengan kehilangan dari satu lapis molekul air dari semua permukaan gel. Susut yang bebas berkembang pada bagian luar dari beton. Terjadi pembagian susut bebas yang tidak merata. Susut yang tidak terhalang hanya mungkin terjadi pada bagian beton yang tipis dimana pengeringan yang seragam dapat dicapai dengan cepat.

e. Rangkak

Rangkak adalah perubahan bentuk di bawah beban tetap. Pemberian beban pada beton pertama-tama akan menyebabkan deformasi elastis. Pemberian beban yang diperpanjang durasinya akan menyebabkan deformasi yang lambat yang disebut rangkak (*creep*), juga disebut *flow* atau *plastic yield*. Besarnya deformasi ini tergantung pada faktor tegangan-kekuatan pada waktu pembebanan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti proporsi campuran, ukuran spesimen, dan bahkan kondisi iklim.

Jika kemudian diangkat, beton mengalami *recovery* elastis yang langsung. Perpanjangan rangkak (*creep recovery*) adalah proses yang lebih lambat dan tidak akan secara penuh kembali pada dimensi semula.

Rangkak yang terjadi di bawah kondisi kering tanpa kelembaban adalah rangkak dasar/murni. Sedangkan rangkak di bawah kondisi

mengering adaah rangkak pengeringan (*drying creep*). Rangkak dan susut adalah kejadian yang independen. Besarnya rangkak berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Rangkak lebih besar bila faktor air-semen semakin besar. Agregat memberi pengaruh menghambat penyusutan.

f. Retak

Bila beton mengering dengan cepat maka permukaanya akan mengalami tegangan tarik yang lebih tinggi dari kekuatan tariknya. Hal ini akan menyebabkan retak. Retak juga ungkin terjadi bila terdapat perbedaan temperature yang tinggi (sampai 20°C) antara bagian dalam dan bagian luar beton, akibat dari perbedaan muai.

Beton bertulang sebenarnya adalah sebuah struktur yang tidak bisa menghindari retak, karena beton mempunyai kekuatan tarik yang kecil. Mengingat bahwa tegangan tarik selalu terjadi pada waktu menerima beban maka tegangan tarik selalu terjadi pada waktu menerima beban maka tegangan itu diteruskan kepada penulangan.

g. Kekuatan Tekan Beton

Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kekuatan tekan beton didapatkan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang yang

menerima beban. Kuat tekan beton dinotasikan sebagai berikut (SNI 1974-2011).

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan;

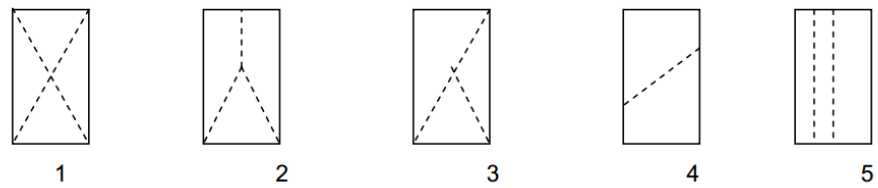
f'_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa).

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari f'_c seperti yang telah disyaratkan. Kriteria penerimaan beton tersebut harus pula sesuai dengan standar yang berlaku. Menurut standar Nasional Indonesia, kuat tekan harus memenuhi $0,85 f'_c$ untuk kuat tekan rata-rata dua silinder dan memenuhi $f'_c + 0,82 (s)$ untuk rata-rata empat buah benda uji yang berpasangan. Jika tidak memenuhi, maka diuji mengikuti ketentuan selanjutnya (Mulyono, 2005).

Metode pengujian tekan merupakan pengujian yang merusak, hal ini mengakibatkan beton memiliki pola pada setiap kerusakan. Pola tersebut dapat diidentifikasi sebagai berikut:



Gambar 1. Bentuk-bentuk kehancuran beton silinder
(sumber: SNI 1974-2011:9)

Keterangan:

(1) Bentuk kehancuran kerucut, (2) Bentuk kehancuran kerucut dan belah, (3) Bentuk kehancuran kerucut dan geser, (4) Bentuk kehancuran geser, (5) Bentuk kehancuran sejajar sumbu tegak (kolumnar).

3. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan

Maksud pengujian kekuatan beton adalah untuk menentukan terpenuhinya kekuatan dan mengukur variabilitas beton. Beton adalah suatu massa yang keras terdiri dari bahan-bahan yang heterogen. Variabilitas karakteristik dan setiap bahan penyusun dalam beton dapat menyebabkan variasi kekuatan dalam beton. Variasi kekuatan ini dapat juga disebabkan oleh pelaksanaan dalam penentuan proporsi campuran, pelaksanaan campuran, pengangkutan, penuangan, dan pemeliharaan beton, selain variasi-variasi yang terjadi dalam beton sendiri. Variasi kekuatan dapat juga disebabkan oleh fabrikasi, pengujian, dan perlakuan pada benda-benda uji. Variasi dalam kekuatan dapat diterima, namun, beton yang berkualitas cukup dapat dihasilkan jika control yang baik, hasil uji diinterpretasikan dengan akurat dan mempertimbangkan batasan-batasan yang ada.

Tabel 1. Penyebab-penyebab utama variasi kekuatan

Variasi dalam perilaku beton	Ketidaksesuaian dalam metode pengujian
a. Perubahan dalam rasio air-semen: 1) Kontrol air yang jelek 2) Variasi yang sangat besar dari kelembaban dalam agregat 3) Perubahan sifat b. Variasi dalam kebutuhan air: 1) Ukuran butir agregat, penyerapan, bentuk partikel 2) Perilaku semen dan bahan pencampur 3) Waktu antar dan temperature c. Variasi dalam karakteristik dan proporsi bahan-bahan beton: 1) Agregat 2) Semen 3) Puzolan 4) Bahan pencampur d. Variasi dalam pengangkutan penempatan dan pemadatan	a. Prosedur pengambilan benda uji yang tidak tepat. b. Variasi yang disebabkan oleh teknik pembuatan. Pengangkatan dan pemeliharaan silinder yang baru dibuat, kualitas mold yang jelek. c. Perubahan dalam pemeliharaan: 1) Variasi suhu 2) Kelembaban yang bervariasi 3) Penundaan membawa silinder ke dalam laboratorium. d. Prosedur pengujian yang kurang baik: 1) Kaping silinder 2) Pengujian tekan
Variasi temperature dan pemeliharaan	

B. Semen

1. Definisi semen

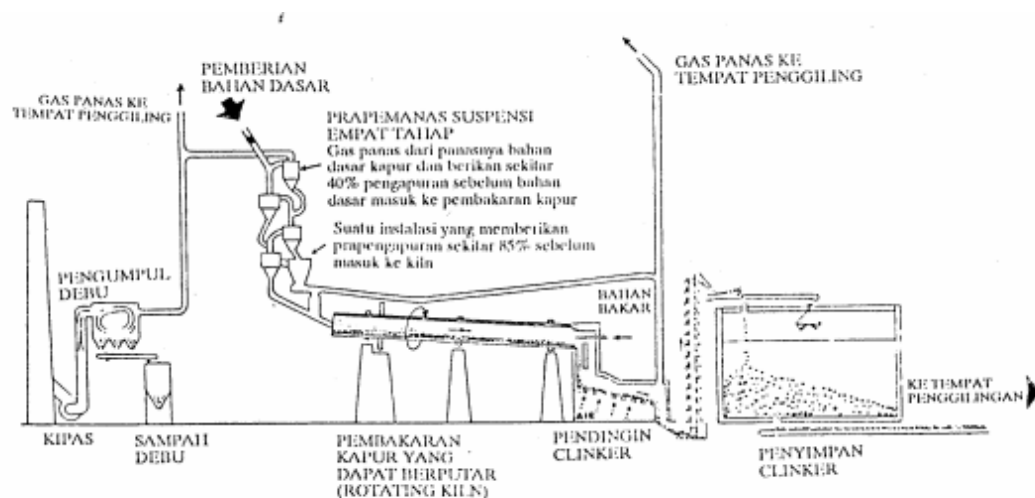
Semen Portland atau biasa disebut semen adalah bahan pengikat hidrolis berupa bubuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker (bahan ini terutama terdiri dari silikat kalsium yang bersifat

hidrolis), dengan batu gips sebagai bahan tambahan. Bahan baku pembuatan semen adalah bahan-bahan yang mengandung kapur, alumina, oksida besi, dan oksida-oksida lain (Wuryati dan Candra, 2001). Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan (Mulyono, 2003).

Secara ringkas proses pembuatannya adalah sebagai berikut:

- a. Bahan baku yang campuran CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 digiling bersama beberapa bahan tambahan lainnya, baik dalam bentuk kering maupun basah. Bentuk basah ini disebut *slurry*.
- b. Tuangkan campuran ke ujung atas dari *kiln* yang diletakkan agak miring.
- c. Selama *kiln* yang telah dipanaskan bekerja, material tadi mengalir dari ujung atas ke bawah dengan kelajuan terkontrol yang telah ditentukan sebelumnya.
- d. Temperature campuran tadi dinaikkan sampai terjadi fusi awal yang disebut *temperature clinkering*. Temperature ini dipertahankan sampai campuran membentuk butiran semen portland pada suhu 2700°F . Butiran ini disebut klinker yang ukurannya berkisar 1/16 dan 2 in.

- e. Klinker tadi didinginkan dan dihancurkan sampai berbentuk serbuk.
- f. Sedikit gypsum ditambahkan selama proses pembentukan serbuk untuk mengontrol waktu pengerasan semen di lapangan.
- g. Untuk pengiriman dalam jumlah besar, pada umumnya semen portland ditempatkan di dalam silo, sedangkan untuk pemasaran eceran dikemas dalam kantung-kantung.



Gambar 2. Proses pembuatan semen
(Sumber: Nawy, 1988)

2. Pengaruh air terhadap semen

Senyawa C_3S dan C_2S bila tercampur dengan air akan membentuk agar-agar sebagai senyawa kalsium silikat hidrat, dan membebaskan sebagian kapur. Terbebaskannya kapur ini dapat kita rasakan atau kita lihat, karena setelah pengerasan terjadi benda-benda yang terbuat dari semen portland akan mengandung endapan kapur atau air perendamannya mendandung kapur.

Agar-agar ini akan mengendap menyelubungi butir-butir semen yang lain. Bila jumlah airnya cukup banyak, pembentukan agar-agar inipun dapat berlanjut. Akan tetapi, hal ini bergantung pula pada besarnya butiran semen yang ada. Oleh karena itu, semen yang butirannya semakin halus, akan semakin cepat mengadakan senyawa dengan air.

Senyawa C_3A dan C_4AF juga bersenyawa dengan air, membentuk senyawa trikalsium aluminat hidrat. Kandungan besi dalam C_4AF tergabung dalam senyawa ini sebagai benda padat. Sisa air yang tidak bersenyawa dengan semen mengisi pori-pori antara benda-benda tadi, yang disebut pori-pori kapiler. Disamping pori-pori kapiler, di dalam agar-agar itu sendiri terdapat pori-pori agar-agar yang berisi air. Air yang ada dalam agar-agar ini dapat melanjutkan hidrasi bagi butir semen yang belum bersenyawa bila jumlah air dari luar berkurang.

3. Panas hidrasi

Persenyawaan semen dengan air akan mengeluarkan panas. Jumlah panas yang dikeluarkan (dibebaskan) ini tergantung pada kadar susunan senyawa semen dan kehalusan butirannya. Senyawa semen yang paling besar mengeluarkan panas adalah C_3A , kemudian C_3S , C_4AF , dan yang terendah C_2S .

Adanya pembesaran panas ini membantu mempercepat pengerasan (proses hidrasi) air senyawa-senyawa itu. Tetapi setelah pengerasan terjadi, bagian yang telah mengeras mempunyai sifat lambat

menyalurkan panas, jika suatu massa/benda yang terbuat dari semen terlalu tebal, panas hidrasi di dalam benda itu akan tinggi sehingga dapat mengakibatkan retak, susut, dan sebagainya, bahkan mungkin dapat berakibat fatal.

4. Sifat-sifat semen portland

Semen portland memiliki beberapa sifat yang diantaranya dijelaskan sebagai berikut:

a. Kehalusan butir

Pada umumnya semen memiliki kehalusan sedemikian rupa sehingga kurang lebih 80% dari butirannya dapat menembuh ayakan 44 mikron. Makin halus butiran semen, maka luas permukaan butir untuk suatu jumlah berat semen akan menjadi lebih besar. Makin besar luas permukaan butir ini, makin banyak pula air yang dibutuhkan bagi persenyawaannya.

b. Berat jenis dan berat isi

Berat jenis dari bubuk semen pada umumnya berkisar antara 3,10 sampai 3,30. Biasanya rata-rata berat jenis ditentukan 3,15. Berat jenis semen penting untuk diketahui, karena semen portland yang tidak sempurna pembakarannya dan atau dicampur dengan bubuk batuan lain, berat jenisnya akan terlihat akan terlihat lebih rendah daripada angka tersebut.

Untuk mengukur baik/tidaknya atau tercampur/tidaknya suatu bubuk semen dengan bahan lain, dipakai angka berat jenis 3,00.

Dengan demikian jika kita menguji semen dan hasilnya menunjukkan bahwa berat jenisnya kurang 3,00 kemungkinan semen itu tercampur dengan bahan lain (tidak murni) atau sebagian semen itu telah mengeras.

c. Kekekalan bentuk

Yang dimaksud dengan kekekalan bentuk adalah sifat dari bubur semen yang telah mengeras, dimana bila adukan semen dibuat suatu bentuk itu tidak berubah. Bukan benda dari adukan semen yang telah mengeras. Apabila benda menunjukkan adanya cacat (retak, melengkung, membesar, atau menyusut), berarti semen itu tidak baik atau tidak memiliki sifat tetap bentuk.

d. Pengikatan dan pengerasan

Pengikatan (*set*) adalah perubahan dari bentuk cair yang menjadi bentuk padat, tetapi masih belum mempunyai kekuatan. Pengikatan ini terjadi akibat reaksi hidrasi yang terjadi pada permukaan butir semen terutama butir trikalsium aluminat. Dengan penambahan gypsum, waktu pengikatan dapat diatur karena gypsum memodifikasi hidrasi awal. Pengerasan (*hardening*) adalah pertumbuhan kekuatan dari beton atau mortar setelah bentuknya menjadi padat.

Semen bila dicampur dengan air akan menghasilkan pasta yang plastis dan lecah (*workable*). Namun setelah selang beberapa waktu, pasta akan mulai menjadi kaku dan sukar dikerjakan. Inilah yang

disebut pengikatan awal (*initial set*). Selanjutnya pasta akan mengikat kekakuannya sehingga didapatkan padatan yang utuh. Ini disebut pengikatan akhir (*final set*). Proses berlanjut hingga pasta mempunyai kekuatan, disebut pengerasan (*hardening*). Pada umumnya waktu pengikatan awal minimum adalah 45 menit, sedangkan waktu pengikatan akhir adalah 6-10 jam.

e. Pengikatan semu

Pengikatan semu (*false set*) adalah reaksi hidrasi yang belum waktunya, yaitu beberapa menit saja. Hal ini terjadi karena jumlah gypsum di dalam campuran semen yang berlebih. Jika diaduk kembali tanpa menambahkan air maka daya plastisnya akan kembali dan kehilangan kekuatan akhir tidak akan terjadi.

f. Pengikatan kilat

Pengikatan kilat (*flash set / quick set*) terjadi karena pengaruh panas oleh reaksi trikalsium aluminat (C_3A) dengan air yang cepat, yang terjadi karena kandungan C_3A yang tinggi atau gypsum dalam semen kurang jumlahnya. Pengadukan tambahan beton tidak akan dapat mengembalikan plastisitas beton. Agar beton dapat digunakan maka harus ditambahkan air dan semen ke dalam campuran agar faktor air-semen tetap konstan.

g. Kekuatan pasta semen dan faktor air semen (FAS)

Banyaknya air yang dipakai selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Pada dasarnya

jumlah air yang dibutuhkan untuk progress hidrasi tersebut adalah sekitar 25% dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25%, maka kelecakan atau kemudahan dalam pengerjaan tidak akan tercapai.

Beton yang memiliki *workability* didefinisikan sebagai beton yang dapat dengan mudah dikerjakan atau dapat dituangkan (*poured*) ke dalam cetakan (*forms, molds*) dan dapat dengan mudah dibentuk (Illsley, 1942:224 dalam Mulyono 2003). Identifikasi dari kemudahan pekerjaan ini adalah nilai konsistensi dari beton segar.

Kekuatan beton akan turun jika air yang ditambahkan ke dalam campuran semakin banyak. Karena itu penambahan air harus dilakukan sedikit demi sedikit sampai nilai maksimum yang tercantum dalam rencana tercapai. Faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio (wcr)* adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor air semen adalah berat air dibagi dengan berat semen yang dituliskan sebagai :

$$FAS = \text{berat air} / \text{berat semen}$$

FAS yang rendah menyebabkan air yang berada diantara bagian-bagian semen sedikit dari jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek. Akibatnya, massa semen lebih menunjukkan keterkaitannya (kekuatan awal berpengaruh). Batuan semen mencapai kepadatan yang tinggi dan kekuatan tekannya menjadi lebih tinggi (normal ratio sekitar 0,25-0,65).

h. Jenis-jenis semen portland

Melihat sifat yang berbeda dari masing-masing komponen ini kita dapat membuat bermacam jenis semen hanya dengan mengubah kadar masing-masing komponennya. ASTM (*American standar for testing material*) menentukan komposisi semen berbagai tipe sebagaimana tampak pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 2. Jenis-jenis semen portland dengan sifat-sifatnya

Tipe semen	Sifat pemakaian	Kadar senyawa (%)				Kehalusan blaine (m^2/kg)	Kuat 1 hari (kg/cm^2)	Panas hidrasi (J/g)
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			
I	Umum	50	24	11	8	350	1000	330
II	Modifikasi	42	33	5	13	350	900	250
III	Kekuatan awal tinggi	60	13	9	8	450	2000	500
IV	Panas hidrasi rendah	25	50	5	12	300	450	210
V	Tahan sulfat	40	40	9	9	350	900	250

Tipe I adalah semen portland untuk tujuan umum. Jenis semen ini paling banyak diproduksi karena digunakan hampir semua jenis konstruksi.

Tipe II adalah semen portland modifikasi, adalah tipe yang sifatnya setengah Tipe IV dan setengah tipe V (moderat). Belakangan lebih banyak diproduksi sebagai pengganti tipe IV.

Tipe III adalah semen portland dengan kekuatan awal tinggi. Kekuatan 28 hari umumnya dapat dicapai dalam 1 minggu. Semen jenis ini umum dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin atau ketika struktur harus dapat segera vepat dipakai.

Tipe IV adalah semen portland dengan panas hidrasi rendah, yang dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum. Misalnya pada bangunan masif seperti bendungan gravitasi yang besar. Pertumbuhan kekuatannya lebih lambat daripada semen tipe I.

Tipe V adalah semen portland tahan sulfat, yang dipakai untuk menghadapi aksi sulfat yang ganas. Umumnya dipakai didaerah dimana tanah atau airnya memiliki kandungan sulfat yang tinggi.

Selain itu ada tipe 1A, IIA, IIIA,. Huruf A singkatan dari *air entrained*, mengandung buih udara. Jenisnya sama dengan semen portland tipe tersebut, tetapi mengandung material *air entrained* yang digiling bersama klinker pada waktu diproduksi.

C. Agregat

1. Definisi agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat aduk dan beton dapat juga didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi atau pengkurus, dipakai bersama dengan bahan perekat dan

membentuk massa yang keras, padat bersatu, yang disebut adukan beton (Wuryati dan Candra, 2001).

Agregat lebih murah daripada semen maka akan ekonomis apabila agregat dimasukkan sebanyak mungkin selama secara teknis memungkinkan, dan kandungan semennya minimum. Meskipun dulu agregat dianggap sebagai material pasif, berperan sebagai pengisi saja, kini disadari adanya kontribusi positif agregat pada sifat beton, seperti stabilitas volume, ketahanan abrasi, dan ketahanan umum (*durability*) diakui.

2. Jenis-jenis agregat

Agregat dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Agregat alam dan pecahan inipun dapat dibedakan berdasarkan beratnya, asalnya, diameter butirnya (*gradasi*), dan tekstur permukaannya.

3. Syarat mutu agregat

a. Syarat-syarat susunan butir agregat

SNI 03-2834-1992 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *british standar* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat *zone* (daerah). Keempat gradasi tersebut biasa disebut sebagai zone 1, zone 2, zone 3, dan zone 4.

Tabel 3. Syarat gradasi agregat halus / pasir

Lubang ayakan (mm)	Persen berat tembus komulatif			
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
10	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 – 100	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

Tabel 4. Gradasi kerikil

Lubang ayakan (mm)	Persen butir lewat ayakan, besar butir maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95 - 100	100	100
20	30 - 70	95 – 100	100
12,5	-	-	90 – 100
10	10 – 35	25 – 55	40 - 85
4,8	0 – 5	0 - 10	0 – 10

b. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama (maka tak perlu satuan). Karena butiran agregat umumnya mengandung pori-pori yang ada dalam butiran dan tertutup/tidak saling berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah, yaitu:

a. Berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori.

- b. Berat jenis semu (berat jenis tampak), jika volume benda padatnya termasuk pori tertutupnya.

Sedangkan berdasarkan berat jenis, agregat dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu: (1) agregat normal, (2) agregat berat, dan (3) agregat ringan (Tjokrodinuljo, 2007).

Catatan : Untuk agregat tertentu yang pori tertutupnya kecil, sering kedua istilah di atas dianggap sama, dan disebut berat jenis saja. Maka dapat dirumuskan pada persamaan 2.

$$B_j = W_b / W_a \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

W_b = berat butir agregat.

W_a = berat air dengan volume air sama volume agregat.

- c. Berat satuan dan kepadatan

Volume pasir dan kerikil atas: (1) volume butiran, (2) volume pori tertutup, dan (3) volume pori terbuka. Berat satuan ialah berat agregat dalam satuan volume bejana, dalam bejana terdiri atas volume butir (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbukanya (Tjokrodinuljo, 2007).

Dengan demikian maka secara matematika dapat dirumuskan pada Persamaan 3 berikut:

$$B_{sat} = W_b / V_t \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

W_b = berat butir-butir agregat dalam bejana

V_t = $V_b + V_p$

V_t = volume total bejana

V_b = volume butiran agregat dalam bejana

V_p = volume pori terbuka antar butir-butir agregat dalam bejana

Beberapa istilah yang perlu diketahui akibat tersebut diatas antara lain:

$$\text{Porositas} : P = \frac{V_p}{V_t} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Kepadatan} : K = \frac{V_b}{V_t} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Dari rumus tersebut, maka didapat hubungan antara nilai kepadatan dengan nilai porositas, yaitu:

$$K = 100 - P \dots\dots\dots(6)$$

Dalam praktek umum nilai-nilai tersebut untuk agregat normal adalah sebagai berikut:

- a. Porositas = 35 – 40 %
- b. Kepadatan = 60 - 65 %
- c. Berat jenis = 2,50 – 2,70
- d. Berat satuan = 1,50 – 1,80

D. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Mulyono, 2003).

1. Syarat umum air

Air yang digunakan dalam untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya menggunakan air tawar yang dapat diminum (Mulyono, 2003).

Tabel 5. Batas maksimum ion klorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pra-tekan	0,06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan klorida	0,15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

2. Pengaruh kotoran

Kotoran secara umum dapat menyebabkan:

- Gangguan pada hidrasi dan pengikatan.
- Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.

