



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

28746/H/07



RSS
620.137
Pri
9-1

2007

TUGAS AKHIR - PS 1380

**ANALISA KEMAMPUAN BALOK UNDERREINFORCED
CONCRETE YANG DIPERBAIKI DENGAN METODE
EPOXY INJECTION**

RUSMAN PRIHATANTO
NRP 3102 100 096

Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.
Ir. Mudji Irmawan, MS.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	28-2-2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	227311



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - PS 1380

**ANALYSIS ABILITY OF UNDERREINFORCED
CONCRETE BEAM WHICH REPAIRED WITH EPOXY
INJECTION METHOD**

RUSMAN PRIHATANTO
NRP 3102 100 096

Promoter :
Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA.
Ir. Mudji Irmawan, MS.

CIVIL ENGINEERING
Civil Engineering and Planning Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2007

**ANALISA KEMAMPUAN BALOK
UNDERREINFORCED CONCRETE YANG
DIPERBAIKI DENGAN METODE
EPOXY INJECTION**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Insitut Teknologi Sepuluh Nopember**

oleh:

**RUSMAN PRIHATANTO
NRP. 3102 100 096**

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA



2. Ir. Mudji Irmawan, MS

**SURABAYA
PEBRUARI, 2007**

**ANALISA KEMAMPUAN BALOK *UNDERREINFORCED*
CONCRETE YANG DIPERBAIKI DENGAN METODE
EPOXY INJECTION**

Nama Mahasiswa	: Rusman Prihatanto
NRP	: 3102 100 096
Jurusan	: Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing	: Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA, Ir. Mudji Irmawan, MS

Abstrak

Dalam dunia konstruksi, crack (retak) merupakan permasalahan yang sering terjadi. Retak tersebut disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya kesalahan perencanaan, umur bangunan serta beban yang berlebih (over load). Apabila retak tersebut dibiarkan begitu saja dan tidak ada usaha untuk menutupnya maka akan menyebabkan menurunnya kinerja dalam memikul beban. Metode injeksi merupakan salah satu cara untuk menutup/mengisi keretakan-keretakan yang terjadi pada struktur, agar struktur dapat berfungsi sesuai perencanaan.

Pengujian eksperimental dilakukan terhadap balok kondisi underreinforced dengan variasi mutu beton (f_c) 25, 30, 35 Mpa dan masing-masing mutu beton dibuat tiga buah balok. Sebanyak 2 balok dari masing-masing mutu beton dites lentur dengan third-point loading sampai ultimate. Retak-retak yang terjadi baik itu retak lentur maupun retak geser diperbaiki (repair) dengan metode injeksi. Untuk menginjeksi retakan pada balok menggunakan bahan Sikadur 752. setelah itu benda uji balok dites lagi dan dibandingkan dengan benda uji yang tidak direpair.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ada peningkatan daktilitas dari balok yang direpair dibandingkan dengan balok yang tidak direpair. Balok dengan mutu beton (f_c) 25 MPa, Benda uji A daktilitasnya meningkat 43.89 %, benda uji B meningkat 43.92 %. Balok dengan mutu beton (f_c) 30 MPa, benda uji A daktilitasnya meningkat 41.12 %, benda uji B

meningkat 33.52 % dan balok dengan mutu beton ($f'c$) 35 MPa, benda uji A daktilitasnya meningkat 30.10 %, benda uji B meningkat 32.92 %. Selain daktilitas, repair juga menyebabkan meningkatnya energi disipasi (ΔE) dari balok. Balok dengan mutu beton ($f'c$) 25 MPa nilai disipasi benda uji A meningkat 30.623 %, benda uji B meningkat sebesar 30.04%. Balok dengan mutu beton ($f'c$) 30 MPa nilai disipasi benda uji A meningkat 24.34 %, benda uji B meningkat sebesar 19.224 % dan Balok dengan mutu beton ($f'c$) 35 MPa nilai disipasi benda uji A meningkat 55.71 %, benda uji B meningkat sebesar 58.486 %.

Kata kunci : *retak, crack, mutu beton, underreinforced, injeksi, ultimate, daktilitas, energi disipasi.*

ANALISYS ABILITY OF UNDERREINFORCED CONCRETE BEAM WHICH REPAIRED WITH EPOXY INJECTION METHOD

Name : Rusman Prihatanto
NRP : 3102 100 096
Major : Teknik Sipil
Promoter : Prof. Dr. Ir. Triwulan, DEA,
Ir. Mudji Irmawan, MS

Abstract

In construction, crack represent the problems which often happened. It caused of several things, among other planning mistake, building age, and over load. If the crack let it go and no effort to close, it will cause decrease the performance of structure. Injection method is one way to close/filling crack at the structure, so that the structure can function according to the planning.

In this research, original beams were tested experimentally. These beams were ununderreinforced condition with 3 (three) compressive strength (f'_c) variation, that is 25, 30, 35 MPa and each of compressive strength made by 3 (three) beams. As much 2 (two) beams is loading with third-point loading test until ultimate. The crack it happened that is flexure and shear crack is repaired with injection method. For the injection use Sikadur 752 from Sika's products. After repaired, beams beams is loading test again and compared with beams which is not repaired.

The result of this study shows that the ductility of repaired beams is increase if compare with beam not repair. Beams with compressive strength (f'_c) 25 MPa sample A the ductility increase 43.89%, sample B increase 43.92 %. Beams with compressive strength f'_c 30 MPa sample A increase 41.12 %, sample B increase 33.52 % and beams with compressive strength f'_c 35 MPa sample A increase 30.10 % and sample B 32.92%. Besides ductility, repair also cause the increasing of energy dissipasi (ΔE).

Beams with compressive strength (f_c) 25 MPa sample A the energy of dissipation increase 30.623 %,sample B increase 30.04 %. Beams with compressive strength f_c 30 MPa sample A increase 24.34 %, sample B increase 19.224 % and beams with compressive strength f_c 35 MPa sample A increase 55.771 % and sample B 58.486%.

Keywords: crack, beams, underreinforced, injection, repaired, ultimate.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. Atas rahmat, karunia serta ijin-Nyalah saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisa Kemampuan Balok Underreinforced Concrete yang Diperbaiki dengan Metode *Epoxy Injection*”.

Tugas Akhir ini adalah aplikasi dari disiplin ilmu yang telah didapatkan mahasiswa selama masa perkuliahan dengan menitikberatkan pada bidang struktur, khususnya beton material.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak dibantu, dibimbing dan diarahkan oleh berbagai pihak. Maka dengan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Triwulan dan Bapak Mudji Irmawan selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Aman Subakti, Bapak Tavio serta ibu Januarti J.E selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Suhardjo beserta seluruh laboran Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan (LB3) yang telah membantu penulis melaksanakan praktikum.
4. Bapak Wito dari PT SIKA Nusantara beserta teknisinya terima kasih atas bantuan epoxy serta penginjeksiannya.
5. Kedua orangtuaku serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan do'a, support, serta pengertiannya.
6. Seluruh teman-temanku S45 yang telah memberikan dukungan baik moral maupun spiritual.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Sekian singkat kata dari penulis, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Pebruari 2007
Rusman Prihatanto

DAFTAR ISI

Abstrak	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEOR	5
2.1 Bahan Penyusun Beton	5
2.1.1 Bahan Semen (Semen Portland)	5
2.1.1.1 Pembuatan Semen Portland	5
2.1.1.2 Tipe-Tipe Semen	6
2.1.1.2.1 Semen Portland Tipe I	6
2.1.1.2.2 Semen Portland Tipe II	7
2.1.1.2.3 Semen Portland Tipe III	7
2.1.1.2.4 Semen Portland Tipe IV	7
2.1.1.2.5 Semen Portland Tipe V	8
2.1.1.2.6 Semen Putih	8
2.1.1.3 Waktu Pengikatan Dan Pengerasan Semen	8
2.1.2 Agregat	9
2.1.2.1 Agregat Halus	9
2.1.2.2 Agregat Kasar	10
2.1.3 Air	11
2.2 Balok <i>Underreinforced</i>	12
2.3 Kerusakan pada Beton	15
2.3.1 Retak Pada Beton (<i>crack</i>)	16
2.3.1.1 Retak Lentur (Flexural)	18
2.3.1.2 Retak Tarik Diagonal	19

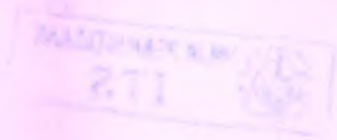
3.2.2.1	Kelembaban Pasir (ASTM C 566 – 89).	37
3.2.2.2	Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)	38
3.2.2.3	Air Resapan Pasir (ASTM C 128 – 93)	39
3.2.2.4	Berat Volume Pasir (ASTM C 29/ C29M – 91).	40
3.2.2.5	Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 92)	40
3.2.2.6	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan) (ASTM C33 – 93)	41
3.2.2.7	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C117 – 95)	42
3.2.3	Analisa Batu Pecah	42
3.2.3.1	Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566 – 89)	42
3.2.3.2	Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp.93)	43
3.2.3.3	Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp.93)	43
3.2.3.4	Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/ C29M – 91a)	44
3.2.3.5	Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 – 95)	45
3.2.3.6	Keausan Agregat Kasar (ASTM C 131 – 89)	45
3.3	Analisa Campuran Agregat	46
3.3.1	Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 – 95A)	46
3.3.2	Analisa Saringan Batu Pecah (ASTM C 136 – 95A)	47
3.3.3	Analisa Campuran Agregat	49
3.4	Mix Desain Beton Dengan Metode DOE	49
3.5	Analisa Bahan Repair (Sikadur 752)	53
3.6	Pembuatan Bekisting dan (SNI 03-2487-2002 pasal 8.1).	53
3.7	Tes Tarik Baja Tulangan	53
3.8	Perakitan Tulangan (SNI 03-2847-2002 Pasal 9).	54

2.3.1.3	Retak Geser (Shear)	19
2.3.2	<i>Spalling</i>	20
2.3.3	<i>Surface Erosion.</i>	20
2.3.4	<i>Dis-colouration</i>	20
2.4	Material Perbaikan Beton	21
2.4.1	<i>Grouting (non shrink grout)</i>	21
2.4.2	<i>Epoxy</i>	21
2.4.3	<i>Bonding agent</i>	22
2.4.4	Repair	23
2.4.5	Shotcrete	23
2.5	Perbaikan Beton (Repair)	23
2.5.1	<i>Epoxy Injection</i>	24
2.5.2	<i>Gravity Feed with Resin</i>	24
2.5.3	<i>Low Pressure Spraying</i>	25
2.5.4	<i>Form and Pour Techniques</i>	25
2.5.5	<i>Form and Pump Techniques</i>	26
2.6	Daktilitas	27
2.7	Energi Disipasi	28
2.8	Penelitian Tentang Perbaikan (Repair) Beton	29
2.8.1	<i>Evaluation of Repair Materials for Use in Patching Damaged Concrete</i>	29
2.8.2	<i>Testing and Assessment of Epoxy Injection Crack Repair for Residential Concrete Stem Walls and Slabs on Grade</i>	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Studi Literatur	32
3.2	Analisa Bahan Campuran Beton	32
3.2.1	Analisa Semen.	32
3.2.1.1	Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C 187 – 86).	32
3.2.1.2	Waktu Mengikat dan Mengeras Semen (ASTM C 191 – 92).	34
3.2.1.3	Berat Jenis Semen (ASTM C 188 – 89).	35
3.2.1.4	Berat Volume Semen (ASTM C 188 – 89).	36
3.2.2	Analisa Pasir	37

4.2.5	Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 92)	75
4.2.6	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan) (ASTM C33 – 93)	76
4.2.7	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 – 95)	76
4.3	Analisa Batu Pecah	77
4.3.1	Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 556 – 89)	77
4.3.2	Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)	78
4.3.3	Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)	78
4.3.4	Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29 / C 29 M – 91a)	79
4.3.5	Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian)	80
4.3.6	Keausan Batu Pecah (ASTM C 131 – 89)	81
4.4	Analisa Campuran Agregat	81
4.4.1	Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 – 01)	81
4.4.2	Analisa Saringan Batu Pecah (ASTMC136-95A)	82
4.4.3	Analisa Campuran Agregat	83
4.7.	Perencanaan Pembuatan Beton (Mix Desain)	86
4.7.1	Perencanaan Untuk Mutu Beton $f'c = 25$ Mpa.	86
4.7.1.1	Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment).	86
4.7.1.2	Cara Pengisian Formulir	87
4.7.1.3	Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli	90
4.7.2	Perencanaan Untuk Mutu Beton $f'c = 30$ Mpa.	91
4.7.2.1	Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment).	91
4.7.2.2	Cara Pengisian Formulir	93



3.9	Pembuatan Campuran Beton (ASTM C 192-90a).	54
3.10	Percobaan Menentukan Berat Volume Beton Segar (ASTM C 138-78).	55
3.11	Percobaan Slump Test (ASTM C 143-78).	56
3.12	Pencetakan Beton dalam Bekisting (pengecoran) (SNI 03-2847-2002 pasal 7.10)	57
3.13	Perawatan Benda Uji (PBI 1971 pasal 6.4).	57
3.14	Pengetesan Benda Uji.	59
3.14.1	Tes Tekan Pada Benda Uji Silinder (ASTM C 832-75).	59
3.14.2	Tes Lentur Pada Benda Uji Balok dengan Third-Point Loading Test	60
3.15	Memperbaiki Kerusakan Yang Terjadi Akibat Pembebanan Dengan Metode Injeksi	61
3.16	Pengecekan Hasil Perbaikan (Repair) dengan Ultrasonic	63
3.17	Pengetesan Benda Uji Balok Setelah Diperbaiki (Direpair)	64
BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL		
LABORATORIUM		
4.1	Penyelidikan Bahan Semen	67
4.1.1	Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C 187 – 86)	67
4.1.2	Waktu Mengikat dan Mengeras Semen (ASTM C 191 – 92)	69
4.1.3	Berat Jenis Semen (ASTM C 188 – 89)	71
4.1.4	Berat Volume Semen (ASTM C 188 – 89)	71
4.2	Analisa Pasir	72
4.2.1	Kelembaban Pasir (ASTM C 566 – 89)	72
4.2.2	Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)	73
4.2.3	Air Resapan Pasir (ASTM C 128 – 93)	73
4.2.4	Berat Volume Pasir (ASTM C 29 / C 29 M - 91)	74



4.11.3	Benda Uji Silinder Dengan Kuat Tekan $f'_c = 35 \text{ MPa}$.	125
4.12	Analisa Hasil Tes Tarik Tulangan Baja	128
4.12.1	Hasil Tes Tarik Tulangan Diameter (\varnothing) 10mm.	128
4.12.2	Hasil Tes Tarik Tulangan Diameter (\varnothing) 12 mm.	129
4.13	Analisa Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test	129
4.13.1	Ultrasonic Pulse Velocity Tes Sebelum Tes Lentur	129
4.13.2	Ultrasonic Pulse Velocity Tes Setelah Tes Lentur	130
4.14	Analisa Perhitungan Kapasitas Lentur Penampang Balok <i>Underreinforced</i>	131
4.14.1	Kuat Tekan Beton (f'_c) 25 Mpa	131
4.14.2	Kuat Tekan Beton (f'_c) 30 Mpa	139
4.14.3	Kuat Tekan Beton (f'_c) 35 Mpa	147
4.15	Perhitungan Defleksi (Δ) Benda Uji Secara Teoritis	155
4.15.1	Kuat Tekan Beton (f'_c) 25 Mpa	155
4.15.2	Kuat Tekan Beton (f'_c) 30 Mpa	164
4.15.3	Kuat Tekan Beton (f'_c) 35 Mpa	173
4.16	Hasil Pengetesan Benda Uji Balok Dengan Tri-Point Loading	182
4.16.1	Benda Uji f'_c 25 Mpa	182
4.16.2	Benda Uji f'_c 30 Mpa	188
4.16.3	Benda Uji f'_c 35 Mpa	193
4.17	Pengetesan Benda Uji Pembanding (C)	199
4.17.1	Benda Uji f'_c 25 Mpa	199
4.17.2	Benda Uji f'_c 30 MPa	200
4.17.3	Benda Uji f'_c 35 Mpa	202
4.18	Pola Retak Balok Setelah Dibebani (Loading)	204
4.18.1	Benda Uji Balok Mutu (f'_c) 25 MPa	204
4.18.2	Benda Uji Balok Mutu (f'_c) 30 MPa	205
4.18.3	Benda Uji Balok Mutu (f'_c) 35 MPa	206
	BAB V EVALUASI HASIL ANALISA DATA	209
5.1	Perbandingan Hubungan P – Δ Pengujian dan Teoritis	209
5.1.1	Benda Uji f'_c 25 MPa	209

4.7.2.3	Perhitungan Campuran Beton Dalam keadaan Asli	95
4.7.3	Perencanaan Untuk Mutu Beton $f'c = 35$ Mpa.	97
4.7.3.1	Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment).	97
4.7.3.2	Cara Pengisian Formulir	98
4.7.3.3	Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli	100
4.8	Perhitungan Tulangan Kondisi Underreinforced	102
4.8.1	Kuat Tekan Beton (Fc') = 25 Mpa	102
4.8.2	Kuat Tekan Beton (Fc') = 30 Mpa	106
4.8.3	Kuat Tekan Beton (fc') = 35 Mpa	110
4.9	Pelaksanaan Campuran Beton	114
4.9.1	Pembuatan campuran beton untuk $f'c = 25$ MPa (ASTM C 192-90a)	114
4.9.2	Pembuatan campuran beton untuk $f'c = 30$ MPa (ASTM C 192-90a).	115
4.9.3	Pembuatan campuran beton untuk $f'c = 35$ MPa (ASTM C 192-90a).	116
4.10	Pengujian Beton Segar	117
4.10.1	Berat Volume Beton Segar (ASTM C 138-78).	117
4.10.1.1	Berat Volume Beton Untuk $F'c = 25$ Mpa	117
4.10.1.2	Berat Volume Beton Untuk $F'c = 30$ Mpa	117
4.10.1.3	Berat Volume Beton Untuk $F'c = 35$ Mpa.	118
4.10.2	Slump Test (ASTM C 143-78).	118
4.10.2.1	Slump Test untuk $f'c = 25$ MPa.	118
4.10.2.2	Slump Test untuk $f'c = 30$ MPa.	119
4.10.2.3	Slum Test untuk $f'c = 35$ MPa.	119
4.11	Data Hasil Tes Tekan Benda Uji Silinder	119
4.11.1	Benda Uji Silinder Dengan Kuat Tekan $f'c = 25$ Mpa.	120
4.11.2	Benda Uji Silinder Dengan Kuat Tekan $f'c = 30$ Mpa.	122

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipe-Tipe Semen Dan Bahan Penyusunnya	6
Tabel 2.2	Batasan Lebar Retak Menurut PBI 1971	16
Tabel 2.3	Ukuran Stemwalls Dan Plat	30
Tabel 3.1	Interpretasi kualitas beton.	64
Tabel 4.1	Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C 187 – 86)	67
Tabel 4.2	Konsistensi Normal PC Yang Seharusnya Sesuai Dengan ASTM C 187-86	68
Tabel 4.3	Waktu Mengikat Dan Mengeras Semen (ASTM C 191-92)	69
Tabel 4.4	Berat Jenis Semen (ASTM 188-89)	71
Tabel 4.5	Berat Volume Semen (ASTM C 188 – 89)	71
Tabel 4.6	Kelembaban Pasir (ASTM C 566 – 89)	72
Tabel 4.7	Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)	73
Tabel 4.8	Air Resapan Pasir (ASTM C 128 – 93)	73
Tabel 4.9	Berat Volume Pasir (ASTM C 29 / C 29 M - 91)	74
Tabel 4.10	Kadar Zat Organik (ASTM C 40 – 92)	75
Tabel 4.11	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan) (ASTM C33 – 93)	76
Tabel 4.12	Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 – 95	76
Tabel 4.13	Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 556 – 89)	77
Tabel 4.14	Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)	78
Tabel 4.16	Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/ 29M-91a)	C 79
Tabel 4.17	Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 – 95)	80
Tabel 4.18	Keausan Batu Pecah (ASTM C 131 – 89)	81

5.1.2	Benda Uji $f'c$ 30 MPa	210
5.1.3	Benda Uji $f'c$ 35 MPa	212
5.2	Nilai Daktilitas	213
5.2.1.	Benda Uji $f'c$ 25 Mpa	213
5.2.1.1.	Benda Uji A	213
5.2.1.2.	Benda Uji B	215
5.2.2.	Benda Uji $f'c$ 30 Mpa	216
5.2.2.1.	Benda Uji A	216
5.2.2.2.	Benda Uji B	217
5.2.3.	Benda Uji $f'c$ 35 Mpa	219
5.2.3.1.	Benda Uji A	219
5.2.3.2.	Benda Uji B	220
5.3	Energi Disipasi Benda Uji	221
5.3.1	Benda Uji $f'c$ 25 MPa	221
5.3.2	Benda Uji $f'c$ 30 MPa	225
5.3.3	Benda Uji $f'c$ 35 MPa	229
5.4	Perbandingan Harga P_u/P_n dengan $\Delta u/\Delta n$	233
5.4.1.	Benda Uji $f'c$ 25 Mpa	233
5.4.2.	Benda Uji $f'c$ 30 Mpa	234
5.4.3.	Benda Uji $f'c$ 35 Mpa	235
BAB VI PENUTUP		237
6.1.	Kesimpulan	237
6.2.	Saran	238

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Tabel 4.40	Kuat Tekan Silinder Setelah Dikorelasi	123
Tabel 4.41	Data Tes Kuat Tekan Beton $f'c$ 35 MPa (ASTM 523-75)	125
Tabel 4.42	Kuat Tekan Silinder Setelah Dikorelasi	126
Tabel 4.43	Data Tes Tarik Tulangan \varnothing 10 mm	128
Tabel 4.44	Data Tes Tarik Tulangan \varnothing 12 mm	129
Tabel 4.45	Data Hasil Tes Ultrasonic Pulse Velocity Sebelum Tes Lentur	129
Tabel 4.46	Data Hasil Tes Ultrasonic Pulse Velocity Setelah Direpair	130
Tabel 4.47	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A)	182
Tabel 4.48	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B)	183
Tabel 4.49	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A) Setelah Repair	185
Tabel 4.50	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B) Setelah Repair	186
Tabel 4.51	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A)	188
Tabel 4.55	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B)	189
Tabel 4.53	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A) Setelah Repair	190
Tabel 4.54	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B) Setelah Repair	192
Tabel 4.58	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A)	193
Tabel 4.56	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B)	194
Tabel 4.57	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A) Setelah Repair	196
Tabel 4.58	Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B) Setelah Repair	197
Tabel 4.59	Hasil Pengetesan Benda Pembanding $f'c$ 25 MPa	199
Tabel 4.60	Hasil Pengetesan Benda Pembanding $f'c$ 30 MPa	200

Tabel 4.19	Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 – 01) R	81
Tabel 4.20	Analisa Ayakan Batu Pecah	82
Tabel 4.21	Tabel Analisa Ayakan Campuran Pasir Dan Batu Pecah	84
Tabel 4.22	Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment)	86
Tabel 4.23	Banyaknya Bahan Yang Dibutuhkan Untuk Campuran Beton Dalam Kondisi SSD	90
Tabel 4.25	Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment)	91
Tabel 4.26	Banyaknya Bahan Yang Dibutuhkan Untuk Campuran Beton Dalam Kondisi SSD	95
Tabel 4.27	Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli	96
Tabel 4.28	Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment)	97
Tabel 4.29	Banyaknya Bahan Yang Dibutuhkan Untuk Campuran Beton Dalam Kondisi SSD	100
Tabel 4.30	Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli	101
Tabel 4.31	Berat Volume Beton Segar $f'c$ 25 MPa (ASTM C 138-77)	117
Tabel 4.32	Berat Volume Beton Untuk $f'c$ = 30 Mpa (ASTM C 138-77)	117
Tabel 4.33	Berat Volume Beton Untuk $f'c$ = 35 Mpa (ASTM C 138-77)	118
Tabel 4.34	Slump Test $f'c$ 25 MPa (ASTM C143-78).	118
Tabel 4.35	Slump Test $f'c$ 30 MPa (ASTM C143-78)	119
Tabel 4.36	Slum Test $f'c$ = 35 MPa (ASTM C143-78)	119
Tabel 4.37	Data Tes Kuat Tekan Beton $f'c$ 25 MPa (ASTM 523-75)	120
Tabel 4.38	Kuat Tekan Silinder Setelah Dikorelasi	120
Tabel 4.39	Data Tes Kuat Tekan Beton $f'c$ 30 MPa (ASTM 523-75)	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi Regangan Balok <i>Underreinforced</i>	13
Gambar 2.2	Defleksi Balok <i>Underreinforced</i> Akibat Beban Maksimum	13
Gambar 2.3	Variasi ϕ Yang Terjadi Berdasarkan ϵ_t Yang Terjadi ($f_y = 400$ Mpa)	14
Gambar 2.4	Berbagai Macam Kriteria Regangan Pada Penampang Beton Menurut <i>Unified Design Method</i>	15
Gambar 2.5	Perilaku Balok Bertulang Yang Bertambah Besarnya Secara Berangsur-Angsur.	18
Gambar 2.6	Pola Retak Lentur Pada Balok	19
Gambar 2.7	Pola Retak Tarik Diagonal Pada Balok	19
Gambar 2.8	Pola Retak Geser Pada Balok	20
Gambar 2.9	Repair Dengan Metode Injeksi	24
Gambar 2.10	Repair Dengan Metode Gravity Feed With Resin	25
Gambar 2.11	Repair Dengan Metode Low Pressure Spraying	25
Gambar 2.12	Repair Dengan Metode Form and Pour Techniques	26
Gambar 2.13	Repair Dengan Metode Form and Pump Techniques	26
Gambar 2.14.	Grafik hubungan antara beban P dan defleksi Δ	27
Gambar 2.15.	Sudut yang terjadi saat balok di bebani	28
Gambar 2.16.	Cara menentukan energi disipasi	29
Gambar 3.1	Folwchart Penyelesaian Tugas Akhir	31
Gambar 3.2	Setting Benda Uji Silinder di UTM	60
Gambar 3.3	Skema Metode Third-Point Loading	61
Gambar 3.4	Jalur Retakan Pada Balok	62
Gambar 3.5	Lokasi Titik Injeksi (Nipple)	63
Gambar 3.6	konfigurasi transducer pada UPV tes	64