- c. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- d. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- e. Bercak-bercak pada permukaan beton.

Batal limit konsenrasi berbagai kotoran sebagaimana tertera pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Batas toleransi kotoran pada air

Kotoran	Konsentrasi maks (ppm)	Keterangan
Suspensi	2000	Silt, tanah liat, bahan organik
Ganggang	500 – 1000	Air entrain
Karbonat	1000	Mengurangi setting-time
Bikarbonat	400 – 1000	400 ppm untuk Ca, Mg
Sodium sulfat	10000	Kekuatan dini meningkat tetapi kekuatan akhir menurun
Magnesium sulfat	40000	
Sodium klorida	20000	Mengurangi seting-time, kekuatan dini meningkat tetapi kekuatan akhir menurun
Kalsium klorida	50000	
Magnesium klorida	40000	
Garam besi	40000	
Phosphat, arsenat, borat	500	Memperlambat set
Garam Zn, Cu, Mn, Sn	500	
Asam inorganic	10000	pH tidak kurang dari 3,0
Sodium hidroksida	500	
Sodium sulfida	100	Beton harus diuji
Gula	500	Mempengaruhi set

E. Metode pengujian geser

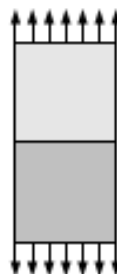
Nawy (1998:44) menyampaikan kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan-percobaan yang lain karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan-tegangan lainnya. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser jarang merupakan suatu hal penting karena tegangana geser biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah beton mengalami kegagalan tarik diagonal.

Nilai uji geser bisa berbeda sesuai dengan metode pengujian yang digunakan. Julio dan Santos (2009) menjelaskan beberapa metode yang digunakan dalam pengujian geser dan dikategorikan menurut Momayez *et al.* (2005) menjadi tiga kategori sebagai berikut:

a. *Tension stresses* (tegangan tarik)

1) *Direct tension test*

Direct tension test, dijelaskan oleh *ASTM C 1404 (2003)*, untuk mengukur kuat tarik sambungan *interface* antara dua material, seperti beton lama dengan beton baru atau beton dengan material perbaikan.

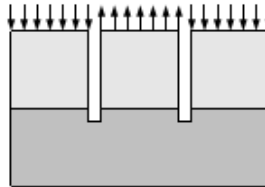


Gambar 3. *Direct tension test*

(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

2) *Pull-off test*

Pull-off test merupakan salah pengujian tegangan sambungan yang banyak dipakai. Pengujian ini dikembangkan oleh NTH Consultants, Ltd.



Gambar 4. *Pull-off test*

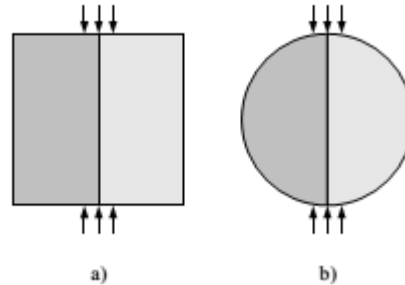
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Persiapan dan pelaksanaan *pull-off test* terdiri dari, pertama mengebor sebuah lingkaran inti pada material perbaikan sampai mencapai beton lama dan perdalam sampai di bawah permukaan *interface*. Lalu, sebuah lingkaran piringan baja ditempel pada atas permukaan inti menggunakan *epoxy resis*. Sebuah alat kemudian diletakkan pada piringan baja dan tegangan gaya diberikan sampai benda uji mengalami kegagalan.

3) *Splitting test*

Splitting test digunakan untuk mengukur kuat tarik sambungan antara dua material, biasanya dua beton yang berbeda. Hal ini dikembangkan secara independen dan diusulkan oleh Carneiro dan Barcellos (1953) dan Akazawa (1953) yang ada dalam Thaulow (1957). Pengujian ini juga dikenal sebagai *Brazilian Test* dan saat ini

digambarkan dalam sebuah standar seperti EN 12390-6 (2004) dan ASTM C 496 (2004).



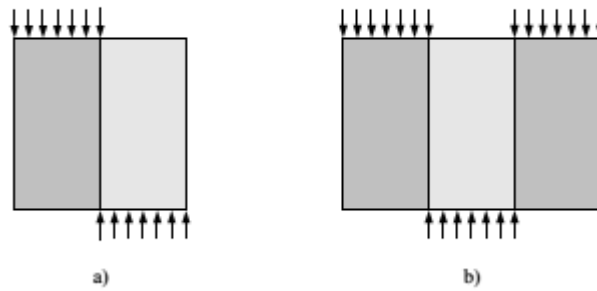
Gambar 5. Splitting test: a) benda uji kubus b) benda uji silinder
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Dalam pengujian ini benda uji komposit atau gabungan diuji dengan memberikan dua gaya tekan yang berlawanan, dengan arah yang paralel terhadap permukaan *interface*. Kegagalan dicapai dalam tegangan normal pada permukaan *interface*.

b. *Shear stresses* (tegangan geser)

1) *Direct shear test*

Direct shear test adalah pengujian sambungan yang paling sederhana untuk mendapatkan kekuatan sambungan antara dua material. Dalam pengujian ini, benda uji komposit diberi dua gaya tekan yang berlawanan dimana masing-masing bertugas sebagai bagian berbeda dari benda uji. Rata-rata tegangan geser pada *interface* didapatkan dengan membagi beban tekan oleh area sambungan.

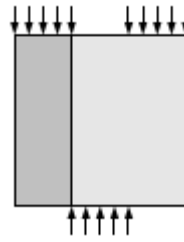


Gambar 6. *Direct shear test*: a) satu bidang geser b) dua bidang geser
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

2) *Bi-surface shear test*

Momayez et al. (2004) mengusulkan pengujian sambungan, *bi-surface shear test* untuk mengevaluasi kekuatan sambungan antara beton lama dan beton baru. Pada gambar 7 pengujian ini sangat mirip dengan *direct shear test* yang hanya satu bidang geser dan dengan konfigurasi beban yang berbeda.

Beton lama menempati dua pertiga bagian dari cetakan dan beton baru tersisa sepertiga bagian. Ketika pengecoran beton *substrate*, styrofoam, blok kayu, atau pelat baja dapat ditempatkan di dalam bekisting untuk mengurangi ukuran cetakan. Produksi spesimen sangat mudah untuk dilaksanakan sehingga dapat menghindari bentuk khusus atau harus dipotong dengan gergaji, dan dapat dengan mudah untuk disambung. Sebuah mesin penguji tekan standar dapat digunakan untuk menguji spesimen.

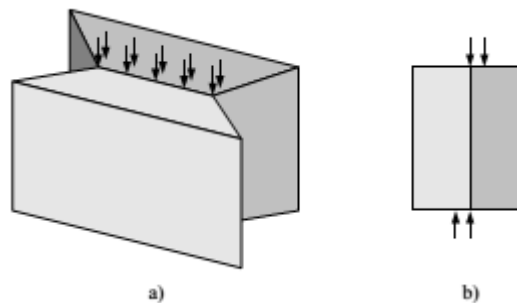


Gambar 7. *Bi-surface shear test*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Keuntungan utama dari pengujian ini adalah beban yang diterapkan secara simetris, menjadi di transmisikan ke spesimen beton komposit dengan tiga pelat baja. Para peneliti menyatakan bahwa jenis tes, dengan kombinasi ukuran spesimen dan cara pembebanan, menyebabkan keadaan tegangan geser yang dekat mewakili keadaan tegangan yang dapat ditemui pada struktur.

3) *Butterfly test*

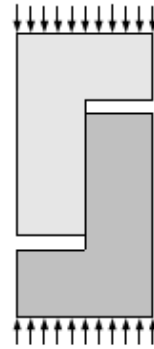
Ray *et al.* (2005) mengusulkan sebuah *direct shear bond test*, yang biasanya dikenal sebagai “*butterfly*” test yang berdasarkan hasil sebuah konfigurasi benda uji beton komposit. Benda uji memiliki 2 ujung simetri dengan bentuk “*butterfly*”



Gambar 8. *Butterfly test*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

4) *Push-off test (L-shaped test)*

Push-off test merupakan pengujian geser yang normalnya di adopsi untuk mengukur kekuatan sambungan antar *interface* beton ketika besi tulangan dipasang pada permukaan yang sudah ditentukan.

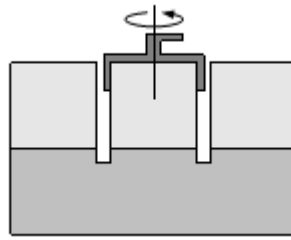


Gambar 9. *Push-off test*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Benda uji ini tersusun oleh dua pasang beton yang masing-masing berbentuk huruf L, disambungkan pada permukaan dan diberi ruang pada ujung yang fungsinya agar benda uji dapat diambil setelah kegagalan pada permukaan geser.

5) *Friction transfer test (twist-off test)*

Naderi (2005) mengusulkan pengujian transfer gesekan, yang juga dikenal sebagai pengujian *twist-off*, untuk mengukur terhadap kuat tekan beton. Pengujian ini termasuk metode destruktif karena melibatkan pengeboran dan dapat diterapkan saat di lapangan maupun di laboratorium.

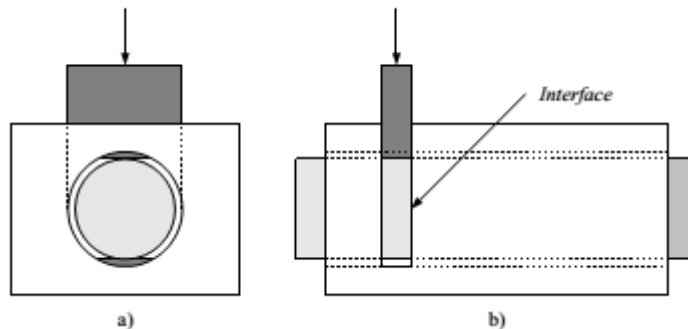


Gambar 10. *Friction-transfer test*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

6) *Guillotine test*

Delatte et al. (2000) mengadopsi sebuah pengujian geser untuk pengujian kuat sambungan antar permukaan beton. Pengujian biasanya dikenal dengan *guillotine test*.

Menurut Delatte et al. (2000), pengujian *guillotine* merupakan suatu pengujian yang sangat memadai ketika dilaksanakan di dalam laboratorium, dengan penerapan yang terbatas pada saat dilapangan ini menjadi sangat sulit untuk mendapatkan inti yang tidak rusak.



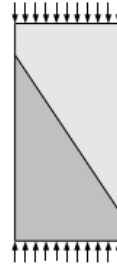
Gambar 11. Guillotine test: a) tampak depan b) tampak samping
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

c. *Shear and compression stresses* (tegangan geser dan tekan)

1) *Slant shear test*.

Slant shear test merupakan pengujian sambungan yang paling sering dipakai. Pengujian ini diusulkan oleh Kriegh (1976) dan juga dikenal

sebagai Arizona slant shear test karena dikembangkan pada Universitas Arizona. Saat ini juga ditetapkan oleh beberapa standar seperti EN 12615 (1999) dan ASTM C (1999).



Gambar 12. *Slant shear test*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Kegagalan dapat terjadi pada: a) material perbaikan; b) beton lama (*substrate*); c) pada *interface* antar dua beton; d) kedua material beton lama dan beton baru, keadaan dimana kegagalan permukaan melewati *interface*. Kegagalan terakhir ini sangat jarang tetapi dapat terjadi jika gaya tarik diterapkan eksentris, yang biasanya harus dihindari.

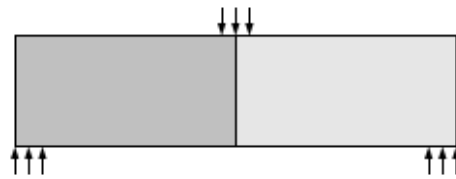
Selain pengujian telah disebutkan di atas ada beberapa lagi pengujian kuat sambungan tanpa geser yang telah dikembangkan antara lain sebagai berikut:

a. *Bending test*

Bending test atau uji lentur merupakan pengujian yang sangat sering dipakai untuk mendapatkan nilai kekuatan sambungan dari beton dengan beton dan beton ke permukaan material perbaikan. Tegangan didistribusikan dalam pengujian sambungan sangat rumit, karena hal

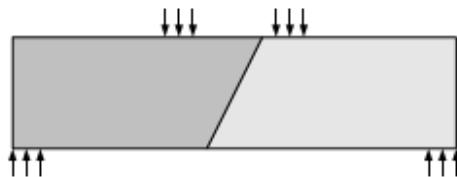
ini bergantung pada penempatan dan orientasi dari bidang permukaan. Hanya tegangan tarik dan tekan yang nampak pada permukaan, untuk lentur murni tanpa geser, atau kombinasi dari tegangan tarik, tekan dan geser untuk lentur tanpa geser. Beberapa pengujian *bending test* adalah sebagai berikut:

Pengujian bending test yang diusulkan oleh Ohama *et al.*



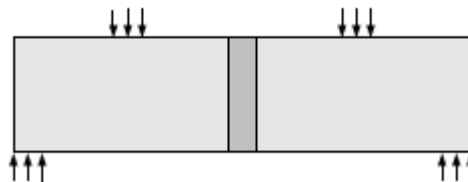
Gambar 13. *Bending test* yang diusulkan Ohama *et al*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Pengujian bending test yang diusulkan oleh Wall *et al.*



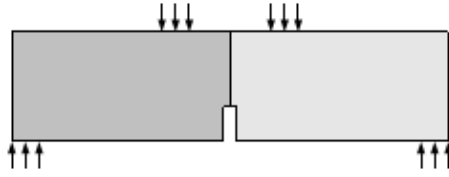
Gambar 14. *Bending test* yang diusulkan oleh Wall *et al*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Pengujian bending test yang diusulkan oleh Abu-tair *et al.*



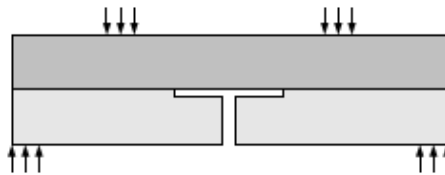
Gambar 15. *Bending test* yang diusulkan oleh Abu-tair *et al.*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Pengujian bending test yang diusulkan oleh Kuneda *et al.*



Gambar 16. *Bending test* yang diusulkan oleh Kuneda *et al*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Pengujian bending test yang diusulkan oleh Kamada dan Li.

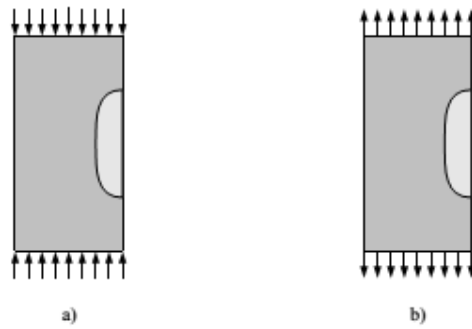


Gambar 17. *Bending test* yang diusulkan oleh Kamada dan Li.
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

b. *Patch test*

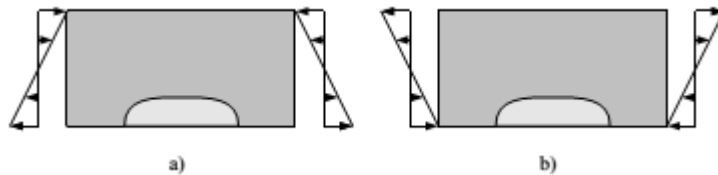
Patch test diusulkan oleh Austin dan Robins (1993) dan selalu dikembangkan khusus untuk mendapatkan kekuatan sambungan pada penambalan beton yang dangkal. Usulan pengujian ini menurut pengusulnya telah sanggup untuk memodelkan perbaikan berupa tambalan pada kondisi yang sebenarnya termasuk beberapa pembebanan dan perbaikan seperti gaya aksial berupa tekan /tarik dan lentur.

Pengujian patch test dengan kondisi tekan dan tarik sebagai berikut:



Gambar 18. *Patch test*: a) tekan b) tarik
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

Pengujian *patch test* dengan kondisi lentur sebagai berikut:



Gambar 19. *Patch test*: a) positif *bending* b) negatif *bending*
(Sumber: Julio dan Santos, 2009)

F. Penelitian yang relevan

Menurut Mo and Lai (1995) dalam Slamet (2013), balok beton bertulang dua lapis dengan menggunakan beton berkekuatan tekan sama namun tingkat *workability*-nya berbeda, dimana beton yang memiliki *workability* tinggi digunakan untuk bagian yang menerima beban tarik dan beton dengan *workability* sedang untuk daerah tekan dapat menghasilkan beton bertulang yang mampu menahan beban layan lebih besar dan akan bersifat lebih daktil.

Aysha, *et al* (2014), menyampaikan kekasaran permukaan, penggunaan dari zat perekat dan kadar air pada substrate dapat memiliki

pengaruh yang signifikan dalam kekuatan ikatan dari *interface* dan kegagalan dari masing-masing bagian beton komposit dengan lapisan pengecoran pada usia yang berbeda.

Menurut Santos dan Julio (2011), salah satu faktor yang memberikan pengaruh besar terhadap kekuatan *interface* antara dua lapis beton yang berbeda adalah besarnya *differential shrinkage* antara kedua lapis beton yang digunakan. Semakin besar *differential shrinkage* yang terjadi maka akan semakin besar tegangan yang terjadi pada *interface* beton. Selain itu, semakin kecil regangan *drying shrinkage* maka akan semakin kecil kuantitas *microcracks* yang terjadi sehingga kualitas *interface* akan semakin meningkat.

Dipali dan Jyoti (2014), dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kekuatan sambungan sangat bergantung pada metode pengujian yang digunakan. Pengujian *slant shear* lebih tinggi hasilnya daripada *Bi-surface shear test*. Selain itu, kekuatan sambungan tidak bergantung pada kekuatan tekan, tapi peningkatan penggunaan silica fume membuat kekuatan sambungan meningkat. Kekuatan sambungan meningkat pada masing-masing *Bi-surface* dan *slant shear test*.

Bakhsh (2010), menyatakan perbaikan beton utamanya mencakup menghilangkan beton yang tidak baik dan mengantinya dengan material perbaikan atau *overlay*. Salah satu persyaratan untuk setiap jenis system adalah untuk memiliki kekuatan sambungan yang memadai antara beton yang sudah (*substrate*) dan *overlay* selama waktu pelayanan. Ada berbagai

faktor yang mempengaruhi kekuatan sambungan yang dikategorikan menjadi tiga tingkatan berdasarkan efek pada kekuatan sambungan. Beberapa dari hal tersebut dianggap sebagai faktor utama dan beberapa lainnya sebagai faktor pendukung. Tidak adanya retak mikro, kebersihan dari *interface*, pemadatan yang tepat dan perawatan ada faktor utama yang mempengaruhi kekuatan sambungan.

Saliba et al. (2010) dalam Slamet (2013), menyatakan bahwa nilai faktor air semen akan memberikan pengaruh terhadap besaran susut beton. Semakin besar nilai fas dapat mengurangi *autogenous shrinkage* yang terjadi. Semakin tinggi fas maka akan terjadi *drying shrinkage* dan *total shrinkage* yang lebih besar.

Hak-chul dan Zhifu wan (2010) menyampaikan untuk beton tanpa silica fume, kekuatan tekan yang lebih tinggi (mempunyai rasio air semen yang lebih rendah) menghasilkan kekuatan ikatan geser rendah pada interface untuk masing-masing beton yang dalam kondisi jenuh kering permukaan dan kondisi udara kering permukaan. Namun dengan menambahkan silica fume (7%) untuk rasio 0,45 w/c, kekuatan tekan dan kekuatan sambungan pada *interface* meningkat signifikan. Hasil pada kondisi permukaan dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) lebih tinggi kekuatan sambungannya pada *interface* dibandingkan pada kondisi kering permukaan.

Chmielewska (2005) dalam Julio dan Santos (2009) menyajikan ulasan tentang pengujian sambungan, mengategorikan menjadi 4 kategori

berupa: a) *direct tension*, b) *bending*, c) *splitting*, dan d) *shearing*. Kategori pertama termasuk *direct tension test* dan *pull-off test* dengan pengukuran kekuatan sambungan dalam tegangan tekan. Kategori kedua meliputi beberapa pengujian sambungan dimana spesimen diuji dalam lentur, seperti *modulus of rupture test* and *the path test*. Kategori ketiga meliputi *splitting test* dan *wedge splitting test* dan pengukuran kekuatan sambungan dalam tegangan tekan yang dikombinasikan dengan penekanan. Kategori keempat meliputi *direct shear test*, *slant shear test*, *guillotine test*, *patch test*, *push-off test (L-shaped test)*, dan *friction-transfer test (twist-off test)* dan dalam mengevaluasi kekuatan sambungan dalam tegangan geser digabungkan dengan yang lain seperti tekan dan torsi.

Selanjutnya Momayez et al. (2005) menyarankan bahwa pengujian sambungan dapat dikategorikan menjadi tiga kategori berikut, tergantung pada keadaan tegangan pada spesimen: a) *tension stresses*, b) *shear stresses*, dan c) kombinasi dari *shear* dan *compression stresses*. Kategori pertama meliputi *direct tension test*, *the pul-off test*, dan *splitting test*. Kategori kedua meliputi *direct shear test*, *bi-surface shear test*, *push-off test (L-shaped test)*, dan *friction transfer test (twist-off test)*. Kategori ketiga meliputi *slant shear test*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Pada penelitian ini untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai penulis metode yang diterapkan adalah metode eksperimen laboratorium, dimana penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menyidiki hubungan sebab akibat antara satu dengan yang lain dan membandingkan hasilnya. Benda uji yang dibuat adalah sampel beton silinder untuk mengetahui kuat tekan beton yang nantinya akan digunakan dalam analisa nilai untuk kuat geser sambungan beton lama dan beton baru. Selanjutnya fokus pembahasan adalah nilai kuat tekan beton normal dan nilai kuat geser sambungan *interface* beton lama dengan beton baru.

B. Variabel Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan dengan melalui eksperimen laboratorium, maka sebagai landasan penarikan kesimpulan digunakan berbagai variable penelitian. Menurut Sugiyono (2006), variabel penelitian adalah segala sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga didapatkan sebuah informasi untuk diambil sebuah kesimpulan.

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi nilai

kuat tekan beton *substrate* terhadap sambungan beton *overlay*, yaitu 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai geser sambungan *interface* beton lama (*substrate*) dengan beton baru (*overlay*).

3. Variabel kontrol

Variabel control adalah variabel konstan yang digunakan untuk membandingkan variabel lain. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai kuat tekan dan nilai kuat geser beton antara lain:

a. Tipe semen

Semen *Portland* untuk bahan utama pembuatan beton terdiri dari berbagai jenis. Masing-masing jenis semen portland (termasuk semen *Portland pozoland*) mempunyai sifat dan karakteristik tertentu, sehingga semen merupakan penyusun beton yang sangat mempengaruhi kuat tekannya (Tjokrodimuljo, 2007).

b. Faktor air semen

Hubungan antara faktor air semen (FAS) dan kuat tekan beton seara umum dapat dituliskan dengan rumus yang ditulis menurut Tjokrodimuljo, (2007) sebagai berikut:

$$f'c = \frac{A}{B^x} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton

x = faktor air semen

A, B = konstanta

Dari rumus diatas tampak bahwa semakin rendah faktor air semen, akan semakin tinggi kuat tekan beton, dan sebaliknya. Namun rumus tersebut berlaku sampai batas terendah nilai faktor air semen, sepanjang aduk beton masih dapat dipadatkan dengan baik. Jika aduk terlalu kental, aduk beton akan sulit untuk dipadatkan. Hal tersebut mengakibatkan beton kurang padat dan akibatnya kuat tekan beton kecil. Maka nilai faktor air semen (FAS) yang optimum yang dapat mempengaruhi hasil kuat tekan beton maksimal (Wuryati dan Candra, 2001).

c. Umur benda uji

Untuk umur beton sendiri, kuat tekan bertambah tinggi seiring bertambahnya umur beton. yang dimaksud umur di sini dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton bermula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan tersebut semakin lambat, dan laju kenaikan tersebut menjadi relatif menjadi kecil setelah berumur 28 hari, sehingga secara umum dianggap kuat tekan beton tidak lagi naik setelah berumur 28 hari. Oleh karena itu, sebagai standar kuat tekan beton ditetapkan pada umur 28 hari (Wuryati dan Candra, 2001)

d. Ukuran butir maksimum agregat

Pengaruh kekuatan agregat terhadap kekuatan beton sebenarnya tidak begitu besar, karena pada umumnya kekuatan agregat lebih besar daripada kekuatan pastanya. Namun demikian, jika dikehendaki kekuatan beton yang tinggi diperlukan agregat yang kuat agar kekuatan agregat tidak lebih rendah dari kekuatan pastanya. Permukaan agregat juga dapat berpengaruh terhadap kekuatan beton, sebab agregat yang memiliki permukaan kasar akan berpengaruh pada lekatan dan besarnya tegangan saat retak-retak beton mulai terlihat. Oleh karena itu, kekasaran permukaan agregat berpengaruh terhadap kuat tekannya (Wuryati dan Candra, 2001).

e. Cara perawatan benda uji

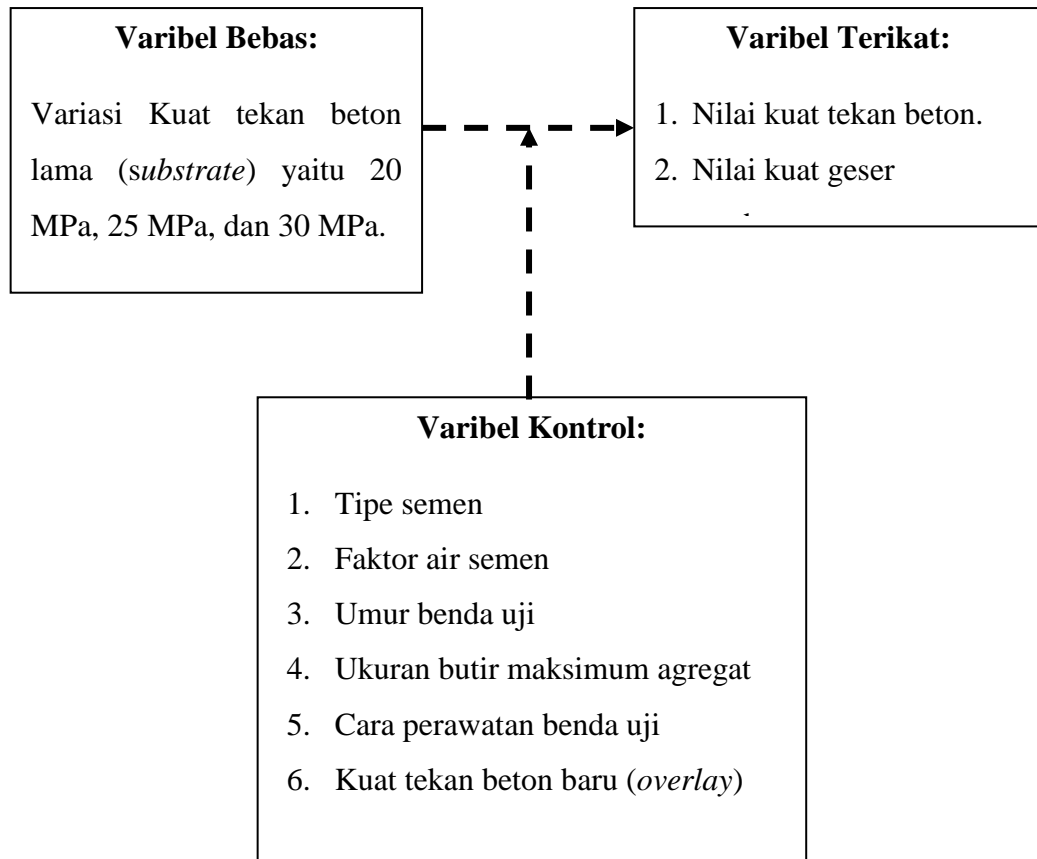
Perawatan beton (*curing*) adalah langkah untuk memberikan kesempatan pada semen/beton mengembangkan kekuatannya secara wajar dan sesempurna mungkin. Pada tahap perawatan beton perlu dijaga agar permukaan beton selalu lembab, sejak beton mulai dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras. Oleh karena itu tahap perawatan juga sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan (Wuryati dan Candra, 2001).

f. Kuat tekan *overlay*

Kuat tekan beton baru (*overlay*) direncanakan 20 MPa untuk semua variasi kuat tekan beton lama (*substrate*). Hal ini dilakukan

agar kuat tekan beton lama (*substrate*) dapat diketahui pengaruhnya terhadap kuat geser.

Selanjutnya, untuk lebih memperjelas informasi terkait hubungan antar variabel berikut disajikan pada Gambar 19 di bawah ini:



Gambar 20. Hubungan antar variabel

C. Material yang Digunakan

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan berbagai pengujian dalam penelitian ini, meliputi:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan diameter maksimum 25 mm berasal dari wilayah Kabupaten Sleman. Sedangkan menurut teori metode pengujian agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan oleh saringan berdiameter 4,75 mm (saringan No.40). Metode ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan dari agregat kasar. Untuk memperjelas terkait agregat kasar dapat disajikan pada Gambar 21 berikut:



Gambar 21. Agregat kasar sebagai material penelitian

2. Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir alami yang diperoleh dari Kabupaten Sleman. Menurut SNI-03-6920-2002 tentang spesifikasi pasir untuk butir maksimum agregat adalah 4,75 mm. Agregat halus atau pasir yang

digunakan berasal dari sungai Progo. Untuk memperjelas terkait agregat halus dapat disajikan pada Gambar 22 berikut:



Gambar 22. Agregat Halus

3. Semen

Semen yang digunakan adalah semen dengan merek dagang Gresik yang mempunyai berat 40 kg. berdasarkan SNI 15-2049-2004 semen ini termasuk dalam semen PPC, yaitu semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan syarat-syarat tertentu seperti jenis lain.



Gambar 23. Semen PPC merek Gresik

4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah air yang diperoleh di belakang Laboratorium Bahan Bangunan dan Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Menurut SNI 2847:2013, ketentuan air yang baik adalah bersih, jernih, tidak berasa dan tidak berbau. Air yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 24 berikut:



Gambar 24. Air yang digunakan dalam penelitian

5. Oli

Dalam penelitian ini oli digunakan hanya untuk bahan pendukung penelitian. Oli digunakan sebagai pelumas begesting agar mudah untuk pelepasan beton dan pelumas *capping* agar belerang tidak melekat pada cetakan. Oli yang digunakan berasal dari Bengkel Motor jurusan Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.



Gambar 25. Oli yang dipakai dalam penelitian

6. Belerang

Menurut SNI 6369-2008 belerang digunakan untuk bahan pembuat *capping*. Untuk kuat tekan beton kurang dari 35 Mpa maka *capping* harus dibiarkan mengeras selama 2 jam sebelum pengujian beton dan untuk kuat tekan beton lebih dari 35 Mpa maka *capping* dibiarkan mengeras 16 jam sebelum pengujian.



Gambar 26. Belerang

D. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam berbagai pengujian dan pembuatan benda uji selama penelitian ini terdiri dari:

1. Ayakan/saringan dan penggetar *siever*

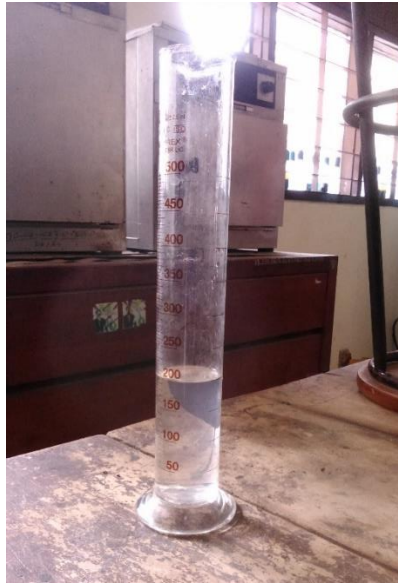
Ayakan pasir berfungsi untuk memisahkan pasir dan kerikil serta bahan lain (kotoran) yang ada pada agregat tersebut. Yang digunakan untuk mengayak pasir yang akan digunakan pada campuran beton.



Gambar 27. Saringan No. 1 sampai No. 7

2. Gelas ukur

Dalam penelitian ini digunakan gelas ukur dengan ketelitian 1 ml dan 20 ml. Fungsi dari gelas ukur dengan ketelitian 1 ml adalah untuk menakar bahan-bahan yang bersifat cair dan gelas ukur dengan ketelitian 20 ml digunakan untuk menakar air.



Gambar 28. Gelas ukur

3. Timbangan

Berdasarkan SNI 1973-2008, timbangan adalah salah satu alat yang digunakan dalam pengujian pasir. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 310 gram, 10 kg dan 50 kg.



Gambar 29. Timbangan dengan kapasitas 10 kg



Gambar 30. Timbangan dengan kapasitas 50 kg



Gambar 31. Timbangan dengan kapasitas 310 gram

4. Penggaris dan meteran

Dalam penelitian ini meteran digunakan untuk mengukur nilai *slump* dan untuk mengukur panjang balok beton.



Gambar 32. Meteran

5. Jangka sorong

Menurut SNI 03-2823-1992 tentang pengujian lentur fungsi dari jangka sorong adalah untuk mengetahui ukuran dari suatu benda dengan ketelitian yang lebih akurat. Dalam penelitian ini jangka sorong digunakan pada saat mengukur diameter silinder dan tinggi silinder.



Gambar 33. Jangka sorong

6. Mixer

Menurut persyaratan SNI 03-2493-1991 tentang pengaduk beton. Pengaduk beton berupa drum pengaduk dengan tenaga penggerak, wadah adukan yang dapat berjungkit, atau wadah yang berputar dengan baik atau wadah dengan pendayung yang berputar. Alat ini harus dapat mengaduk secara langsung sesuai dengan banyaknya adukan dengan *slump* yang diperlukan. Hal ini dimaksudkan agar campuran mortar lebih *homogen*.



Gambar 34. Mixer pengaduk

7. Kerucut *abrams* dan tongkat penusuk

Berdasarkan SNI 1972-2008 mengenai pengujian *slump*, kerucut *abrams* harus terbuat dari logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta semen. Kerucut *abrams* harus mempunyai diameter dasar 203 mm, 102 mm dan tinggi 305 mm. Batas toleransi ukuran harus dalam rentang 3.2 mm. Bagian dalam kerucut *abrams* harus licin, halus dan bebas kotoran yaitu berupa mortar yang menempel. Selain itu kerucut *abrams* harus dilengkapi dengan injakan kaki dan pegangan.



Gambar 35. Kerucut *abrams*

8. Begesting

a. Silinder

Cetakan yang digunakan dalam penelitian ini untuk menguji kuat tekan yaitu cetakan dengan bentuk silinder. Dengan tinggi 300 mm dan diameternya 150 mm yaitu berdasarkan SNI 03-2493-1991 tentang pembuatan dan perawatan benda uji.



Gambar 36. Begesting silinder

b. Kubus

Cetakan yang digunakan dalam penelitian ini untuk membuat benda uji kuat geser yaitu cetakan dengan bentuk kubus dengan ukuran 200x200x200 mm.



Gambar 37. Bekesting Kubus

9. Cetok

Pada penelitian ini juga menggunakan alat berupa cetok. Cetok berfungsi untuk mengaduk adonan beton serta untuk memudahkan memasukan kedalam cetakan beton. Hal tersebut dikarenakan ukuran cetakan beton yang cukup sesuai ukurannya apabila digunakan alat bantu berupa cetok.



Gambar 38. Cetok

10. Cangkul

Cangkul digunakan untuk mengaduk beton segar apabila selesai pencampuran dengan molen agar adukan lebih homogen.

11. Oven

Menurut SNI 1970-2008 tentang pengujian berat jenis pasir, oven yang digunakan harus dapat memanaskan sampai temperatur 110 derajat *celcius*. di bawah ini adalah oven yang terdapat di laboratorium bahan bangunan FT UNY.



Gambar 39. Oven

12. Kuas

Dalam penelitian ini kuas berfungsi sebagai alat bantu yang dipakai untuk melumuri cetakan silinder dan balok beton serta pelat *capping* dengan oli.



Gambar 40. Kuas

13. Pelat *capping*

Berdasarkan SNI 6369-2008 tentang tata cara pembuatan *capping* untuk silinder beton, tebal pelat *capping* tidak kurang dari 6 mm, diameter plat sekurang-kurangnya harus 25 mm lebih besar dari diameter benda uji dan kemiringan permukaan *capping* tidak boleh lebih dari 0.05 mm untuk diameter silinder 152 mm. Selain itu pelat *capping* harus halus, tidak ada retakan dan goresan. Fungsi dari pelat *capping* sendiri adalah untuk mencetak belerang cair agar dapat meratakan permukaan benda uji silinder. Menurut SNI 6369-2008, alat pelurus digunakan bersamaan dengan pelat *capping* agar benda uji silinder tegak lurus.



Gambar 41. Pelat *capping* dan alat pelurusnya

14. Kompor

Berdasarkan SNI 6369-2008 tentang tata cara pembuatan capping untuk benda uji silinder, pada proses *capping* belerang yang dipakai berbentuk solid, untuk mencairkannya maka perlu dipanaskan. Dalam penelitian ini kompor listrik digunakan untuk memanaskan belerang.



Gambar 42. Kompor listrik

15. Mesin uji tekan

Pada penelitian ini mesin yang digunakan untuk uji tekan adalah mesin tekan dengan merk ELE dengan kapasitas 200 ton



Gambar 43. Mesin tekan

16. Cawan

Menurut SNI 6369-2008 mensyaratkan bahwa untuk mencairkan belerang harus menggunakan cawan yang terbuat dari logam atau dilapisi dengan bahan yang tidak bereaksi dengan belerang cair.



Gambar 44. Cawan logam

17. LVDT

Untuk pembacaan nilai kuat tekan yang digunakan alat LVDT (*Linear Variable Diferential Transformator*), sensor ini berfungsi membaca tekanan melalui pergeseran inti magnet atau pergerakan garis lurus secara linear.



Gambar 45. Perangkat LVDT

E. Prosedur dan Analisa Penelitian

Berdasarkan metode yang digunakan dalam penelitian ini yang berupa metode eksperimen laboratorium, yaitu penelitian yang bertujuan menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu dengan yang lain dan membandingkan hasilnya. Benda uji yang dibuat sebagai sampel adalah silinder beton untuk menentukan nilai kuat tekan beton dengan variasi kuat tekan rencana 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa dan nilai kuat tekan beton akan

dipakai dalam analisa kuat geser pada benda uji kubus dengan variasi *substate* sebagai beton lama dan *overlay* sebagai beton baru atau pelapis.

Berdasarkan dasar perhitungan proporsi campuran (*mix design*), maka setiap kuat tekan rencana beton akan memiliki variasi formula campuran berbeda sesuai dengan tujuan penelitian. Terkait dengan tujuan tersebut untuk setiap kuat geser dengan variasi *substrate* terdapat tiga macam tipe yaitu: (1) Beton *substrate* dengan kuat tekan rencana karakteristik 20 MPa dengan beton *overlay* 20 MPa yang selanjutnya akan dinotasi dengan BNSO₂₀₋₂₀, (2) Beton *substrate* dengan kuat tekan rencana karakteristik 25 MPa dengan beton *overlay* 20 MPa yang selanjutnya akan dinotasi dengan BNSO₂₅₋₂₀, (3) Beton *substrate* dengan kuat tekan rencana karakteristik 30 MPa dengan *overlay* 20 MPa yang selanjutnya akan dinotasi dengan BNSO₃₀₋₂₀. Dari beberapa variasi tersebut nantinya akan dilakukan uji tekan untuk setiap adukan untuk mengetahui nilai kuat tekan aktual beton kubus untuk menjadi dasar sambungan untuk geser beton *substrate* dan *overlay*.

Akhirnya berdasarkan uraian terkait metode yang diterapkan dalam penelitian serta dari hasil pengambilan benda diatas, maka dapat diberikan uraian tahapan-tahapan eksperimen laboratorium yang ditempuh. Secara garis besar, penelitian dengan metode eksperimen laboratorium ini dilakukan dalam enam (6) tahapan yaitu:

Tahap I : Pemeriksaan sifat bahan agregat halus dan agregat kasar.

Tahap II : Perhitungan proporsi campuran (*mix design*).

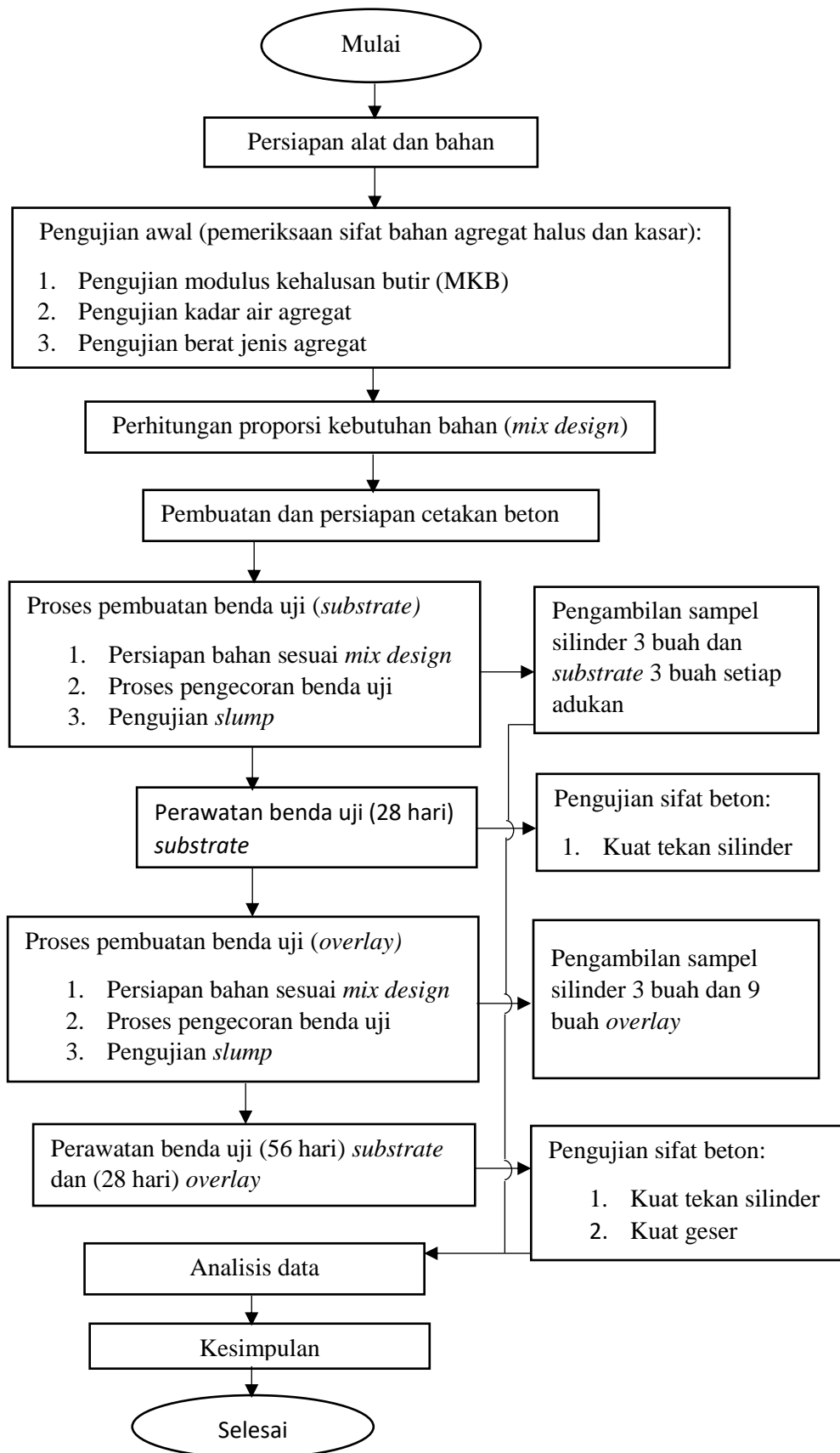
Tahap III : Pembuatan dan persiapan cetakan beton (*begetting*).

Tahap IV : Pembuatan benda uji (*mixing*)

Tahap V : Pengujian kuat tekan beton dan kuat geser sambungan beton.

Tahap VI : Analisis dan intrepestasi data hasil penelitian dengan metode diskriptif kuantitatif

Merujuk berdasarkan uraian pokok di atas, berikut disajikan diagram alir terkait prosedur dalam penelitian ini pada Gambar 45:



Gambar 46. Diagram alir penelitian kuat geser interface beton lama dan beton baru

Penjelasan terkait beberapa prosedur tahap pengujian yang telah dilaksanakan di atas, maka secara lebih terperinci dan detail akan diuraikan beberapa langkah atau tahapan pengujian tersebut dengan metode eksperimen laboratorium, yaitu:

1. Pengujian modulus kehalusan butir

Modulus halus butir (*finnes modulus*) atau biasa disingkat dengan MKB ialah suatu indek yang dipakai untuk menghaluskan atau kekasaran butir-butir agregat. Metode ini digunakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan, dengan tujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran.

Peralatan yang digunakan meliputi: timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah, mesin guncang, talam, dan alat lainnya. Benda uji berupa agregat, baik agregat halus maupun agregat kasar. Berat minimum benda uji harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

a. Agregat halus:

- 1) Ukuran maksimum 4,76 mm; berat minimum 500 gram.
- 2) Ukuran maksimum 2,38 mm; berat minimum 100 gram.

b. Agregat kasar:

- 1) Ukuran maksimum 3,5 inchi (89 mm); berat minimum 35 kg.
- 2) Ukuran maksimum 2,5 inchi (64 mm); berat minimum 25 kg.
- 3) Ukuran maksimum 1 inchi (25 mm); berat minimum 10 kg.

Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan agregat kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi dua bagian dengan saringan no. 4.

Prosedur pengujian meliputi tahapan sebagai berikut:

- a. Benda uji dikeringkan dalam oven, dengan suhu (110 ± 5) derajat celcius, sampai berat tetap.
- b. Benda uji disaring melalui susunan saringan berlapis, dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas.
- c. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin selama 15 menit.
- d. Prosentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan dihitung terhadap berat total benda uji setelah disaring.
- e. Hasil analisis saringan, dalam pengujian gradasi agregat kasar dan agregat halus, diwujudkan dalam bentuk grafik untuk menentukan kelayakan dan daerah gradasi. Selanjutnya digunakan sebagai acuan perencanaan adukan beton.