Tabel 4.61 Hasil Pengetesan Benda Pembanding
 $f'c$ 35 MPa

202

Gambar 4.20	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi Plastis.	136
Gambar 4.21	Skema posisi pembebanan third point loading test beton mutu 25 MPa.	137
Gambar 4.22	Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi elastis.	140
Gambar 4.23	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 Mpa dalam kondisi elastoplastis.	142
Gambar 4.24	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi Plastis.	144
Gambar 4.25	Skema posisi pembebanan third point loading test beton mutu 30 MPa.	145
Gambar 4.26	Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastis.	148
Gambar 4.27	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastoplastis.	150
Gambar 4.28	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi Plastis.	152
Gambar 4.29	Skema posisi pembebanan third point loading test beton mutu 35 MPa.	153
Gambar 4.30	Gambar Bidang M Mutu Beton 25 MPa	155
Gambar 4.31	Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastis.	158
Gambar 4.32	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastoplastis.	159
Gambar 4.33	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi ultimate	160
Gambar 4.34	Hubungan regangan arah x dan arah y pada kondisi plane stress	161
Gambar 4.35	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi plastis	163

Gambar 4.1	Grafik Konsistensi Normal Semen Portland	67
Gambar 4.2	Waktu Mengikat Dan Mengeras Semen	70
Gambar 4.3	Grafik Lengkung Ayakan Pasir	82
Gambar 4.4	Grafik Lengkung Ayakan Batu Pecah	83
Gambar 4.5	Grafik Lengkung Ayakan Campuran	85
Gambar 4.6.	Diagram regangan dan tegangan pada beton bertulang mutu 25 MPa.	102
Gambar 4.7	Variasi ϕ yang terjadi berdasarkan ϵ_t yang terjadi	103
Gambar 4.8	Diagram regangan dan tegangan pada beton bertulang mutu 30 MPa.	106
Gambar 4.9	Variasi ϕ yang terjadi berdasarkan ϵ_t yang terjadi	107
Gambar 4.10	Diagram regangan dan tegangan pada beton bertulang mutu 35 MPa.	110
Gambar 4.11	Variasi ϕ yang terjadi berdasarkan ϵ_t yang terjadi	111
Gambar 4.12	Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Dua Silinder F'_c 25 Mpa	121
Gambar 4.13	Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Tiga Silinder F'_c 25 Mpa	122
Gambar 4.14	Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Dua Silinder f'_c 30 Mpa	124
Gambar 4.15	Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Tiga Silinder f'_c 30 MPa	125
Gambar 4.16	Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Dua Silinder f'_c 35 Mpa	127
Gambar 4.17	Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Tiga Silinder f'_c 35 MPa	128
Gambar 4.18	Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastis.	132
Gambar 4.19	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastoplastis.	134

Gambar 4.53	Grafik Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A) Setelah Repair	186
Gambar 4.54	Grafik Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B) Setelah Repair	187
Gambar 4.52	Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A)	189
Gambar 4.56	Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B)	190
Gambar 4.57	Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A) Setelah Repair	191
Gambar 4.55	Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B) Setelah Repair	193
Gambar 4.59	Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A)	194
Gambar 4.60	Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B)	196
Gambar 4.61	Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A) Setelah Repair	197
Gambar 4.62	Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B) Setelah Repair	199
Gambar 4.63	Grafik Benda Uji Perbandingan $f'c$ 25 MPa	200
Gambar 4.64	Grafik Benda Uji Perbandingan $f'c$ 30 Mpa	202
Gambar 4.65	Grafik Benda Uji Perbandingan $f'c$ 35 Mpa	203
Gambar 4.66	Pola Retak Benda Uji A Mutu ($f'c$ 25 MPa)	204
Gambar 4.67	Pola Retak Benda Uji B Mutu ($f'c$ 25 MPa)	204
Gambar 4.68	Pola Retak Benda Uji A Mutu ($f'c$ 30 MPa)	205
Gambar 4.69	Pola Retak Benda Uji B Mutu ($f'c$ 30 MPa)	206
Gambar 4.70	Pola Retak Benda Uji A Mutu ($f'c$ 35 MPa)	206
Gambar 4.71	Pola Retak Benda Uji B Mutu ($f'c$ 35 MPa)	207
Gambar 5.1	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A)	209
Gambar 5.2	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B)	209
Gambar 5.3	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (C)	210

Gambar 4.36	Grafik P- Δ Secara teoritis Benda Uji Mutu 25 Mpa	164
Gambar 4.37	Gambar Bidang M Mutu Beton 30 MPa	164
Gambar 4.38	Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi elastis.	167
Gambar 4.39	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi elastoplastis.	168
Gambar 4.40	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi ultimate	169
Gambar 4.41	Hubungan regangan arah x dan arah y pada kondisi plane stress	170
Gambar 4.42	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi plastis	172
Gambar 4.43	Grafik P- Δ Secara teoritis Benda Uji Mutu 30 Mpa	173
Gambar 4.44	Gambar Bidang M Mutu Beton 35 MPa	173
Gambar 4.45	Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastis.	176
Gambar 4.46	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastoplastis.	177
Gambar 4.47	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi ultimate	178
Gambar 4.48	Hubungan regangan arah x dan arah y pada kondisi plane stress	180
Gambar 4.49	Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi pastis	181
Gambar 4.50	Grafik P- Δ Secara teoritis Benda Uji Mutu 35 MPa	182
Gambar 4.51	Grafik Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A)	183
Gambar 4.52	Grafik Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B)	185

(menginjeksi) retakan dengan bahan tertentu agar tulangan di dalam beton terlindung dan balok dapat berfungsi secara optimal. Sehingga lebih hemat dari segi finansial dan waktu untuk menyelesaikan proyek lebih cepat daripada harus mengganti struktur dengan yang baru. Dan diharapkan beton yang telah diperbaiki (*di-repair*) mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada beton yang tidak diperbaiki (*di-repair*).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain :

1. Bagaimana kekuatan awal balok *underreinforced concrete* apabila balok tersebut menerima beban ultimate.
2. Bagaimana kondisi retak balok *underreinforced concrete* setelah dibebani sebesar beban *ultimate*.
3. Bagaimana cara menginjeksi retak yang terjadi pada balok *underreinforced concrete*.
4. Bagaimana kekuatan akhir balok *underreinforced concrete* setelah di injeksi.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

- 1) Menghitung Mix desain beton sesuai kuat rencana yang telah di tentukan
- 2) Mengetahui jumlah serta diameter tulangan *underreinforced* yang dipasang.
- 3) Mengetahui kemampuan pikul balok serta besarnya lendutan yang terjadi setelah dibebani.
- 4) Mengetahui kemampuan pikul balok yang telah direpair serta besarnya lendutan tambahan yang terjadi.
- 5) Mengetahui apakah perbaikan (*repair*) dengan metode injeksi cocok untuk diterapkan untuk struktur/banguna

Gambar 5.4	Perbandingan P – Δ Pengujian dan teoritis Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A)	210
Gambar 5.5	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B)	211
Gambar 5.6	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (C)	211
Gambar 5.7	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A)	212
Gambar 5.8	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B)	212
Gambar 5.9	Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (C)	213
Gambar 5.10	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A	214
Gambar 5.11	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B	215
Gambar 5.12	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A	216
Gambar 5.13	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B	218
Gambar 5.14	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A	219
Gambar 5.15	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B	220
Gambar 5.16	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A	222
Gambar 5.17	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B	224
Gambar 5.18	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A	226
Gambar 5.19	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B	228
Gambar 5.20	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A	230

Gambar 5.21	Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B	232
Gambar 5.22	Grafik Hubungan antara P_u/P_n dan $\Delta u/\Delta n$ benda uji 25 Mpa	234
Gambar 5.23	Grafik Hubungan antara P_u/P_n dan $\Delta u/\Delta n$ benda uji 30 Mpa.	235
Gambar 5.24	Grafik Hubungan antara P_u/P_n dan $\Delta u/\Delta n$ benda uji 35 Mpa.	236

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hampir semua bangunan di Indonesia menggunakan beton. Karena beton merupakan material konstruksi yang mempunyai kemampuan durabilitas, perilaku serta kinerja dengan ketahanan yang baik terhadap lingkungan luar serta mempunyai keunggulan dalam hal kekuatan tekan, akan tetapi lemah dalam kekuatan tarik. Pada balok didesain dengan menggunakan tulangan dalam kondisi *underreinforced*, yaitu tulangan yang dipasang sebesar 75% dari tulangan yang diperlukan pada penampang balanced ($\rho \leq 0.75 \rho_b$). Perencanaan *underreinforced* dimaksudkan untuk memberikan peringatan yang cukup, seperti defleksi yang berlebihan sebelum terjadinya keruntuhan yang ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja.

Kerusakan pada beton pasti akan terjadi, terutama sekali yang berkaitan dengan umur bangunan. Tetapi juga ada hal lain yang menyebabkan beton rusak yaitu akibat beban berlebih (*over load*) atau disebabkan karena kesalahan perhitungan maupun waktu pengerjaan. Kerusakan yang seringkali terjadi pada struktur bangunan khususnya balok adalah terjadi keretakan-keretakan. Retak yang terjadi pada balok ada beberapa macam yaitu retak lentur yang terjadi di daerah lapangan serta retak geser yang terjadi di tumpuan. Dan kerusakan-kerusakan tersebut tidak akan dibiarkan dan perlu dilakukan suatu perbaikan (*repair*) pada beton yang rusak tersebut. Karena penyebab dan jenis kerusakan berbeda maka cara atau metode yang dipakai dalam memperbaiki beton juga berbeda. (Aman Subakti, 1995).

Salah satu cara/metode dalam memperbaiki beton adalah cara injeksi. Metode ini dilakukan untuk memperbaiki beton yang rusak akibat retak yang terjadi pada daerah tarik beton. Perbaikan dengan cara injeksi dilakukan dengan mengisi



(menginjeksi) retakan dengan bahan tertentu agar tulangan di dalam beton terlindungi dan balok dapat berfungsi secara optimal. Sehingga lebih hemat dari segi finansial dan waktu untuk menyelesaikan proyek lebih cepat daripada harus mengganti struktur dengan yang baru. Dan diharapkan beton yang telah diperbaiki (*di-repair*) mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada beton yang tidak diperbaiki (*di-repair*).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain :

1. Bagaimana kekuatan awal balok *underreinforced concrete* apabila balok tersebut menerima beban ultimate.
2. Bagaimana kondisi retak balok *underreinforced concrete* setelah dibebani sebesar beban *ultimate*.
3. Bagaimana cara menginjeksi retak yang terjadi pada balok *underreinforced concrete*.
4. Bagaimana kekuatan akhir balok *underreinforced concrete* setelah di injeksi.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

- 1) Menghitung Mix desain beton sesuai kuat rencana yang telah di tentukan
- 2) Mengetahui jumlah serta diameter tulangan *underreinforced* yang dipasang.
- 3) Mengetahui kemampuan pikul balok serta besarnya lendutan yang terjadi setelah dibebani.
- 4) Mengetahui kemampuan pikul balok yang telah direpair serta besarnya lendutan tambahan yang terjadi.
- 5) Mengetahui apakah perbaikan (*repair*) dengan metode injeksi cocok untuk diterapkan untuk struktur/banguna



yang mengalami retak, baik retak lentur maupun retak geser.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mix desain dilakukan dengan metode DOE untuk mencapai $f'c = 25$ MPa, $f'c = 30$ MPa, $f'c = 35$ MPa.
2. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder ukuran 15 cm x 30 cm dan balok bertulang dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 80 cm.
3. Material yang digunakan:
 - a) Semen : digunakan semen jenis I produksi PT. Semen Gresik. (ASTM C150-94)
 - b) Agregat kasar : batu pecah dengan ukuran maksimum 40 mm. (ASTM C33-93)
 - c) Agregat halus : pasir Lumajang (ASTM C33-93)
 - d) Air : air bersih dari PDAM.
4. Bahan repair menggunakan produk dari PT. SIKA yaitu Epoxy Jenis 2 (Sikadur 752)
5. Balok didesain dengan kondisi *underreinforced*.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Bahan Penyusun Beton

Menurut SNI 03-2847-2002, beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) yang membentuk masa padat. Sedangkan pengertian agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat yang berupa semen untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik.

Bahan baku pembentuk semen adalah :

1. Kapur (CaO) → dari batu kapur
2. Silika (SiO_2) → dari lempung
3. Alumina → dari lempung

2.1.1 Bahan Semen (Semen Portland)

2.1.1.1 Pembuatan Semen Portland

Semen portland dibuat dari serbuk halus kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16.

(Al_2O_3) dari lempung

Proses pembuatan semen terdiri dari penggilingan, pencampuran menurut suatu proses tertentu dan dengan pengawasan ketat. Dengan penggilingan dari klinker yang bulat dan disertai pemanasan mencapai 1450°C material akan menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan dan digiling sampai halus (*fine powder*), disertai penambahan 3-5% gips (*gypsum*). Penambahan gips ini untuk mengendalikan *setting time* akan menghasilkan semen portland yang siap untuk digunakan sebagai bahan pengikat dari campuran beton.

2.1.1.2 Tipe-Tipe Semen

Sesuai dengan klasifikasi yang ditentukan oleh ASTM (ASTM C595), ada 5 tipe semen portland yaitu tipe I, II, III, IV, dan V. Adapun penggunaan serta bahan penyusun semen tipe I sampai tipe V tersaji dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Tipe-Tipe Semen Dan Bahan Penyusunnya

Tipe ASTM	Penggunaan	Karakteristik	Prosentase			
			C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Tipe I Standar	Bangunan-bangunan beton biasa	-	53	24	8	8
Tipe II Modified, panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat sedang	Pembetonan massal dan biasa	-	47-50	32	3-8	12
Tipe III Cepat mengeras, kekuatan awal tinggi	Pembetonan di musim dingin	-	58	16	8	8
Tipe IV Panas hidrasi rendah	Pembetonan massal	Mempunyai kadar C ₃ A dan C ₃ S yang tinggi	26-35	54-40	2-7	12
Tipe V Tahan terhadap sulfat	Air mengandung sulfat dan air di laut	Kadar rendah dari C ₃ A dan C ₃ S	Max 50		Max 5	
Semen putih	Beton putih khusus	Kadar rendah dari C ₃ A, C ₄ AF, dan MgO	51	26	11	1

2.1.1.2.1 Semen Portland Tipe I

Semen portland tipe I merupakan semen portland standar yang digunakan untuk semua bangunan beton yang tidak akan

mengalami perubahan cuaca yang dahsyat atau dibangun dalam lingkungan yang sangat korosif.

2.1.1.2.2 Semen Portland Tipe II

Semen tipe ini digunakan untuk bangunan yang menggunakan pembetonan secara massal, seperti dam, panas hidrasi tertahan dalam bangunan untuk jangka waktu yang lama. Pada saat terjadi pendinginan timbul tegangan-tegangan akibat perubahan panas yang akan menyebabkan retak-retak pada bangunan. Untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan itu, dibuatlah jenis semen yang mengeluarkan panas hidrasi lebih rendah serta dengan kecepatan penyebaran panas yang rendah pula. Selain itu semen tipe ini lebih tahan terhadap serangan sulfat daripada semen tipe I. Semen tipe II disebut juga *modified portland cement*.

2.1.1.2.3 Semen Portland Tipe III

Semen portland tipe III adalah jenis semen yang cepat mengeras, yang cocok untuk pengecoran beton pada suhu rendah. Butiran-butiran semen jenis ini digiling lebih halus daripada butiran-butiran semen tipe I untuk mempercepat proses hidrasi, yang diikuti dengan percepatan pengerasan serta percepatan pengembangan kekuatan. Kekuatan tekan 3 hari semen tipe III adalah sama dengan kekuatan tekan semen tipe I umur 7 hari. Semen tipe III disebut juga "semen dengan kekuatan awal tinggi". Jenis ini digunakan bilamana kekuatan harus dicapai dalam waktu yang singkat dan biasanya dipakai pada pembuatan jalan yang harus cepat dibuka untuk lalu lintas.

2.1.1.2.4 Semen Portland Tipe IV

Semen portland tipe IV ini menimbulkan panas hidrasi rendah dengan prosentase maksimum untuk C_3S sebesar 35%, C_3A sebesar 7% dan C_2S maksimum 40%. Semen tipe IV ini tidak lagi diproduksi dalam jumlah besar seperti pada waktu

pembuatan Hoover Dam, dan diganti dengan tipe II yang disebut "*modified portland cement*".

2.1.1.2.5 Semen Portland Tipe V

Semen portland tipe V ini, tahan terhadap serangan sulfat serta mengeluarkan panas. Garam-garam sulfat yang aktif menyerang adalah $MgSO_4$ dan Na_2SO_4 . Serangan-serangan ini akan dipercepat apabila disertai dengan silih bergantinya keadaan kering dan basah.

2.1.1.2.6 Semen Putih

Jenis semen ini dibuat dari batu kapur yang bebas besi, quarts, pasir dan kaolin. Semen putih menunjukkan suatu produk dari teknologi tertinggi yang dapat dicapai oleh industri semen. Sesuai syarat-syarat untuk semen portland dapat dipenuhinya. Oleh karena penggilingan serbuknya mahal, demikian juga bahan bakunya, maka semen putih termasuk jenis semen portland yang mahal.

2.1.1.3 Waktu Pengikatan Dan Pengerasan Semen

Semen portland merupakan bahan pengikat hidrolis, yang berarti bahwa pengerasannya hanya tergantung pada reaksi kimia yang disebabkan oleh air dan semen. Sehingga semen portland dapat mengeras meskipun di dalam air. Pada umumnya dibutuhkan kira-kira 20% air dari berat semen yang dipakai agar semen itu dapat mengeras. Waktu pengikatan adalah peralihan dari keadaan plastis ke keadaan keras. Sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah pengikatan itu selesai.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pengikatan awal dari semen:

1. Umur semen

Semen yang sudah disimpan dalam jangka waktu lama akan menyerap air dan zat asam arang dari udara, sehingga terjadi pra-hidrasi. Akibatnya adalah waktu

pengikatan semen lambat dan kekuatan tekan lebih rendah.

2. Suhu

Kecepatan suatu reaksi kimia tergantung pada suhu dari masa yang bereaksi serta suhu lingkungannya.

3. Jumlah air yang dibutuhkan

Agar reaksi kimia antar semen dan air dapat berlangsung dengan sempurna maka dibutuhkan air sebanyak kira-kira 20% dari berat semen.

2.1.2 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang besar (*Edward G. Nawi, 1990*).

Dua jenis agregat penyusun beton menurut ASTM (ASTM C33-86) adalah:

- 1) Agregat Halus/*Fine Aggregate* (pasir alami dan buatan)
- 2) Agregat Kasar/*Coarse Aggregate* (kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari *blast-furnace*)

2.1.2.1 Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Ukurannya bervariasi antara ukuran no. 4 dan no. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no. 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton. Variasi ukuran dalam suatu campuran harus mempunyai gradasi yang baik.

Adapun syarat-syarat agregat halus (pasir) untuk campuran beton adalah sebagai berikut:

- a. Pasir yang dipakai untuk membuat campuran beton dapat berupa pasir alam maupun pasir buatan.
- b. Pasir harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras serta tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Pasir tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
- d. Pasir tidak boleh mengandung lumpur melebihi 5% (terhadap berat kering) dan bila melampaui, pasir tersebut harus dicuci.

2.1.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Kerikil yang akan dipakai untuk membuat campuran beton dapat berupa kerikil alam sebagai hasil dari disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari mesin pemecah batu.
- b. Kerikil atau batu pecah harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori serta mempunyai sifat kekal (tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan). Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
- c. Sifat kekal dari agregat kasar dapat diuji dengan larutan jenuh garam sulfat sebagai berikut :
 - ❖ Jika dipakai natrium sulfat (Na_2SO_4), bagian yang hancur maksimum 12% berat agregat.
 - ❖ Jika dipakai magnesium sulfat (MgSO_4), bagian yang hancur maksimum 12% berat agregat.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton seperti bahan-bahan yang reaktif

sekali dan harus dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan NaOH.

- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.
- f. Kekerasan dari agregat kasar diperiksa dengan bejana pengujian dari Rudeloff dengan beban pengujian 20 ton dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24% berat.
 - Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19-30 mm lebih dari 22% berat.
- g. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan ayakan standard ISO harus memenuhi syarat sebagai berikut.
- h. Besar butir agregat kasar maksimum tidak boleh lebih daripada $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ dari tebal pelat atau $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas tulangan.

2.1.3 Air

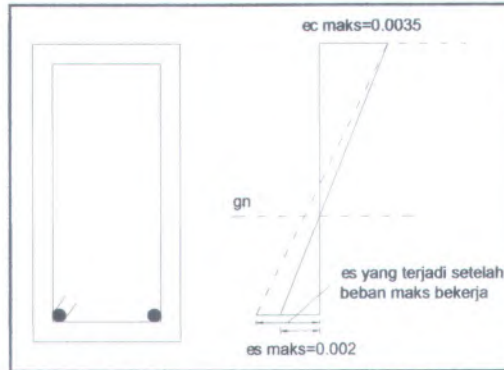
Air merupakan salah satu bahan yang penting dalam pembuatan beton. Peranan air sebagai material beton dapat menentukan mutu dalam campuran beton. Air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Adapun persyaratan air yang digunakan untuk membuat beton adalah sebagai berikut :

- a. Air yang digunakan untuk membuat beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali dan garam-garam. Serta zat organik atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton dan baja tulangan. Air tawar yang dapat diminum, baik yang diolah oleh perusahaan air minum maupun tidak diolah dapat dipakai untuk pembuatan beton.

- b. Air yang digunakan untuk pembuatan beton pratekan dan beton yang di dalamnya akan tertanam logam aluminium, serta beton bertulang tidak boleh mengandung sejumlah ion klorida (Cl) sebanyak 500 mg per liter air.
- c. Air tawar yang tidak dapat diminum tidak boleh dipakai untuk pembuatan beton, kecuali dapat dipenuhi ketentuan-ketentuan berikut :
 - pemilihan campuran beton yang akan dipakai didasarkan kepada campuran beton yang mempergunakan air dari sumber yang sama yang telah menunjukkan bahwa mutu beton yang telah disyaratkan dapat dipenuhi.
 - dilakukan percobaan perbandingan antara mortar yang memakai air tersebut dengan mortar yang memakai air tawar yang dapat diminum atau air suling.
 Air tersebut dapat dipakai apabila kuat tekan mortar yang memakai air tersebut umur 7 hari dan 28 hari paling sedikit adalah 90% dari kuat tekan mortar yang memakai air tawar yang dapat diminum atau air suling.

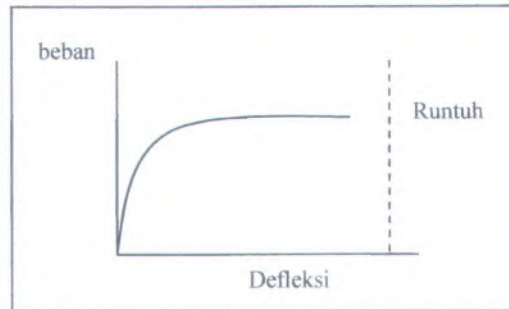
2.2 Balok *Underreinforced*

Hampir semua peraturan perencanaan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *underreinforced* untuk memberikan peringatan yang cukup, seperti defleksi yang berlebihan, sebelum terjadinya keruntuhan (*Edward G. Nawit, 1990*). Pada balok *underreinforced* keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja, tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan di atas ϵ_y . Kondisi demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*. ACI membatasi tulangan maksimum baja sampai 75% dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced* (*Edward G. Nawit, 1990*).



Gambar 2.1 Distribusi Regangan Balok *Underreinforced*

Defleksi dari balok *underreinforced* akibat beban yang bekerja disajikan dalam diagram di bawah ini.

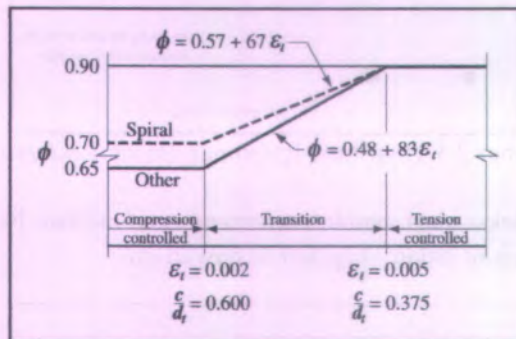


Gambar 2.2 Defleksi Balok *Underreinforced* Akibat Beban Maksimum

Dari diagram di atas diketahui bahwa jika balok *underreinforced* dibebani secara terus-menerus maka defleksi balok akan terus bertambah. Meskipun beban yang diberikan sudah tidak dapat ditambah lagi (ultimate) tetapi defleksi dari balok tetap bertambah sampai balok tersebut runtuh.

Pada peraturan yang baru nanti merujuk pada ACI 318-2002 tidak dikenal adanya istilah *underreinforced* dan *overreinforced* namun yang ada adalah istilah *tension* dan

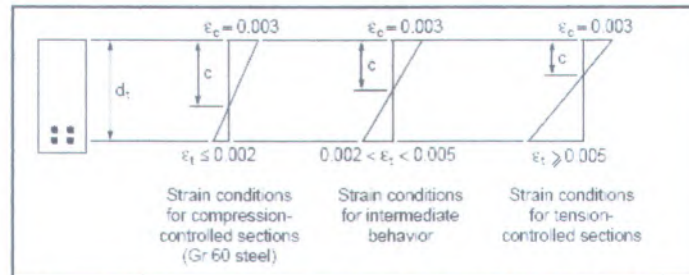
compression controlled sections yang menggunakan regangan tarik bersih (ϵ_t) yang diukur dari tulangan tarik terjauh terhadap serat tekan terjauh sebagai dasar dalam menentukan faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk elemen yang mengalami beban lentur dan aksial beton bertulang maupun pratekan, sehingga rasio penulangan dalam keadaan seimbang (ρ_b) tidak lagi diperlukan



Gambar 2.3 Variasi ϕ Yang Terjadi Berdasarkan ϵ_t Yang Terjadi ($f_y = 400$ Mpa)

Faktor reduksi yang lebih rendah diberikan untuk kondisi *compression* daripada kondisi *tension* karena kondisi *compression* memberikan daktilitas yang lebih rendah. Kondisi *compression* juga lebih sensitif terhadap variasi dari kekuatan beton. Bagian yang menggunakan tulangan spiral diberikan faktor reduksi yang lebih tinggi karena mereka memiliki daktilitas yang lebih tinggi. (ACI 318-02)

Regangan tarik bersih di atas diukur pada $d_{ekstrem}$ (jarak dari tulangan pratekan atau non pratekan yang terjauh ke serat tekan terluar). Regangan pada $d_{ekstrem}$ ini sebagai tanda yang baik untuk menunjukkan daktilitas, potensial keretakan, maupun lebar keretakan dari elemen struktur beton.



Gambar 2.4 Berbagai Macam Kriteria Regangan Pada Penampang Beton Menurut *Unified Design Method*

Jadi dengan adanya konsep unified design ini perhitungan - perhitungan untuk mendesign penampang elemen beton dapat disederhanakan dengan menggunakan kondisi regangan untuk menjelaskan batas - batas antara kelakuan "*tension controlled sections*" dan "*compression controlled sections*", yaitu dengan satu perubahan dalam menentukan jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (d) yang nantinya digunakan untuk membuat batas - batas tersebut untuk menentukan besarnya faktor reduksi (ϕ) dalam menghitung kapasitas penampang. Dengan konsep dan definisi yang baru tersebut berarti bukan hal yang mustahil apabila pada perencanaan yang baru nanti balok overreinforced dapat digunakan dalam merencanakan sebuah balok dalam struktur beton bertulang.

2.3 Kerusakan pada Beton

Kerusakan pada struktur dapat terjadi antara lain karena perencanaan yang kurang matang, cacat/defects yang terjadi pada waktu konstruksi, kerusakan struktur akibat suatu hal (misalnya; kondisi lingkungan yang aggressive, kelebihan beban/*overload*, kualitas/mutu pelaksanaan yang buruk), perubahan fungsi struktur, peningkatan kapasitas beban, peningkatan masa layan (Dicky R. Munaf,dkk,2003).

Adapun kerusakan yang sering terjadi pada struktur beton bertulang baik itu sebelum maupun sesudah beban maksimum bekerja adalah sebagai berikut :

2.3.1 Retak Pada Beton (*crack*)

Retak (*crack*) pada beton terjadi apabila tegangan tarik (*tensile-stress*) yang terjadi melebihi kekuatan tarik (*tensile-strength*) yang tersedia pada balok beton bertulang, dan juga retak pada beton bertulang dapat pula terjadi apabila permukaan beton mengering dengan cepat sehingga *shrinkage* pada beton sangat besar. Mengingat sifat beton yang *elasto-plastis* (getas) terjadinya retak tidak dapat dihindari, karenanya perlu dibatasi.

Tabel 2.2 Batasan Lebar Retak Menurut PBI 1971

No	Keadaan Bangunan	Lebar Retak Maks (mm)
1	Beton di dalam ruang bangunan	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif 	<ul style="list-style-type: none"> 0.3 0.2
2	Beton di luar ruangan	
	<ul style="list-style-type: none"> a. Terlindung dari hujan dan terik matahari b. Tidak terlindung, kontinyu berhubungan dengan air dan tanah atau berada pada lingkungan agresif. 	<ul style="list-style-type: none"> 0.2 0.1

*) angka-angka diatas dikalikan dengan 1,5 bila beton dengan lapisan proteksi.

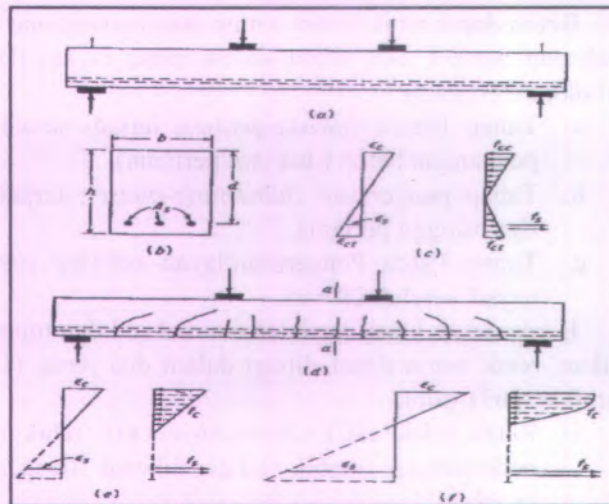
Beton dapat retak dalam setiap atau masing-masing pada tiga tahapan berikut saat beton dalam masa layan, (Dicky R. Munaf,dkk,2003) yaitu:

- a. Tahap Plastis (*plastic-phase*), terjadi sesaat setelah penuangan beton (dua jam pertama).
- b. Tahap pengerasan (*hardening-phase*), terjadi dalam tiga minggu pertama.
- c. Tahap Pasca Pengerasan/layan (*service life-phase*), terjadi setelah 28 hari.

Berdasarkan klasifikasi dengan maksud dan tujuan untuk perbaikan, retak beton dapat dibagi dalam dua jenis, (Dicky R. Munaf,dkk,2003) yaitu:

- 1) Retak tidak aktif (*dormant-cracks*), retak ini tidak berkembang/ stabil, lebih dikenal dengan *dead-cracks*.
- 2) Retak Aktif (*active-cracks*), retak ini masih berlanjut baik lebar maupun panjang retakan, lebih dikenal dengan *life-cracks*

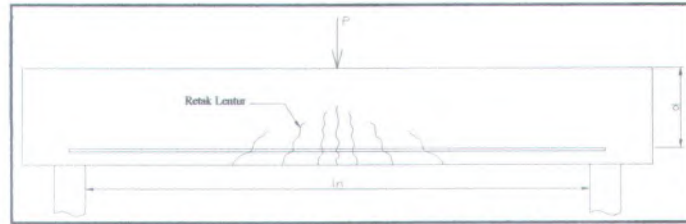
Apabila pembebanan pada balok ditambah secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai mencapai suatu harga yang dapat menyebabkan hancurnya balok, maka bisa dibedakan dengan jelas adanya beberapa perilaku yang berbeda.



Gambar 2.5 Perilaku Balok Bertulang Yang Bertambah Besar Secara Berangsur-Angsur.

2.3.1.1 Retak Lentur (Flexural)

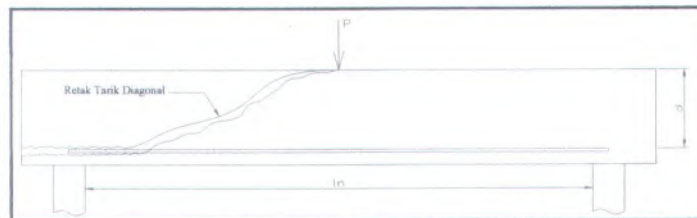
Retak lentur terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Retak-retak ini diakibatkan oleh tegangan geser v yang sangat kecil dan tegangan lentur f yang sangat dominan yang besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal $f_{t(max)}$. Retak yang terjadi berarah vertikal di daerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban runtuh lentur. Apabila bebannya bertambah terus, retak-retak di tengah bentang bertambah dan retak awal yang terjadi semakin lebar dan semakin panjang menuju ke sumbu netral penampang. (Edward G. Nawy, 1998)



Gambar 2.6 Pola Retak Lentur Pada Balok

2.3.1.2 Retak Tarik Diagonal

Retak ini terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatannya. Retak tarik diagonal mulai terjadi karena rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton sekitarnya, pada perletakan setelah terjadinya retak lentur halus. Daerah yang mengalami retak tarik diagonal terdapat pada jarak $1,5d$ sampai $2d$ dari muka perletakan. Untuk mencapai kestabilan, satu retak diagonal ini melebar ke dalam retak tarik diagonal utama, seperti yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini. (Edward G. Nawy, 1998)

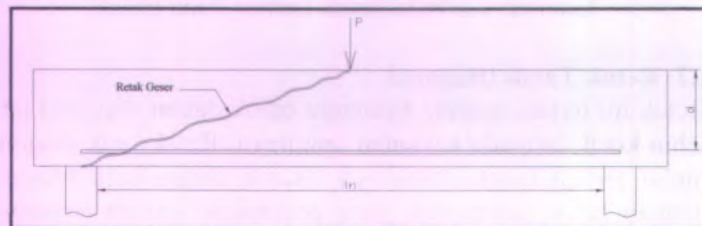


Gambar 2.7 Pola Retak Tarik Diagonal Pada Balok

2.3.1.3 Retak Geser (Shear)

Balok-balok yang mengalami retak geser jika perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang a/d sebesar 1 sampai 2,5 untuk beban terpusat, dan kurang dari 5,0 untuk beban terdistribusi. Retak geser terjadi dimulai dari adanya retak lentur halus vertikal dan tidak terus menjangar, karena terjadinya kehilangan lekatan antara tulangan membujur

(longitudinal) dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan. Setelah itu diikuti retak miring, yang lebih curam daripada retak diagonal tarik, secara tiba-tiba dan menjalar terus menuju sumbu netral. Kecepatan penjalaran ini semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas. (Edward G. Nawy, 1998)



Gambar 2.8 Pola Retak Geser Pada Balok

2.3.2 *Spalling*

Spalling adalah kerusakan yang terjadi pada permukaan beton yang berupa keluarnya sebagian permukaan beton, spalling terjadi akibat bentukan beton yang tidak masif (*un-sound concrete*) dan biasanya *spalling* terjadi pada beton dengan usia relatif tua.

2.3.3 *Surface Erosion*.

Surface Erosion atau erosi permukaan adalah kerusakan yang terjadi pada permukaan beton bertulang yang berupa timbulnya lubang-lubang kecil sebagai akibat dari adanya proses kimiawi pada beton, abrasi oleh air maupun karena pengaruh cuaca.

2.3.4 *Dis-colouration*

Noda kotor atau perubahan warna yang terjadi pada permukaan beton bertulang atau diantara *joint* pada elemen struktur, sebagai akibat dari proses biologi, kimiawi maupun rembesan air atau cairan kimia.

2.4 Material Perbaikan Beton

Beberapa bahan yang sering dipergunakan sebagai material perbaikan beton menurut *Jonbi, Ir, 2004* adalah sebagai berikut :

- *Grouting*
- *Epoxy*
- *Bonding Agent*
- *Repair*
- *Shotcrete*

2.4.1 *Grouting (non shrink grout)*

Adalah bahan grout siap pakai, terdiri satu komponen. Bahan ini memiliki kemudahan kerja (*workability*) yang tinggi dan kekuatan yang tinggi.

Kegunaan utama:

- Dudukan pondasi mesin
- Pengisian ankur
- Perbaikan beton pada bagian yang keropos
- *Bearing pads*

Keuntungan:

- Kekuatan tinggi
- Tahan beban impact dan beban bergerak
- Tidak terjadi penyusutan dan segregasi
- Ekonomis

2.4.2 *Epoxy*

Ada dua jenis epoxy yang banyak digunakan;

- 1). Epoxy untuk keperluan bonding, menyatukan dua material yang berbeda.
- 2). Epoxy untuk keperluan injeksi dalam perbaikan keretakan pada beton.

Epoxy jenis I

Kegunaan:

- Perekat keramik, besi, aluminium, kayu, asbes, kaca dan karet.

- Penyambungan beton pracetak, pengisian lubang ankur.
- Perbaikan vertikal dan overhead.

Keuntungan:

- Kekuatan perekatan sangat baik.
- Tahan beban impact dan abrasi.
- Tidak menyusut.
- Mudah dikerjakan.

Epoxy jenis II

Kegunaan:

- Mengisi celah dan keretakan struktur beton, seperti pada kolom, balok, pondasi.
- Lebar keretakan minimum 0.2 mm dan maksimum 5 mm.

Keuntungan:

- Super *low viscosity*
- Dapat diaplikasikan dalam keadaan kering dan kondisi lembab.
- Memiliki adhesive dan mekanik yang kuat.
- Keras namun tidak getas.

Adapun karakteristik dari Epoxy Jenis 2 (Sikadur 752) adalah :

- Kekuatan Tekan = 640 Mpa
- Kekuatan Lentur = 400 Mpa
- Kekuatan Tarik = 270 Mpa
- Adhesive (beton) = 30 Mpa
- Adhesive (baja) = 90 MPa

2.4.3 Bonding agent

Ada beberapa tipe *bonding agent* seperti; *synthetic resin dispersion*, *styrene butadiene rubber*, *polyvinyl acetate* dan bahan epoxy.

Kegunaan:

- Penyambungan beton lama dan baru.
- Plesteran dan acian.
- Perekat untuk bahan patching dan repair mortar.

Keuntungan:

- Memiliki adhesive yang baik.
- Menambah elastisitas.
- Mengurangi shrinkage.
- Ketahanan kimia dan abrasi yang meningkat

2.4.4 Repair

Kegunaan:

- Perbaiki permukaan beton
- Perbaiki keretakan beton non struktural
- Pengisian keropos kecil pada beton
- Perbaiki leveling lantai.
- Perkat pada pasangan keramik, beton ringan

Keuntungan:

- Kekuatan yang tinggi terutama lenturnyan.
- Tidak retak dan fleksibel
- Kedap air.
- Mudah pemasangannya.

2.4.5 Shotcrete

Kegunaan:

- Cocok untuk kontruksi beton
- Perkerasan dan stabilisasi slope
- Repair balok dan kolom

Keuntungan:

- Dapat menekan biaya bekisting.
- Ketebalan beton dapat diatur.
- Ekonomis.

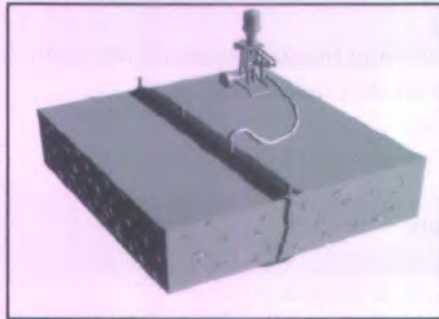
2.5 Perbaikan Beton (Repair)

Akhir-akhir ini masalah perbaikan beton (repair) terutama yang menyangkut bahan dan cara perbaikan mulai mendapat perhatian, karena kedua masalah ini mempengaruhi biaya perencanaan perbaikan konstruksi. (Aman Subakti,1995). Perbaikan (*repair*) pada struktur dimaksudkan untuk mengeliminir kerusakan suatu struktur sehingga kemampuan

struktur dapat dipertahankan (Dicky R. Munaf, dkk, 2003). Menurut ACI ada lima metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki kerusakan struktur yang berbeda, antara lain :

2.5.1 *Epoxy Injection*

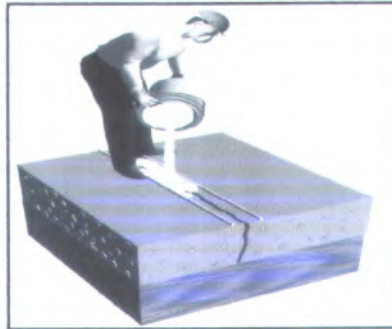
Epoxy injection digunakan pada retak horisontal maupun vertikal sebesar 0,2 sampai 5 mm, dimana metode lain tidak dapat digunakan untuk mengantarkan bahan repair kedalam retakan. Selain itu metode ini tidak dapat digunakan untuk memperbaiki retakan yang diakibatkan oleh korosi baja tulangan sebab korosi baja tulangan akan mengakibatkan retak bertambah parah.



Gambar 2.9 Repair Dengan Metode Injeksi

2.5.2 *Gravity Feed with Resin*

Metode ini hanya dapat digunakan untuk memperbaiki elemen struktur horisontal saja seperti jembatan, lantai parkir, pelat lantai, dan lain-lan. Selain itu metode ini tidak cukup efektif untuk memperbaiki retak yang terus bergerak, hal ini dikarenakan bahan yang digunakan tidak cukup fleksibel sebagai penyambung untuk jenis retak tersebut.



Gambar 2.10 Repair Dengan Metode Gravity Feed With Resin

2.5.3 *Low Pressure Spraying*

Low pressure spray digunakan untuk memperbaiki elemen struktur vertikal seperti pilar jembatan, terowongan, tank wall, dan dinding penahan tanah. Namun metode ini hanya dapat digunakan untuk dinding yang memiliki ketebalan 13 sampai 100 mm, selebihnya biaya untuk bahan akan membengkak.



Gambar 2.11 Repair Dengan Metode Low Pressure Spraying

2.5.4 *Form and Pour Techniques*

Teknik ini biasanya digunakan untuk memperbaiki permukaan vertikal seperti dinding dan kolom, keuntungan yang didapat apabila menggunakan teknik ini adalah:

- Dapat menggunakan bermacam-macam bahan yang berbeda.

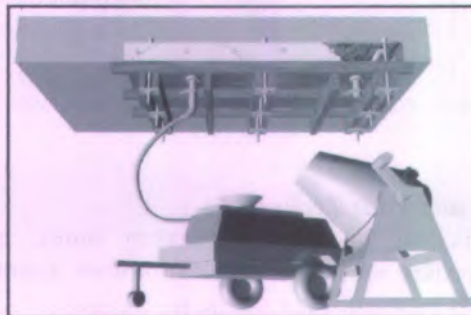
- Bahan repair dapat diatur agar memenuhi rongga tulangan.
- Bekisting dapat mencegah percepatan pengeringan sehingga meminimalisir terjadinya retak.



Gambar 2.12 Repair Dengan Metode Form and Pour Techniques

2.5.5 *Form and Pump Techniques*

Form and pump techniques digunakan pada permukaan vertikal seperti dinding, kolom, dan kombinasi yang lain. Bahan perekat seperti grout dan epoxy tidak biasa digunakan untuk teknik ini. Untuk penggunaan di beberapa proyek disarankan untuk melakukan percobaan terlebih dahulu menyangkut persiapan, material, maupun tempat pelaksanaan sebelum menggunakan teknik ini.



Gambar 2.13 Repair Dengan Metode Form and Pump Techniques

2.6 Daktilitas

Menurut SNI 03 - 1726 - 2002, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelepasan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut dapat berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan.

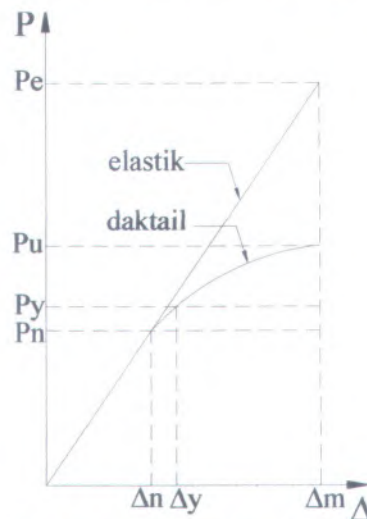
Dari pengertian diatas dapat dijabarkan bahwa daktilitas merupakan hubungan antara beban maksimum dan beban pada saat terjadinya leleh pertama, sehingga:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dimana : μ = Faktor daktilitas

Δu = Beban maksimum yang diterima oleh struktur

Δy = Beban pada saat terjadi leleh pertama



Gambar 2.14. Grafik hubungan antara beban P dan defleksi Δ

Daktilitas diatas dapat juga disebut *deflektion ductility* karena daktilitas diatas dapat dicari dengan menggunakan grafik hubungan antara beban (P atau V) dengan defleksi (Δ). Ada juga daktilitas suatu struktur yang dicari dengan menggunakan sudut yang terjadi pada saat suatu elemen struktur melendut, yang disebut dengan *curvature ductility*. Yang dirumuskan sebagai berikut:

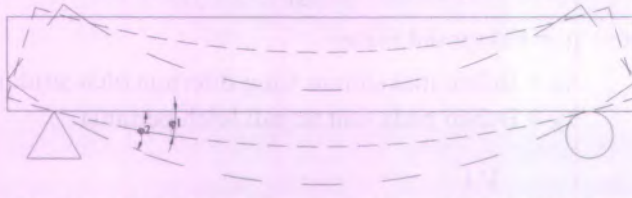
$$\mu = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$$

Dimana :

μ = Faktor daktilitas

φ_1 = Sudut saat terjadi leleh pertama

φ_2 = Sudut saat terjadi beban maksimum pada elemen struktur



Gambar 2.15. Sudut yang terjadi saat balok di bebani

2.7 Energi Disipasi

Energi disipasi adalah energi yang diperlukan oleh suatu elemen struktur untuk mencapai beban dan lendutan maksimum tanpa terjadinya keruntuhan pada elemen struktur tersebut. Dengan demikian energi disipasi dapat dicari dengan menggunakan luasan grafik hubungan antara beban P dan defleksi Δ , yang dirumuskan sebagai berikut:

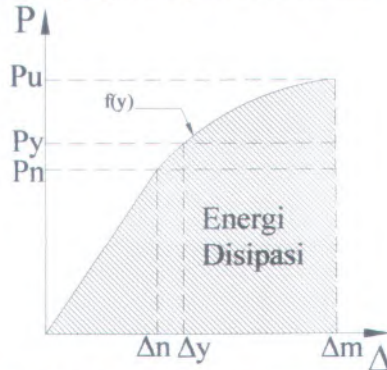
$$E = \int_{x_1}^{x_2} f(y) dx$$

Dimana : E = Energi disipasi

$f(y)$ = Persamaan grafik hubungan P dan Δ

- x_2 = Defleksi saat P mencapai maksimum
 x_1 = Defleksi saat P = 0

Untuk lebih jelasnya mengenai luasan energi disipasi dapat melihat gambar 2.16 yang terdapat dibawah ini.



Gambar 2.16. Cara menentukan energi disipasi

2.8 Penelitian Tentang Perbaikan (Repair) Beton

2.8.1 *Evaluation of Repair Materials for Use in Patching Damaged Concrete*

Penelitian ini dilakukan oleh T. J. Wipf, F. W. Klaiber, E. J. Raker dari Iowa State University. Dalam penelitiannya T. J. Wipf, F. W. Klaiber, E. J. Raker menggunakan lima macam bahan repair. Kelima bahan tersebut adalah :

- 1) portland cement concrete (PCC);
- 2) magnesium phosphate concrete (MPC);
- 3) epoxy polymer concrete (Epoxy PC);
- 4) methyl methacrylate polymer concrete (MMA PC);
- 5) latex-modified concrete (LMC).

Dalam penelitian ini disimpulkan tentang factor-faktor yang mempengaruhi ikatan antara beton baru dan beton lama, yaitu

- a) Factor air-semen dari adukan semen
- b) Ketebalan lapisan pengikat

- c) Pengaruh dari curing beton
- d) Pengaruh dari suhu pengerasan beton sebelum diberi lapisan pengikat
- e) Pengaruh dari penundaan waktu pemberian lapisan pengikat yang menggunakan polyvinyl acetate (PVA) dengan beton yang sudah mengeras.