2. Pengujian dan analisis berat jenis

Pada hasil pengujian terhadap berat jenis, dilakukan pengujian sebanyak 2 kali. Pengujian pertama dilakukan terhadap agregat kasar dan pengujian kedua dilakukan terhadap agregat halus. Berikut diuraikan langkah-langkah dalam pengujian berat jenis:

- a. Pengujian dan analisa berat jenis (BJ) agregat kasar

Metode pengujian ini dilakukan pada agregat kasar (kerikil) menurut SNI 1969:2008, yaitu agregat yang tertahan oleh saringan berdiameter 4,75 mm (saringan No. 4). Metode ini digunakan sebagai acuan untuk

menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan dari agregat kasar.

Peralatan yang digunakan, antara lain, keranjang kawat No. 6 dan No. 8, tempat air, timbangan, oven, dan saringan No. 4. Benda uji adalah agregat yang tertahan oleh saringan berdiameter 4,75 mm (saringan No. 4), yang diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara penempatan, sebanyak kira-kira 5 kg (Slamet, 2014). Prosedur pengujian meliputi tahapan sebagai berikut:

- 1) Mencuci benda uji, mengeringkannya dalam oven, dan kemudian mendinginkannya.
- 2) Menimbang benda uji dengan ketelitian 0,5 gr (B_k).
- 3) Merendam benda uji dalam air selama 24 jam.
- 4) Mengeluarkan benda uji dari air, lalu benda uji ditimbang dalam kondisi jenuh kering permukaan (B_{jkm}).
- 5) Meletakkan benda uji didalam keranjang dan mengoyangkan batunya lalu menentukan beratnya didalam air (B_a).
- 6) Menghitung berat jenis curah, berat jenis jenuh kering muka, berat jenis semu, dan penyerapan dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$BJ = \frac{B_{jkm}}{B_a} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan;

BJ : berat jenis kondisi jenuh kering muka

B_{jkm} : berat butir agregat kondisi jenuh kering muka

B_a : berat air dengan volume air sama dengan volume butir agregat.

b. Pengujian dan analisa berat jenis (BJ) agregat pasir

Metode pengujian ini dilakukan pada agregat halus (pasir) menurut SNI 1970:2008, yaitu agregat yang lolos saringan berdiameter 4,75 mm (saringan No. 4). Metode ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan dari agregat halus.

Peralatan yang digunakan antara lain: timbangan, piknometer, saringan No. 4, desikator, dan lain-lain. Benda uji adalah agregat yang lolos saringan berdiameter 4,75 mm (saringan No. 4) yang diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara penempatan, sebanyak kira-kira 100 gram (Slamet, 2014).

Prosedur pengujian meliputi tahapan sebagai berikut:

- 1) Mengeringkan benda uji dalam oven selama 2 jam, kemudian mendinginkannya.
- 2) Merendam benda uji didalam air selama (24 ± 4) jam.
- 3) Membuang air perendam dan mengeringkan benda uji di udara panas sampai tercapai keadaan jenuh kering permukaan.
- 4) Setelah tercapai kondisi jenuh kering permukaan, 500 gr benda uji dimasukkan ke dalam piknometer, lali piknometer direndam di dalam air.
- 5) Menambahkan air sampai tanda batas.

- 6) Menimbang piknometer berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1 gram (B_t).
- 7) Mengeluarkan benda uji, lalu mengeringkannya dalam oven kemudian mendinginkannya dalam desikator, kemudian ditimbang (B_k).
- 8) Menentukan berat piknometer berisi air penuh dan mengukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 25°C (B).
- 9) Menghitung berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BJ = \frac{B_{jkm}}{B_a} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan;

BJ : berat jenis kondisi jenuh kering muka

B_{jkm} : berat butir agregat kondisi jenuh kering muka

B_a : berat air dengan volume air sama dengan volume butir agregat.

3. Menguji kadar air SSD

Dilihat pada SNI 03-1971-1990 metode ini sebagai acuan untuk menentukan besarnya kadar air agregat. Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, yang dinyatakan dalam persen. Peralatan yang digunakan, antara lain, timbangan, oven, dan talam logam tahan karat. Berat benda uji yang diperlukan untuk pemeriksaan agregat bergantung pada ukuran butir

maksimum sesuai daftar "Berat Minimum Benda Uji". Prosedur pengujian melalui tahapan sebagai berikut:

- a. Menimbang dan mencatat berat talam (W_1).
- b. Memasukkan benda uji kedalam talam, kemudian ditimbang dan dicatat beratnya (W_2).
- c. Menghitung berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$)
- d. Mengeringkan benda uji beserta talam didalam oven.
- e. Setelah kering, menimbang dan mencatat berat benda uji beserta talam (W_4).
- f. Menghitung berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$).
- g. Hitung kadar air agregat dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K_{jkm} = \frac{W_{jkm}}{W_0} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- K_{jkm} : kadar air jenuh kering muka
- W_{jkm} : berat agregat jenuh kering muka
- W_0 : berat agregat kering oven

4. Perhitungan proporsi campuran (*mix design*)

- a. Penetapan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$)
- Menentukan kuat tekan rencana karakteristik beton, misal ditentukan kuat tekan sebesar 20 MPa pada beton umut 28 hari.

b. Menentukan nilai deviasi standar

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian dalam pelaksanaan pencampuran beton. Semakin baik tingkat pengendalian mutu, semakin kecil nilai deviasi standarnya. Penetapan nilai deviasi standar (s) ini didasarkan pada hasil pengalaman praktek pada waktu yang lalu dengan syarat kualitas dan bahan yang digunakan harus sama.

Tabel 7. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

c. Menghitung nilai tambah (margin)

Nilai tambah (margin) dihitung dengan $k = 1,64$ dan sd = sesuai tabel standar deviasi, maka:

$$M = k.sd \dots\dots\dots(11)$$

d. Menentukan kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr})

Kuat tekan rata-rata yang direncanakan dihitung dengan diketahui kuat tekan yang direncanakan (f'_c) dan nilai tambah (M) yang kemudian dimasukkan pada rumus:

$$f'_{cr} = f'_c + M \dots\dots\dots(12)$$

e. Menentukan jenis semen portlan

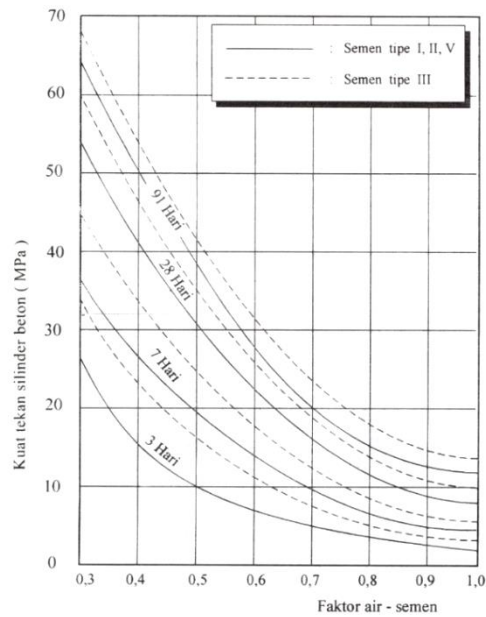
Dicontohkan suatu perancangan beton menggunakan tipe 1 maka semen yang digunakan untuk konstruksi secara umum di lapangan tidak memerlukan sifat-sifat khusus.

f. Menentukan jenis agregat

Jenis agregat halus maupun agregat kasar dibagi menjadi dua kategori yaitu agregat alami dan agregat pecah atau split. Dalam penggunaan selama pembuatan beton bisa dipakai kombinasi alami dengan alami, alami dengan pecah, pecah dengan alami dan pecah dengan pecah.

g. Menentukan faktor air-semen

Faktor air semen ditentukan lewat grafik hubungan kuat tekan silinder beton dengan faktor air-semen. Dengan menarik garis lurus pada kuat tekan silinder yang direncanakan pada umur yang diinginkan serta memilih semen yang dipakai tipe berapa, maka pada perpotongan tersebut ditarik garis lurus ke bawah sehingga didapat nilai Faktor Air Semen (FAS).



Gambar 47. Grafik hubungan kuat tekan silinder dengan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

h. Menentukan faktor air semen minimum

Untuk menentukan faktor air semen (FAS) dapat disesuaikan dengan prosedur dan perbandingan pada tabel di bawah ini:

Tabel 8. Persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:	
a. Keadaan sekeliling non korosif	0,60
b. Keadaan sekeliling korosif akibat kondensasi atau uap korosi	0,52
Beton di luar ruang bangunan:	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton di luar ruang bangunan:	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Lihat tabel 7.12.a
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 7.12.b

Dengan menentukan jenis beton yang akan digunakan, pada tabel di atas dapat diketahui faktor air maksimum. Akan tetapi faktor air semen maksimum yang harus dipakai harus memiliki nilai paling rendah yaitu 0,43.

i. Menentukan nilai *slump*

Tabel 9. Penetapan nilai *slump* (cm)

Pemakaian beton	Maksimum	Minimum
1. Dinding, plat fondasi, dan fondasi telapak bertulang.	12,5	5,0
2. Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur di bawah tanah.	9,0	2,5
3. Plat, balok, kolom, dan dinding.	15,0	7,5
4. Pengerasan jalan	7,5	5,0
5. Pembetonan masal.	7,5	2,5

Dengan fungsi dari pemakaian beton yang direncanakan dapat diketahui nilai *slump* yang diperkenankan. Misalkan, nilai *slump* sudah ditentukan sebelumnya yaitu sebesar 100 mm dengan toleransi sebesar 20 mm untuk kurang atau lebih, karena untuk mencapai nilai *slump* yang selalu tepat sangatlah sulit.

j. Penetapan besar butir agregat maksimum

Misalkan untuk ukuran agregat maksimum dalam beton direncanakan ini ditentukan menggunakan butir maksimum dengan diameter 40 mm.

k. Menentukan kebutuhan air

Tabel 10. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton

Besar ukuran maks. Kerikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Dalam rancangan beton dapat diketahui penggunaan agregat. Dari Tabel 10, misalkan dengan ukuran maksimal kerikil 40 mm dan dari jenis batuan yang berbeda maka didapat hasil jenis batuan alami sebesar 175 dan jenis batuan pecah sebesar 205. Karena dari jenis batuan yang berbeda maka untuk menentukan banyaknya air yang diperlukan per meter kubik beton, dengan rumus:

$$A = 0,67.A_h + 0,33.A_k \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

A = jumlah air yang dibutuhkan, liter/m³

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halusnya

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

l. Menghitung berat semen yang diperlukan

Berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air langkah (11) dengan faktor air semen yang diperoleh pada langkah (7) dan (8)

m. Kebutuhan semen minimum

Tabel 11. Persyaratan jumlah pemakaian semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.

Jenis Pembetonan	Semen Minimum (kg/m ³)
Beton di dalam ruang bangunan:	
c. Keadaan sekeliling non korosif	275
d. Keadaan sekeliling korosif akibat kondensasi atau uap korosi	325
Beton di luar ruang bangunan:	
c. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
d. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton di luar ruang bangunan:	
c. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
d. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Lihat tabel 7.15.a
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 7.15.a

n. Menyesuaian kebutuhan semen

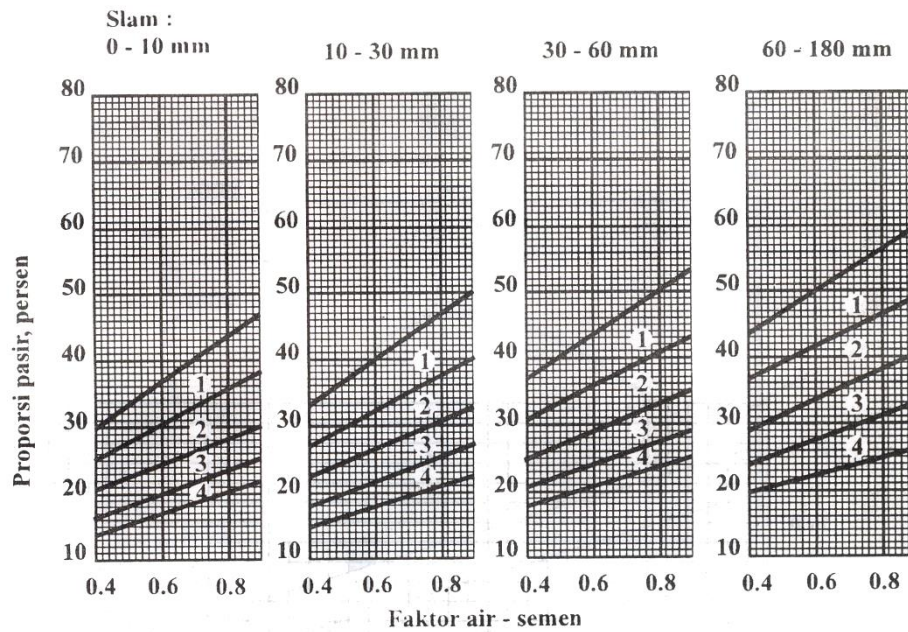
Kebutuhan semen untuk 1 m³ nya diambil dari hasil yang terbesar antara langkah 12 dan angka 13.

o. Menyesuaikan faktor air semen

Jika tidak ada perubahan jumlah semen akibat langkah (14), maka faktor air semen tidak berubah (tetap).

p. Menentukan daerah gradasi agregat halus

Misalkan dari pengujian didapatkan data pasir yang digunakan sebagai campuran dalam adukan beton termasuk dalam Zone 1. Nilai dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 48. Grafik presentase agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk butir maksimum 40 mm.
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Gambar yang dipakai adalah yang paling kanan pada nilai *slump* antara 60-180 mm. Pertama dengan menarik garis lurus ke atas sehingga memotong garis pada daerah zone 1. Perpotongan tersebut kemudian ditarik garis mendatar sehingga proporsi dapat diketahui yaitu batas bawah dan batas atas. Dari hasil tersebut kemudian dihitung mengambil rata-ratanya , yaitu dengan rumus:

$$Ph = \frac{(Bb + Ba)}{2} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan:

- Ph = Persentase agregat halus
- Bb = Batas bawah penarikan garis
- Ba = Batas atas penarikan garis

q. Berat jenis agregat campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan rumus:

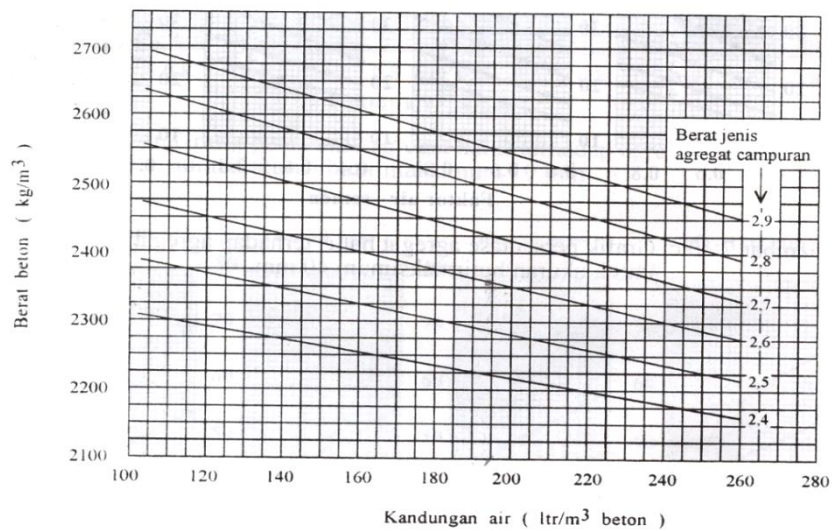
$$Bj \text{ camp} = \frac{P}{100} bj \text{ ag. Halus} + \frac{K}{100} bj \text{ ag. Kasar}$$

Keterangan:

P = Persentase agregat halus terhadap agregat campuran

K = Persentase agregat kasar terhadap agregat campuran

r. Menghitung berat beton 1 m³



Gambar 49. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton.

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

s. Menghitung kebutuhan agregat campuran

Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per-meter kubik dikurangi air dan semen. Langkah (19)-(11)-(14)

t. Menghitung kebutuhan agregat halus

Kebutuhan agregat halus diperoleh dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan persentase berat agregat halusnya.

Langkah (17) x (20)

- u. Menghitung berat agregat kasar yang diperlukan

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan cara mengurangi kebutuhan agregat campuran dengan kebutuhan agregat halus.

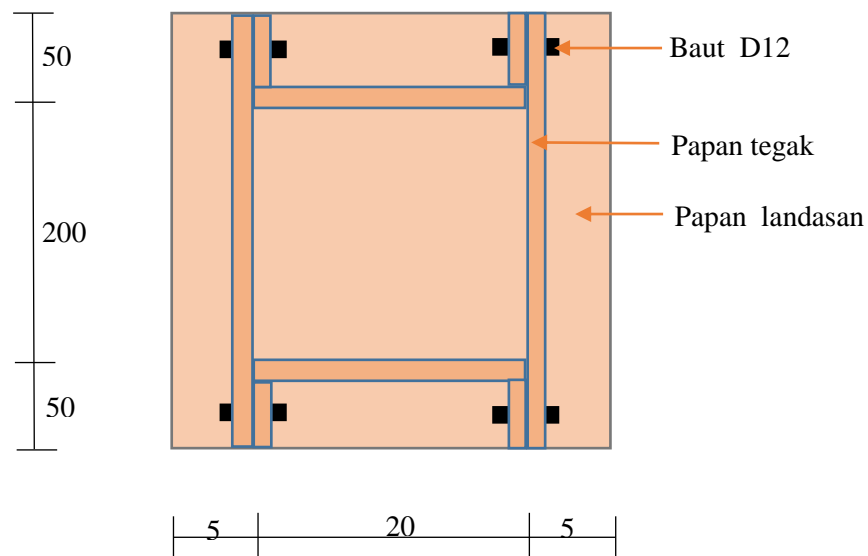
Langkah (20) – (21)

5. Tahap persiapan benda uji

Tahap persiapan benda uji merupakan tahapan untuk mempersiapkan berbagai data-data dan bahan-bahan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji. Pada tahapan persiapan berbagai hal yang harus disiapkan antara lain: pengujian agregat, perhitungan *mix design*, persiapan alat, persiapan bahan sesuai kebutuhan, persiapan tempat, dan teknis pelaksanaannya.

6. Pembuatan dan persiapan begesting

Pada tahap ini, begesting yang digunakan ada 2 jenis yaitu begesting silinder dan begesting kubus. Untuk begesting silinder menggunakan silinder besi dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Begesting kubus dibuat dari papan multiplek 9 mm dengan dimensi jari-jari 200 mm. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 50. Desain begesting untuk kubus beton (tampak atas)

Begesting nantinya diberi penahan untuk pencetakan beton *substrate* sesuai ukuran yang sudah ditentukan. Sebelum dilakukan pengecoran hal yang perlu dilakukan adalah memberi pelumas pada begesting baik untuk silinder maupun kubus agar nantinya mudah untuk melepasnya.

7. Tahap pembuatan benda uji

Pada tahap ini, merupakan bentuk aplikasi dari tahapan-tahapan sebelumnya. Pembuatan benda uji berdasarkan perhitungan *mix design* yang dilaksanakan sebelumnya. Tahapan ini berdasarkan tahapan teknis yang telah dipersiapkan seperti alat, bahan, dan tempat. Benda uji akan dibuat dalam 3 variasi antara lain beton dengan notasi “BNSO₂₀₋₂₀” yaitu sambungan beton *substrate* dengan kuat tekan rencana 20 MPa dan beton *overlay* dengan kuat tekan rencana 20 MPa, “BNSO₂₅₋₂₀” yaitu sambungan beton *substrate* dengan

kuat tekan rencana 25 MPa dan beton *overlay* dengan kuat tekan rencana 20 MPa, serta “BNSO₃₀₋₂₀” yaitu sambungan beton *substrate* dengan kuat tekan rencana 30 MPa dan beton *overlay* dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

Berbagai variasi benda uji tersebut didasarkan pada proporsi campuran (*mix design*) yang bervariasi sesuai dengan kekuatan tekan karakteristik yang direncanakan. Teknis pengecoran dilaksanakan dengan rentan waktu yang berbeda untuk mendapatkan perbedaan umur benda uji. Pengecoran pertama untuk beton *substrate* dengan pengambilan sampel silinder dan kubus beton. Pengecoran kedua atau pengecoran beton *overlay* dilaksanakan setelah beton *substrate* berumur 28 hari dari pengecoran awal.



Gambar 51. Pencetakan beton *substrate*



Gambar 52. Persiapan begesting dan setting beton *substrate* sebelum ditambah *overlay*



Gambar 53. Pencetakan beton *overlay*

8. Pengujian *slump*

Pengujian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memperoleh angka *slump* guna mengetahui kelecakan beton untuk diaduk, dituangkan, dan dipadatkan. Berdasarkan SNI 1972:2008, pengujian *slump* dapat dilakukan dengan menggunakan seperangkat alat yang terdiri dari:

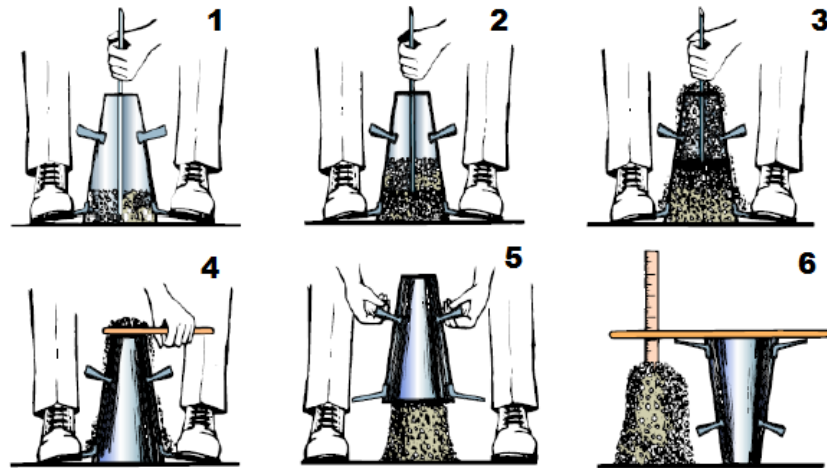
- a. Cetakan (kerucut *abrams*) dengan tebal 1,2 mm, yang berbentuk kerucut terpancung berukuran tinggi 305 mm, dengan diameter dasar 203 mm serta diameter puncak kerucut sebesar 102 mm,
- b. Tongkat pemadat terbuat dari baja yang bersih dan bebas karat, berdiameter 16 mm, panjang 600 mm, dengan bagian ujung yang dibulatkan,
- c. Landasan yang terbuat dari pelat baja yang kokoh dengan permukaan yang rata dan kedap air,
- d. Mistar ukur,
- e. Sendok cekung.

Pelaksanaan uji *slump* beton dilakukan dengan mengikuti tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Beton segar yang telah siap dimasukkan secara bertahap ke dalam cetakan yang sudah dibersihkan dan dibasahi. Pengisian dilakukan dengan tiga tahap dengan tiap penuangan dilakukan pengisian kurang lebih sepertiga ($1/3$) tinggi kerucut.
- b. Pemadatan dilakukan pada tiap lapis dengan cara menusukkan baja tulangan berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali, sampai menyentuh bagian bawah masing-masing lapisan.
- c. Apabila kerucut telah terisi penuh, selanjutnya permukaan benda uji diratakan dengan tongkat penusuk dan semua kotoran sisa dipapan landasan dan kerucut dibersihkan.
- d. Setelah semua siap, cetakan diangkat tegak lurus ke atas dengan perlahan-lahan, kemudian dibalik dan diletakkan di samping benda uji.

- e. Nilai *slump* diukur berdasarkan tinggi jatuh puncak kerucut. Semua langkah pengujian *slump* harus diselesaikan dalam waktu maksimal 2,5 menit.

Sketsa gambar *slump* test dapat dilihat pada Gambar 53.