Pada penelitian ini dibuat benda uji berupa balok dan silinder. Pada benda uji balok dilakukan tes untuk mengetahui defleksi balok. Pada balok juga dilakukan push out shear test.

2.8.2 Testing and Assessment of Epoxy Injection Crack Repair for Residential Concrete StemWalls and Slabs on Grade

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2002 oleh NAHB Research Center, Inc. dan Upper Marlboro, MD. Benda uji yang di pakai pada penelitian ini adalah stemwalls dan plat. Ukurannya di sajikan dalam tabel berikut.

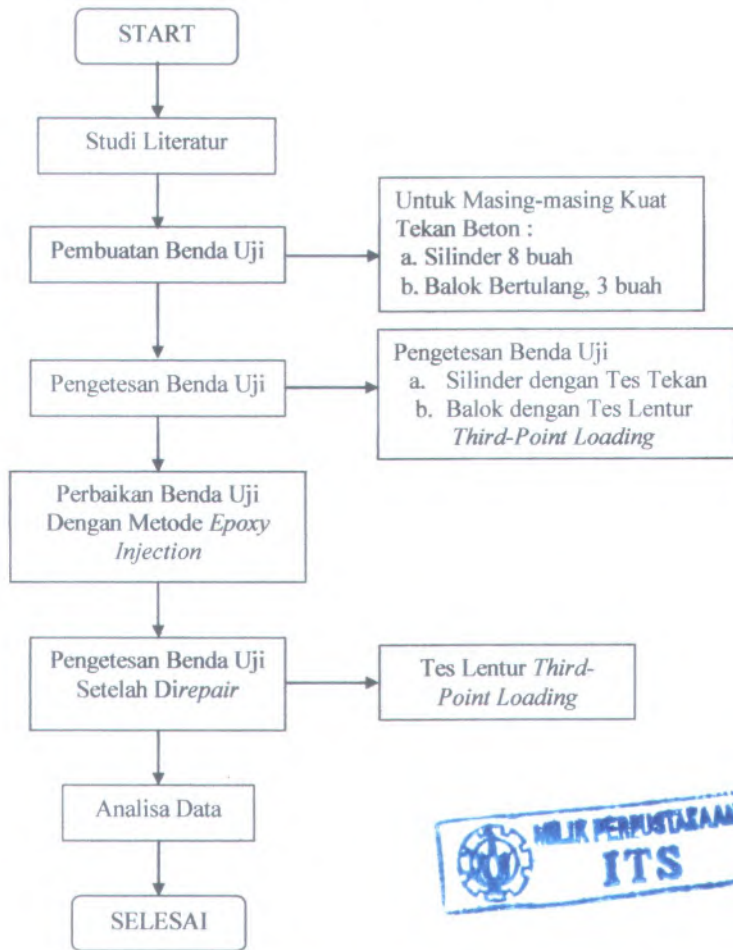
Tabel 2.2 Ukuran Stemwalls Dan Plat

Specimen Type	Description
Stem wall	5.5 in thick x 18 in depth x 8 ft length
Slab	3.5 in thick x 3.0 in width x 4 ft length

Dari penelitian ini di dapatkan hasil bahwa:

- 1) Pada kondisi viscosistas rendah, epoxy efektif untuk retak satu sisi dengan lebar kurang dari 1/16 inc.
- 2) Pada kondisi viscositas sedang, retak yang terjadi 1/8 pada plat.
- 3) Pada kondisi viscosistas tinggi, epoxy efektif untuk mengisi retak dengan lebar kurang dari 1/8 inc.

**BAB III
METODOLOGI PENELITIAN**



Gambar 3.1 Folwchart Penyelesaian Tugas Akhir

3.1 Studi Literatur

Dari flowchart penyelesaian Tugas Akhir diatas, penyelesaian Tugas Akhir ini menggunakan beberapa referensi baik buku maupun peraturan-peraturan. Adapun referensi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Allen, R. T. L., Editor, "The Repair of Concrete Structure", 1987, Blakie and Son Limited, 7 Leicester Place, London, WCZH7BP.
- 2) American Concrete Institute, "Field Guide to Concrete Repair Application Procedure", 2004, The American Concrete Institute.
- 3) American Society for Testing and Material, "Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement (ASTM C 187)", 2003, The American Society for Testing and Material, Philadelphia.
- 4) American Society for Testing and Material, "Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle (ASTM C 191)", 2003, The American Society for Testing and Material, Philadelphia.
- 5) Departemen Pekerjaan Umum, "Peraturan Beton Bertulang Indonesia (N.I.-2)", 1971, Jakarta.
- 6) Departemen Pekerjaan Umum, "Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)", 2002, Jakarta.
- 7) Jonbi, "Concrete Repair & Maintenance", 2003, Yayasan Jhon Hi-tech Idetama, Jakarta.
- 8) Nawi, E. G., "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar", 1998, Refika Aditama, Bandung.

3.2 Analisa Bahan Campuran Beton

3.2.1 Analisa Semen.

3.2.1.1 Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C 187 – 86).

Yang dimaksud dengan konsistensi normal semen adalah kadar air normal dalam pasta dengan kondisi

standar; yaitu apabila dalam uji vicat pada pasta tersebut jarum vicaat mengalami penurunan sebesar 10 mm.

A. Tujuan

Mengetahui kadar normal untuk mencapai kondisi kebasahan pasta yang standar .

B. Peralatan

- Seperangkat alat vicat
- Timbangan analisa 2600 gram
- Gelas ukur 100 cc/200 cc
- Solet perata
- Tempat pengaduk
- Alat pengaduk
- Stop watch/pengukur waktu
- Sarung tangan (jika dibutuhkan).

C. Bahan

- Air bersih PDAM Pemkot Surabaya
- Semen Portland produk Semen Gresik type I

D. Prosedur Pelaksanaan Percobaan

- Timbangan dinol-kan dulu lalu ukur air sebanyak 70cc dengan gelas ukur, masukkan ke dalam tempat mengaduk.
- Timbang semen sebanyak 250 gram, masukkan ke dalam tempat pengaduk dan diaduk selama kurang lebih 3 menit, setelah campuran rata buat bola pasta di tangan dan lemparkan dari tangan ke tangan selama 6 kali.
- Taruh kolnikel di atas kaca dengan diameter yang besar berada diatas, masukkan bola pasta dalam konikel dan ketuk-ketuk alas tengah kacanya.
- Permukaan pasta dihaluskan/diratakan dengan solet kemudian taruh pasta dibawah jarum diameter 10 mm dan tempelkan ujung jarum ditengah-tengah permukaan pasta.
- Jatuhkan jarum vicat dan biarkan jarum menembus pasta. Dan setelah 30 detik jarum itu diberhentikan

dan penurunan dibaca. Penurunan yang diharapkan ialah 10 mm.

- Bila pada percobaan ini tidak didapatkan penurunan sebanyak 10 mm maka diulangi lagi dengan kadar air yang berbeda. Kadar air ditambah lagi bila hasil penurunan kurang dari 10 mm, sebaiknya dikurangi bila penurunan lebih dari 10 mm. Bila sudah 3 kali percobaan belum mendapat penurunan 10 mm maka, dari ketiga hasil penurunan dicari kadar air pada penurunan 10 mm secara grafik. Grafik untuk memperkirakan kadar air dari pasta semen (dengan 500 gram semen) yang dibutuhkan untuk suatu penetrasi khusus.

3.2.1.2 Waktu Mengikat dan Mengeras Semen (ASTM C 191 - 92).

A. Tujuan

Menentukan waktu pengikatan awal/mulai mengikat dan pengikatan akhir/mulai mengeras semen portland.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Seperangkat alat vicat
- Timbangan analisa 2600 gram
- Stop watch/pengukur waktu
- Gelas takar 100 cc/20 cc
- Tempat mengaduk
- Alat pengaduk
- Solet perata
- Sarung tangan

C. Bahan Yang Diperlukan

- Semen portland tipe I
- Air

D. Prosedur

- Ukur air sebanyak yang diperlukan untuk konsistensi normal masukan ke dalam tempat mengaduk, aduk selama 3 menit.

- ❑ Buat bola pasta, lemparkan dari tangan ke tangan ke tangan jarak 30 cm sebanyak 6 kali dan cetak konikel yang ditaruh di atas plat kaca diameter konikel yang besar di atas.
- ❑ Setelah diketok-ketok alas kacanya kemudian pasta diratakan dan konikel ditutup kaca lalu dibalok, kaca di atas diambil pasta diratakan kemudian taruh di bawah jarum vikat diameter kecil (1 mm), tunggu 45 menit dihitung mulai semen kontak dengan air.
- ❑ Setelah 45 menit tempelkan ujung jarum dengan tengah permukaan pasta dan jarum dijatuhkan menembus pasta dan setelah 30 detik jarum distop dan penurunan dibaca dan dicatat.
- ❑ Angkat jarum vikat dan dilap untuk membersihkan semen yang menempel pada jarum.
- ❑ Setelah 15 menit ditest lagi, tempelkan ujung jarum pada permukaan pasta semen, bukan pada tempat yang tadi tetapi digeser pada tempat lain dengan jarak minimum 3 mm.
- ❑ Jatuhkan jarum pada pasta dan setelah 30 detik dibaca, jarum diangkat dan dilap, demikian setiap 15 menit ditest dan dicatat sampai penurunan kurang dari 5 mm maka percobaan dihentikan.
- ❑ Dengan membuat grafik penurunan maka didapat :
 - Waktu pengikatan awal yaitu penurunan pada 25 mm.
 - Waktu pengikatan akhir yaitu penurunan pada 0 mm.

3.2.1.3 Berat Jenis Semen (ASTM C 188 – 89).

A. Tujuan

Menentukan berat jenis pasir

B. Peralatan Yang Diperlukan

- ❑ Timbangan analisa 2600 gram

- Labu takar 500 cc
- Corong
- Cawan aluminium

C. Bahan Yang Diperlukan

- Semen portland tipe I
- Minyak tanah

D. Prosedur

- Timbang semen sebanyak 250 gram.
- Timbang labu takar 500 cc.
- Masukkan semen dengan menggunakan corong kedalam labu takar dan beratnya ditimbang (untuk kontrol).
- Isi labu takar dengan minyak tanah hampir penuh (batas kapasitas labu).
- Labu takar diputar-putar agar gelembung keluar.
- Tambahkan minyak tanah hingga batas kapasitas labu takar, kemudian ditimbang.
- Semen dan minyak dikeluarkan dan labu takar dibersihkan dengan minyak tanah.
- Isi labu takar dengan minyak tanah hingga batas kapasitas, dan timbang beratnya.

3.2.1.4 Berat Volume Semen (ASTM C 188 – 89).

A. Tujuan

Menentukan berat volume semen baik dalam keadaan lepas maupun terikat.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan
- Takaran berat volume dengan volume 3 liter
- Alat perojok dari besi diameter 16 mm panjang 60 cm ujung bulat.

C. Bahan Yang Diperlukan

- Semen S-550 (semen Portland jenis I)

D. Prosedur

1. Tanpa rojokan/lepas

- Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 - Silinder diisi dengan semen sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan kelantai sebanyak 3 kali, ratakan permukaannya.
 - Timbang silinder yang sudah terisi semen penuh.
2. Dengan rojokan
- Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 - Silinder diisi dengan semen 1/3 bagian, kemudian dirojok 25 kali demikian hingga penuh dan tiap bagian dirojok 25 kali.
 - Permukaannya diratakan.
 - Timbang silinder yang sudah terisi semen penuh.

3.2.2 Analisa Pasir

3.2.2.1 Kelembaban Pasir (ASTM C 566 – 89).

A. Tujuan

Untuk mengetahui/menentukan kelembapan pasir dengan cara kering.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan 2600 gram
- Oven
- Pan

C. Bahan Yang Diperlukan

Pasir dalam keadaan asli

D. Prosedur

- Pasir dalam keadaan asli ditimbang sebanyak 500 gram.
- Pasir dimasukkan ke oven selama 24 jam dengan temperatur 100+5 derajat celsius.
- Keluarkan pasir dari oven, setelah dingin pasir di timbang beratnya.

3.2.2.2 Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)

A. Tujuan

Menentukan berat jenis pasir pada kondisi SSD

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Labu takar 1000 cc
- Timbangan analisa 2600 gram
- Oven
- Pan
- Hair dryer/kipas angin
- Kerucut dan rojokan SSD

C. Bahan yang Diperlukan

Pasir

D. Prosedur

- Penyiapan pasir untuk kondisi SSD :
 - Rendam pasir 24 jam, selanjutnya angkat dan tiriskan hingga airnya hilang.
 - keringkan dengan hair dryer atau kipas angin sambil dibolak balik dengan sendok untuk mencari keadaan SSD.
 - Tempatkan kerucut SSD pada bidang datar yang tidak mengisap air.
 - Isi kerucut SSD 1/3 tingginya dan rojok 9 kali, isi lagi 1/3 tinggi dan rojok 8 kali, isi lagi 1/3 tinggi dan rojok 8 kali.
 - Ratakan permukaannya dan angkat kerucutnya, bila pasir masih berbentuk kerucut maka pasir belum SSD.
 - Keringkan lagi dan ulangi lagi pengisian dengan prosedur sebelumnya, bila kerucut diangkat dan pasir gugur tetapi berpuncak maka pasir sudah dalam kondisi SSD dan siap di untuk digunakan dalam pengujian.
- Timbang Labu takar 1000 cc.

- ❑ Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram, dan masukkan pasir kedalam labu takar dan timbang.
- ❑ Isi labu takar yang berisi pasir dengan air bersih hingga penuh.
- ❑ Pegang labu takar yang sudah berisi air dan pasir posisi miring, putar kiri dan kanan hingga gelembung-gelembung udara dalam pasir keluar.
- ❑ Sesudah gelembung-gelembung keluar tambahkan air ke dalam labu takar hingga batas kapasitas, dan timbang (w_1).
- ❑ Keluarkan pasir dan air dari dalam labu takar dan labu takar dibersihkan, kemudian isi labu takar dengan air sampai batas kapasitas dan timbang.

3.2.2.3 Air Resapan Pasir (ASTM C 128 – 93)

A. Tujuan

Menentukan kadar air resapan pasir

B. Peralatan Yang Diperlukan

- ❑ Timbangan analisa 2600 gram
- ❑ Oven
- ❑ Pan

C. Bahan Yang Diperlukan

Pasir kondisi SSD

D. Prosedur

- ❑ Timbang pasir kondisi SSD sebanyak 500 gram.
- ❑ Masukkan oven selama 24 jam.
- ❑ Pasir dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang beratnya.

3.2.2.4 Berat Volume Pasir (ASTM C 29/ C29M – 91).

A. Tujuan

Menentukan berat volume pasir baik dalam keadaan lepas maupun padat.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan
- Takaran berbentuk silinder dengan volume 3 liter
- Alat perojok besi

C. Bahan Yang Diperlukan

pasir

D. Prosedur

1. Tanpa rojokan/lepas
 - Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 - Silinder diisi dengan pasir sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan kelantai sebanyak 3 kali, ratakan permukaannya.
 - Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh.
2. Dengan rojokan
 - Silinder dalam keadaan kosong ditimbang.
 - Silinder diisi dengan pasir 1/3 bagian, kemudian dirojok 25 kali demikian hingga penuh dan tiap bagian dirojok 25 kali.
 - Permukaannya diratakan.
 - Timbang silinder yang sudah terisi pasir penuh.

3.2.2.5 Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 – 92)

A. Tujuan.

Penentuan kadar zat organik di dalam agregat yang digunakan didalam adukan beton.

B. Peralatan yang diperlukan.

- Botol bening
- Penggaris

C. Bahan Yang Diperlukan

- Pasir asli
- Botol bening
- NaOH

D. Prosedur

- Isikan agregat halus yang diuji ke dalam botol sampai ± 130 ml.
- Tambahkan larutan NaOH 3% sampai 200 ml dan tutup rapat dan kocok botol ± 10 menit.
- Diamkan selama 24 jam.
- Selanjutnya amati warna cairan diatas permukaan agregat halus yang ada dalam botol, bandingkan warnanya.
- Jika warna cairan dalam botol berisi agregat lebih tua warnanya dari pembanding, berarti agregat berkadar zat organik yang terlalu tinggi.

**3.2.2.6 Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan)
(ASTM C33 – 93)****A. Tujuan.**

Menentukan banyaknya kadar lumpur dalam pasir.

B. Peralatan Yang Diperlukan.

- Botol bening
- Penggaris

C. Bahan Yang Diperlukan

- Pasir asli
- Air

D. Prosedur

- Botol bening diisi pasir dengan tinggi ± 6 cm.
- Isikan air ke dalam botol hingga hampir penuh dan tutup rapat kemudian di kocok.
- Diamkan selama 24 jam.

- Endapan lumpur dan pasir masing-masing diukur tingginya.

3.2.2.7 Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C117 – 95)

A. Tujuan

Mengetahui kadar lumpur pasir.

B. Peralatan yang diperlukan

- Timbangan analisa 2600 gram
- Saringan No. 200 dan No. 50
- Oven dan pan

C. Bahan Yang Diperlukan

- Pasir kering oven
- air

D. Prosedur

- Timbang pasir kering oven sebanyak 500 gram.
- Pasir di cuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk pasir dengan air berkali-kali hingga tampak bening.
- Tuangkan air cucian kedalam saringan No. 200 berkali-kali.
- Pasir yang ikut tertuang dan tinggal diatas saringan kembalikan ke pan.

Pasir di oven dengan suhu 110 ± 5 derajat celsius

3.2.3 Analisa Batu Pecah

3.2.3.1 Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566 – 89)

A. Tujuan

Untuk mengetahui/menentukan kelembaban kerikil dengan cara kering.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan 2600 gram
- Oven
- Pan

C. Bahan Yang Diperlukan

Kerikil dalam keadaan asli

D. Prosedur

- Kerikil dalam keadaan asli ditimbang sebanyak 500 gram.
- Kerikil dimasukkan ke oven selama 24 jam dengan temperatur $(100\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Keluarkan kerikil dari oven, setelah dingin kerikil di timbang beratnya.

3.2.3.2 Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp.93)**A. Tujuan**

Untuk mengetahui berat jenis batu pecah dalam kondisi SSD.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan 25 kg
- Keranjang kawat yang tergantung pada timbangan
- Kain lap

C. Bahan Yang Diperlukan

- Kerikil dalam kondisi SSD

D. Prosedur

- Kerikil yang telah direndam selama 24 jam diangkat kemudian dilap satu per satu
- Timbang sebanyak 3000 gram
- Masukkan keranjang yang berisi kerikil SSD ke dalam air
- Timbang berat dalam air (keranjang dan kerikil)

3.2.3.3 Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 127 – 88 Reapp.93)**A. Tujuan**

Menentukan kadar air resapan kerikil

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan 25 kg

- oven

C. Bahan Yang Diperlukan

Kerikil/batu pecah kondisi SSD

D. Prosedur

- Timbang kerikil kondisi SSD sebanyak 3000 gram
- Masukkan oven selama 24 jam
- Kerikil/batu pecah dikeluarkan dan setelah dingin ditimbang beratnya

3.2.3.4 Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/ C29M – 91a)

A. Tujuan

Menentukan berat volume batu pecah baik dalam keadaan lepas maupun padat.

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan
- Takaran berbentuk silinder dengan volume 10 liter
- Alat perojok besi

C. Bahan Yang Diperlukan

Kerikil/batu pecah dalam keadaan kering

D. Prosedur

1. Tanpa rojokan/lepas
 - Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
 - Silinder diisi dengan batu pecah sampai penuh dan angkat setinggi 1 cm jatuhkan kelantai sebanyak 3 kali, ratakan permukaannya
 - Timbang silinder yang sudah terisi batu pecah penuh
2. Dengan rojokan
 - Silinder dalam keadaan kosong ditimbang
 - Silinder diisi dengan batu pecah 1/3 bagian, kemudian dirojok 25 kali demikian hingga penuh dan tiap bagian dirojok 25 kali.

- Permukaannya diratakan
- Timbang silinder yang sudah terisi batu pecah penuh

3.2.3.5 Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 – 95)

A. Tujuan

Mengetahui kadar lumpur batu pecah

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan analisa 2600 gram
- Saringan No. 200 dan No. 50
- Oven dan pan

C. Bahan Yang Diperlukan

- Batu pecah kering oven
- Air

D. Prosedur

- Timbang batu pecah kering oven sebanyak 1000 gram
- Pasir di cuci hingga bersih, yaitu dengan mengaduk batu pecah dengan air berkali-kali hingga tampak bening
- Tuangkan air cucian kedalam saringan No. 200 berkali-kali
- Batu pecah yang ikut tertuang dan tinggal diatas saringan kembalikan ke pan
- Batu pecah di oven dengan suhu 110 ± 5 derajat celsius

3.2.3.6 Keausan Agregat Kasar (ASTM C 131 – 89)

A. Tujuan

Mengetahui prosentasi keausan batu pecah/kerikil untuk beton dengan menggunakan mesin Los Angeles

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Mesin aus Los Angeles
- Bola baja 12 buah

- Timbangan analisa 2600 gram
- Saringan No. 1 ½
- Saringan No. ¾
- Saringan No. ½
- Saringan No. 3/8
- Saringan No. 12 (1,7 mm)

C. Bahan Yang Diperlukan

Kerikil oven dengan gradasi

Gradasi A		Gradasi B
# 1 ½ - 1"	= 1250 gram	-
# 1" - ¾"	= 1250 gram	-
# ¾" - ½"	= 1250 gram	2500 gram
# ½ - 3/8"	= 1250 gram	2500 gram

D. Prosedur

- Batu pecah/kerikil diayak sesuai gradasi diatas
- Kumpulkan menjadi satu (5000 gram)
- Masukkan bola baja (12 buah untuk gradasi A, dan 11 bola untuk gradasi B)
- Tutup mesin dan baut sekrup dikeraskan
- Putar mesing sebanyak 500 kali (selama ± 15 menit)
- Tutup mesin dibuka, batu pecah dan bola dikeluarkan
- Kerikil disaring dengan ayakan No. 12 (1.7 mm)
- Yang tertinggal diatas saringan dicuci lalu dioven 16-24 jam
- Setelan 24 jam dikeluarkan, setelah dingin ditimbang

3.3 Analisa Campuran Agregat

3.3.1 Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 – 95A)

A. Tujuan

Menentukan distribusi ukuran butir / gradasi pasir

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan analitis 2600 gr.
- Satu set ayakan ASTM : C 33

nomor ayakan	ukuran diameter lubang
4	4.76
8	2.38
16	1.19
30	0.5
50	0.29
100	0.15
- Alat penggetar listrik

C. Bahan Yang Diperlukan

Pasir dalam keadaan kering oven

D. Prosedur

- Timbang pasir sebanyak 500 gram.
- Bersihkan saringan dengan kuas/sikat kemudian disusun.
- Masukkan pasir ke dalam ayakan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan di atas, dan digetarkan dengan mesin penggetar selama 10 menit.
- Pasir yang tertinggal pada tiap-tiap ayakan ditimbang.
- Perlu untuk kontrol berat pasir keseluruhan = 1000 grm.
- Gambarlah hasil prosentase saringan pada grafik.

3.3.2 Analisa Saringan Batu Pecah (ASTM C 136 – 95A)**A. Tujuan**

Menentukan distribusi ukuran butiran/gradasi batu pecah

B. Peralatan Yang Diperlukan

- Timbangan 25 kg.
- Satu set ayakan ASTM, dengan diameter # 3/2", # 3/4" dan # 3/8"; bila perlu dengan # 4,75" dan # 2,38"
- Alat penggetar listrik

C. Bahan Yang Diperlukan

Kerikil / batu pecah dalam keadaan kering oven.

D. Prosedur

- Timbang batu pecah ukuran 0,5 – 1 sebanyak 8 kg sebanyak 500 gram.
- Ukuran 1 – 2 sebanyak 12 kg, ukuran 2 – 3 sebanyak 16 kg.
- Masukkan batu pecah ke dalam ayakan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan di atas, dan digetarkan dengan mesin penggetar selama 10 menit.
- Batu pecah yang tertinggal pada tiap-tiap ayakan ditimbang.
- Perlu untuk kontrol berat pasir keseluruhan = kg.
- Gambarlah hasil prosentase saringan pada grafik.

Catatan :Bila batu pecah yang tersedia sudah merupakan campuran maka untuk analisa saringan ditimbang sebagai berikut:

- Batu pecah / kerikil ϕ max 38 mm sebanyak 15 kg.
- Batu pecah / kerikil ϕ max 20 mm sebanyak 10 kg.
- Batu pecah / kerikil ϕ max 10 mm sebanyak 5 kg.

3.3.3 Analisa Campuran Agregat

Dari analisa saringan pasir dan kerikil diperoleh persen kumulatif yang tertinggal pada ayakan 4.75 dari pasir (Y_p) dan kerikil (Y_k) yaitu :

$$Y_p = \dots\dots\dots$$

$$Y_k = \dots\dots\dots$$

Dari gambar gradasi gabungan diketahui presentase bahan yang lolos ayakan 4.75 antara 45 – 25. Maka diambil nilai tengahnya;

$$A = (44+25)/2 = 35$$

$$\text{Maka yang tertinggal } C = (100-35) = 65$$

Rumus prosentase campuran adalah sebagai berikut :

$$C = Y_p \frac{X_p}{100} + Y_k \frac{X_k}{100} \quad ; \quad \text{dimana } X_k = (100 - X_p)$$

$$C = Y_p \frac{X_p}{100} + Y_k \frac{(100 - X_p)}{100}$$

3.4 Mix Desain Beton Dengan Metode DOE

Langkah-langkah pembuatan rencana campuran beton normal dengan menggunakan metode DOE.

1. Ambil kuat tekan beton yang disyaratkan f_c pada umur tertentu;
2. Hitung deviasi standart menurut ketentuan ayat 3.3.1 butir 1
3. Hitung nilai tambah;
4. Hitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan f_{cr} menurut ayat 3.3.1 butir 2;
5. Tetapkan jenis semen;
6. Tentapkan jenis agregat kasar dan agregat halus. Agregat ini dapat dalam bentuk tak dipecahkan (pasir atau koral) atau dipecahkan;
7. Tentukan faktor air-semen menurut ayat 3.3.2 Bila dipergunakan grafik 1 atau 2 ikut langkah-langkah berikut :

- (1) Tentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dengan menggunakan tabel 2, sesuai dengan semen dan agregat yang dipakai;
 - (2) Lihat grafik 1 untuk benda uji berbentuk silinder atau grafik 2 untuk benda uji berbentuk kubus;
 - (3) Tarik garis tegak lurus keatas melalui faktor air-semen 0.5 sampai memotong kurva kuat tekan yang ditentukan pada sub butir 2 diatas;
 - (4) Tarik garis mendatar melalui nilai kuat tekan yang ditargetkan sampai memotong kurva yang ditentukan pada sub butir 3 diatas;
 - (5) Tarik garis tegak lurus kebawah melalui titik potong tersebut untuk mendapatkan faktor air-semen yang diperlukan.
8. Tetapkan faktor air-semen maksimum menurut ayat 3.3.2 butir (dapat ditetapkan sebelumnya atau tidak). Jika nilai faktor air-semen yang diperoleh dari butir 7 diatas lebih kecil dari yang dikehendaki, maka yang dipakai ialah yang terendah;
 9. Tetapkan slump;
 10. Tetapkan ukuran agregat maksimum jika tidak ditetapkan lihat ayat 3.3.4;
 11. Tentukan nilai kadar air-semen bebas menurut tabel 6 ayat 3.2.5;
 12. Hitung jumlah semen yang besarnya adalah kadar semen adalah kadar air bebas dibagi faktor air-semen;
 13. Jumlah semen maksimum jika tidak ditetapkan, dapat diabaikan;
 14. Tentukan jumlah semen semimum mungkin. Jika tidak lihat ayat 3.2.2 kadar semen yang diperoleh dari perhitungan jika perlu disesuaikan;
 15. Tentukan faktor air-semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan),

maka faktor air semen faktor air-semen harus diperhitungkan kembali;

16. Tentukan susunan besar butir agregat halus (pasir) kalau agregat halus sudah dikenal dan sudah dilakukan analisa ayakan menurut standar yang berlaku, maka kurva dari pasir ini dapat dibandingkan dengan kurva-kurva yang tertera dalam grafik 3 s/d 6 dan grafik 7 s/d 9 untuk agregat kasar;
17. Tentukan persentasi pasir dengan menggunakan grafik 10 s/d 12;
 Dengan diketahuinya ukuran butir agregat maksimum butir 10, slump 9, faktor air-semen butir 15 dan daerah susunan butir butir 16, maka jumlah presentase pada yang diperlukan dapat dibaca pada grafik. Jumlah ini adalah seluruhnya dari pasir atau fraksi agregat yang lebih halus dari 5 mm.
 Dalam agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia seringkali dijumpai bagian yang lebih halus dari 5 mm dalam jumlah yang lebih dari 5 persen. Dalam hal ini maka jumlah agregat yang diperlukan harus dikurangi;
18. Hitung berat jenis relatif agregat menurut ayat 3.2.6;
19. Tentukan berat jenis relatif beton menurut grafik 13 sesuai dengan kadar air bebas yang sudah ditemukan dari tabel 6 dan berat jenis relatif dari agregat gabungan butir 16;
20. Hitung kadar agregat gabungan yang besarnya adalah berat jenis beton dikurangi jumlah kadar semen dan kadar air bebas;
21. Hitung kadar agregat halus yang besarnya adalah hasil kali persentasi pasir butir 17 dikurangi kadar agregat gabungan butir 20;
22. Hitung kadar agregat kasar yang besarnya adalah kadar agregat gabungan butir 20 dikurangi kadar agregat halus butir 21.

23. Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan pada ayat 3.3.8;
24. Buatlah campuran uji, ukur dan catatlah besarnya slump serta kekuatan tekan yang sesungguhnya, perhatikan hal berikut :
- 1). Jika harga yang di dapat sesuai dengan harga yang diharapkan, maka susunan campuran beton tersebut dikatakan baik. Jika tidak, maka campuran perlu dibetulkan;
 - 2). Kalau slumpnya ternyata terlalu tinggi/rendah, maka kadar air perlu dikurangi/ditambah (dengan demikian juga kadar semennya, karena faktor air-semen harus dijaga agar tetap tak berubah);
 - 3). Jika kekuatan beton dari campuran uji ini terlalu tinggi atau rendah, maka faktor air-semen dapat atau harus ditambah atau dikurangi sesuai dengan grafik 1 atau 2.

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat.

Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit minimum satu kali dalam sehari dan dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{AIR} &= B - (C_k - C_a) \times C / 100 - (D_k - D_a) \times D / 100; \\ &\quad \text{AGREGAT HALUS} \\ &= C + (C_k - C_a) \times C / 100; \\ &\quad \text{AGREGAT KASAR} \\ &= D + (C_k - C_a) \times D / 100 \end{aligned}$$

dimana :

B = Jumlah air (kg/m^3)

C = Jumlah agregat halus (kg/m^3)

- D = Jumlah kerikil (kg/m^3)
 C_a = Absorsip air pada agregat halus (%)
 D_a = Absorsip air pada agregat kasar (%)
 C_k = Kandungan air dalam agregat kasar (%)
 D_k = Kandungan air dalam agregat kasar (%)

3.5 Analisa Bahan Repair (Sikadur 752)

Analisa data dari bahan repair (sikadur 752) sesuai dengan data dari produsen yaitu SIKA.

3.6 Pembuatan Bekisting dan (SNI 03-2487-2002 pasal 9.1).

A. Tujuan.

Untuk membentuk beton sesuai keinginan.

B. Peralatan.

- Gergaji kayu
- Martil
- Paku

C. Bahan.

Papan triplek kayu dengan tebal 2 cm

D. Prosedur Pelaksanaan.

- Buatlah pola sesuai dengan ukuran yang akan dipergunakan diatas papan triplek.
- Potong triplek sesuai pola dengan menggunakan gergaji.
- Sambungkan rangkaian triplek yang telah digergaji dengan menggunakan paku.

3.7 Tes Tarik Baja Tulangan

A. Tujuan.

Untuk mengetahui kekuatan leleh dan putus dari baja tulangan.

B. Peralatan.

Mesin test hidrolis (Torsee Universal Testing Machine).

C. Bahan.

Benda uji baja tulangan.

D. Prosedur Pelaksanaan.

- Baja tulangan dipasang pada alat UTM (baja tulangan harus lurus)
- Perlahan-lahan baja tulangan yang sudah dipasang di alat UTM ditarik.
- Penarikan dihentikan jika benda uji putus.

3.8 Perakitan Tulangan (SNI 03-2847-2002 Pasal 9).**A. Tujuan.**

Untuk memasang tulangan tunggal pada balok.

B. Peralatan.

- Bar cutter
- Tang

C. Bahan.

Besi tulangan

D. Prosedur Pelaksanaan.

- Ukur panjang tulangan yang diinginkan.
- Potong-potong tulangan sesuai ukuran dengan menggunakan bar cutter.
- Pasang tulangan yang telah dipotong kedalam bekisting (syarat-syarat pemasangan tulangan sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 9).

3.9 Pembuatan Campuran Beton (ASTM C 192-90a).**A. Tujuan.**

Membuat campuran beton berdasarkan analisa agregat dan semen dari percobaan terdahulu.

B. Peralatan

Adapun peralatan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan campuran beton ini ialah sbb :

- Timbangan 100 kg
- Takaran air
- Ember

- Cetok
- Molen

C. Bahan.

Adapun bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan campuran beton ini, sbb :

- Semen Portland type I (S550)
- Pasir
- Batu pecah
- Air
- Bak tempat adonan basah

D. Prosedur Pelaksanaan.

- Siapkan semua bahan yang dibutuhkan sesuai dengan hasil perbandingan campuran beton dalam keadaan asli.
- Molen diisi air secukupnya (sekedar membasahi molen tersebut)
- Masukkan batu pecah dan $\frac{3}{4}$ bagian dari air, setelah semua batu pecah terbasahi dengan rata lalu masukkan semen disusul pasir.
- Masukkan air sisanya tadi dan aduk sampai rata (molen diputar)
- Setelah campuran beton homogen (3-5 menit) campuran tersebut dapat dikeluarkan dari molen dan ditempatkan di bak.

3.10 Percobaan Menentukan Berat Volume Beton Segar (ASTM C 138-78).

A. Tujuan.

Untuk mengetahui berat volume beton segar

B. Peralatan.

- Takaran dengan volume 10 liter
- Alat perojok
- Cetok mason
- Timbangan 100 kg

C. Bahan.

- Bahan yang digunakan ialah beton segar

D. Prosedur Pelaksanaan.

- timbang takaran kosong
- setelah campuran beton benar-benar homogen, ambil sebagian dan masukkan ke dalam takaran
- takaran diisi semen $\frac{1}{3}$ bagian dan dirojok 25 kali, demikian hingga penuh tiap $\frac{1}{3}$ bagian dirojok 25 kali.
- Ratakan permukaan takaran.
- Timbang beratnya.

3.11 Percobaan Slump Test (ASTM C 143-78).

A. Tujuan.

Untuk mengukur workability (kemampuan dikerjakan) dari campuran beton.

B. Peralatan.

- Tabung kerucut besi (tabung Abraham)
- Alat perojok diameter 16 mm dan panjang 60 cm
- Mistar
- Plat baja

C. Bahan.

- Beton segar

D. Prosedur Pelaksanaan.

- Kerucut dibasahi bagian dalamnya, disiapkan diatas plat baja.
- Beton dimasukkan dalam kerucut secara bertahap, $\frac{1}{3}$ bagian I,II, dan III dirojok masing – masing 25 kali
- Setelah penuh beton diratakan permukaannya
- Kerucut kita angkat pelan-pelan secara vertical tanpa gaya horizontal dan torsi, biarkan selama 30 detik.
- Kerucut kita letakkan di sisi beton dalam keadaan terbalik, dan dengan menggunakan mistar ukur

selisih tinggi beton dan kerucut, dimana nilai tersebut merupakan harga slump.

3.12 Pencetakan Beton dalam Bekisting (pengecoran) (SNI 03-2847-2002 pasal 7.10)

A. Tujuan.

Membuat silinder benda uji dengan ukuran **diameter** 15 cm yang diperlukan untuk evaluasi mutu beton.

B. Peralatan.

- Cetakan beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
- Perojok diameter 16 mm dan panjang 60 cm
- Cetok mason

C. Bahan.

- Beton segar hasil campuran yang direncanakan

D. Prosedur Pelaksanaan.

- Cetakan silinder disiapkan. Rapatkan mur-mur dan baut yang renggang lalu bersihkan bagian dalam silinder tersebut. Setelah itu olesi bagian dalam yang sudah dibasahi itu dengan minyak
- Beton segar dimasukkan dalam cetakan dan dipadatkan dengan jalan dirojok, lalu ratakan permukaan dari beton tersebut.
- Beton dipindahkan ke tempat penyimpanan sementara dan silinder cetakan beton baru bisa dibuka setelah 24 jam.
- Setelah 24 jam beton dibuka, direndam dalam air untuk proses curing.
- Beton yang sudah dicuring siap untuk di test.

3.13 Perawatan Benda Uji (PBI 1971 pasal 6.4).

A. Tujuan.

Mencegah penguapan air di dalam spesi beton

B. Peralatan.

- Karung goni

C. Bahan.

- Air

D. Prosedur Pelaksanaan..

Menurut PBI 1971 pasal 6.4 hal 58, perawatan beton dilakukan :

1. untuk mencegah penguapan bidang – bidang beton selama paling sedikit 2 minggu atau 14 hari, beton harus dibasahi tuntas menerus dengan menutupinya dengan karung-karung basah.
2. perawatan dengan uap bertekanan tinggi , uap yang bertekanan udara luar , pemanasan atau proses-proses lainnya dapat dipakai untuk mempersingkat waktu pengerasan.

Dalam Tugas Akhir ini, curing dilaksanakan dengan cara merendam beton dalam bak yang berisi air sampai waktu pengetesan. Proses perawatan (curing) ini dilakukan sehari atau 24 jam setelah proses pencetakan beton.

Langkah-langkah proses perawatan (curing) :

- a. Setelah 24 jam dari proses pencetakan beton, cetakan beton dibuka perlahan-lahan dan benda uji silinder beton diambil.
- b. Benda uji silinder beton diletakkan dalam suatu bak air, dan dibiarkan sampai sehari sebelum waktu pengetesan untuk dikeluarkan.
- c. Sebelum pengetesan beton yang akan dites, beton yang dikeluarkan dari dalam bak air diangin-angin sampai kering.
- d. 24 jam setelah itu, tepatnya waktu pengujian Benda uji yang telah kering ditimbang beratnya dan setelah itu diukur dimensinya.

- e. Kemudian benda uji di capping / diratakan dengan larutan belerang pada bagian yang tidak rata.
- f. Permukaan yang dicaping dari benda uji diletakkan diatas, dan benda uji siap dites.
- g. Langkah tersebut berlaku untuk benda uji yang berumur 3,7,14,21 dan 28 hari.

3.14 Pengetesan Benda Uji.

3.14.1 Tes Tekan Pada Benda Uji Silinder (ASTM C 832-75).

A. Tujuan.

Untuk mengetahui kekuatan tekan beton terhadap pembebanan.

B. Peralatan.

- Timbangan.
- Pemanas/kompur listrik (media untuk memanaskan belerang).
- Alat perata belerang.
- Mesin test hidrolis (Torsee Universal Testing Machine).

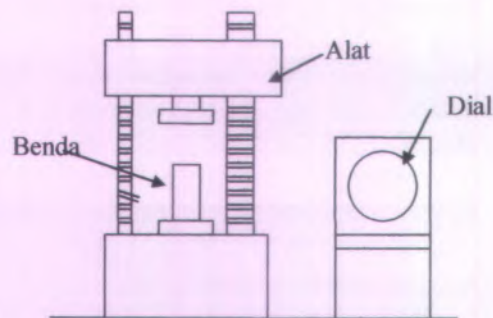
C. Bahan.

- Belerang.
- Minyak/oli.
- Benda uji silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm.

D. Prosedur Pelaksanaan.

Tes kekuatan tekan dilaksanakan saat benda uji berumur 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. sebelum dites diukur dimensinya (tinggi dan diameter) terlebih dahulu dan ditimbang beratnya. Siapkan alat perata belerang kemudian diolesi dengan minyak/oli agar belerang tidak menempel pada alat perata tersebut. Tuangkan belerang cair ke alat perata belerang, setelah itu benda uji beton diletakkan dalam alat perata dan tekan lalu tunggu sampai kira-kira belerang telah mengeras dan melekat dengan beton kemudian angkat. Permukaan yang ditemplei belerang

adalah permukaan yang kasar. Lalu letakkan benda uji pada alat tekan mesin tes hidrolis dan pilih permukaan yang rata (yang terdapat belerangnya) sebagai bingan yang akan dibebani. Gerakkan tuas berwarna merah keatas dan tekan tombol penggerak ke posisi on. Matikan tombol penggerak pada saat beton pecah (jarum sudah tidak bergerak lagi). Untuk mengambil kembali benda uji, gerakkan tuas kebawah sehingga benda uji terlepas dari jepitan.



Gambar 3.2 Setting Benda Uji Silinder di UTM

3.14.2 Tes Lentur Pada Benda Uji Balok dengan Third-Point Loading Test

A. Tujuan.

Untuk mengetahui kemampuan pikul balok.

B. Peralatan.

Alat Universal Testing Machine.

C. Bahan.

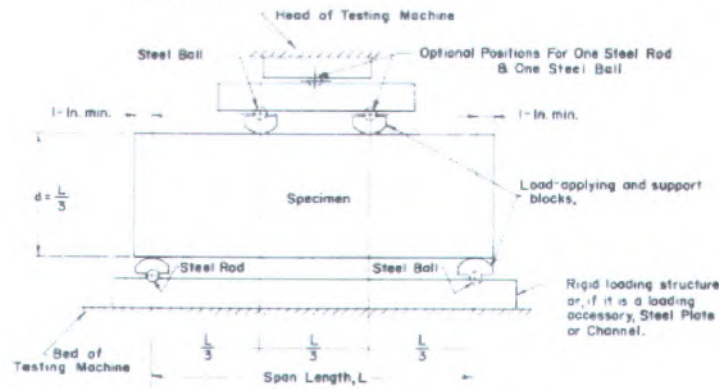
Benda uji balok *underreinforced* ukuran 15 x 20 x 80 cm.

D. Prosedur Pelaksanaan.

- benda uji yang akan di tes harus dijaga kelembaban permukaannya, karena permukaan yang terlalu kering dapat mengurangi kekuatan lenturnya.

- Kemudian benda uji diletakkan di atas dua perletakan sederhana berupa sendi dan rol.
- Beban diberikan pada balok di sepertiga panjang bentang.
- Beban diberikan secara kontinyu dan tanpa hentakan.

Pada pengetesan benda uji dengan metode third-point loading ini juga dilakukan pengukuran terhadap defleksi yang terjadi pada balok yang dibebani.



Gambar 3.3 Skema Metode Third-Point Loading

3.15 Memperbaiki Kerusakan Yang Terjadi Akibat Pembebanan Dengan Metode Injeksi

A. Tujuan

Untuk memperbaiki kerusakan pada balok.

B. Peralatan

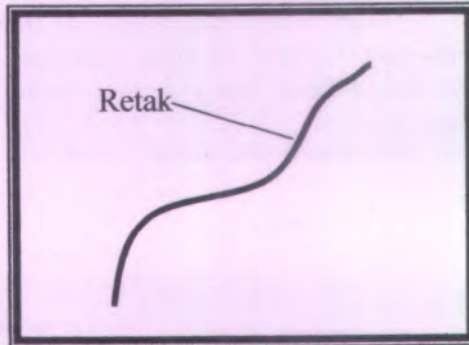
- Compressor.

C. Bahan

- Sikadur 752
- Benda uji balok.
- Sealent

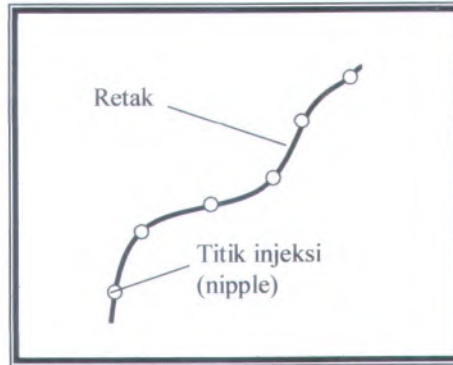
D. Prosedur Pelaksanaan

- Langkah pertama, tetapkan jalur retak yang akan diperbaiki. Setelah itu jalur retakan tersebut dibersihkan dengan kompresor atau vacuum-cleaner.



Gambar 3.4 Jalur Retakan Pada Balok

- Langkah kedua, pada jalur retakan dipasang titik injeksi (nipple) dengan spasi ± 20 cm dari awal hingga ujung retakan, sampai benar-benar melekat sempurna pada permukaan balok dan tidak menyumbat jalur retakan. Setelah itu jalur retakan diberi lapisan penutup (sealer) dengan lebar 3 cm, tebal 3 mm sampai tertutup dan mengeras. Sealer berfungsi untuk menjaga agar material injeksi tidak bocor diluar daerah retakan. Sealer ini dibiarkan selama 12 sampai 24 jam (proses curing sealer).



Gambar 3.5 Lokasi Titik Injeksi (Nipple)

- Langkah ketiga, injeksi retak via nipple dengan material yang sesuai dengan metode Lpi (Low Pressure Injection). Nipple ditutup setelah tampak adanya tanda-tanda bahwa jalur retakan telah terisi penuh pada lokasi tersebut.
- Langkah keempat, setelah proses curing selesai, bidang sealant diratakan dengan gerinda sesuai permukaan balok sebelumnya.

3.16 Pengecekan Hasil Perbaikan (Repair) dengan Ultrasonic

A. Tujuan.

Untuk mengetahui ada tidaknya rongga pada balok.

B. Peralatan.

Alat Ultrasonic Pulse Velocity.

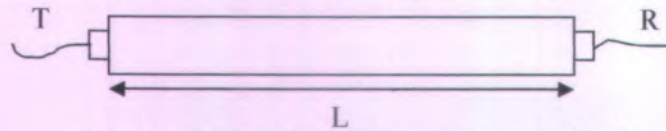
C. Bahan.

Benda uji balok.

D. Prosedur Pelaksanaan.

Prinsip kerja pengujian beton dengan UPV test adalah mengubah energi gelombang listrik menjadi energi gelombang mekanik yang selanjutnya merambat pada beton. Untuk beton tidak ada cacat/ void, dengan semakin cepat gelombang yang melewati beton, semakin tinggi kerapatan beton, menggambarkan mutu beton yang tinggi.

Dengan mengacu kepada besaran kecepatan yang terjadi, maka interpretasi kualitas beton dapat dilihat pada tabel 3.1



Gambar 3.6 konfigurasi transducer pada UPV tes

Tabel 3.1 Interpretasi kualitas beton.

Kecepatan rambat gelombang ultrasonic (UPV) (km/sec)	Kualitas beton
>4.5	Sangat baik
3.5 – 4.5	Baik
3.0 – 3.5	Sedang
2.0 – 3.0	Buruk
<2.0	Sangat buruk

Sumber : Neville, AM., *Properties of concrete*, 1977, Fittman Publishing Ltd, London.

3.17 Pengetesan Benda Uji Balok Setelah Diperbaiki (Direpair)

A. Tujuan.

Untuk mengetahui kemampuan pikul balok.

B. Peralatan.

Alat Universal Testing Machine.

C. Bahan

Benda uji balok *underreinforced* ukuran 15 x 20 x 80 cm yang sudah direpair dengan metode injeksi.

D. Prosedur Pelaksanaan.

- benda uji yang akan di tes harus dijaga kelembaban permukaannya, karena permukaan yang terlalu kering dapat mengurangi kekuatan lenturnya.
- Kemudian benda uji diletakkan di atas dua perletakan sederhana berupa sendi dan rol.

- Beban diberikan pada balok di sepertiga panjang bentang.
- Beban diberikan secara kontinyu dan tanpa hentakan.

Pada pengetesan benda uji dengan metode third-point loading ini juga dilakukan pengukuran terhadap defleksi yang terjadi pada balok yang dibebani.

BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL LABORATORIUM

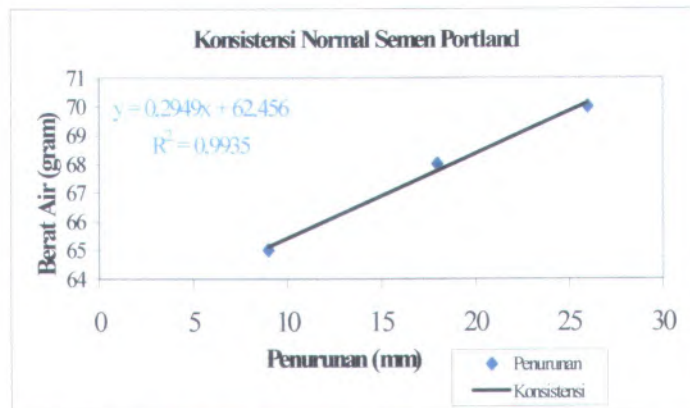
4.1 Penyelidikan Bahan Semen

4.1.1 Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C 187 – 86)

A. Data

Tabel 4.1 Konsistensi Normal Semen Portland (ASTM C 187 – 86)

Percobaan No	1	2	3
Berat semen (gram)	250	250	250
Berat air (gram)	70	68	65
Penurunan (mm)	26	18	9
Konsistensi	28 %	27.20 %	26 %



Gambar 4.1 Grafik Konsistensi Normal Semen Portland

B. Perhitungan

- Untuk menentukan *air penetrasi* yaitu jumlah air yang dibutuhkan untuk penurunan 10 mm dapat menggunakan rumus yang didapat dari persamaan grafik yaitu $y = 0,2949x + 62,456$. Dengan memasukkan nilai $x = 10$

- didapat hasil bahwa berat air yang dibutuhkan untuk penurunan 10 mm adalah 65,405 cc.
 - ◆ Konsistensi Normal = (berat air/berat semen)x 100%
 Dari percobaan yang dilakukan sebanyak 3 kali didapatkan konsistensi yang berbeda-beda oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut:
 - ☛ Percobaan I
 Konsistensi = $(70/250) \times 100\% = 28,0\%$
 - ☛ Percobaan II
 Konsistensi = $(68/250) \times 100\% = 27,2\%$
 - ☛ Percobaan III
 Konsistensi = $(65/250) \times 100\% = 26,0\%$
- Jadi konsistensi normal yang seharusnya adalah pada saat penurunan jarum menunjukkan angka 10 mm yaitu 26,162%

C. Referensi

Tabel 4.2 Konsistensi Normal PC Yang Seharusnya Sesuai Dengan ASTM C 187-86

Berat PC (gram)	Kadar yang diperbolehkan
500	0.35
300	0.3
250	0.25
200	0.2
150	0.15
100	0.1
50	0.05
10	0.04
5	0.03
2	0.02
1	0.01

D. Kesimpulan

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan hasil sebesar 26,162% jadi semen yang digunakan **memenuhi persyaratan.**

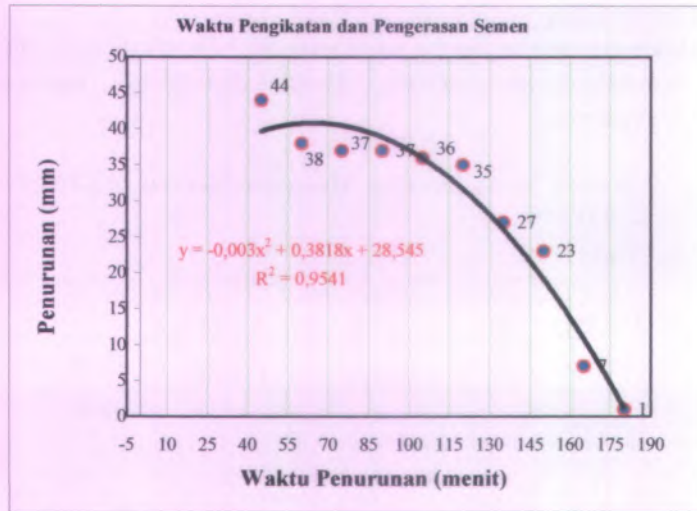
4.1.2 Waktu Mengikat dan Mengeras Semen (ASTM C 191 - 92)

A. Data

Tabel 4.3 Waktu Mengikat Dan Mengeras Semen (ASTM C 191-92)

No	Waktu Penurunan (mnt)	Penurunan (mm)
	45	44
2	60	38
3	75	37
4	90	37
5	105	36
6	120	35
7	135	27
8	150	23
9	165	7
10	180	1

Dari hasil percobaan tersebut dapat dibuat grafik regresi polinomial orde 2 sebagai berikut :



Gambar 4.2 Waktu Mengikat Dan Mengeras Semen

B. Referensi

Berdasarkan ASTM C 150 tentang syarat-syarat semen portland menyatakan bahwa waktu setting dari pasta semen untuk *test vicat* adalah *minimal 45 menit* dan *maksimal 375 menit*.

C. Kesimpulan

Dari rumus regresi yang ada, kita dapat memasukkan nilai penurunan yang akan dicari dan mendapatkan hasil sebagai berikut:

- Waktu pengikatan awal yaitu pada penurunan 25 mm pada saat 120,55 menit
- Waktu pengikatan akhir yaitu pada penurunan 0 mm pada saat 146,53 menit

Jadi semen yang digunakan **memenuhi persyaratan**.

4.1.3 Berat Jenis Semen (ASTM C 188 – 89)

A. Data

Tabel 4.4 Berat Jenis Semen (ASTM 188-89)

Percobaan No	1	2	3
	(gram)	(gram)	(gram)
Berat semen = w1	250	250	250
Berat semen + minyak + labu takar = w2	729	729.4	704.5
Berat labu takar + minyak = w3	545.5	545	521
$B_j = 0.8w_1/(w_1+w_3-w_2)$	3.0075	3.048	3.0075

B. Perhitungan

Dari data berat jenis yang didapat, maka berat jenis rata-rata semen = $(3,0075+3,048+3,0075)/3 = 3,021\text{gram/cm}^3$.

C. Referensi

Hal ini sesuai dengan spesifikasi umum yang ada bahwa berat jenis semen lebih dari 3.

D. Kesimpulan

Jadi semen yang kami gunakan **memenuhi persyaratan**.

4.1.4 Berat Volume Semen (ASTM C 188 – 89)

A. Data

Tabel 4.5 Berat Volume Semen (ASTM C 188 – 89)

Jenis Percobaan	Dengan Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder = w1 (kg)	2.476	2.476
Berat silinder + semen = w2 (kg)	6.793	6.21
Berat semen = w2-w1 (kg)	4.317	3.734
Volume silinder = v (lt)	3	3
Berat volume (BV) = w2-w1/v (kg)	1.439	1.245

B. Perhitungan

Dari hasil percobaan yang dilakukan kami memperoleh berat volume (BV) semen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Dengan rojokan, } BV &= w_2 - w_1 / v \\ &= 6,793 - 2,476 / 3 = 1,439 \text{ kg/lt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tanpa rojokan, } BV &= w_2 - w_1 / v \\ &= 6,210 - 2,476 / 3 = 1,245 \text{ kg/lt} \end{aligned}$$

Sehingga didapat Bv rata-rata $= (1,319 + 1,178)/2 = 1,342 \text{ kg/lt}$

C. Referensi

Batas berat volume semen yang diperbolehkan adalah 1,15 – 1,25

D. Kesimpulan

Dari percobaan berat volume yang dilakukan hasilnya **di luar batas**.

4.2 Analisa Pasir

4.2.1 Kelembaban Pasir (ASTM C 566 – 89)

A. Data

Tabel 4.6 Kelembaban Pasir (ASTM C 566 – 89)

Percobaan No	1	2
Berat pasir asli = w1 (gram)	500	500
Berat pasir oven = w2 (gram)	479.1	480
Kelembaban pasir $= (w_1 - w_2) / w_2 \times 100\%$	4.362	4.167

B. Perhitungan

Dari percobaan didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= (w_1 - w_2) / w_2 \times 100\% \\ &= (500 - 479,1) / 479,1 \times 100\% = 4,362 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= (w_1 - w_2) / w_2 \times 100\% \\ &= (500 - 480,0) / 480,0 \times 100\% = 4,167 \% \end{aligned}$$

$$\text{Kelembaban pasir rata-rata} = (4,362 + 4,167) / 2 = 4,265 \%$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 566-89 mengenai kelembapan pasir disebutkan bahwa pasir dinyatakan benar-benar kering kelembabannya jika mencapai angka kurang dari 0,1%.

D. Kesimpulan

Dari percobaan didapatkan kelembaban pasir sebesar 4,265 % jadi pasir masih **belum memenuhi persyaratan.**

4.2.2 Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)

A. Data

Tabel 4.7 Berat Jenis Pasir (ASTM C 128 – 93)

Percobaan No	1	2
Berat labu + pasir + air = w1 (gram)	1550.5	1590.5
Berat pasir SSD (gram)	500	500
Berat labu + air = w2 (gram)	1240	1277.5
Berat jenis pasir = $500 / (500 + w2) - w1$	2.639	2.674

B. Perhitungan

Dari percobaan yang kami lakukan diperoleh berat jenis pasir:

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= 500 / (500 + w2) - w1 \\ &= 500 / ((500+1240) - 1550,5) = 2,639 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= 500 / (500 + w2) - w1 \\ &= 500 / ((500+1277,5) - 1590,5) = 2,674 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis pasir rata-rata} = (2,639 + 2,674) / 2 = 2,6565$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 128 – 93 berat jenis pasir yang disyaratkan adalah yang berada dalam batas 2,4 sampai dengan 2,7

D. Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang telah kami lakukan didapatkan hasil sebesar 2,6565.

Jadi pasir yang digunakan **memenuhi persyaratan.**

4.2.3 Air Resapan Pasir (ASTM C 128 – 93)

A. Data

Tabel 4.8 Air Resapan Pasir (ASTM C 128 – 93)

Percobaan No	1	2
Berat pasir SSD (gram)	500	500

Berat pasir oven (gram)	491	489
Kadar air resapan = $((500-w1)/w1) \times 100\%$	1.833%	2.249%

B. Perhitungan

Dari percobaan yang kami lakukan diperoleh kadar air resapan pasir:

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= ((500 - w1) / w1) \times 100\% \\ &= ((500 - 491) / 491) \times 100\% = 1,833 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= ((500 - w1) / w1) \times 100\% \\ &= ((500 - 489) / 489) \times 100\% = 2,249 \% \end{aligned}$$

$$\text{Kadar air resapan rata-rata} = (1,833 + 2,249) / 2 = 2,041 \%$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 128-93, diketahui bahwa kadar air resapan yang baik antara 1 – 4 %.

D. Kesimpulan

Jadi pasir yang digunakan **memenuhi syarat**.

4.2.4 Berat Volume Pasir (ASTM C 29 / C 29 M - 91)

A. Data

Tabel 4.9 Berat Volume Pasir (ASTM C 29 / C 29 M - 91)

Jenis Percobaan	Dengan Rojokan	Tanpa Rojokan
Berat silinder = w1 (kg)	2.597	2.597
Berat silinder + pasir = w2 (kg)	7.704	7.354
Berat pasir = w2-w1 (kg)	5.107	4.757
Volume silinder = v (lt)	3	3
Berat volume (BV) = w2-w1/v (kg)	1.702	1.586

B. Perhitungan

Dari hasil percobaan yang dilakukan kami memperoleh berat volume pasir sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Dengan rojokan BV} &= (w2 - w1) / v \\ &= (7,704 - 2,597) / 3 = 1,702 \text{ kg/lt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tanpa rojokan } BV &= (w_2 - w_1) / v \\ &= (7,354 - 2,597) / 3 = 1,586 \text{ kg/lit} \end{aligned}$$

Selisih berat volume = $1,702 - 1,586 = 0,116 \text{ kg/lit}$.

C.Referensi

Berdasarkan ASTM C 29-91 ditetapkan bahwa percobaan berat volume pasir antara percobaan yang dilakukan dengan rojokkan dan percobaan tanpa rojokkan yang dilakukan oleh operator yang sama tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 .

D. Kesimpulan

Perbedaan berat volume antara yang dirojok dengan yang tidak dirojok adalah sebesar $0,116 \text{ kg/lit}$. Jadi pasir yang digunakan **memenuhi persyaratan**.

4.2.5 Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40 - 92)

A. Data

Tabel 4.10 Kadar Zat Organik (ASTM C 40 - 92)

Percobaan No	1	2
Volume pasir (cc)	300	300
Larutan 3% NaOH (cc)	200	200
Warna yang timbul	Lebih Cerah	Lebih Cerah

B. Referensi

Berdasarkan ASTM C 40-92, dalam penentuan kadar zat organik, warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Jika warnanya lebih tua harus ditolak sebab pasir mengandung zat organik yang merugikan beton.

C. Kesimpulan

Dari hasil percobaan yang kami lakukan, diketahui bahwa warna yang timbul pada cairan dalam botol lebih cerah dari pembanding. Jadi pasir yang kami gunakan masih **memenuhi syarat**.

4.2.6 Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan) (ASTM C33 - 93)

A. Data

Tabel 4.11 Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pengendapan) (ASTM C33 - 93)

Percobaan No	1	2
Tinggi lumpur = h (mm)	1	1
Tinggi pasir = (H)	6	6
Kadar lumpur = h/H	1/60	1/60

B. Perhitungan

Percobaan I = $h / H = 1/60 \times 100\% = 1.6 \%$

Percobaan II = $h / H = 1/60 \times 100\% = 1.6 \%$

Kebersihan pasir rata-rata terhadap Lumpur dengan cara pengendapan adalah

$$(1,6+1,6)/2 = 1,6\%$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 33 - 93 tentang uraian syarat-syarat agregat disebutkan bahwa batas maksimum kadar lumpur adalah sebesar 3% dari total sampel percobaan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah kami lakukan didapatkan hasil sebesar 1.6%. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.2.7 Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 - 95)

A. Data

Tabel 4.12 Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 - 95)

Percobaan No	1	2
Berat pasir kering = w1 (gram)	500	500
Berat pasir bersih kering = w2 (gram)	476.6	480.9
Kadar lumpur = $(w1-w2)/w2 \times 100\%$	4.68	3.82

B. Perhitungan

Berdasarkan percobaan yang telah kami dilakukan didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= (w_1 - w_2) / w_1 \times 100\% \\ &= (500 - 476,6) / 500 \times 100\% = 4,68\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II} &= (w_1 - w_2) / w_1 \times 100\% \\ &= (500 - 480,9) / 500 \times 100\% = 3,82\% \end{aligned}$$

$$\text{Kebersihan terhadap Lumpur rata-rata adalah } (4,68\% + 3,82\%) / 2 = 4,25\%$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 117-95 batas maksimum kebersihan pasir terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 (75 μ m) untuk klasifikasi beton umum adalah sebesar 5% dari total sampel percobaan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah kami lakukan didapatkan hasil sebesar 4,25%. Jadi pasir yang digunakan **memenuhi persyaratan** yang ada.

4.3 Analisa Batu Pecah

4.3.1 Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 556 – 89)

A. Data

Tabel 4.13 Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 556 – 89)

Percobaan No	1	2
Berat kerikil asli = w1 (gram)	500	500
Berat kerikil oven = w2 (gram)	480	482
Kelembaban kerikil = (w1-w2)/w2 x 100%	4.167	3.734

B. Perhitungan

Berdasarkan percobaan yang telah kami dilakukan didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I} &= (w_1 - w_2) / w_2 \times 100\% \\ &= (500 - 480) / 480 \times 100\% = 4,167\% \end{aligned}$$

$$\text{Percobaan II} = (w_1 - w_2) / w_2 \times 100\%$$

$$= (500 - 482) / 482 \times 100\% = 3,734 \%$$

$$\text{Kelembaban batu pecah rata-rata} = (4,167 + 3,734) / 2 = 3,9505 \%$$

4.3.2 Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)

A. Data

Tabel 4.14 Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)

Percobaan No	1	2
Berat kerikil di udara = w ₁ (gram)	3000	3000
Berat kerikil di air = w ₂ (gram)	1872	1871
Berat jenis (BJ) = w ₁ / (w ₁ - w ₂)	2.6596	2.6572

B. Perhitungan

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan data sebagai berikut:

$$\text{Percobaan I, BJ} = w_1 / (w_1 - w_2)$$

$$= (3000 / (3000 - 1872)) = 2,6596$$

$$\text{Percobaan II, BJ} = w_1 / (w_1 - w_2)$$

$$= (3000 / (3000 - 1871)) = 2,6572$$

Berat jenis batu pecah rata-rata adalah $(2,679 + 2,710) / 2 = 2,6584$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 127-88-93 batas berat jenis pasir yang diperbolehkan adalah 2,4 sampai dengan 2,7

D. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah kami dilakukan didapatkan hasil berat jenis batu pecah adalah 2,6584 maka atas dasar referensi seperti yang telah disebutkan diatas maka batu pecah yang digunakan **memenuhi persyaratan**.

4.3.3 Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)

A. Data

Tabel 4.15 Air Resapan Batu Pecah (ASTM C 127-88 Reapp.93)

Percobaan No	1	2
--------------	---	---

Berat kerikil SSD (gram)	3000	3000
Berat kerikil oven = w (gram)	2959	2953
Kadar air resapan = $((3000-w)/w \times 100\%$	1.386%	1.592%

B. Perhitungan

Berdasarkan percobaan didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Percobaan I, Kadar air resapan} &= (3000 - w) / w \times 100\% \\ &= ((3000-2959) / 2959) \times 100 \\ &= 1,386 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percobaan II, Kadar air resapan} &= (3000 - w) / w \times 100\% \\ &= ((3000-2953) / 2953) \times 100 \\ &= 1,592 \end{aligned}$$

Kadar air resapan rata-rata adalah $= (1,386 + 1,592) / 2 = 1,489 \%$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 127 – 88-93 batas kadar air resapan yang diperbolehkan adalah 1% sampai dengan 2%

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan hasil kadar air resapan sebesar 1,489 % jadi batu pecah yang digunakan **memenuhi persyaratan** yang ada.

4.3.4 Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29 / C 29 M – 91a)

A. Data

Tabel 4.16 Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/C 29M-91a)

Jenis Percobaan	1	2
Berat silinder = w1 (kg)	5.040	5.040
Berat silinder + batu pecah = w2 (kg)	20.653	19.485
Berat batu pecah = w2-w1 (kg)	15.613	14.445
Volume silinder = v (lt)	10	10
Berat volume (BV) = w2-w1/v (kg)	1.56	1.44

B. Perhitungan

Dari percobaan diperoleh volume batu pecah:

Dengan rojokan, $BV = (w2 - w1) / v$

$$= (20,653 - 5,040) / 10 = 1,56 \text{ kg/lt}$$

$$\text{Tanpa rojokan, BV} = (w_2 - w_1) / v$$

$$= (19,485 - 5,040) / 10 = 1,44 \text{ kg/lt}$$

$$\text{Berat volume rata-rata} = (1,56 + 1,44) / 2 = 1,5$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 29-91 batas berat volume yang disyaratkan adalah sebesar 1,4 sampai dengan 1,7

D. kesimpulan

Dari percobaan yang telah kami lakukan didapatkan berat volume sebesar 1,5 Jadi batu pecah yang digunakan **memenuhi persyaratan.**

4.3.5 Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian) (ASTM C 117 - 95)

A. Data

Tabel 4.17 Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur (Pencucian)
(ASTM C 117 - 95)

Percobaan No	1	2
Berat kering sebelum dicuci = w1 (gram)	1000	1000
Berat pasir kering sesudah dicuci = w2 (gram)	809	805
Kadar lumpur = $(w_1 - w_2) / w_1 \times 100\%$	19.10%	19.50%

B. Perhitungan

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut :

Percobaan I, Kadar Lumpur

$$= (w_1 - w_2) / w_1 \times 100\% = (1000 - 809) / 1000 \times 100\%$$

$$= 19,1 \%$$

Percobaan II, Kadar Lumpur

$$= (w_1 - w_2) / w_1 \times 100\% = (1000 - 805) / 1000 \times 100\%$$

$$= 19,5 \%$$

Jadi kadar lumpur yang dikandung batu pecah = $(19,1 + 19,5) / 2 = 19,3\%$

4.3.6 Keausan Batu Pecah (ASTM C 131 – 89)

A. Data

Tabel 4.18 Keausan Batu Pecah (ASTM C 131 – 89)

Percobaan No	1
Berat sebelum diabrasi = w1 (gram)	5000
Berat sesudah diabrasi = w2 (gram)	4045
Keausan = $(w1-w2)/w1 \times 100\%$	19.11%

B. Perhitungan

Berdasarkan percobaan yang telah kami lakukan didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Keausan} &= (w1 - w2) / w1 \times 100 \% \\ &= (5000 - 4045) / 5000 \times 100\% = 19,11 \% \end{aligned}$$

C. Referensi

Berdasarkan ASTM C 11-89 batas abrasi maksimum yang diperbolehkan sebesar **50%**.

D. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah kami lakukan oleh didapatkan kadar abrasi sebesar 19,11%. Jadi agregat kasar yang digunakan masih **memenuhi persyaratan**.

4.4 Analisa Campuran Agregat

4.4.1 Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 – 01)

A. Data

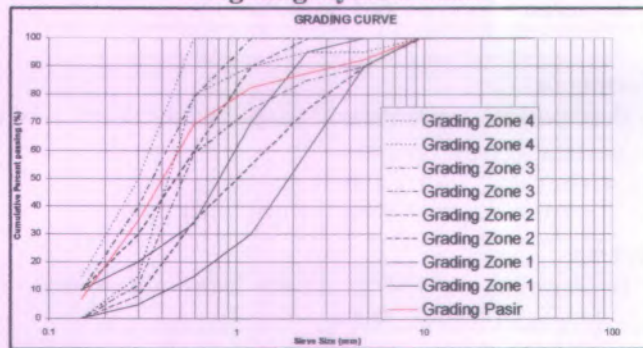
Tabel 4.19 Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 – 01) R

No.	Saringan mm	Tinggal pada ayakan		% Kumulatif tinggal
		gram	%	
4	# 4.76	37.7	7.54	7.54
8	2.380	24.2	4.84	12.38
16	1.190	26.85	5.37	17.75
30	0.590	66.2	13.24	30.99
50	0.297	171.3	34.26	65.25
100	0.149	139.3	27.86	93.11

Pan	0.000	34.45	6.89	-
Jumlah		500	100	227.02
	Fm pasir = 2.2702			

- Harga modulus kehalusan pasir = 2,2702

Lengkung Ayakan Pasir



Gambar 4.3 Grafik Lengkung Ayakan Pasir

4.4.2 Analisa Saringan Batu Pecah (ASTMC136-95A)

A. Data

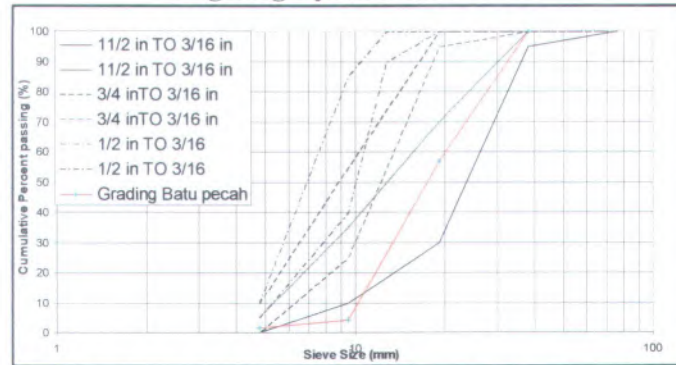
Tabel 4.20 Analisa Ayakan Batu Pecah

No.	Saringan	Tinggal pada ayakan		% Kumulatif tinggal
	mm	gram	%	
3"	7620.00%	-	-	-
3/2"	38.100	-	-	-
3/4"	19.100	6495	43.3	43.3
3/8"	9.500	7855	52.37	95.67
no.4	4.760	410	2.73	98.4
no.8	2.380	240	1.6	100
no.16	1.190	-	-	100
no.30	0.590	-	-	100
no.50	0.297	-	-	100
no.100	0.149	-	-	100

Pan	0.000	-	-	0
Jumlah		15000	100	737.37
	Fm pasir = 7.3737			

Harga modulus kehalusan batu pecah = 7,3737

Lengkung Ayakan Batu Pecah



Gambar 4.4 Grafik Lengkung Ayakan Batu Pecah

4.4.3 Analisa Campuran Agregat

Untuk mendapatkan lengkung ayakan campuran ideal digunakan ayakan no.4 (# 4,76 mm) sebagai batasan antara agregat halus dengan agregat kasar. Dari grafik lengkung ayakan campuran, prosentase kumulatif yang tertinggal pada ayakan no.4 antara 55% - 75%, sehingga didapat :

$$Y_c = (55\% + 75\%) / 2 = 65\%$$

Prosentase kumulatif dari analisa saringan pasir (Y_p) dan batu pecah (Y_{bp}) yang tertinggal pada ayakan no. 4 (# 4,76 mm) sebesar :

$$Y_p = 7,54\%$$

$$Y_{bp} = 98,4\%$$

Persentase campuran dapat dihitung sebagai berikut :

$$Y_c = [(Y_p * X_p) + Y_{bp}(100 - X_p)] / 100$$

$$6500 = [(7,54 * X_p) + 98,4(100 - X_p)]$$

$$6500 = 7,54 X_p + 9840 - 98,4X_p$$

$$3340 = 90,86 X_p$$

$$X_p = 36,76\%$$

Jadi diperoleh prosentasi pasir $X_p = 36.76\%$ dan prosentase batu pecah

$$= 100\% - 36,76\% = 63,24\%$$

$$\text{sehingga, pasir } (X_p) = 36,76\% \approx 37\%$$

$$\text{batu pecah } (X_{bp}) = 63,24\% \approx 63\%$$

setelah diplot pada grafik lengkung ayakan campuran, ternyata **tidak ada** bagian grafik yang keluar dari lengkung grafik diameter max 40 mm. Karena pada batas ayakan kumulatif teratas berhimpit dengan lengkung grafik diameter max 40mm, agar lebih baik dan benar-benar masuk pada lengkung tersebut. Maka, prosentase batu pecah diubah menjadi 63 % dan prosentase pasir diubah menjadi 37 %.