Gambar 54. Sketsa *slump* test

(Sumber :

http://lauwtjunnji.weebly.com/uploads/1/0/1/7/10171621/4572703_orig.gif?0)

9. Tahap perawatan benda uji

Pada pembuatan beton dibutuhkan waktu yang lama untuk mencapai pengikatan semen yang sempurna. Berdasarkan teori dari berbagai sumber pengikatan semen dikatakan mencapai titik maksimum apabila suatu beton telah berusia 28 hari. Merujuk pada pernyataan tersebut, beton *substrate* akan berumur 56 hari dan sambungan beton *overlay* akan berumur 28 hari saat siap untuk diuji geser. Namun dalam proses sebelum beton siap diuji, untuk menjaga kelembaban, faktor air semen, serta gangguan dari lingkungan sekitar, maka

diperlukan proses perawatan. Terkait perawatan terhadap beton telah terdapat standarisasi dan prosedur berdasarkan SNI 03-3976-1995.

Perawatan paling penting pada umur muda, karena hidrasi beton relatif lebih cepat pada hari-hari awal. Kehilangan air juga mengakibatkan beton menyusut dan karena terjadi tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan retak. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam peningkatan mutu beton adalah perawatan beton (*curing*) dan lamanya waktu perawatan. Dalam proses *curing* beton dijaga kelembabannya dengan direndam didalam air serta ditutup dengan karung goni basah untukantisipasi air rendaman berkurang.



Gambar 55. Perawatan beton dengan perendaman

10. Tahap pengujian kuat tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Pengujian dilaksanakan menggunakan mesin tekan beton. Prosedur pengujian berdasarkan SNI 1974:2011, benda uji diletakkan pada mesin tekan secara sentris, dan mesin tekan dijalankan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm² perdetik. Pembebanan dilakukan sampai benda uji menjadi hancur dan beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan dicatat.

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini menggunakan sampel silinder dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sampel diambil bersamaan dengan pembuatan sampel kubus untuk *substrate* maupun *overlay*. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari setelah pengecoran untuk masing-masing lapis. Hasil kuat tekan beton silinder perhitungannya menggunakan persamaan 15 dibawah ini.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan :

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Selanjutnya terkait uraian prosedur pengujian yang telah dilaksanakan pada penelitian ini merujuk pada *job sheet* praktikum bahan bangunan yang disajikan pada langkah-langkah berikut:

- a. Benda uji berupa beton silinder yang sudah direndam dalam air selama 28 hari diambil kemudian dilap dengan lap kering.

- b. Benda uji kemudian ditimbang.
- c. Selanjutnya permukaan benda uji yang belum rata diratakan (*capping*) dengan cara:
 - 1) Memanaskan belerang sampai mencair.
 - 2) Kemudian belerang cair dituangkan pada alat *capping*.
 - 3) Langsung permukaan yang belum rata diletakkan pada alat *capping* yang berisi belerang cair. Hal ini perlu dilakukan cepat sebelum belerang kembali membeku dan melekatkannya juga harus rapat dengan pembatasnya.
 - 4) Ditunggu ± 1 menit, kemudian benda uji diangkat dengan hati-hati.
 - 5) Kemudian dibalik, permukaan yang di-*capping* di atas dan ditunggu sampai mengeras sebelum ditekan.
- d. Benda uji setelah diratakan permukaannya, lalu diuji kuat tekannya dengan mesin penguji kuat tekan. Untuk mengetahui ikatan antar bahan yang digunakan maka untuk satu silinder ditekan sampai terbelah atau retak.
- e. Hasil dari pengujian kuat tekan kemudian dicatat hasilnya.
- f. Alat-alat dan bahan yang sudah selesai digunakan dibersihkan dan dibereskan.
- g. Tempat kerja dibereskan.

Berikut disajikan gambar dokumentasi terkait pengujian kuat tekan beton.



Gambar 56. Pengujian kuat tekan silinder beton

11. Tahap pengujian geser sambungan beton

Kuat geser sambungan beton pada daerah sambungan beton antara beton lama dan beton baru telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Pada pengujian ini menggunakan metode *modified bi-surface shear test* dengan dimensi benda uji 200x200x200 mm, tebal lapis *substrate* 125 mm dan lapis *overlay* 75 mm. menggunakan 3 (tiga) tumpuan pelat baja dengan lebar tumpuan 75 mm, 75 mm, dan 50 mm.

Pengujian *modified bi-surface shear test* sendiri merupakan pengujian berdasarkan tekanan yang diberikan pada tiga titik pembebanan kubus beton. Tiap titik diberi pelat sebagai penyalur beban yang nantinya akan menekan sambungan beton untuk diperoleh kuat geser beton. Kuat geser *interface* sambungan beton dapat dihitung dengan persamaan 16 berikut:

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan:

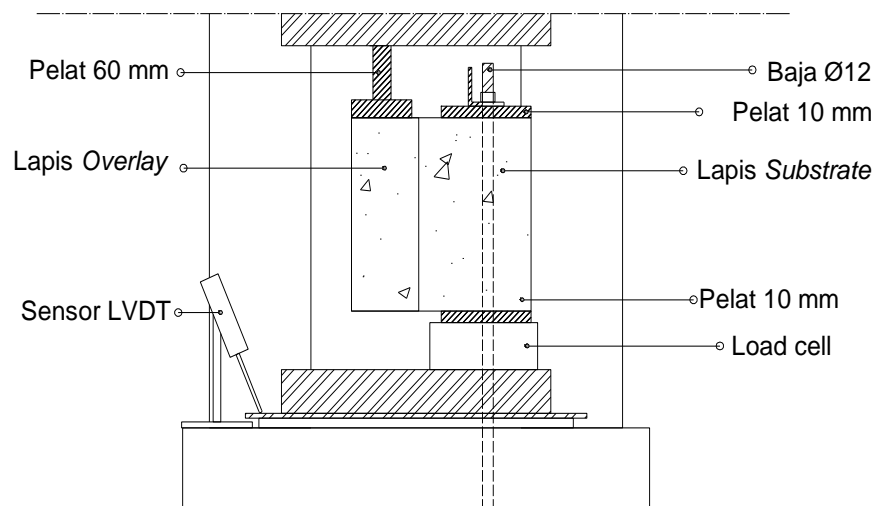
P = beban maksimum (N)

A = luas penampang geser (mm^2)

Berikut disajikan dokumentasi terkait pengujian geser beton



Gambar 57. Pengujian kuat geser sambungan beton



Gambar 58. Sketsa pengujian kuat geser sambungan beton



Gambar 59. Keruntuhan setelah pembebanan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Pada hasil pembahasan pertama akan disajikan beberapa hasil pengujian yang dikategorikan sebagai pengujian awal yang merupakan variabel-variabel pendukung untuk pengujian selanjutnya. Pengujian awal tersebut berupa pengujian terhadap modulus kehalusan butir, kadar air pada agregat, dan berat jenis agregat. Sedangkan untuk kriteria pembahasan telah disesuaikan dengan tujuan penelitian, sehingga penelitian ini lebih fokus terhadap nilai kuat tekan beton dan kuat geser interface sambungan beton lama dengan beton baru. Berikut disajikan beberapa hasil pengujian tersebut.

1. Hasil pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Pengujian terhadap modulus kehalusan butir dilakukan untuk menganalisa gradasi agregat yang digunakan berupa agregat kasar dan agregat halus. Untuk penentuan modulus kehalusan butir menggunakan persamaan jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan kemudian dibagi konstanta seratus (Tjokrodimuljo, 2007). Dasar perhitungan tersebut sesuai dengan SNI-03-1968-1990 yang dapat pada persamaan 17 di bawah ini.

$$MKB = \frac{PK}{100} \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan:

MKB : modulus kehalusan butir

PK : persen komulatif agregat tertinggal di atas ayakan

100 : konstanta

a. Pengujian modulus kehalusan butir kerikil

Pengujian terhadap modulus kehalusan butir agregat kasar (kerikil) merupakan agregat yang tertahan oleh saringan diameter 4,75 mm atau saringan No.4. Nilai modulus kehalusan butir dapat dikategorikan sebagai agregat kasar apabila memenuhi nilai antara 6,00 sampai 7,10 (Tjokrodimuljo, 2007). Berikut hasil pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar pada Tabel 12.

Tabel 12. Pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar.

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persen Tertinggal Komulatif (%)	Persen Tembus Komulatif (%)
50	0	0,00	0,00	100,00
38,1	0	0,00	0,00	100,00
25	0	0,00	0,00	100,00
19	329	8,23	0,00	100,00
9,5	3453	86,33	8,23	91,77
4,75	207	5,18	94,56	5,44
2,36	8,8	0,22	99,73	0,27
1,18	1,3	0,03	99,95	0,05
0,6	0,83	0,02	99,99	0,01
0,3	0,7	0,02	100,01	-0,01
0,15	-	-	-	-
Jumlah	4000,63	100,03	602,49	

b. Pengujian modulus kehalusan butir pasir

Pengujian terhadap modulus kehalusan butir agregat halus (pasir) merupakan agregat yang lolos oleh saringan diameter 4,75 mm atau saringan No.4. Nilai modulus kehalusan butir dapat dikategorikan sebagai agregat halus apabila memenuhi nilai antara 1,50 sampai 3,80 (Tjokrodinuljo, 2007). Berikut hasil pengujian modulus kehalusan butir agregat halus pada Tabel 13.

Tabel 13. Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Persen tertinggal (%)	Persen tertinggal kumulatif (%)	Persen tembus Kumulatif (%)
9,5	0	0	0	100,00
4,75	42,38	4,24	0,00	100,00
2,36	70,50	7,06	4,24	95,76
1,18	171,15	17,14	11,31	88,69
0,60	354,98	35,55	28,45	71,55
0,30	190,15	19,04	64,00	36,00
0,15	149,50	14,97	83,04	16,96
<0,15	-	-	-	-
Jumlah	978,66	100,00	194,91	

2. Hasil pengujian berat jenis (BJ)

Pembahasan berikut akan ditampilkan mengenai hasil pengujian terhadap berat jenis dari agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Untuk teori perhitungan berat jenis dapat dilakukan dengan membagi berat agregat terhadap volumenya. Dasar perhitungan tersebut merujuk pada peraturan SNI

1969:2008 (agregat kasar) dan SNI 1970:2008 (agregat halus) dapat dilihat pada persamaan 18. Berikut ditampilkan hasil pengujian terhadap berat jenis suatu agregat.

$$BJ = \frac{B}{(B - C)} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan:

BJ : berat jenis jenuh kering muka (SSD)

B : berat benda uji kondisi SSD (gram)

C : berat benda uji dalam air (gram)

a. Pengujian berat jenis kerikil

Pengujian berat jenis agregat kasar (kerikil) merujuk pada peraturan SNI 1969:2008. Teknis pengujian untuk setiap pengujian menggunakan tiga buah spesimen yang masing-masing pengujian spesimen tersebut akan mendapatkan nilai berat kerikil, volume air awal, volume air akhir, dan untuk selanjutnya dianalisa dengan menggunakan rumus Persamaan 18 untuk mendapatkan nilai berat jenisnya. Berikut ditampilkan hasil pengujian terhadap berat jenis agregat (kerikil) alami dan berat jenis agregat kasar (kerikil) SSD pada Tabel 14 yaitu:

Tabel 14. Pengujian berat jenis kerikil alami dan kerikil SSD

Jenis Pengujian	Spesimen	berat kerikil (gr)	Volume air awal (ml)	Volume air akhir (ml)	BJ
BJ kerikil SSD	1	104	200	240	2,6
	2	101,05	200	240	2,53
	3	107	200	243	2,49
	Rerata				2,54

b. Pengujian berat jenis pasir

Pengujian berat jenis agregat halus (pasir) digunakan referensi peraturan SNI 1970:2008. Teknis pengujian untuk setiap jenis pengujian menggunakan tiga buah spesimen yang masing-masing pengujian spesimen tersebut akan mendapatkan nilai berat pasir, volume air awal, volume air akhir, dan untuk selanjutnya dianalisa dengan menggunakan rumus Persamaan 18 untuk mendapatkan nilai berat jenisnya. Berikut ditampilkan hasil pengujian terhadap berat jenis agregat halus (pasir) alami dan berat jenis agregat halus (pasir) SSD pada Tabel 15 yaitu:

Tabel 15. Pengujian berat jenis pasir alami dan pasir SSD

Jenis Pengujian	Spesimen	Berat pasir (gr)	Volume air awal (ml)	Volume air akhir (ml)	BJ
BJ pasir SSD	1	151,15	250	305	2,75
	2	150	200	255	2,73
	3	156,35	200	306	2,79
	Rerata				2,76

3. Hasil pengujian kadar air

Pembahasan berikut ditampilkan hasil pengujian terhadap kadar air yang terkandung pada agregat pasir maupun kerikil. Teori pengujian kadar air digunakan dalam kondisi jenuh kering muka atau *Saturated and Surface Dry* (SSD) dengan dasar perhitungan merujuk pada SNI 1971:2011, pada Persamaan 19. Berikut ditampilkan hasil pengujian kadar air pada agregat.

$$P = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan:

P : kadar air jenuh kering muka (%)

W₁ : massa agregat jenuh kering muka (gram)

W₂ : massa agregat kering oven (gram)

a. Pengujian kadar air kerikil

Pada pengujian berikut akan dianalisa terhadap kadar air pada agregat kasar (kerikil) pada kondisi alami maupun kondisi SSD. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 16 yaitu:

Tabel 16. Pengujian kadar air kerikil alami dan kerikil SSD

Jenis Pengujian	Spesimen	berat kerikil awal (gr)	Berat kerikil akhir (ml)	Kadar air
Kadar air kerikil SSD	1	153,85	149,31	3,04
	2	159,71	155	3,04
	3	156,43	151,53	3,23
	Rerata			3,10

b. Pengujian kadar air pasir

Pada pengujian berikut akan dianalisa terhadap kadar air pada agregat halus (pasir) pada kondisi alami maupun kondisi SSD. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 17 yaitu:

Tabel 17. Pengujian kadar air pasir alami dan pasir SSD

Jenis Pengujian	Spesimen	Berat pasir awal (gr)	Berat pasir akhir (ml)	Kadar air
Kadar air pasir SSD	1	99,41	93,36	1,07
	2	98,05	96,75	1,34
	3	106	104,07	1,85
	Rerata			1,42

4. Proporsi campuran (*mix design*)

Proporsi campuran (*mix design*) merupakan prosedur utama yang dilaksanakan dalam perancangan benda uji. Ketentuan umum rancang campuran beton menurut SNI 2847:2013 sedangkan tata cara pembuatan rencana campuran beton menurut SNI 03-2834-2000. Berikut ini ditampilkan untuk hasil perhitungan proporsi campuran (*mix design*) yang digunakan.

Tabel 18. Kebutuhan material tiap meter kubik beton

Spesimen	Proporsi campuran	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (litr)
BN-20	Kebutuhan	341,5	722,8	1084,2	204,9
	Perbandingan	1	2,12	3,17	0,6
BN-25	Kebutuhan	359,47	715,61	1073,42	204,9
	Perbandingan	1	1,99	2,99	0,57
BN-30	Kebutuhan	401,76	698,69	1048,04	204,9
	Perbandingan	1	698,69	2,61	0,51

Keterangan: BN = beton normal; 20,25,30 = kuat tekan rencana

5. Hasil pengujian *slump*

Pengujian terhadap nilai *slump* merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kelacakan suatu beton. Selain itu pengujian *slump* dijadikan dasar untuk mengetahui kondisi *slump-loss* (kehilangan tingkat kelecakan beton/nilai *slump*). Dalam pengujian nilai *slump* ini merujuk peraturan SNI 2458:2008 tentang tata cara pengambilan contoh uji beton segar dan SNI 1972:2008 tentang metode pengujian *slump* beton. Selanjutnya berikut ditampilkan hasil dari pengujian terhadap nilai *slump* pada Tabel 19 yaitu:

Tabel 19. Nilai *slump* pada sampel benda uji

Spesimen	Lapis	Nilai Slump (cm)
BN-S-20	<i>Substrate</i>	16
BN-S-25		15
BN-S-30		12
BN-O-20	<i>Overlay</i>	16,3

Keterangan: BN = beton normal; S = *Substrate*; O = *Overlay*; 20,25,30 = kuat tekan

6. Hasil pengujian kuat tekan

Pengujian kuat tekan beton normal menggunakan benda uji silinder beton dimensi Diameter 15 cm dan Tinggi 30 cm. Benda uji memiliki 3 variasi yaitu 20 Mpa, 25 MPa, dan 30 MPa. Dalam hal pengujian uji kuat tekan ini mengacu pada peraturan SNI 2493:2011 dan SNI 1974:2011. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari, dengan hasil pengujian kuat tekan beton silinder tersebut dianalisa dengan menggunakan rumus Persamaan 20. Hasil pengujian dapat diperhatikan pada Tabel 20 berikut ini.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang benda uji (mm²)

Tabel 20. Nilai uji kuat tekan silinder

Variasi lapisan	Spesimen	Dimensi Spesimen		Beban (kN)
		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	
BN-S-20	1	150,3	298,3	320
	2	151,5	300,2	300
	3	150,5	299,3	370
BN-S-25	1	150,7	302,0	320
	2	149,4	300,9	460
	3	151,7	295,5	510
BN-S-30	1	153,1	302,9	650
	2	151,6	300,7	710
	3	151,5	298,3	695
BN-O-20	1	151,1	294,4	450
	2	149,9	248,5	440
	3	151,9	294,9	300

Keterangan: BN = beton normal; S = *Substrate*; O = *Overlay*;
20,25,30 = kuat tekan rencana

7. Hasil pengujian kuat geser

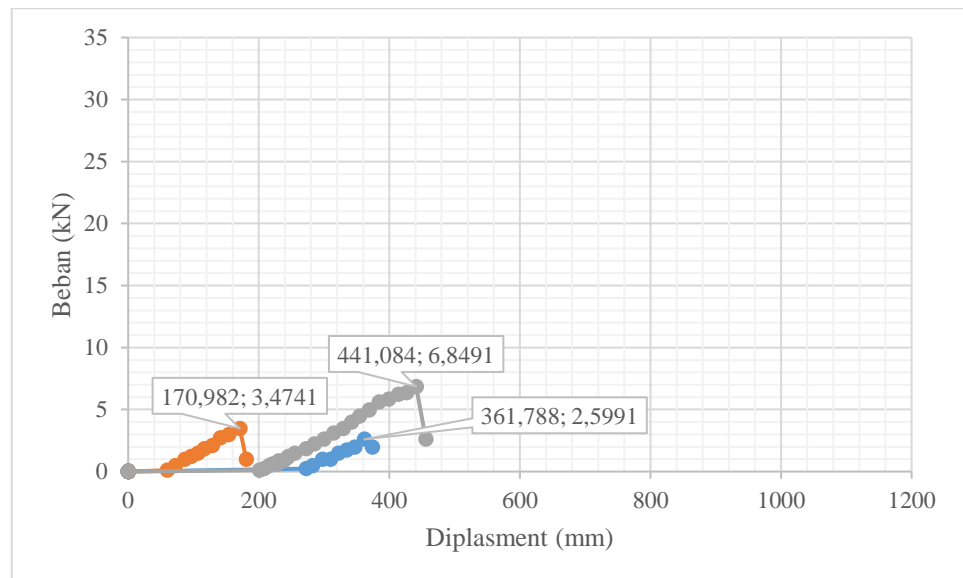
Pengujian kuat geser menggunakan benda uji beton kubus dimensi 20 cm x 20 cm x 20 cm. Kubus tersebut terdiri dari beton *substrate* dengan ukuran panjang 20 cm, lebar 12,5 cm, tinggi 20 cm dan beton *overlay* dengan ukuran panjang 20 cm, lebar 7,5 cm, dan tinggi 20 cm. Pengujian dilakukan pada umur 56 hari umur substrate dengan, dengan hasil pengujian kuat geser dianalisa dengan menggunakan Persamaan 21. Hasil pengujian dapat diperhatikan pada Tabel 21 dan Tabel 22 ini:

$$\text{Kuat Geser} = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \dots \dots \dots (21)$$

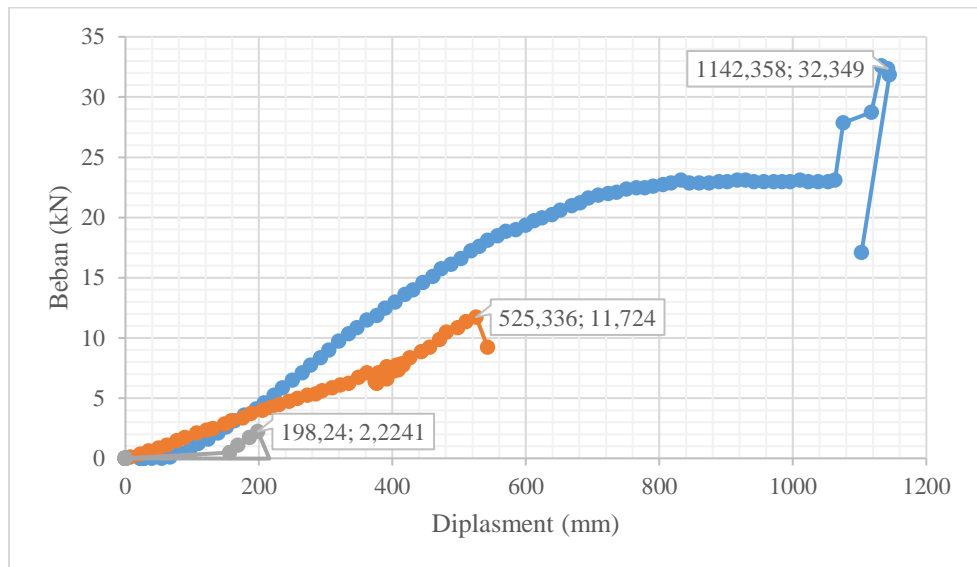
Keterangan:

P : beban maksimum (N)

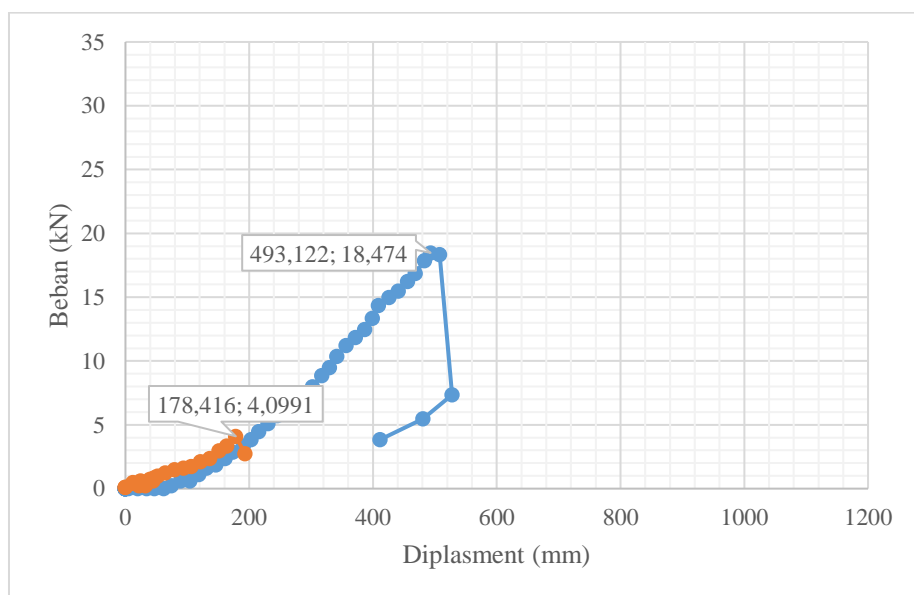
A : luas penampang geser (mm²)



Gambar 60. Pengujian kuat geser sambungan pada benda uji BNSO₂₀₋₂₀



Gambar 61. Pengujian kuat geser sambungan pada benda uji BNSO₂₅₋₂₀



Gambar 62. Pengujian kuat geser sambungan pada benda uji BNSO₃₀₋₂₀

Tabel 21. Data pengujian geser beton

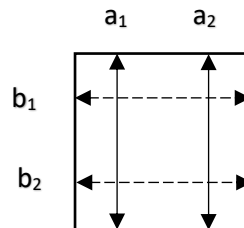
Variasi Spesimen	Spesimen	Beban maksimum (kN)	Diplasment (mm)
BNSO ₂₀₋₂₀	1	6,85	441,08
	2	3,47	170,98
	3	2,60	361,78
BNSO ₂₅₋₂₀	1	2,22	198,24
	2	11,72	525,34
	3	32,35	1132,45
BNSO ₃₀₋₂₀	1	3,60	232,93
	2	18,35	537,73
	3	-	-

Keterangan: BN = beton normal; SO = *substrate overlay*; 20,25,30 = kuat tekan lapis *substrate*

Tabel 22. Data benda uji kuat geser *interface* sambungan beton

Spesimen	Spesimen	a ₁ (mm)	a ₂ (mm)	a (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b (mm)	A (a x b) mm ²
BNSO ₂₀₋₂₀	1	199,00	199,00	199,00	203,50	203,90	203,70	40536,30
	2	198,50	198,30	198,40	203,90	203,50	203,70	40414,08
	3	210,70	201,00	205,85	201,35	202,50	201,93	41566,26
BNSO ₂₅₋₂₀	1	201,50	202,30	201,90	204,90	204,30	204,60	41308,74
	2	195,30	194,65	194,98	204,15	205,60	204,88	39945,50
	3	199,40	196,70	198,05	201,45	202,25	201,85	39976,39
BNSO ₃₀₋₂₀	1	200,50	201,60	201,05	202,00	201,30	201,65	40541,73
	2	199,30	199,00	199,15	204,10	204,30	204,20	40666,43
	3	200,60	201,45	201,03	203,80	203,80	203,80	40968,90

Keterangan: BN = beton normal; SO = *substrate + overlay*; 20,25,30 = kuat tekan lapis *substrate*



B. Pembahasan

Pada tahap pembahasan ini akan diuraikan analisa berdasarkan data yang didapatkan sehingga diperoleh indikasi-indikasi sebagai dasar untuk memberikan asumsi dan menarik kesimpulan hasil penelitian.