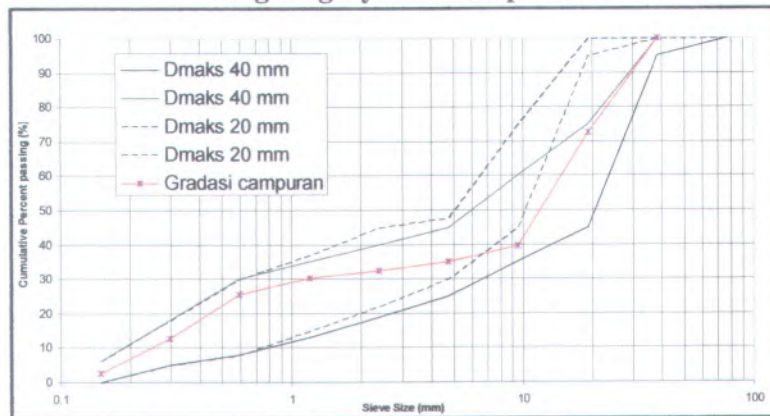
Tabel 4.21 Tabel Analisa Ayakan Campuran Pasir Dan Batu Pecah

Lubang Analisa inci/mm	Pasir I E%	Batu I E%	Campuran pasir dan batu pecah		
			Pasir I	Batu pecah I	E %
			37 %	63 %	
Dia. 3"	--	--	--	--	--
1 ½"	--	--	--	--	--
¾"	--	43,3	--	27,279	27,279
3/8"	--	95,67	--	60,2721	60,2721
# 4,76	7,54	98,4	2,7898	61,992	64,7818
2,38	12,38	100	4,5806	63	67,5806

1,19	17,75	100	6,5675	63	69,5675
0,59	30,99	100	11,4663	63	74,4663
0,297	65,25	100	24,1425	63	87,1425
0,149	93,11	100	34,4507	63	97,4507
0	-	--	--	--	--
jumlah	227,02	737,37			548,54
F	2,2702	7,3737	Fm campuran = 5,4854		

Fm agregat campuran = 5,4854

Lengkung Ayakan Campuran



Gambar 4.5 Grafik Lengkung Ayakan Campuran

4.7. Perencanaan Pembuatan Beton (Mix Desain)

4.7.1 Perencanaan Untuk Mutu Beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$.

4.7.1.1 Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment).

Tabel 4.22 Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment)

No	Uraian	Tabel/Grafik	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	ditetapkan	25 Mpa pada 28 hari bagian cacat 10 %
2	Deviasi standar	Tak ditetapkan	Tanpa data
3	Nilai tambah (margin)		8,5
4	Kekuatan tekan rata-rata target	Ayat 3.3.2	$25 + 8,5 = 33,5 \text{ Mpa}$
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Gresik S550 type I
6	Jenis agregat halus Jenis agregat kasar		Pasir alami batu pecah
7	Faktor air semen bebas	Tabel 2 grafik 1 atau 2	0,525
8	Factor air semen max	Tak Ditetapkan	0,60
9	Slump	Ditetapkan	100 mm
10	Ukuran agregat max	Grafik lengkung agregat campuran	40 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 6 ayat	187 kg/m^3

		3.3.5	
12	Jumlah semen	11:8 atau 7	$187 / 0,525 = 356,19 \text{ kg/m}^3$
13	Jumlah semen max	Tak Ditetapkan	-
14	Jumlah semen min	Tak Ditetapkan	275 kg/m ³
15	Faktor air semen yang disesuaikan		-
16	Susunan besar butir agregat halus	Analisa pasir	Zone 3
17	Persen agregat halus & kasar	Grafik lengkung agregat campuran	Halus : 37 % kasar : 63 %
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)		2,658 kg/m ³
19	Berat jenis beton	Grafik 13	2395 kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	19-12-11	1851,81 kg/m ³
21	Kadar agregat halus	17x20	685,17 kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	20-21	1166,64 kg/m ³

4.7.1.2 Cara Pengisian Formulir

Perhitungan pengisian formulir rencana campuran beton diatas ialah sebagai berikut:

1. Kuat tekan karakteristik : ditentukan **25 Mpa** (umur 28 hari)

12. Jumlah semen = kadar air bebas : factor air semen

$$= 187 / 0,525 = 356,19 \text{ kg/m}^3$$
13. Jumlah semen maximum tidak ditentukan
14. Jumlah semen minimum tak ditetapkan.
15. Factor air semen yang disesuaikan tidak ditetapkan
16. Susunan butir agregat halus termasuk **zone 3** (dari hasil analisa saringan)
17. Persen agregat yang lebih halus dari 4,76mm diperoleh dari hasil analisa ayakan pasir dan batu pecah yaitu sebesar (**pasir = 37% ; Batu pecah = 63 %**)
18. Berat jenis relatif agregat = (% pasirxBJ pasir)+(%BpxBJ Bp)

$$= 37\% \times 2.6565 + 63\% \times 2.6584$$

$$= 0,983 + 1,675$$

$$= 2,658 \text{ kg/m}^3$$
19. Berat jenis beton berdasarkan grafik 13 dengan diketahui kadar air bebas = **187 kg/m³**
 Berat jenis relatif agregat = 2,658 kg/m³, lalu di plot pada grafik 13 diperoleh Berat jenis beton = **2395 kg/m³**
20. Kadar agregat gabungan = berat jenis beton – kadar semen – kadar Air bebas

$$= 2395 - 356,19 - 187 = 1851,81 \text{ kg/m}^3$$
21. Kadar agregat halus = 37%x 1851,81 = **685,17 kg/m³**
22. Kadar agregat kasar = 1851,81-685,17 = **1166,64 kg/m³**

Banyaknya bahan yang dibutuhkan untuk campuran beton dalam **kondisi SSD**

Tabel 4.23 Banyaknya Bahan Yang Dibutuhkan Untuk Campuran Beton Dalam Kondisi SSD

Banyaknya bahan	Semen (kg)	Pasir (kg)	Batu pecah (kg)	Air (kg)
Tiap m ³	356,19	685,17	1166,64	187

4.7.1.3 Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli

Keadaan asli dari material yang dimaksud adalah keadaan material pada waktu akan dilakukan pengecoran. Karena keadaan material waktu pengujian di laboratorium bisa berbeda dengan waktu akan dilaksanakan pengecoran.

Tabel 4.24 Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli

BAHAN	PASIR	BATU PECAH
Berat Jenis (SSD)	2,6565 kg/dm ³	2,6584 kg/dm ³
Kelembaban	4,265 % (Cm)	3,9505 % (Dm)
Resapan	2,041 % (Ca)	1,489 % (Da)
Berat volume	1,644 kg/dm ³	1,5 kg/dm ³

Dalam keadaan SSD :

- PC (A) = 356,19 kg/m³
- AIR (B) = 187. kg/m³
- PASIR (C) = 685,17 kg/m³
- BATU PECAH (D) = 1166,64 kg/m³

Penyesuaian :

1. PC : 356,19 kg/m³ (tetap)
2. Air : $B - (Cm - Ca) \times (C / 100) - (Dm - Da) \times (D / 100)$
 : $187 - ((4,265 - 2,041) \times (685,17 / 100))$
 - $((3,9505 - 1,489) \times (1166,64 / 100))$
 : $187 - 15,238 - 27,55$

- : 144,212 kg/m³
3. Pasir : $C + (C_m - C_a) \times (C/100)$
 : 685,17 + 15,238
 : 700,408 kg/m³
4. Batu pecah : $D + (D_m - D_a) \times (D/100)$
 : 1166,64 + 27,55
 : 1194,19 kg/m³

Maka perbandingan dalam berat kondisi asli ialah :

$$\text{PC} : \text{Pasir} : \text{Batu pecah} = 356,19 : 700,408 : 1194,19$$

$$= 1 : 1,966 : 3,353$$

perbandingan volume dalam kondisi asli ialah :

$$\text{PC} : \text{Pasir} : \text{batu pecah}$$

$$= 1/\text{BV PC} : 1,966/\text{BV ps} : 3,353/\text{BV Bp}$$

$$= 1/1,342 : 1,966/1,644 : 3,353/1,5$$

$$= 0,745 : 1,196 : 2,235$$

$$= 1 : 1,605 : 3$$

4.7.2 Perencanaan Untuk Mutu Beton $f'_c = 30 \text{ Mpa}$.

4.7.2.1 Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment).

Tabel 4.25 Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment)

No	Uraian	Tabel/Grafik	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	ditetapkan	30 Mpa pada 28 hari bagian cacat 10 %
2	Deviasi standar	Tak ditetapkan	Tanpa data
3	Nilai tambah (margin)		8,5
4	Kekuatan tekan rata-rata target	Ayat 3.3.2	$30 + 8,5 = 38,5$ Mpa

5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Gresik S550 type I
6	Jenis agregat halus Jenis agregat kasar		Pasir alami batu pecah
7	Faktor air semen bebas	Tabel 2 grafik 1 atau 2	0,48125
8	Factor air semen max	Tak Ditetapkan	0,60
9	Slump	Ditetapkan	100 mm
10	Ukuran agregat max	Grafik lengkung agregat campuran	40 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 6 ayat 3.3.5	187 kg/m ³
12	Jumlah semen	11:8 atau 7	$187 / 0,48125 =$ 388,57 kg/m ³
13	Jumlah semen max	Tak Ditetapkan	-
14	Jumlah semen min	Tak Ditetapkan	275 kg/m ³
15	Faktor air semen yang disesuaikan		-
16	Susunan besar butir agregat halus	Analisa pasir	Zone 3
17	Persen agregat halus & kasar	Grafik lengkung agregat	Halus : 37 % kasar : 63 %

9. Slump ditetapkan berdasarkan kondisi di lapangan, yakni **100 mm**
10. Ukuran agregat maximum = **40 mm** (diameter)
11. Kadar air bebas
 - Dari tabel 6 didapatkan besarnya slump rata-rata = $(60+100)/2 = 80 \text{ mm}$ dan jumlah air agregat halus (W_f) = 175 kg/m^3 dan agregat kasar (W_c) = 205 kg/m^3
 - Dari tabel perubahan slump berdasarkan harga slump yang ditetapkan 100mm dan slump rata-rata 80mm maka diperoleh angka penambahan kadar air bebas sebesar $- 3 \text{ kg/m}^3$ (tabel slump).
 - Pada saat pencampuran suhu 30 derajat celcius . Suhu ruang /ketetapan 25 derajat celcius.
Kadar air bebas dapat ditetapkan sbb :

$$= [2/3W_f + 1/3W_c + (30-25) + (-3)]$$

$$= [2/3 \times (175) + 1/3 \times (205) + 5 + (-3)]$$

$$= [116,67 + 68,3 + 5 - 3] = 187 \text{ kg/m}^3$$
12. Jumlah semen = kadar air bebas : factor air semen

$$= 187 / 0,48125 = 388,57 \text{ kg/m}^3$$
13. Jumlah semen maximum tidak ditentukan
14. Jumlah semen minimum tak ditetapkan.
15. Factor air semen yang disesuaikan tidak ditetapkan
16. Susunan butir agregat halus termasuk zone 3 (dari hasil analisa saringan)
17. Persen agregat yang lebih halus dari 4,76mm diperoleh dari hasil analisa ayakan pasir dan batu pecah yaitu sebesar (pasir = 37 % ; Batu pecah = 63 %).
18. Berat jenis relatif agregat = $(\% \text{ pasir} \times B_J \text{ pasir}) + (\% B_p \times B_J B_p)$

$$\begin{aligned}
 &= 37 \% \times 2,6565 + 63 \% \times 2,6584 \\
 &= 0,983 + 1,675 \\
 &= \mathbf{2,658 \text{ kg/m}^3}
 \end{aligned}$$

19. Berat jenis beton berdasarkan grafik 13 dengan diketahui kadar air bebas = $\mathbf{187 \text{ kg/m}^3}$
 Berat jenis relatif agregat = $2,658 \text{ kg/m}^3$, lalu di plot pada grafik 13 diperoleh Berat jenis beton = $\mathbf{2395 \text{ kg/m}^3}$
20. Kadar agregat gabungan = berat jenis beton – kadar semen – kadar Air bebas
 $= 2395 - 388,57 - 187$
 $= \mathbf{1819,43 \text{ kg/m}^3}$
21. Kadar agregat halus = $37 \% \times 1819,43 = \mathbf{673,19 \text{ kg/m}^3}$
22. Kadar agregat kasar = $1819,43 - 673,19 = \mathbf{1146,24 \text{ kg/m}^3}$

Banyaknya bahan yang dibutuhkan untuk campuran beton dalam **kondisi SSD**

Tabel 4.26 Banyaknya Bahan Yang Dibutuhkan Untuk Campuran Beton Dalam Kondisi SSD

Banyaknya bahan	Semen (kg)	Pasir (kg)	Batu pecah (kg)	Air (kg)
Tiap m ³	388,57	673,19	1146,24	187

4.7.2.3 Perhitungan Campuran Beton Dalam Deadaan Asli

Keadaan asli dari material yang dimaksud adalah keadaan material pada waktu akan dilakukan pengecoran. Karena keadaan material waktu pengujian di laboratorium bisa berbeda dengan waktu akan dilaksanakan pengecoran.

Tabel 4.27 Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli

BAHAN	PASIR	BATU PECAH
Besar Jenis (SSD)	2,6565 kg/dm ³	2,6584 kg/dm ³
Kelembaban	4,265 % (Cm)	3,9505 % (Dm)
Resapan	2,041 % (Ca)	1,489 % (Da)
Berat volume	1,644 kg/dm ³	1,5 kg/dm ³

Dalam keadaan SSD :

- PC (A) = 388,57 kg/m³
- AIR (B) = 187 kg/m³
- PASIR (C) = 673,19 kg/m³
- BATU PECAH (D) = 1146,24 kg/m³

Penyesuaian :

1. PC : **366.67 kg/m³ (tetap)**
2. Air : $B - (Cm - Ca) \times (C/100) - (Dm - Da) \times (D/100)$
 $: 187 - (2,556 - 2,041) \times (666,84/100) -$
 $(1,626 - 5,708) \times (1185,49/100)$
 $: 187 - 3,434 + 48,368$
: 231,934 kg/m³
3. Pasir : $C + (Cm - Ca) \times (C/100)$
 $: 666,67 - (3,513)$
: 670,183 kg/m³
4. Batu pecah : $D + (Dm - Da) \times (D/100)$
 $: 1185,49 - 48,368$
: 1137,122 kg/m³

Maka perbandingan dalam berat kondisi asli ialah :

$$\text{PC : Pasir : Batu pecah} = 366,67 : 670,18 : 1137,122$$

$$= 1 : 1,827 : 3,101$$

perbandingan volume dalam kondisi asli ialah :

$$\text{PC : Pasir : batu pecah}$$

$$= 1/BV \text{ PC} : 1,827/BV \text{ ps} : 3,101/BV \text{ Bp}$$

$$= 1/1,342 : 1,827/1,644 : 3,101/1,5$$

$$= 0,745 : 1,111 : 2,067$$

$$= 1 : 1,491 : 2,774$$

4.7.3 Perencanaan Untuk Mutu Beton $f'c = 35$ Mpa.

4.7.3.1 Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment).

Tabel 4.28 Formulir Rancangan Campuran Beton Dengan Metode DOE (Development of Environment)

No	Uraian	Tabel/grafik	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	ditetapkan	35 Mpa pada 28 hari bagian cacat 10 %
2	Deviasi standar	Tak ditetapkan	Tanpa data
3	Nilai tambah (margin)		8,5
4	Kekuatan tekan rata-rata target	Ayat 3.3.2	$35 + 8,5 = 43.5$ Mpa
5	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Gresik S550 type I
6	Jenis agregat halus Jenis agregat kasar		Pasir alami batu pecah
7	Faktor air semen bebas	Tabel 2 grafik1 atau 2	0,4375
8	Factor air semen max	Tak Ditetapkan	0,60
9	Slump	Ditetapkan	100 mm
10	Ukuran agregat max	Grafik lengkung agregat campuran	40 mm
11	Kadar air bebas	Tabel 6 ayat 3.3.5	187 kg/m^3
12	Jumlah semen	11:8 atau 7	$187 / 0,4375 = 427,43 \text{ kg/m}^3$
13	Jumlah semen max	Tak Ditetapkan	-

kasar batu pecah dapat diperoleh dari grafik 1 sebesar **0,4375**

8. Factor air semen maximum tak ditetapkan
9. Slump ditetapkan berdasarkan kondisi di lapangan, yakni **100 mm**
10. Ukuran agregat maximum = **40 mm** (diameter)
11. Kadar air bebas
 - Dari tabel 6 didapatkan besarnya slump rata-rata = $(60+100)/2 = 80 \text{ mm}$ dan jumlah air agregat halus (W_f) = **175 kg/m³** dan agregat kasar (W_c) = **205 kg/m³**
 - Dari tabel perubahan slump berdasarkan harga slump yang ditetapkan 100mm dan slump rata-rata 80mm maka diperoleh angka penambahan kadar air bebas sebesar **- 3 kg/m³** (tabel slump).
 - Pada saat pencampuran suhu 30 derajat celcius . Suhu ruang /ketetapan 25 derajat celcius.
Kadar air bebas dapat ditetapkan sbb :

$$= [2/3 W_f + 1/3 W_c + (30-25) + (-3)]$$

$$= [2/3 \times (175) + 1/3 \times (205) + 5 + (-3)]$$

$$= [116,67 + 68,3 + 5 - 3] = \mathbf{187 \text{ kg/m}^3}$$
12. Jumlah semen = kadar air bebas : factor air semen

$$= 187 / 0,4375 = \mathbf{427,43 \text{ kg/m}^3}$$
13. Jumlah semen maximum tidak ditentukan
14. Jumlah semen minimum tak ditetapkan.
15. Factor air semen yang disesuaikan tidak ditetapkan
16. Susunan butir agregat halus termasuk zone 3 (dari hasil analisa saringan)
17. Persen agregat yang lebih halus dari 4,76mm diperoleh dari hasil analisa ayakan pasir dan batu

pecah yaitu sebesar (pasir = 37 % ; Batu pecah = 63 %)

18. Berat jenis relatif agregat = (% pasirxBJ pasir)+(%BpxBJ Bp)

$$= 37 \% \times 2,6565 + 63 \% \times 2,6584$$

$$= 0,983 + 1,675$$

$$= 2,658 \text{ kg/m}^3$$
19. Berat jenis beton berdasarkan grafik 13 dengan diketahui kadar air bebas = **187 kg/m³**
 Berat jenis relatif agregat = 2.658 kg/m³, lalu di plot pada grafik 13 diperoleh Berat jenis beton = **2395 kg/m³**
20. Kadar agregat gabungan = berat jenis beton – kadar semen – kadar air bebas

$$= 2395 - 427,43 - 187$$

$$= 1780,57 \text{ kg/m}^3$$
21. Kadar agregat halus = 37 %x 1780,57 = **658,81 kg/m³**
22. Kadar agregat kasar = 1794,12 – 651,27 = **1121,76 kg/m³**

Banyaknya bahan yang dibutuhkan untuk campuran beton dalam **kondisi SSD**

Tabel 4.29 Banyaknya Bahan Yang Dibutuhkan Untuk Campuran Beton Dalam Kondisi SSD

Banyaknya bahan	Semen (kg)	Pasir (kg)	Batu pecah (kg)	Air (kg)
Tiap m ³	427,43	658,81	1121,76	187

4.7.3.3 Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli

Keadaan asli dari material yang dimaksud adalah keadaan material pada waktu akan dilakukan pengecoran. Karena keadaan

material waktu pengujian di laboratorium bisa berbeda dengan waktu akan dilaksanakan pengecoran.

Tabel 4.30 Perhitungan Campuran Beton Dalam Keadaan Asli

BAHAN	PASIR	BATU PECAH
Besar Jenis (SSD)	2,6565 kg/dm ³	2,6584 kg/dm ³
Kelembaban	4,265 % (Cm)	3,9505 % (Dm)
Resapan	2,041% (Ca)	1,489 % (Da)
Berat volume	1,644 kg/dm ³	1,5 kg/dm ³

Dalam keadaan SSD :

- PC (A) = 427,43 kg/m³
- AIR (B) = 187 kg/m³
- PASIR (C) = 658,81 kg/m³
- BATU PECAH (D) = 1121,76 kg/m³

Penyesuaian :

1. PC : **427,43 kg/m³ (tetap)**
2. Air : $B - (Cm - Ca) \times (C/100) - (Dm - Da) \times (D/100)$
 $: 187 - (4,265 - 2,041) \times (658,81/100) -$
 $(3,9505 - 1,489) \times (1121,76/100)$
 $: 187 - 14,652 - 27,612$
: 144,735 kg/m³
3. Pasir : $C + (Cm - Ca) \times (C/100)$
 $: 658,81 + (14,652)$
: 673,462 kg/m³
4. Batu pecah : $D + (Dm - Da) \times (D/100)$
 $: 1121,76 + 27,612$
: 1149,372 kg/m³

Maka perbandingan dalam berat kondisi asli ialah :

$$\begin{aligned}
 & \text{PC : Pasir : Batu pecah} \\
 & = 427,43 : 673,462 : 1149,372 \\
 & = 1 : 1,576 : 2,689
 \end{aligned}$$

perbandingan volume dalam kondisi asli ialah :

PC : Pasir : batu pecah

= 1/BV PC : 1,576/BV ps : 2,689/BV Bp

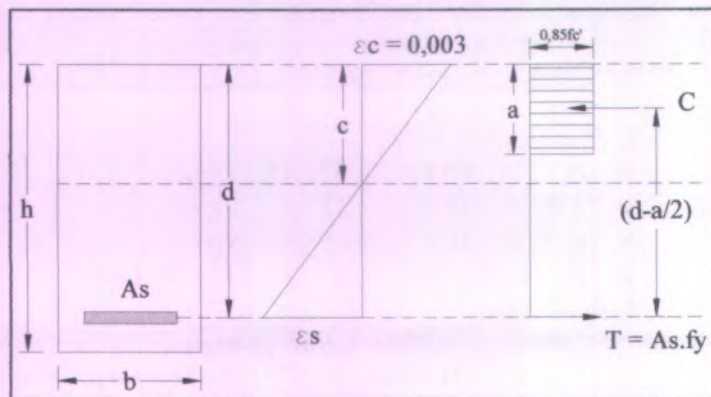
= 1/1,342 : 1,576/1.644 : 2,689/1.5

= 0,745 : 0,959 : 1,793

= 1 : 1,287 : 2,407

4.8 Perhitungan Tulangan Kondisi Underreinforced

4.8.1 Kuat Tekan Beton (f_c') = 25 Mpa



Gambar 4.6. Diagram regangan dan tegangan pada beton bertulang mutu 25 MPa.