Tahap pertama sebelum diuraikan penelitian terhadap kuat tekan dan kuat geser, terlebih dahulu akan dijelaskan pengujian awal berupa variable-variabel pendukung penelitian Intinya bertujuan untuk mengetahui apakah material-material yang dipakai sudah sesuai dengan persyaratan dan prosedur pengujian untuk masing-masing variabel. Setelah pengujian awal menghasilkan data yang memenuhi prosedur dan persyaratan, maka hasil pengujian ditetapkan sebagai dasar dalam perancangan proporsi campuran (*mix design*).

1. Analisa modulus kehalusan butir (MKB)

Analisa terhadap modulus kehalusan butir merupakan prosedur yang wajib dilakukan karena digunakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dengan agregat kasar dengan tujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran. Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat, yang lolos dari satu set saringan, kemudian angka-angka persentase digambarkan grafik pembagian butir.

Peralatan yang digunakan meliputi: timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah, mesin guncang jaringan, talam, dan alat lainnya. Benda uji berupa agregat, baik agregat halus (pasir) maupun agregat

kasar (kerikil), yang diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempatan banyak (Slamet, 2014). Dasar perhitungan modulus kehalusan butir (MKB) merujuk pada peraturan SNI 03-1968-1990, untuk rumus perhitungan dapat dilihat pada Persamaan 22.

$$MKB = \frac{PK}{100} \dots\dots\dots(22)$$

Keterangan:

MKB : modulus kehalusan butir

PK : persen komulatif agregat tertinggal di atas ayakan

100 : konstanta

a. Pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar

Pengujian terhadap modulus kehalusan butir agregat kasar (kerikil) merupakan agregat yang tertahan oleh saringan diameter 4,75 mm atau saringan No.4. Nilai modulus kehalusan butir dapat dikategorikan sebagai agregat kasar apabila memenuhi nilai antara 6,00 sampai 7,10 (Tjokrodinuljo, 2007). Berikut hasil pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar pada Tabel 23.

Tabel 23. Pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar.

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persen Tertinggal Komulatif (%)	Persen Tembus Komulatif (%)
50	0	0,00	0,00	100,00
38,1	0	0,00	0,00	100,00
25	0	0,00	0,00	100,00
19	329	8,23	0,00	100,00
9,5	3453	86,33	8,23	91,77
4,75	207	5,18	94,56	5,44

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persen Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Tembus Kumulatif (%)
2,36	8,8	0,22	99,73	0,27
1,18	1,3	0,03	99,95	0,05
0,6	0,83	0,02	99,99	0,01
0,3	0,7	0,02	100,01	-0,01
0,15	0	0,00		
Jumlah	4000,63	100,03	602,49	

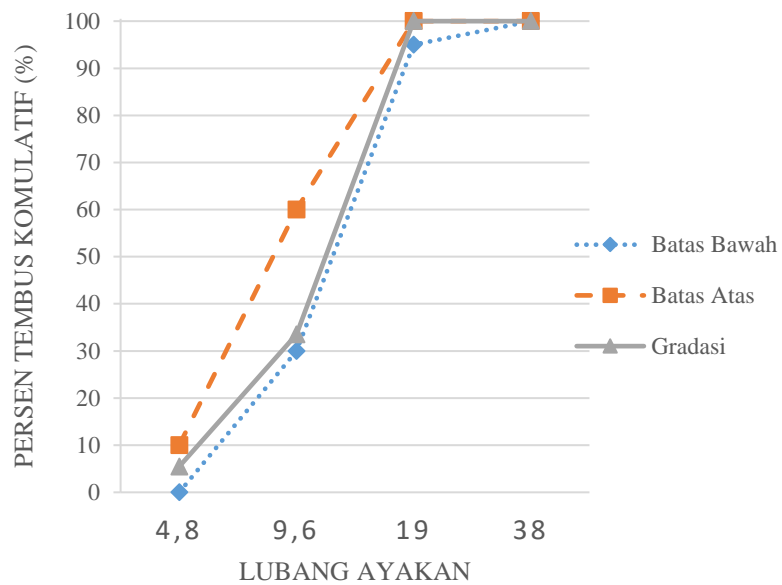
Dari pengujian di atas, maka nilai modulus kehalusan butir agregat kasar dapat dianalisa dengan persamaan 22.

$$MKB = \frac{602,49}{100} = 6,03$$

Hasil analisa modulus kehalusan butir di atas telah memenuhi standar yang disyaratkan yaitu antara 6,00 sampai dengan 7,10. Selanjutnya zona gradasi ditampilkan dalam Tabel 23 yang selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini.

Tabel 24. Gradasi butir agregat kasar

Lubang Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Hasil Pengujian (%)
4,75	0	10	5,47
9,5	30	60	33,49
19	95	100	100
38,1	100	100	100



Gambar 63. Grafik gradasi butir agregat kasar

Berdasarkan grafik pada Gambar 63 gradasi agregat kasar masuk dalam kategori besar butir maksimum 20 mm.

b. Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus

Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus (pasir) dianalisa untuk persentase tertinggal komulatif agregat dengan diameter dibawah 4,75 mm atau lolos ayakan No.4. Persyaratan nilai modulus kehalusan butir dikategorikan sebagai agregat halus (pasir) apabila memenuhi nilai antara 1,50-3,80 (Tjokrodinuljo,2007). Berikut data hasil pengujian pada Tabel 25.

Tabel 25. Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Persen tertinggal (%)	Persen tertinggal kumulatif (%)	Persen tembus Kumulatif (%)
9,5	0	0	0	100,00
4,75	42,38	4,24	0,00	100,00
2,36	70,50	7,06	4,24	95,76
1,18	171,15	17,14	11,31	88,69
0,60	354,98	35,55	28,45	71,55
0,30	190,15	19,04	64,00	36,00
0,15	149,50	14,97	83,04	16,96
<0,15	-	-	-	-
Jumlah	978,66	100,00	194,91	

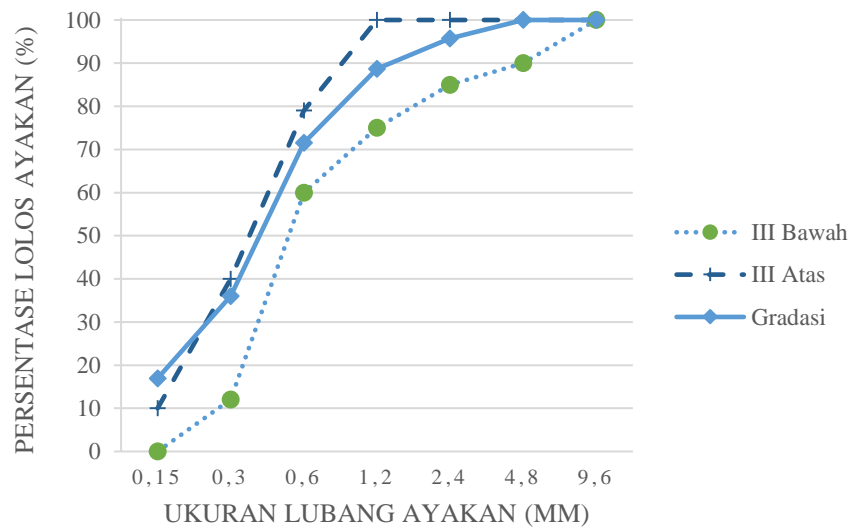
Dari hasil pengujian di atas, maka nilai modulus kehalusan butir agregat halus dapat dianalisa dengan persamaan 22.

$$MKB = \frac{194,91}{100} = 1,95$$

Hasil perhitungan modulus kehalusan butir diatas telah memenuhi standar yang disyaratkan antara 1,50 sampai dengan 3,80. Selanjutnya zona gadasi ditampilkan dalam Tabel 26 dan disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini.

Tabel 26. Zona modulus kehalusan butir agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)	Hasil Pengujian (%)
0,15	10	0	16,96
0,3	40	12	36
0,6	79	60	71,55
1,18	100	75	88,69
2,36	100	85	95,76
4,75	100	90	100
9,5	100	100	100



Gambar 64. Grafik zona modulus kehalusan butir pasir prog

Berdasarkan Gambar 64 di atas dapat disimpulkan bahwa agregat halus prog yang diuji termasuk dalam zone 2, yaitu agregat halus yang agak kasar.

2. Perhitungan proporsi campuran (*mix design*)

Proporsi campuran (*mix design*) menjadi tahap paling dasar pada perancangan suatu campuran beton. Prosedur *mix design* ini mengacu pada ketentuan umum tata cara pembuatan rencana campuran beton menurut SNI 03-2834-2000 dikarenakan *workability*-nya tinggi dan menghasilkan kuat tekan yang tinggi. Proporsi material beton harus direncanakan untuk menghasilkan sifat-sifat (1) Keleccakan dan konsistensi yang menjadikan beton mudah dicor ke dalam cetakan atau ke celah di sekeliling tulangan, sesuai dengan berbagai kondisi segredasi atau *bleeding* yang berlebih, (2) Tahan terhadap pengaruh lingkungan yang agresif, (3) memenuhi persyaratan uji kekuatan, sehingga harus

dirancang untuk menghasilkan kuat tekan rata-rata perlu, dengan memperhitungkan kuat tekan yang ingin dicapai, yang berkaitan dengan sebaran hasil uji kuat tekan. Langkah-langkah perencanaan campuran adukan beton normal adalah:

Tabel 27. Langkah-langkah perencanaan campuran (*mix design*) SNI 03-2834-2000

No	Langkah Kerja
1	Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan pada pengujian ini yaitu 20 MPa
2	Menentukan jenis semen <i>Portland</i> , jenis semen pada pengujian ini adalah Tipe I.
3	Menentukan jenis agregat, jenis agregat dan pasir ditetapkan sebagai berikut: pasir = alami dan kerikil = pecah.
4	Menentukan air semen dapat dilakukan dengan melihat pada grafik hubungan FAS dengan kuat tekan rata-rata silinder beton yang telah tersedia pada SNI 03-2834-2000. Maka pada pengujian ini di tetapkan nilai FAS sebesar = 0,623.
5	Menentukan FAS maksimum, dengan cara mengambil nilainya berdasarkan tabel persyaratan faktor air semen maksimum untuk pembetonan dan lingkungan khusus SNI 03-2834-2000. Maka nilai FAS maksimum pada pengujian ini didalam ruang bangunan keadaan sekeliling non-korosif = 0,60.
6	Menentukan nilai <i>slump</i> , nilai slump dapat ditentukan berdasarkan pemakaian beton pada konstruksi yang akan dipakai, berdasarkan tabel penetapan nilai <i>slump</i> . Maka nilai <i>slump</i> ditetapkan = 75mm -150mm.
7	Menentukan butir maksimum, ukuran agregat maksimum menyesuaikan atau $\frac{3}{4}$ kali jarak tulangan yang rapat (pada balok). Maka ukuran agregat maksimum ditetapkan = 25 mm.
8	Menentukan jumlah air yang diperlukan per meter kubik, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan nilai <i>slump</i> yang diinginkan, dengan melihat table perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (SNI 03-2834-2000). Namun dikarenakan agregat halus dan kasar dipakai jenis berbeda maka menggunakan rumus $A = 0,67 A_h + 0,33 A_k$. Sehingga jumlah air untuk setiap m^3 adukan beton adalah $0,67*195 + 0,33*225 = 204,9$ liter/ m^3 .

No	Langkah Kerja
9	Menghitung berat semen yang diperlukan adaah berat semen per meter ³ beton dibagi dengan jumlah air (langkah 8 dan langkah 4). Maka berat semen yang diperlukan setiap m ³ beton adalah $\frac{204,9}{0,60} = 341,5 \text{ kg/m}^3$.
10	Menghitung berat semen minimum, kebutuhan semen mnimum ditetapkan dengan tabel kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus (SNI 03-2834-2000). Berat semen minimum adalah 275 kg/m ³ .
11	Penyesuaian kebutuhan semen, langkah (10) menghasilkan kebutuhan semen lebih kecil dari hitungan pada langkah (9), sedangkan kebutuhan semen harus didasarkan pada hasil teringgi dari langkah (9) dan (10), sehingga tetap dipakai kebutuhan semen 341,5 kg/m ³ .
12	Penyesuaian faktor air semen tidak dilalukan karena langkah (11) tidak mempengaruhi/mengubah hasil langkah (9) sehingga kebutuhan air tetap 204,9 lt/m ³ dan faktor air smen tetap 0,64.
13	Menentukan daerah gradasi agregat halus, berdasarkan gradasi (hasil analisis ayak) agregat halus yang akan dipakai sesuai dengan hasil analisis ayak, maka dipakai daerah gradasi zona 2.
14	Menentukan perbandingan agregat halus dan kasar
15	Menentukan berat jenis agregat campuran dihitung berdasarkan rumus $\frac{40}{100} \times 2,72 \text{ (bj ag. Halus)} + \frac{60}{100} \times 2,54 \text{ (bj ag. Kasar)} = 2,612$.
16	Menentukan berat jenis beton dengan data jenis agregat campuran dari langkah (15) dan kebutuhan air tiap meter ³ betonnya maka dengan grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton. Maka diperoleh nilai berat jenis beton = 2353,4 kg/m ³ .
17	Menghitung kebutuhan agegat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter ³ langkah (16) dikurangi kebutuhan air langkah (8) dan semen, langkah (11).
18	Kebutuhan agregat campuran = (2353,4-204,9-341,5) = 1807 kg
19	Menghitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (14) dan (17). Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengkalikan kebutuhan agrega campuran dengan prosentase berat agregat halusnya.
20	Kebutuhan agregat halus = 1807 x 0,4 = 722,8 kg

No	Langkah Kerja
21	Menghitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (17) dan (18), dengan cara mengurangi agregat campuran dengan agregat halus.
22	Kebutuhan agregat kasar = $1807 - 722,8 = 1084,2$ kg
23	Membuat kesimpulan kebutuhan bahan pembuat beton untuk 1 m^3 nya.

Berdasarkan kadar air dalam agregat halus dan agregat kasar, maka proporsi campuran (*mix design*) adukan beton adalah sebagai berikut:

Tabel 28. Formulasi perbandingan kebutuhan bahan pembuat beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa

Volume	Berat beton	Air	Semen	Agregat halus	Agregat kasar
1 m^3	2353,4 kg	204,9 ltr	341,50 kg	722,80 kg	1084,20 kg

Dengan langkah yang sama pada Tabel 28, maka dihitung juga perbandingan kebutuhan kebutuhan bahan untuk kuat rencana 25 Mpa dan kuat rencana 30 MPa. Hasil *mix design* yang telah dihitung disajikan pada Tabel 29 dan Tabel 30 berikut ini:

Tabel 29. Formulasi perbandingan kebutuhan bahan pembuat beton dengan kuat tekan rencana 25 MPa

Volume	Berat beton	Air	Semen	Agregat halus	Agregat kasar
1 m^3	2353,4 kg	204,9 ltr	359,47 kg	715,61 kg	1073,42 kg

Tabel 30. Formulasi perbandingan kebutuhan bahan pembuat beton dengan kuat tekan rencana 30 MPa

Volume	Berat beton	Air	Semen	Agregat halus	Agregat kasar
1 m^3	2353,4 kg	204,9 ltr	401,76 kg	698,69 kg	1048,04 kg

Setiap varian spesimen akan dilakukan pengecoran untuk benda uji kubus lapis *substrate* dan lapis *overlay*. Benda uji silinder juga akan dibuat sebagai spesimen uji tekan yang dibuat bersamaan dengan pembuatan spesimen masing-masing lapisan. Dibawah ini akan dihitung volume masing-masing spesimen.

a. Kubus beton lapis *substrate*

Meski cetakan utama berupa kubus namun kubus diberi penahan agar dapat membagi kubus menjadi 2 lapis. Oleh karena itu setiap lapisan berupa balok beton yang volume dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini.

$$\text{Volume} = P \times L \times T \dots\dots\dots(23)$$

Keterangan:

P = Panjang (mm)

L = Lebar (mm)

T = Tinggi (mm)

Berdasarkan persamaan 23 maka volume setiap lapis *substrate* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 200 \times 125 \times 200 \text{ mm}^3 \\ &= 5 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\ &= 0,005 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Kubus beton lapis *overlay*

Berdasarkan persamaan yang sama yang digunakan menghitung volume lapis *substrate*, maka kebutuhan setiap lapis *overlay* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 200 \times 75 \times 200 \text{ mm}^3 \\ &= 3 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\ &= 0,003 \text{ m}^3\end{aligned}$$

c. Silinder beton

Untuk menghitung volume silinder digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Volume} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times T \dots\dots\dots(24)$$

Keterangan:

π = konstanta phi

D = diameter silinder (mm)

T = tinggi silinder (mm)

Berdasarkan persamaan 24 maka volume setiap silinder beton adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \times 300 \text{ mm}^3 \\ &= 5301437,6 \text{ mm}^3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Untuk proporsi campuran (*mix design*) untuk masing-masing spesimen dalam setiap pengecoran dapat disajikan pada Tabel 31 berikut:

Tabel 31. Kebutuhan material tiap pengecoran

Spesimen	Jumlah Spesimen	Proporsi campuran	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (litr)
BN-S-20	3 Kubus dan 3 Silinder	Kebutuhan	10,55	22,33	33,5	6,33
		Perbandingan	1	2,12	3,17	0,6
BN-S-25	3 Kubus dan 3 Silinder	Kebutuhan	11,11	22,11	33,16	6,33
		Perbandingan	1	1,99	2,99	0,57
BN-S-30	3 Kubus dan 3 Silinder	Kebutuhan	12,41	21,59	32,38	6,33
		Perbandingan	1	1,74	2,61	0,51
BN-O-20	9 Kubus dan 3 Silinder	Kebutuhan	29,30	62,02	93,03	17,58
		Perbandingan	1	2,12	3,17	0,6

Keterangan: BN = beton normal; S = *Substrate*; O = *Overlay*; 20,25,30 = kuat tekan

3. Analisa nilai slump

Dalam melaksanakan pengujian *slump* merujuk pada peraturan SNI 2458:2008 tentang tata cara pengambilan contoh benda uji beton segar dan SNI 1972:2008 tentang tata cara uji *slump*. berikut ditampilkan hasil pengujian terhadap nilai *slump* pada tabel 32.

Tabel 32. Nilai *slump* pada sampel adukan beton

Spesimen	Lapis	Nilai Slump
BN-S-20	Substrate	16
BN-S-25		15
BN-S-30		12
BN-O-20	Overlay	16,3

Keterangan: BN = beton normal; S = *Substrate*; O = *Overlay*; 20,25,30 = kuat tekan

Dari hasil nilai *slump* disampaikan bahwa semakin besar nilai kuat tekan beton yang direncanakan, maka semakin kecil nilai *slump*

yang didapat. Hal ini dikarenakan pengaruh semen yang lebih banyak pada beton dengan kuat rencana lebih tinggi pada proporsi campuran beton sehingga nilai *f* semakin kecil.

4. Analisa perhitungan nilai kuat tekan beton

Analisa terhadap kuat tekan beton pada benda uji berupa silinder beton dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian ini dilakukan dengan kuat tekan rencana untuk *substrate* sebesar 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Untuk kuat tekan rencana *overlay* sebesar 20 MPa. Nilai kuat tekan dihitung dengan persamaan 25 di bawah ini.

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \dots \dots \dots (25)$$

Keterangan:

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang benda uji (mm²)

Pada tabel berikut disajikan hasil pengujian kuat tekan beton kubus dalam satuan MPa. Untuk data kuat tekan rerata benda uji dapat dilihat pada Tabel 33 di bawah ini.

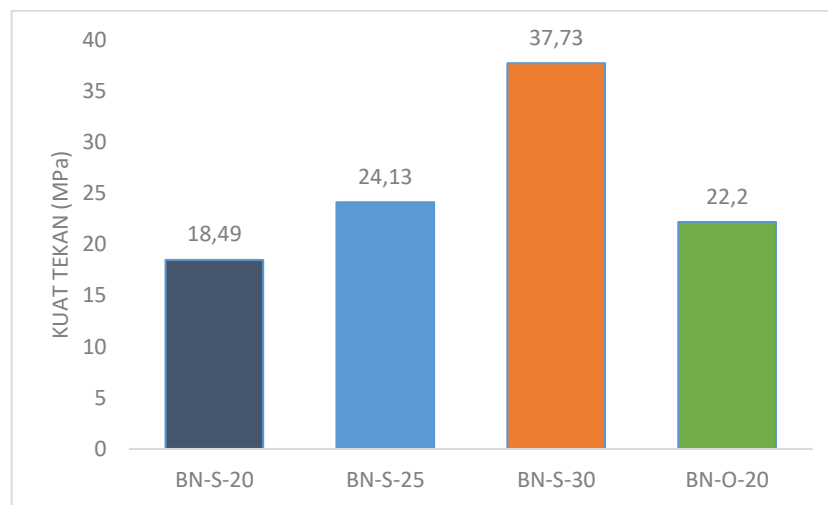
Tabel 33. Nilai uji kuat tekan beton silinder.

Kode Benda Uji	Benda Uji	Lapis	Kuat tekan (MPa)	Rerata (MPa)
BN-S-20	1	<i>Substrate</i>	18,04	18,49
	2		16,64	
	3		20,80	
BN-S-25	1		17,94	24,13
	2		26,24	
	3		28,21	
BN-S-30	1		35,31	37,73
	2		39,33	
	3		38,55	

Kode Benda Uji	Benda Uji	Lapis	Kuat tekan (MPa)	Rerata (MPa)
BN-O-20	1	Overlay	25,10	22,2
	2		24,94	
	3		16,56	

Keterangan: BN = beton normal; S = *Substrate*; O = *Overlay*; 20,25,30 = kuat tekan rencana

Dari hasil pengujian di atas maka nilai kuat tekan beton untuk masing-masing lapisan beton dapat disajikan kedalam grafik berikut ini.



Gambar 65. Grafik nilai kuat tekan silinder spesimen lapisan beton

Dari hasil pengujian maka dapat dikategorikan masing-masing spesimen berdasarkan kuat tekan lapis *substrate* dan *overlay* sebagai berikut:

a. Spesimen BNSO₂₀₋₂₀

Tabel 34. Kuat tekan lapis *substrate* dan lapis *overlay* pada spesimen BNSO₂₀₋₂₀

Spesimen	Lapis	Kuat tekan (MPa)
BNSO ₂₀₋₂₀	<i>Substrate</i>	18,49
	<i>Overlay</i>	22,2

b. Spesimen BNSO₂₅₋₂₀

Tabel 35. Kuat tekan lapis *substrate* dan lapis *overlay* pada spesimen BNSO₂₅₋₂₀

Spesimen	Lapis	Kuat tekan (MPa)
BNSO ₂₅₋₂₀	<i>Substrate</i>	24,13
	<i>Overlay</i>	22,2

c. Spesimen BNSO₃₀₋₂₀

Tabel 36. Kuat tekan lapis *substrate* dan lapis *overlay* pada spesimen BNSO₃₀₋₂₀

Spesimen	Lapis	Kuat tekan (MPa)
BNSO ₃₀₋₂₀	<i>Substrate</i>	37,73
	<i>Overlay</i>	22,2

5. Analisa kuat geser sambungan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*)

Pengujian kuat geser beton dilakukan untuk mengetahui kapasitas tegangan geser sambungan *interface* beton lama dan beton baru tanpa menggunakan bahan tambah. Untuk perhitungan nilai kuat geser dihitung dengan persamaan 26 di bawah ini.

$$\tau = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \dots \dots \dots (26)$$

Keterangan:

τ : Kuat Geser

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang geser (mm²)

Berdasarkan persamaan 26 di atas maka nilai kuat geser *interface* beton lama (*substrate*) dengan beton baru (*overlay*) dapat disajikan sebagai berikut:

a. Kuat geser benda uji dengan notasi BNSO₂₀₋₂₀

Pengujian geser dilakukan pada umur *substrate* 56 hari dan umur beton *overlay* 28 hari dengan hasil yang disajikan dalam Tabel 37.

Tabel 37. Hasil pengujian geser pada benda uji BNSO₂₀₋₂₀

Jenis Spesimen	Spesimen	A (mm)	Beban Maks (N)	τ (MPa)	τ Rata-rata (MPa)
BNSO ₂₀₋₂₀	1	40536,30	6849,1	0,1690	0,1058
	2	40414,08	3474,1	0,0860	
	3	41566,26	2599,1	0,0626	

b. Kuat geser benda uji dengan notasi BNSO₂₅₋₂₀

Pengujian geser dilakukan pada umur *substrate* 56 hari dan umur beton *overlay* 28 hari dengan hasil yang disajikan dalam Tabel 38.

Tabel 38. Hasil pengujian geser pada benda uji BNSO₂₅₋₂₀

Jenis Spesimen	Spesimen	A (mm)	Beban Maks (N)	τ (MPa)	τ Rata-rata (MPa)
BNSO ₂₅₋₂₀	1	41308,74	2224,1	0,0538	0,3855
	2	39945,50	11724	0,2935	
	3	39976,39	32349	0,8092	

c. Kuat geser benda uji dengan notasi BNSO₃₀₋₂₀

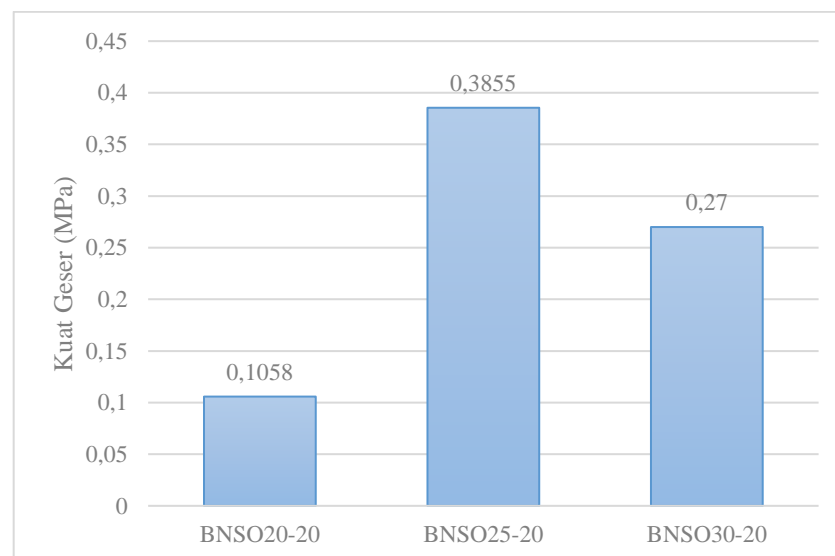
Pengujian geser dilakukan pada umur *substrate* 56 hari dan umur beton *overlay* 28 hari dengan hasil yang disajikan dalam Tabel 38.

Namun pada saat pengujian, sebelum dilakukan pembebanan salah satu benda uji mengalami kegagalan berupa terpisahnya sambungan saat penyetelan pada mesin uji.

Tabel 39. Hasil pengujian geser pada benda uji BNSO₃₀₋₂₀

Jenis Spesimen	Spesimen	A (mm)	Beban Maks (N)	τ (MPa)	τ Rata-rata (MPa)
BNSO ₃₀₋₂₀	1	40541,73	3599,1	0,0888	0,2700
	2	40666,43	18349	0,4512	
	3	40968,90	Gagal	-	

Dari hasil pengujian diatas dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 66. Grafik kuat geser sambungan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*)

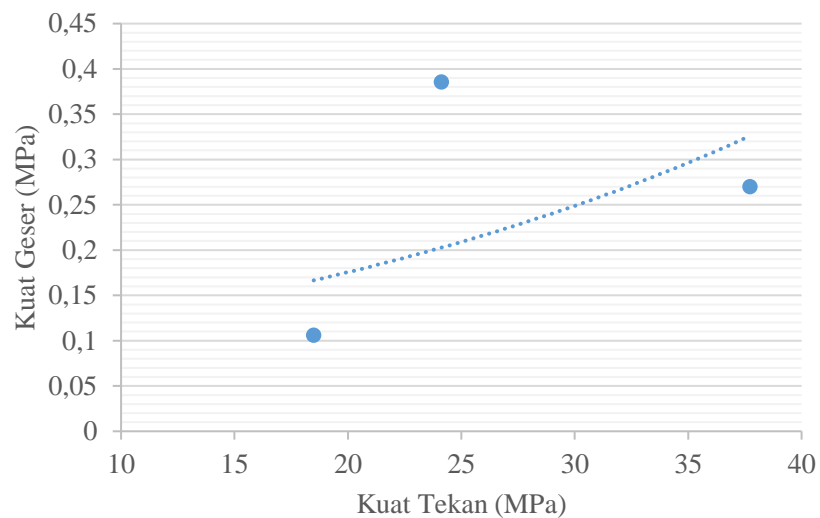
Berdasarkan Gambar 66 di atas kekuatan lekat antara beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*) akan maksimal pada kuat tekan dan kuat geser lapis *substrate* berturut-turut sebesar 25 MPa dan

0,3855 MPa. Besarnya selisih kuat geser pada BNSO₂₅₋₂₀ dengan BNSO₂₀₋₂₀ dan BNSO₃₀₋₂₀ berturut-turut sebesar 72,56% dan 29,96%.

Dari hasil di atas ada beberapa faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai kuat geser. Faktor-faktor tersebut antara lain:

a. Kuat Tekan *Substrate*

Untuk mengetahui pengaruh faktor hubungan antara kuat tekan *substrate* dengan kuat geser, maka disajikan grafik di bawah ini:



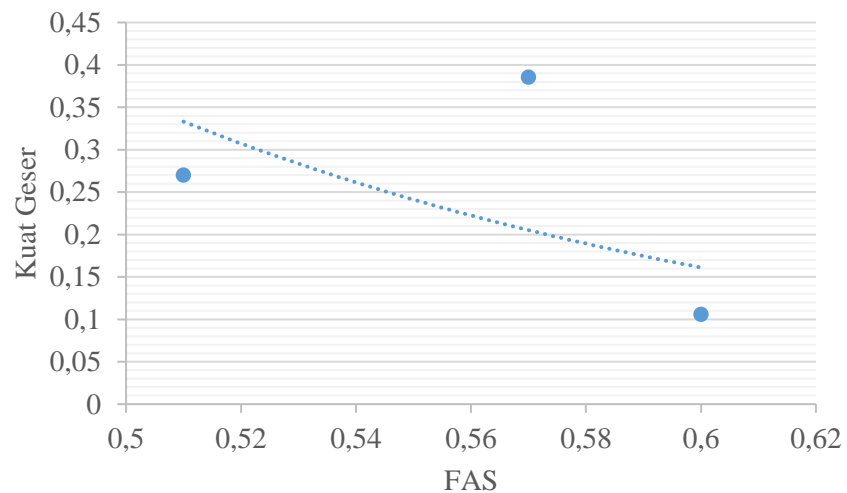
Gambar 67. Grafik hubungan kuat tekan *substrate* dengan kuat geser sambungan

Dari Gambar 67 di atas terjadi perbedaan nilai kuat geser pada masing-masing benda uji. Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan kuat tekan pada variasi benda uji mempengaruhi kuat geser. Dalam penelitiannya, Anas (2016) menyampaikan bahwa semakin besar persentase *void* atau kadar udara maka semakin rendah kuat tekan beton. Perbedaan kuat tekan menjadikan

porositas beton *substrate* berbeda, hal ini dapat mempengaruhi ikatan pada sambungan beton karena ikatan pada permukaan beton semakin baik ketika permukaan beton semakin poros.

b. Faktor air semen

Perbedaan kuat tekan juga dapat diindikasikan dengan nilai fas, jika hubungkan dengan kuat geser maka dapat dilihat grafik berikut:



Gambar 68. Grafik hubungan FAS (faktor air-semen) dengan kuat geser sambungan

Dari Gambar 68 di atas beton BNSO₂₀₋₂₀, BNSO₂₅₋₂₀, dan BNSO₃₀₋₂₀ yang memiliki fas berbeda memiliki nilai kuat geser berbeda. Faktor air semen selain berpengaruh pada kuat tekan juga mempunyai pengaruh terhadap *workability* beton. Kemudahan dan kesulitan dalam pemadatan beton dapat mempengaruhi porositas dan hasil permukaan beton, maka kuat geser juga dapat di pengaruhi oleh fakor air semen. Hal ini seperti yang dinyatakan oleh Hak-chul dan Zhifu

wan (2010) yang menyampaikan untuk beton tanpa *silica fume*, kekuatan tekan yang lebih tinggi (mempunyai rasio air semen yang lebih rendah) menghasilkan kekuatan ikatan geser rendah pada *interface* untuk masing-masing beton yang dalam kondisi jenuh kering permukaan dan kondisi udara kering permukaan.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Setelah dilakukan pengujian terhadap kuat geser sambungan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*) dengan variasi kuat tekan pada lapis beton lama (*substrate*) maka untuk selanjutnya dilakukan analisa data yang telah dibahas, sehingga diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya kuat tekan beton lapis *substrate* pada variasi 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa berturut-turut sebesar 18,49 MPa, 24,13 MPa, dan 37,73 MPa. Besarnya kuat tekan beton lapis *overlay* pada variasi 20 MPa sebesar 22,2 MPa.
2. Besarnya nilai geser sambungan pada BNSO₂₀₋₂₀, BNSO₂₅₋₂₀, dan BNSO₃₀₋₂₀ berturut-turut sebesar 0,1058 MPa, 0,3855 MPa, dan 0,2700 MPa.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai geser yaitu: Variasi kuat tekan pada *substrate* dan Perbedaan faktor air semen.

B. Saran

Penelitian ini tentunya masih perlu adanya pengembangan dan kajian yang lebih mendalam tentang kuat geser *interface* sambungan beton lama (*substrate*) dan beton baru (*overlay*). Oleh karena itu peneliti ingin memberi beberapa saran berdasarkan penelitian sebagai berikut:

1. Perlu kehati-hatian dalam pemasangan benda uji hal ini berdasarkan pengalaman penelitian dimana ada benda uji sudah runtuh saat setting.

2. Membuat variasi benda uji dengan kuat tekan lapis *substrate* 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa dengan lapis *overlay* 25 MPa dan 30 MPa.
3. Membuat variasi pada permukaan dengan variasi kekasaran yang berbeda-beda.
4. Membuat variasi umur benda uji seperti 3, 7, 14, dan 21 hari lapis *substrate* saat pelapisan beton baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, Habib A., (2016), Uji eksperimental kekuatan tekan *pervious concrete* dengan perbedaan presentase *void*. Universitas Negeri Yogyakarta, Tugas Akhir.
- Bakhsh, K.N., (2010), Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs, Royal Institute of Technology (KTH): Master Degree Thesis.
- H, Aysha., R, Ramsundar k., M, Arum., G, Velraj Kumar. (2014). International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engginering. Vol. 03, No. 02.
- Husain, Husain M., Kasim, Moayad M., Aziz, Esam M., (2008). Experimental study in direct shear strength of fiber reinforced Concrete.
- Khalifeh, F., Makhmalbaf, MRO., Sadeghi, SA., Sajedi, S., Khalifeh, Z. (2011) Investigating the effect of micro silicon and slag on the mechanical characteristic of repaired concrete. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(8): 789-794
- Kumar, Haris NR., Pavankumar., Nagaraja, KP., R, Prabhakara. (2015). Influence of fibres on crack arrest mechanism and shear-friction behavior of different concrete using push-off specimen. International Research Journal of Engineering and Technologi.
- Mansi, Aseel S. (2010). Bond strength assessment for different types of repair materials. Engg. and Tech. Journal. Vol.28. No.21
- Mousa, Magda I. (2015). Faktors Affecting bond between repairing concrete and concrete substrate. International Journal of Engineering and Innovative Technology, Volume 4, issues 11
- Momayez, A., Ehsani, M.R., Ramezani pour A.A., and Rajaie, H., (2005), "Comparison of methods or evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials", Cement and Concrete Research 35, pp. 748–757.
- Mulyono, Tri. (2005). Teknologi Beton. Yogyakarta: Andi.
- Nagaonkar, Dipali S., Bhusari, Jyoti P. (2014) Characterization of reactive powder concrete with respect to its bond strength. International jurnal of Scientific & Enginering Research, Volume 5, issues 5
- Nugraha, Paul & Antoni. (2007). Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi. Yogyakarta: Andi.

- Santos, PMD., Silva, VD., (2009). "Assessment of the shear strength between concrete layers", Doctoral thesis, Universidade de Coimbra.
- Shin, HC dan Wan, Z. (2010). Interfacial Shear bond strength between old and new concrete. *Fracture Mechanics of Concrete Structure*.
- SNI 1968-1990, Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan agregat kasar, Litbang, DPU.
- SNI 1969-2008, Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Litbang, DPU.
- SNI 1970-2008, Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus, Litbang, DPU.
- SNI 1971-1990, Metode pengujian kadar air agregat, Litbang, DPU
- SNI 1972-2008, Cara uji slump beton, Litbang, DPU.
- SNI 1974-2011, Metode pengujian kuat tekan beton, Litbang, DPU.
- SNI 2049-2004, Semen Portland, Litbang, DPU.
- SNI 2834-2000, Tata cara pembuatan rencana campuran beton, Litbang,
- SNI 2847-2002, Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung, Litbang, DPU.
- SNI 2458-2008, Tata cara pengambilan contoh uji beton segar, Litbang, DPU.
- SNI 2493-2011, Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton, Litbang, DPU.
- SNI 3976-1995, Tata cara pengadukan dan pengecoran beton, Litbang, DPU
- SNI 6369-2008, Tata cara pembuatan kaping untuk benda uji silinder beton, Litbang, DPU.
- SNI 7656-2012, Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa, Litbang, DPU.
- Sprinkle, Michael M. (2016). Bond strength between shotcrete overlay and reinforced concrete base. *Concrete repair bulletin*.
- Tjokrodinuljo, Kardiyo. (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- Widodo, Slamet. (2013). Kapasitas geser interface antara beton ringan berserat sebagai stay-in-place formwork dengan self-compacting concrete topping untuk konstruksi pelat lantai komposit. Universitas Negeri Yogyakarta: Doctoral Thesis
- Wuryati, Samekto & Candra, Rahmadiyanto, (2011). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius

LAMPIRAN

Mix design kuat rencana beton 20 MPa

FORMULIR PERANCANGAN ADUKAN BETON					
NO	URAIAN				
1.	Kuat tekan yang disyaratkan pada umur 28 hari (f'c)			20 MPa	
2.	Deviasi Standar (s)			tidak diketahui	
3.	Nilai tambah (m)				
4.	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan			20	
5.	Jenis semen			Tipe 1	
6.	Jenis agregat (HALUS/KASAR)			alami/pecah	
7.	Faktor air semen			0,623	
8.	Faktor air semen maksimum			0,6	
9.	Faktor air semen yang digunakan			0,6	
10.	Nilai slump			100	
11.	Ukuran maksimum agregat			25 mm	
12.	Kebutuhan air			204,9	
13.	Kebutuhan semen portland			341,5	
14.	Kebutuhan semen portland minimum			275	
15.	Kebutuhan semen portland yang digunakan			341,5	
16.	Penyesuaian jumlah air dan Fas			tetap	
17.	Daerah gradasi agregat halus			zona 2	
18.	Persentase berat agregat halus (pasir) terhadap agregat campuran			40%	
	(kerikil)			60%	
19.	Berat jenis agregat campuran			2,612	
20.	Berat jenis beton			2353,4	
21.	Kebutuhan agregat			1807	
22.	Kebutuhan agregat halus			722,8	
23.	Kebutuhan agregat kasar			1084,2	
kesimpulan kondisi agregat jenuh kering muka					
Volu me	Berat beton		Air	Semen	Agregat halus Agregat kasar
1m3	2353,4		204,9	341,50	722,80 1084,20

Mix design kuat rencana beton 25 MPa

FORMULIR PERANCANGAN ADUKAN BETON					
NO	URAIAN				
1.	Kuat tekan yang disyaratkan pada umur 28 hari (f'c)			25	
2.	Deviasi Standar (s)			tidak diketahui	
3.	Nilai tambah (m)			0	
4.	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan			25	
5.	Jenis semen			Tipe 1	
6.	Jenis agregat (HALUS/KASAR)			alami/pecah	
7.	Faktor air semen			0,57	
8.	Faktor air semen maksimum			0,6	
9.	Faktor air semen yang digunakan			0,57	
10.	Nilai slump			100	
11.	Ukuran maksimum agregat			25 mm	
12.	Kebutuhan air			204,9	
13.	Kebutuhan semen portland			359,4736842	
14.	Kebutuhan semen portland minimum			275	
15.	Kebutuhan semen portland yang digunakan			359,4736842	
16.	Penyesuaian jumlah air dan Fas			tetap	
17.	Daerah gradasi agregat halus			zona 2	
18.	Persentase berat agregat halus (pasir) terhadap agregat campuran			40%	
	(kerikil)			60%	
19.	Berat jenis agregat campuran			2,612	
20.	Berat jenis beton			2353,4	
21.	Kebutuhan agregat			1789,026316	
22.	Kebutuhan agregat halus			715,6105263	
23.	Kebutuhan agregat kasar			1073,415789	
kesimpulan kondisi agregat jenuh kering muka					
Volu me	Berat beton		Air	Semen	Agregat halus Agregat kasar
1m3	2353,4		204,9	359,47	715,61 1073,42

Mix design kuat rencana beton 30 MPa

FORMULIR PERANCANGAN ADUKAN BETON					
NO	URAIAN				
1.	Kuat tekan yang disyaratkan pada umur 28 hari (f'c)			30	
2.	Deviasi Standar (s)			tidak diketahui	
3.	Nilai tambah (m)			0	
4.	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan			30	
5.	Jenis semen			Tipe 1	
6.	Jenis agregat (HALUS/KASAR)			alami/pecah	
7.	Faktor air semen			0,51	
8.	Faktor air semen maksimum				
9.	Faktor air semen yang digunakan			0,51	
10.	Nilai slump			120	
11.	Ukuran maksimum agregat			40 mm	
12.	Kebutuhan air			204,9	
13.	Kebutuhan semen portland			401,7647059	
14.	Kebutuhan semen portland minimum			275	
15.	Kebutuhan semen portland yang digunakan			401,7647059	
16.	Penyesuaian jumlah air dan Fas			tetap	
17.	Daerah gradasi agregat halus			zona 2	
18.	Persentase berat agregat halus (pasir) terhadap agregat campuran			40%	
	(kerikil)			60%	
19.	Berat jenis agregat campuran			2,612	
20.	Berat jenis beton			2353,4	
21.	Kebutuhan agregat			1746,735294	
22.	Kebutuhan agregat halus			698,6941176	
23.	Kebutuhan agregat kasar			1048,041176	
kesimpulan kondisi agregat jenuh kering muka					
volu me	berat beton		air	semen	agregat halus agregat kasar
1m3	2353,4		204,9	401,76	698,69 1048,04



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Analisa Ayak Pasir (MKB)
Hari, Tanggal Pengujian : Kamis, 3 Maret 2016
Pukul : 10:30 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Pasir yang dipakai adalah pasir dari ksli progo sebanyak 1000 gram.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

DATA LAPORAN:

Hasil pemeriksaan Modulus Kehalusan Butir pasir (MKB)

No.	Ukuran (mm)	Berat tertinggal (gr)	Tertinggal (%)	Tertinggal kumulatif (%)
7	9,5	0	0	0
6	4,76	42,38	4,24	4,24
5	2,36	70,50	7,06	11,31
4	1,18	171,15	17,14	28,45
3	0,6	354,98	35,55	64,00
2	0,3	190,15	19,04	83,04
1	0,15	149,50	14,97	98,02
0	< 0,15	19,80	1,98	-
Jumlah		998,46	100	289,06

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 3 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,

Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Analisa Ayak Kerikil (MKB)
Hari, Tanggal Pengujian : Kamis , 3 Maret 2016
Pukul : 10:30 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

kerikil yang dipakai adalah dari progo sebanyak 4000 gram.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

DATA LAPORAN:

Hasil pemeriksaan Modulus Kehalusan Butir Kerikil (MKB)

No	Ukuran (mm)	Berat tertinggal (gr)	Tertinggal (%)	Tertinggal komulatif (%)
12	50	0	0,00	0,00
11	38,1	0	0,00	0,00
10	25	0	0,00	0,00
9	19	329	8,23	8,23
8	12,5	2331	58,28	66,51
7	9,5	1121	28,03	94,53
6	4,75	207	5,18	99,71
5	2,36	8,8	0,22	99,93
4	1,18	1,3	0,03	99,96
3	0,6	0,83	0,02	99,98
2	0,3	0,7	0,02	100,00
1	0,15	0	0,00	100,00
Jumlah		3999,63	100,00	768,85

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 3 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,

Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Berat Jenis Pasir SSD
Hari, Tanggal Pengujian : Jum'at, 4 Maret 2016
Pukul : 09:12 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Pasir yang dipakai adalah pasir dari progo sebanyak +100 gram sebanyak 3 sampel.
Volume air yang digunakan sebanyak 150 ml setiap sampelnya.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

DATA LAPORAN:

Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Pasir SSD

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II	Sampel III
Berat pasir (W)	100,35 gr	110,55 gr	103,5 gr
Volume air (A)	150 ml	150 ml	150 ml
Volume air + pasir (B)	187 ml	187 ml	188 ml

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 4 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,

Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Berat Jenis Kerikil SSD
Hari, Tanggal Pengujian : Jum'at, 4 Maret 2016
Pukul : 09:53 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Pasir yang dipakai adalah dari progo sebanyak +100 gram sebanyak 3 sampel.
Volume air yang digunakan sebanyak 200 ml setiap sampelnya.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

DATA LAPORAN:

Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Kerikil SSD

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II	Sampel III
Massa Kerikil	104 gr	101,05 gr	107 gr
Volume Air (A)	200 ml	200 ml	200 ml
Volume air + kerikil (B)	240 ml	240 ml	243 ml

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 4 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,

Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Kadar Air Pasir SSD
Hari, Tanggal Pengujian : Jumat, 4 Maret 2016
Pukul : 09:20 WIB
Cuaca : Mendung
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Pasir yang dipakai adalah dari progo yang telah direndam hingga mencapai kejenuhan dan diangin-anginkan hingga menjadi jenuh kering muka, yaitu pasir SSD.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

DATA LAPORAN:

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Pasir SSD

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II	Sampel III
Berat pasir (A)	99,41 gr	98,05 gr	106 gr
Berat pasir kering oven (B)	98,36 gr	96,75 gr	104,07 gr

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 4 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,

Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Kadar Air Kerikil SSD
Hari, Tanggal Pengujian : Jumat, 4 Maret 2016
Pukul : 09:20 WIB
Cuaca : Mendung
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Pasir yang dipakai adalah kerikil dari progo alami yang telah direndam hingga mencapai kejenuhan dan diangin-anginkan hingga menjadi jenuh kering muka, yaitu pasir SSD.



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

DATA LAPORAN:

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Kerikil SSD

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II	Sampel III
Berat kerikil (A)	153,85 gr	159,71 gr	156,43 gr
Berat kerikil kering oven (B)	149,31 gr	155 gr	151,53 gr

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 4 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,

Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Bobot Isi padat Kerikil
Hari, Tanggal Pengujian : Senin, 7 Maret 2016
Pukul : 09:30 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Kerikil yang dipakai adalah kerikil dari progo alami.

DATA LAPORAN:

Hasil pemeriksaan bobot isi padat

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II
Berat awal (A)	10,79 kg	10,79 kg
Berat akhir (B)	33,98 kg	34,98 kg
Diameter bejana (d)	2,56 dm	2,56 dm
Tinggi bejana (t)	2,92 dm	2,92 dm

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 7 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Bobot Isi Gembur Kerikil

Hari, Tanggal Pengujian : Senin, 7 Maret 2016

Pukul : 09:30 WIB

Cuaca : Mendung

Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Kerikil yang dipakai adalah kerikil dari progo alami.

DATA LAPORAN:

Hasil pemeriksaan bobot isi gembur

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II
Berat awal (A)	10,66 kg	10,66 kg
Berat akhir (B)	30,57 kg	30,85 kg
Diameter bejana (d)	2,56 dm	2,56 dm
Tinggi bejana (t)	2,92 dm	2,92 dm

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 7 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Pemeriksaan Bobot Isi Gembur Pasir
Hari, Tanggal Pengujian : Senin, 7 Maret 2016
Pukul : 10:30 WIB
Cuaca : Mendung
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Kerikil yang dipakai adalah pasir alami dari progo.

DATA LAPORAN:

Hasil pemeriksaan bobot isi gembur

Pemeriksaan	Sampel I	Sampel II
Berat awal (A)	10,66 kg	10,66 kg
Berat akhir (B)	32,97 kg	33,22 kg
Diameter bejana (d)	2,56 dm	2,56 dm
Tinggi bejana (t)	2,92 dm	2,92 dm

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 7 Maret 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji kuat tekan 28 hari 20 MPa beton lama
(*Substrate*) / BN-S-20

Hari, Tanggal Pengujian : Senin, 16 Mei 2016

Pukul : 16:00 WIB

Cuaca : Cerah

Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa silinder beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

DATA LAPORAN:

Hasil uji kuat tekan metode *mix design* SNI 2000

No.	Spesimen	Luas (mm ²)	P mak (N)
1	BNS-20-01	17727,32	770000
2	BNS-20-02	18017,52	420000
3	BNS-20-03	17768,63	760000

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 16 Mei 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji kuat tekan 28 hari 25 MPa beton lama
(*Substrate*) / BN-S-25

Hari, Tanggal Pengujian : Selasa, 17 Mei 2016

Pukul : 16:00 WIB

Cuaca : Cerah

Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa silinder beton dengan kuat tekan rencana 25 MPa.

DATA LAPORAN:

Hasil uji kuat tekan silinder

No.	Spesimen	Luas (mm ²)	P mak (N)
1	BNS-25-01	17815,91	320000
2	BNS-25-02	17521,48	460000
3	BNS-25-03	18071,07	510000

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 17 Mei 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji kuat tekan 28 hari 30 MPa beton lama
(*Substrate*) / BN-S-30

Hari, Tanggal Pengujian : Rabu, 18 dan 19 Mei 2016

Pukul : 16:00 WIB

Cuaca : Cerah

Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa silinder beton dengan kuat tekan rencana 30 MPa.

DATA LAPORAN:

Hasil uji kuat tekan silinder

No.	Spesimen	Luas (mm ²)	P mak (N)
1	BNS-30-01	18400,09	650000
2	BNS-30-02	18029,41	710000
3	BNS-30-03	18005,63	695000

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 18 Mei 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji kuat tekan 28 hari 20 MPa beton baru
(*Overlay*) / BN-O-20

Hari, Tanggal Pengujian : Kamis, 23 juni 2016

Pukul : 16:00 WIB

Cuaca : Cerah

Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa silinder beton dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

DATA LAPORAN:

Hasil uji kuat tekan silinder

No.	Spesimen	Luas (mm ²)	P mak (N)
1	BNO-20-01	17928,29	450000
2	BNO-20-02	17642,34	440000
3	BNO-20-03	18115,94	300000

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 9 Mei 2016

Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji geser sambungan beton BNSO₂₀₋₂₀
Hari, Tanggal Pengujian : Rabu,
Pukul : 16:00 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa sambungan kubus beton dengan kuat tekan rencana beton lama 20 MPa dan kuat tekan rencana beton baru 20 MPa

Data Hasil Pengujian

1. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₂₀₋₂₀₋₁

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
1	-1,5259	138,768
2	-1,6509	138,768
3	-1,6509	138,768
4	-1,6509	138,768
5	-1,5259	141,246
6	-1,6509	138,768
7	-1,6509	138,768
8	-1,6509	136,29
9	-1,5259	138,768
10	-1,5259	138,768
11	-1,5259	138,768
12	-1,5259	138,768
13	-1,1509	151,158
14	-0,77588	163,548
15	-0,52588	178,416
16	-0,27588	185,85
17	-0,40088	188,328
18	-0,27588	188,328
19	-0,40088	185,85
20	-0,40088	188,328
21	-0,40088	188,328
22	-0,40088	185,85
23	-0,40088	188,328
24	-0,02588	190,806
25	0,09912	200,718
26	0,22412	208,152
27	0,47412	215,586
28	0,59912	220,542
29	0,59912	227,976
30	0,84912	230,454
31	0,84912	237,888
32	1,0991	242,844
33	1,2241	245,322
34	1,4741	255,234
35	1,8491	272,58
36	2,2241	284,97
37	2,5991	299,838

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
38	3,0991	314,706
39	3,4741	329,574
40	3,9741	341,964
41	4,4741	354,354
42	4,9741	369,222
43	5,5991	384,09
44	5,8491	398,958
45	6,2241	413,826
46	6,3491	426,216
47	6,8491	441,084
48	2,5991	455,952
49	2,9741	468,342
50	3,3491	483,21
51	2,4741	453,474
52	0,59912	359,31

2. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₂₀₋₂₀₋₂

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
1	-0,40088	47,082
2	-0,40088	47,082
3	-0,40088	47,082
4	-0,40088	47,082
5	-0,40088	47,082
6	-0,40088	44,604
7	-0,40088	44,604
8	-0,40088	44,604
9	-0,40088	44,604
10	-0,40088	47,082
11	-0,40088	44,604
12	-0,27588	47,082
13	-0,40088	44,604
14	-0,40088	47,082
15	-0,40088	47,082
16	-0,40088	44,604
17	-0,40088	47,082
18	-0,27588	47,082
19	-0,40088	44,604
20	-0,27588	47,082

No	Beban (kN)	Displacement (mm)
21	-0,27588	47,082
22	-0,40088	47,082
23	-0,27588	49,56
24	0,09912	59,472
25	0,47412	71,862
26	0,97412	86,73
27	1,2241	96,642
28	1,4741	106,554
29	1,8491	116,466
30	2,0991	128,856
31	2,7241	141,246
32	2,9741	153,636
33	3,4741	170,982
34	0,97412	180,894
35	1,3491	195,762
36	1,4741	208,152
37	-0,27588	133,812
38	-1,4009	61,95
39	-1,6509	47,082
40	-1,6509	47,082
41	-1,5259	47,082
42	-1,6509	44,604
43	-1,6509	47,082
44	-1,5259	44,604
45	-1,6509	44,604
46	-1,6509	44,604
47	-1,6509	44,604
48	-1,6509	44,604
49	-1,6509	44,604
50	-1,6509	47,082
51	-1,5259	44,604
52	-1,5259	44,604
53	-1,6509	47,082
54	-1,6509	44,604
55	-1,6509	47,082

3. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₂₀₋₂₀₋₃

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
1	-1,2759	218,064
2	-1,2759	218,064
3	-1,1509	218,064
4	-1,1509	218,064
5	-1,1509	215,586
6	-1,1509	218,064
7	-1,2759	218,064
8	-1,2759	218,064
9	-1,1509	218,064
10	-1,1509	218,064
11	-1,1509	218,064
12	-1,2759	218,064
13	-1,1509	220,542
14	-1,1509	215,586
15	-1,2759	218,064
16	-1,2759	218,064
17	-1,1509	218,064
18	-1,1509	218,064
19	-1,1509	218,064
20	-0,90088	220,542
21	-1,1509	223,02
22	-1,0259	223,02
23	-1,1509	220,542
24	-1,1509	220,542
25	-1,0259	223,02
26	-0,77588	232,932
27	-0,52588	240,366
28	-0,27588	252,756
29	-0,02588	262,668
30	0,22412	272,58
31	0,47412	282,492
32	0,97412	297,36
33	0,97412	309,75
34	1,4741	322,14
35	1,7241	334,53
36	1,9741	346,92
37	2,5991	361,788
38	1,9741	374,178
39	1,9741	379,134

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
40	1,0991	346,92
41	-0,65088	272,58
42	-1,9009	218,064
43	-1,7759	218,064

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 03 Agustus 2016
Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji geser sambungan beton BNSO₂₅₋₂₀
Hari, Tanggal Pengujian : Rabu, 03 Agustus 2016
Pukul : 16:00 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa sambungan kubus beton dengan kuat tekan rencana beton lama 25 MPa dan kuat tekan rencana beton baru 20 MPa

Data Hasil Pengujian

1. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₂₅₋₂₀₋₁

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
1	-1,0259	136,29
2	-1,0259	136,29
3	-1,0259	133,812
4	-1,0259	136,29
5	-1,1509	133,812
6	-1,0259	136,29
7	-1,0259	136,29
8	-1,0259	133,812
9	-1,0259	136,29
10	-1,0259	133,812
11	-1,1509	136,29
12	-1,1509	136,29
13	-1,0259	136,29
14	-1,0259	133,812
15	-1,0259	136,29
16	-1,1509	136,29
17	-1,0259	136,29
18	-1,1509	136,29
19	-1,0259	136,29
20	-1,0259	133,812
21	-1,0259	133,812
22	-1,0259	133,812
23	-1,1509	133,812
24	-1,0259	133,812
25	-1,0259	136,29
26	-1,1509	136,29
27	-1,1509	133,812
28	-1,0259	136,29
29	-1,0259	133,812
30	-1,0259	133,812
31	-1,0259	133,812
32	-1,0259	136,29
33	-0,90088	133,812
34	-0,15088	146,202
35	0,47412	156,114

No	Beban (kN)	Displacement (mm)
36	1,0991	168,504
37	1,7241	185,85
38	2,2241	198,24
39	-0,02588	215,586
40	-0,02588	225,498
41	-0,02588	227,976
42	-1,6509	168,504
43	-2,2759	138,768

2. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₂₅₋₂₀₋₂

No	Beban (kN)	Displacement (mm)
1	-0,52588	-19,824
2	-0,52588	-22,302
3	-0,65088	-22,302
4	-0,52588	-22,302
5	-0,77588	-24,78
6	-0,65088	-22,302
7	-0,65088	-22,302
8	-0,65088	-19,824
9	-0,52588	-19,824
10	-0,65088	-24,78
11	-0,77588	-22,302
12	-0,65088	-19,824
13	-0,65088	-22,302
14	-0,65088	-19,824
15	-0,65088	-22,302
16	-0,52588	-19,824
17	-0,52588	-22,302
18	-0,65088	-22,302
19	-0,52588	-19,824
20	-0,65088	-22,302
21	-0,40088	-19,824
22	-0,27588	-4,956
23	0,09912	7,434
24	0,34912	22,302
25	0,59912	34,692

No	Beban (kN)	Displacement (mm)
26	0,84912	49,56
27	1,0991	61,95
28	1,4741	76,818
29	1,7241	89,208
30	2,0991	106,554
31	2,3491	121,422
32	2,4741	131,334
33	2,8491	148,68
34	3,0991	158,592
35	3,3491	175,938
36	3,7241	188,328
37	3,9741	205,674
38	4,2241	218,064
39	4,4741	230,454
40	4,7241	245,322
41	4,9741	257,712
42	5,2241	272,58
43	5,3491	284,97
44	5,5991	294,882
45	5,8491	309,75
46	6,0991	322,14
47	6,2241	334,53
48	6,7241	349,398
49	7,0991	361,788
50	7,0991	379,134
51	7,5991	391,524
52	7,7241	406,392
53	7,7241	416,304
54	6,2241	376,656
55	6,3491	374,178
56	6,5991	391,524
57	7,2241	401,436
58	7,5991	408,87
59	7,4741	406,392
60	7,4741	408,87
61	7,4741	408,87
62	7,4741	406,392
63	7,4741	408,87
64	7,4741	408,87

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
65	7,4741	408,87
66	7,5991	406,392
67	7,4741	408,87
68	7,4741	408,87
69	7,4741	406,392
70	7,5991	408,87
71	7,4741	408,87
72	7,4741	408,87
73	7,3491	408,87
74	7,4741	408,87
75	7,4741	408,87
76	7,4741	406,392
77	7,4741	408,87
78	7,8491	413,826
79	8,3491	426,216
80	8,8491	443,562
81	9,2241	455,952
82	9,8491	470,82
83	10,474	480,732
84	10,849	498,078
85	11,349	510,468
86	11,724	525,336
87	9,2241	542,682
88	9,5991	555,072
89	9,7241	569,94
90	9,8491	582,33
91	8,3491	545,16
92	4,3491	398,958
93	1,5991	282,492
94	-0,15088	190,806
95	-1,5259	118,944


3. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₂₅₋₂₀₋₃

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
1	-1,2759	22,302
2	-1,2759	24,78
3	-1,2759	24,78
4	-1,2759	22,302
5	-1,2759	27,258
6	-1,2759	27,258
7	-1,2759	27,258
8	-1,2759	24,78
9	-1,2759	24,78
10	-1,2759	27,258
11	-1,2759	24,78
12	-1,2759	24,78
13	-1,2759	27,258
14	-1,2759	24,78
15	-1,2759	27,258
16	-1,2759	27,258
17	-1,0259	27,258
18	-0,77588	39,648
19	-0,27588	54,516
20	0,09912	66,906
21	0,47412	81,774
22	0,72412	96,642
23	1,2241	109,032
24	1,5991	123,9
25	2,0991	138,768
26	2,5991	151,158
27	3,0991	163,548
28	3,5991	178,416
29	4,0991	195,762
30	4,5991	208,152
31	5,2241	223,02
32	5,8491	235,41
33	6,4741	250,278
34	7,0991	265,146
35	7,7241	277,536
36	8,3491	292,404
37	8,9741	304,794

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
38	9,7241	319,662
39	10,349	334,53
40	10,849	346,92
41	11,474	361,788
42	11,849	376,656
43	12,474	389,046
44	12,974	403,914
45	13,599	418,782
46	13,974	431,172
47	14,599	446,04
48	15,099	460,908
49	15,724	473,298
50	16,099	488,166
51	16,599	503,034
52	17,224	517,902
53	17,599	530,292
54	18,099	542,682
55	18,474	557,55
56	18,849	569,94
57	18,974	584,808
58	19,349	599,676
59	19,724	612,066
60	19,974	624,456
61	20,224	639,324
62	20,599	651,714
63	20,974	669,06
64	21,224	681,45
65	21,599	693,84
66	21,849	708,708
67	21,974	723,576
68	22,099	735,966
69	22,349	750,834
70	22,474	765,702
71	22,474	778,092
72	22,599	790,482
73	22,724	805,35
74	22,849	817,74
75	23,099	832,608
76	22,849	844,998

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
77	22,849	859,866
78	22,849	874,734
79	22,974	889,602
80	22,974	901,992
81	23,099	916,86
82	23,099	929,25
83	22,974	941,64
84	22,974	956,508
85	22,974	971,376
86	22,974	983,766
87	22,974	996,156
88	23,099	1011,024
89	22,974	1023,414
90	22,974	1038,282
91	22,974	1053,15
92	23,099	1063,062
93	27,849	1075,452
94	33,474	1085,364
95	38,599	1097,754
96	28,724	1117,578
97	32,599	1132,446
98	32,349	1142,358
99	31,849	1144,836
100	17,099	1102,71
101	7,7241	1001,112
102	5,3491	877,212

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 03 Agustus 2016

Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN
TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
Alamat: Kampus Karang Malang Yogyakarta 55281
Telephone: 586168 Pesawat 286

LAPORAN DATA PRAKTIKUM SEMENTARA

Judul Praktikum : Uji geser sambungan beton BNSO₃₀₋₂₀
Hari, Tanggal Pengujian : Rabu, 03 Agustus 2016
Pukul : 16:00 WIB
Cuaca : Cerah
Kelompok Praktikum : 1. Ari Ambar Riyadi
2. Tri Aryanto
3. M. Bilal Rhobani
4. Anas Habib Assidiqi
5. Indah Nurrahman

BAHAN:

Bahan yang dipakai berupa sambungan kubus beton dengan kuat tekan rencana beton lama 30 MPa dan kuat tekan rencana beton baru 20 MPa

Data Hasil Pengujian

1. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₃₀₋₂₀₋₁

No	Beban (kN)	Displacement (mm)
1	-0,02588	-2,478
2	-0,02588	0
3	0,09912	-2,478
4	-0,02588	0
5	-0,02588	-4,956
6	-0,02588	-2,478
7	-0,02588	0
8	0,09912	-2,478
9	-0,02588	-2,478
10	-0,02588	-2,478
11	0,09912	-2,478
12	-0,02588	0
13	0,09912	0
14	0,09912	0
15	0,47412	12,39
16	0,59912	24,78
17	0,72412	39,648
18	0,84912	47,082
19	0,59912	44,604
20	0,22412	32,214
21	-0,02588	12,39
22	-0,15088	2,478
23	-0,15088	7,434
24	0,22412	22,302
25	0,47412	34,692
26	0,97412	52,038
27	1,2241	64,428
28	1,4741	79,296
29	1,5991	94,164
30	1,7241	106,554
31	2,0991	121,422
32	2,3491	136,29
33	2,9741	151,158
34	3,3491	163,548
35	4,0991	178,416
36	2,7241	193,284
37	3,0991	208,152

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
38	3,4741	223,02
39	3,5991	232,932
40	1,9741	178,416
41	0,34912	84,252
42	-0,65088	4,956
43	-0,77588	0
44	-0,77588	-2,478
45	-0,77588	0
46	-0,90088	0
47	-0,77588	-2,478
48	-0,77588	0
49	-0,77588	-2,478
50	-0,77588	-2,478
51	-0,77588	0
52	-0,77588	0
53	-0,77588	-2,478
54	-0,77588	-2,478

2. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₃₀₋₂₀₋₂

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
1	-1,6509	27,258
2	-1,6509	29,736
3	-1,6509	29,736
4	-1,6509	29,736
5	-1,6509	29,736
6	-1,6509	29,736
7	-1,7759	29,736
8	-1,6509	29,736
9	-1,6509	29,736
10	-1,6509	27,258
11	-1,6509	32,214
12	-1,6509	29,736
13	-1,2759	34,692
14	-1,0259	49,56
15	-0,77588	64,428
16	-0,52588	76,818
17	-0,15088	91,686

No	Beban (kN)	Displacement (mm)
18	0,22412	104,076
19	0,59912	118,944
20	0,59912	133,812
21	1,0991	148,68
22	1,5991	161,07
23	1,8491	175,938
24	2,3491	190,806
25	2,8491	203,196
26	3,3491	220,542
27	3,8491	232,932
28	4,4741	245,322
29	5,0991	260,19
30	5,7241	275,058
31	6,2241	289,926
32	6,7241	302,316
33	7,3491	317,184
34	7,9741	332,052
35	8,8491	346,92
36	9,4741	359,31
37	10,349	371,7
38	11,224	386,568
39	11,849	401,436
40	12,474	416,304
41	13,349	428,694
42	14,349	438,606
43	14,974	455,952
44	15,474	470,82
45	16,224	485,688
46	16,849	498,078
47	17,849	512,946
48	18,474	522,858
49	18,349	537,726
50	7,3491	557,55
51	5,4741	510,468
52	3,8491	441,084
53	1,7241	327,096
54	0,09912	232,932
55	-1,2759	158,592
56	-2,2759	91,686
57	-3,0259	42,126
58	-3,2759	34,692

No	Beban (kN)	Diplasment (mm)
59	-3,1509	32,214
60	-3,5259	29,736
61	-3,7759	32,214
62	-3,7759	29,736
63	-4,0259	29,736
64	-4,1509	32,214
65	-4,1509	29,736
66	-4,2759	29,736
67	-4,4009	29,736
68	-4,6509	29,736
69	-4,7759	29,736
70	-5,0259	29,736

3. Hasil pembacaan LVDT pada beton dengan kode BNSO₃₀₋₂₀₋₃

Benda uji sudah putus saat dilakukan penyetingan alat.

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Sudarman, S.Pd.

NIP.19610214 199103 1 001

Yogyakarta, 03 Agustus 2016

Diuji oleh mahasiswa,



Tri Aryanto

NIM. 13510134027