Diketahui:

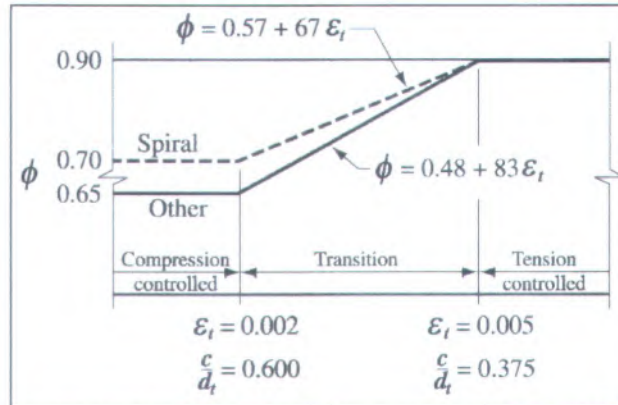
$b = 15 \text{ cm}$

$h = 20 \text{ cm}$

$d = 18 \text{ cm}$

$f_c' = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 400 \text{ MPa}$



Gambar 4.7 Variasi ϕ yang terjadi berdasarkan ϵ_t yang terjadi

Menurut gambar 4.7 grafik hubungan antara ϕ dengan ϵ_t atau c/d diatas bahwa kondisi *tensionn controlled* atau *underreinforced* terjadi apabila $\epsilon_t \leq 0.005$ atau $\frac{c}{d} \leq 0,375$

dimana ϵ_t adalah regangan tarik bersih, c adalah tinggi garis netral dan d adalah tinggi efektif. Jadi dalam perencanaan

balok *underreinforced* ini akan digunakan $\frac{c}{d} = 0,25$

$$c = 0,25 \times 18 \\ = 4,5 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ Mpa}$$

$$= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{10} \right) \text{ untuk } f'c > 30 \text{ Mpa}$$

Tetapi β_1 tidak boleh $< 0,65$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$a = 0,85 \times 4,5 \\ = 3,825 \text{ cm}$$

$$C = 0,85 \times f'c \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 250 \times 15 \times 3,825$$

$$= 12192,1875 \text{ kg}$$

$$C = T$$

$$T = A_s \times f_y$$

Luas tulangan yang dibutuhkan:

$$A_s = \frac{T}{f_y}$$

$$= \frac{12192,1875}{4000}$$

$$= 3,048 \text{ cm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan $4 \phi 10$ dengan $A_s = 3,143 \text{ cm}^2$

Kontrol Perhitungan:

$$d = h - (\text{decking} + \phi \text{ tul} + 0.5 \text{ jarak antar tul})$$

$$d = 20 - (2 + 1 + (0.5 \times 2.5))$$

$$d = 15,75 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$\rho = \frac{3,143}{15 \times 15,75} = 0,0133$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_s + 0,004} \right) \dots (\text{SNI } 03-2847-2002)$$

$$\epsilon_s = 0,003 \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$\epsilon_s = 0,003 \left(\frac{15,75 - 4,5}{4,5} \right)$$

$$= 0,0075$$

$$\rho_b = 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{400} \left(\frac{0,0075}{0,0075 + 0,004} \right)$$

$$= 0,02945$$

$$0,75 \rho_b = 0.022$$

$$\rho \leq 0.75 \rho_b$$

$$0,0133 < 0,022$$



Underreinforced (OK)

Perhitungan Momen Ultimate

$$a = \frac{Asx f_y}{0.85 x f'_c x b}$$

$$a = \frac{3.143 \times 400}{0.85 \times 25 \times 15} \\ = 3,944 \text{ cm}$$

$$Mn = Asx f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 3.143 \times 4000 \left(15.75 - \frac{3.944}{2} \right)$$

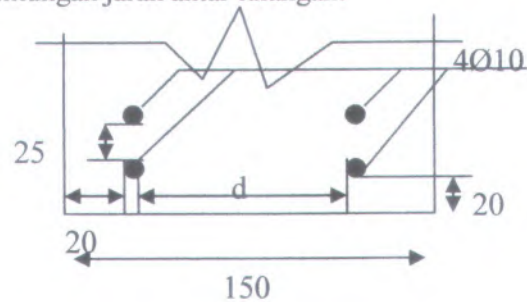
$$= 173217,016 \text{ kg cm} \\ = 173,217016 \text{ ton cm} \\ = 1,7322 \text{ ton m}$$

$$Mu = \phi Mn$$

$\phi = 0,90$ untuk kondisi tension control

$$Mu = 0,9 \times 1,7322 \text{ ton m} \\ = 1,56 \text{ ton m}$$

Perhitungan jarak antar tulangan.



$$d = b - (2 \times d_{\text{tulangan}}) - (2 \times \text{decking})$$

$$d = 150 - (2 \times 10) - (2 \times 20)$$

$$d = 90 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan.

$$- d > d_{\text{tulangan terbesar}}$$

$$90 \text{ mm} > 16 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$- d > \frac{4}{3} \times \text{ukuran agregat terbesar}$$

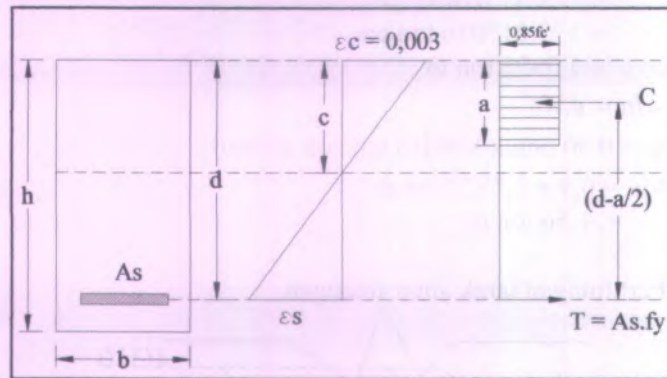
$$90 \text{ mm} > \frac{4}{3} \times 40 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} > 53,33 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$- d > 30 \text{ mm}$$

$$90 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4.8.2 Kuat Tekan Beton (f'_c) = 30 Mpa



Gambar 4.8 Diagram regangan dan tegangan pada beton bertulang mutu 30 MPa.

Diketahui:

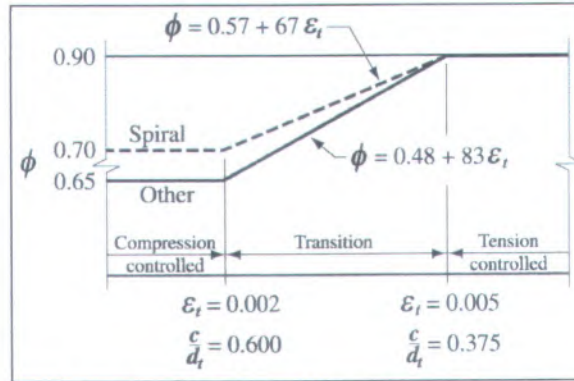
$$b = 15 \text{ cm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d = 18 \text{ cm}$$



Gambar 4.9 Variasi ϕ yang terjadi berdasarkan ε_t yang terjadi

Menurut gambar 4.9 grafik hubungan antara ϕ dengan ε_t atau c/d diatas bahwa kondisi *tension controlled* atau *underreinforced* terjadi apabila $\varepsilon_t \leq 0.005$ atau $\frac{c}{d} \leq 0,375$ dimana ε_t adalah regangan tarik bersih, c adalah tinggi garis netral dan d adalah tinggi efektif. Jadi dalam perencanaan

balok *underreinforced* ini akan digunakan $\frac{c}{d} = 0,25$

$$c = 0,25 \times 18 \\ = 4,5 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ Mpa}$$

$$= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{10} \right) \text{ untuk } f'c > 30 \text{ Mpa}$$

Tetapi β_1 tidak boleh $< 0,65$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$a = 0,85 \times 4,5$$

$$= 3,825 \text{ cm}$$

$$C = 0,85 \times f'c \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 300 \times 15 \times 3,825$$

$$= 14630,625 \text{ kg}$$

$$C = T$$

$$T = A_s \times f_y$$

Luas tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{T}{f_y} \\ &= \frac{14630,625}{4000} \\ &= 3,658 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan 4 ϕ 12 dengan $A_s = 4,526 \text{ cm}^2$

Kontrol Perhitungan:

$$d = h - (\text{decking} + \phi \text{ tul} + 0.5 \text{ jarak antar tul})$$

$$d = 20 - (2 + 1.2 + (0.5 \times 2.5))$$

$$d = 15,55 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$\rho = \frac{4,526}{15 \times 15,55} = 0,0194$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_s + 0,004} \right)$$

$$\epsilon_s = 0,003 \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0,003 \left(\frac{15,55 - 4,5}{4,5} \right) \\ &= 0,00737 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{400} \left(\frac{0,00737}{0,00737 + 0,004} \right) \\ &= 0,0351 \end{aligned}$$

$$0,75 \rho_b = 0,026325$$

$$\rho \leq 0,75 \rho_b$$

$$0,0194 \leq 0,026325$$



Underreinforced (OK)

Perhitungan Momen Ultimate.

$$a = \frac{Asx f_y}{0,85 x f'_c x b}$$

$$a = \frac{4,526 x 400}{0,85 x 30 x 15}$$

$$= 4,733 \text{ cm}$$

$$Mn = Asx f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 4,526 x 4000 \left(15,55 - \frac{4,733}{2} \right)$$

$$= 238674,084 \text{ kg cm}$$

$$= 238,674084 \text{ ton cm}$$

$$= 2,387 \text{ ton m}$$

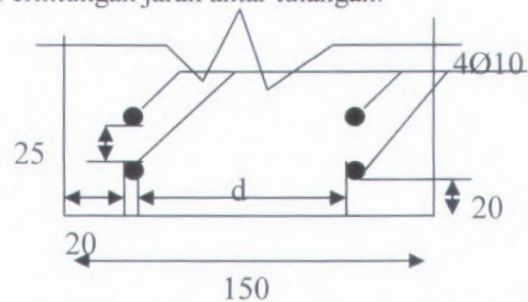
$$Mu = \phi Mn$$

$\phi = 0,90$ untuk kondisi tension control

$$Mu = 0,9 x 2,387 \text{ ton m}$$

$$= 2,1483 \text{ ton m}$$

Perhitungan jarak antar tulangan.



$$d = b - (2 x d_{tulangan}) - (2 x decking)$$

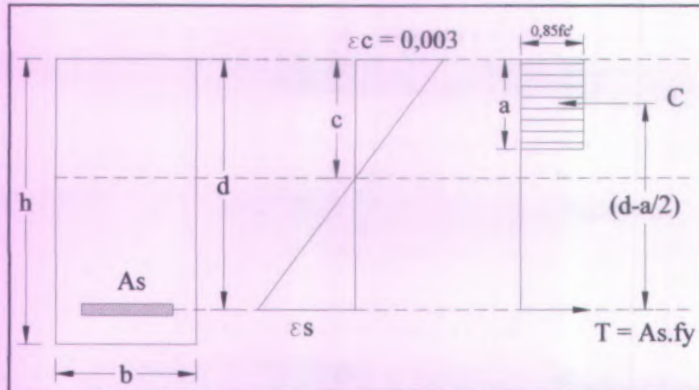
$$d = 150 - (2 \times 12) - (2 \times 20)$$

$$d = 86 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan.

- $d > d_{\text{tulangan terbesar}}$
 $86 \text{ mm} > 19 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- $d > \frac{4}{3} \times \text{ukuran agregat terbesar}$
 $86 \text{ mm} > \frac{4}{3} \times 40 \text{ mm}$
 $86 \text{ mm} > 53,33 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- $d > 30 \text{ mm}$
 $86 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

4.8.3 Kuat Tekan Beton (f_c') = 35 Mpa



Gambar 4.10 Diagram regangan dan tegangan pada beton bertulang mutu 35 MPa.

Diketahui:

$$b = 15 \text{ cm}$$

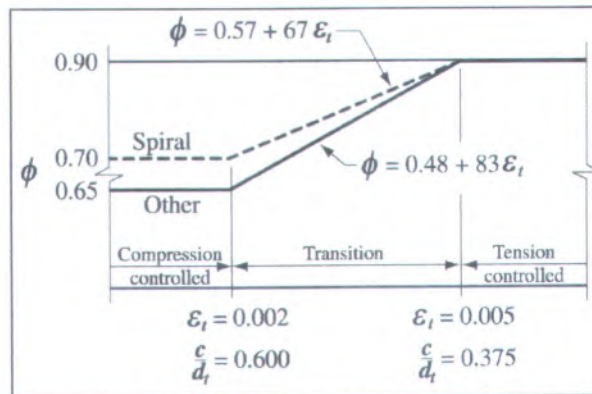
$$h = 20 \text{ cm}$$

$$d = 18 \text{ cm}$$

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Balok dihitung dalam kondisi tension control.



Gambar 4.11 Variasi ϕ yang terjadi berdasarkan ϵ_t yang terjadi

Menurut gambar 4.11 grafik hubungan antara ϕ dengan ϵ_t atau c/d diatas bahwa kondisi *tension controlled* atau *underreinforced* terjadi apabila $\epsilon_t \leq 0.005$ atau $\frac{c}{d} \leq 0,375$ dimana ϵ_t adalah regangan tarik bersih, c adalah tinggi garis netral dan d adalah tinggi efektif. Jadi dalam perencanaan balok *underreinforced* ini akan digunakan $\frac{c}{d} = 0,25$

$$c = 0,25 \times 18 \\ = 4,5 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ Mpa}$$

$$= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 30}{10} \right) \text{ untuk } f'c > 30 \text{ Mpa}$$

Tetapi β_1 tidak boleh $< 0,65$

$$\beta_1 = 0,825$$

$$a = 0,825 \times 4,5$$

$$= 3,7125 \text{ cm}$$



$$\begin{aligned}
 C &= 0,85 \times f'c \times b \times a \\
 &= 0,85 \times 350 \times 15 \times 3,7125 \\
 &= 16567,03125 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$C = T$$

$$T = A_s \times f_y$$

Luas tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{T}{f_y} \\
 &= \frac{16567,03125}{4000} \\
 &= 4,142 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan $4\phi 12$ dengan $A_s = 4,526 \text{ cm}^2$

Kontrol Perhitungan:

$$d = h - (\text{decking} + \phi \text{ tul} + 0.5 \text{ jarak antar tul})$$

$$d = 20 - (2 + 1.2 + (0.5 \times 2.5))$$

$$d = 15,55 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$\rho = \frac{4,526}{15 \times 15,55} = 0,0194$$

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_s + 0,004} \right)$$

$$\epsilon_s = 0,003 \left(\frac{d - c}{c} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= 0,003 \left(\frac{15,55 - 4,5}{4,5} \right) \\
 &= 0,00737
 \end{aligned}$$

$$\rho_b = 0.85 \times 0.825 \times \frac{35}{400} \left(\frac{0.00737}{0.00737 + 0.004} \right)$$

$$= 0,0398$$

$$0,75 \rho_b = 0,02985$$

$$\rho \leq 0.75 \rho_b$$

$$0,0194 \leq 0,02985 \quad \rightarrow \text{Underreinforced (OK)}$$

Perhitungan Momen Ultimate.

$$a = \frac{A_s x f_y}{0.85 x f'_c x b}$$

$$a = \frac{4.526 \times 400}{0.85 \times 35 \times 15}$$

$$= 4,057 \text{ cm}$$

$$M_n = A_s x f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 4.526 \times 4000 \left(15.55 - \frac{4.057}{2} \right)$$

$$= 244793,236 \text{ kg cm}$$

$$= 244,793236 \text{ ton cm}$$

$$= 2,448 \text{ ton m}$$

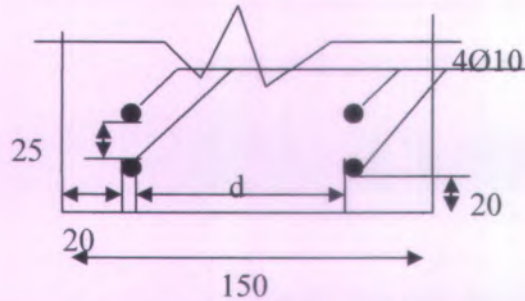
$$M_u = \phi M_n$$

$$\phi = 0,90 \text{ untuk kondisi tension control}$$

$$M_u = 0,9 \times 2,448 \text{ ton m}$$

$$= 2,2032 \text{ ton m}$$

Perhitungan jarak antar tulangan.



$$d = b - (2 \times d_{tulangan}) - (2 \times decking)$$

$$d = 150 - (2 \times 12) - (2 \times 20)$$

$$d = 86 \text{ mm}$$

Kontrol jarak tulangan.

- $d > d_{tulangan \text{ terbesar}}$
 $86 \text{ mm} > 19 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- $d > \frac{4}{3} \times \text{ukuran agregat terbesar}$
 $86 \text{ mm} > \frac{4}{3} \times 40 \text{ mm}$
 $86 \text{ mm} > 53,33 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- $d > 30 \text{ mm}$
 $86 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

4.9 Pelaksanaan Campuran Beton

4.9.1 Pembuatan campuran beton untuk $f'c = 25 \text{ MPa}$ (ASTM C 192-90a)

Kebutuhan bahan untuk membuat 4 benda uji silinder dengan diameter 15 cm, $t = 30 \text{ cm}$ dan 3 benda uji balok dengan ukuran $15 \times 20 \times 80 \text{ cm} = (4 \times (1/4 \times 3,14 \times D^2 \times t)) + (3 \times (15 \times 20 \times 80)) = (4 \times 1/4 \times 3,14 \times 15 \times 15 \times 30) + (3 \times 15 \times 20 \times 80) = 93205,75 \text{ cm}^3 = 0,0932 \text{ m}^3$

Untuk menjaga agar tidak terjadi kekurangan campuran beton basah karena hal yang tidak diinginkan,

maka volume hasil perhitungan ditambah 10 % dari volume tersebut sehingga menjadi 0,10252 m³.

Maka banyaknya bahan yang diperlukan dalam kondisi asli :

1. PC = $356.19 \times 0.10252 = 35.517$ kg
2. Air = $143.003 \times 0.10252 = 14.661$ kg
3. Pasir = $700.408 \times 0.10252 = 71.806$ kg
4. Batu pecah = $1195.357 \times 0.10252 = 122.548$ kg

Setelah bahan-bahan yang dibutuhkan ditimbang berdasarkan komposisi diatas, segera masukkan ke dalam molen. Langkah – langkah bahan yang dimasukkan molen:

1. Batu pecah + $\frac{3}{4}$ bagian air
2. Pasir + semen
3. Sisa air

4.9.2 Pembuatan campuran beton untuk $f'c = 30$ MPa (ASTM C 192-90a).

Kebutuhan bahan untuk membuat 4 benda uji silinder dengan diameter 15 cm, t = 30 cm dan 3 benda uji balok dengan ukuran 15 x 20 x 80 cm = $(4 \times (\frac{1}{4} \times 3.14 \times D^2 \times t)) + (3 \times (15 \times 20 \times 80)) = (4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15 \times 15 \times 30) + (3 \times 15 \times 20 \times 80) = 93205.75 \text{ cm}^3 = 0,0932 \text{ m}^3$

Untuk menjaga agar tidak terjadi kekurangan campuran beton basah karena hal yang tidak diinginkan, maka volume hasil perhitungan ditambah 10 % dari volume tersebut sehingga menjadi 0,10252 m³.

Maka banyaknya bahan yang diperlukan dalam kondisi asli :

1. PC = $388.57 \times 0.10252 = 39.836$ kg
2. Air = $143.813 \times 0.10252 = 14.744$ kg
3. Pasir = $688.162 \times 0.10252 = 70.550$ kg
4. Batu pecah = $1174.455 \times 0.10252 = 120.405$ kg

Setelah bahan-bahan yang dibutuhkan ditimbang berdasarkan komposisi diatas, segera masukkan ke dalam molen. Langkah – langkah bahan yang dimasukkan molen:

1. Batu pecah + $\frac{3}{4}$ bagian air
2. Pasir + semen
3. Sisa air

4.9.3 Pembuatan campuran beton untuk $f'c = 35$ MPa (ASTM C 192-90a).

Kebutuhan bahan untuk membuat 4 benda uji silinder dengan diameter 15 cm, $t = 30$ cm dan 3 benda uji balok dengan ukuran $15 \times 20 \times 80$ cm = $(4 \times (1/4 \times 3.14 \times D^2 \times t)) + (3 \times (15 \times 20 \times 80)) = (4 \times 1/4 \times 3,14 \times 15 \times 15 \times 30) + (3 \times 15 \times 20 \times 80) = 93205.75 \text{ cm}^3 = 0,0932 \text{ m}^3$

Untuk menjaga agar tidak terjadi kekurangan campuran beton basah karena hal yang tidak diinginkan, maka volume hasil perhitungan ditambah 10 % dari volume tersebut sehingga menjadi $0,10252 \text{ m}^3$.

Maka banyaknya bahan yang diperlukan dalam kondisi asli :

1. PC = $427.43 \times 0.10252 = 43.82 \text{ kg}$
2. Air = $144.735 \times 0.10252 = 14.382 \text{ kg}$
3. Pasir = $673.462 \times 0.10252 = 69.043 \text{ kg}$
4. Batu pecah = $1149.372 \times 0.10252 = 117.834 \text{ kg}$

Setelah bahan-bahan yang dibutuhkan ditimbang berdasarkan komposisi diatas, segera masukkan ke dalam molen. Langkah – langkah bahan yang dimasukkan molen :

1. Batu pecah + $\frac{3}{4}$ bagian air
2. Pasir + semen
3. Sisa air

4.10 Pengujian Beton Segar

4.10.1 Berat Volume Beton Segar (ASTM C 138-78).

4.10.1.1 Berat Volume Beton Untuk $f'c = 25 \text{ Mpa}$

A. Data Hasil Percobaan

Tabel 4.31 Berat Volume Beton Segar $f'c = 25 \text{ Mpa}$ (ASTM C 138-77)

Percobaan Nomor	1	2
Berat silinder (w_1) (gram)	7000	7000
Berat beton+silinder (w_2) (gram)	30800	31000
Volume silinder (V) (dm^3)	10	10
Berat volume $= (w_2 - w_1) / V$ (gram/dm^3)	2380	2400

B. Perhitungan

Berat volume rata-rata $= (2.38 + 2.40) / 2 = 2.39 \text{ kg}/\text{dm}^3$

Kesimpulan : berat volume beton segar ialah sebesar $= 2.39 \text{ kg}/\text{dm}^3$

4.10.1.2 Berat Volume Beton Untuk $f'c = 30 \text{ Mpa}$

A. Data Hasil Percobaan

Tabel 4.32 Berat Volume Beton Untuk $f'c = 30 \text{ Mpa}$ (ASTM C 138-77)

Percobaan Nomor	1	2
Berat silinder (w_1) (gram)	7000	7000
Berat beton+silinder (w_2) (gram)	31000	31000
Volume silinder (V) (dm^3)	10	10
Berat volume $= (w_2 - w_1) / V$ (gram/dm^3)	2400	2400

B. Perhitungan

Berat volume rata-rata = $(2.4 + 2.4)/2 = 2.4 \text{ kg/dm}^3$

Kesimpulan : berat volume beton segar ialah sebesar = 2.4 kg/dm^3

4.10.1.3 Berat Volume Beton Untuk $f'c = 35 \text{ Mpa}$.

A. Data Hasil Percobaan

Tabel 4.33 Berat Volume Beton Untuk $f'c = 35 \text{ Mpa}$
(ASTM C 138-77)

Percobaan Nomor	1	2
Berat silinder (w1) (gram)	7000	7000
Berat beton+silinder (w2) (gram)	31100	31000
Volume silinder (V) (dm^3)	10	10
Berat volume = $(w2-w1)/V$ (gram/dm^3)	2410	2400

B. Perhitungan

Berat volume rata-rata = $(2.41 + 2.4) = 2.405 \text{ kg/dm}^3$

Kesimpulan : berat volume beton segar ialah sebesar = 2.30 kg/dm^3

4.10.2 Slump Test (ASTM C 143-78).

4.10.2.1 Slump Test untuk $f'c = 25 \text{ MPa}$.

A. Data Hasil Percobaan

Tabel 4.34 Slump Test $f'c = 25 \text{ MPa}$ (ASTM C143-78).

Percobaan nomor	1	2
Harga slump (mm)	95	97

B. Perhitungan

Harga slump rata – rata = $(95 + 97)/2 = 96 \text{ mm}$

Kesimpulan : Harga slump yang terjadi 96 mm

4.10.2.2 Slump Test untuk $f'c = 30$ MPa.

A. Data Hasil Percobaan

Tabel 4.35 Slump Test $f'c = 30$ MPa (ASTM C143-78)

Percobaan nomor	1	2
Harga slump (mm)	96	100

B. Perhitungan

Harga slump rata – rata = $(96 + 100)/2 = 98$ mm

Kesimpulan : Harga slump yang terjadi 98 mm

4.10.2.3 Slum Test untuk $f'c = 35$ MPa.

A. Data Hasil Percobaan

Tabel 4.36 Slum Test $f'c = 35$ MPa (ASTM C143-78)

Percobaan nomor	1	2
Harga slump (mm)	100	97

B. Perhitungan

Harga slump rata – rata = $(100 + 97)/2 = 98.5$ mm

Kesimpulan : Harga slump yang terjadi 98.5 mm

4.11 Data Hasil Tes Tekan Benda Uji Silinder

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Sehingga luas permukaan yang dibebani ialah

$$= \frac{1}{4} * \pi * D^2$$

$$= \frac{1}{4} * \pi * 15^2$$

$$= 176,7145868 \text{ cm}^2$$

Rumus : $\sigma_b'i = P/A,$

dimana $\sigma_b'i$: Kuat tekan hancur spesimen individu

P : Beban

A : Luas penampang yang dibebani

4.11.1 Benda Uji Silinder Dengan Kuat Tekan $f'_c = 25 \text{ Mpa}$.

Tabel 4.37 Data Tes Kuat Tekan Beton $f'_c = 25 \text{ MPa}$ (ASTM 523-75)

Tanggal pengetesan	Umur (hari)	Berat (kg)	Beban (ton)	σ'_i (kg/cm ²)	σ'_m (kg/cm ²)
11 April 2006	8	13.15	34.1	192.97	195.51
	8	13.3	35	198.06	
17 April 2006	14	13.45	39.5	223.52	230.03
	14	12.75	41.8	236.54	
24 April 2006	21	13	46	260.31	267.66
	21	13.45	48.6	275.02	
1 Mei 2006	28	12.96	53	299.92	292.56
	28	12.38	50.4	285.21	

FAKTOR KORELASI (FK)

Dari data kuat tekan hancur maka dapat dicari factor korelasi beton umur 7, 14, 21 dan 28 hari sebagai berikut :

A. FK beton umur 8 hari = $\sigma'_m(7\text{hari})/\sigma'_m(28\text{hari})$
 $= 195.51 / 292.56 = 0.67$

B. FK beton umur 14 hari = $\sigma'_m(14\text{hari})/\sigma'_m(28\text{hari})$
 $= 230.03 / 292.56 = 0.79$

C. FK beton umur 21 hari = $\sigma'_m(21\text{hari})/\sigma'_m(28\text{hari})$
 $= 267.66 / 292.56 = 0.91$

D. FK beton umur 28 hari = $\sigma'_m(28\text{hari})/\sigma'_m(28\text{hari})$
 $= 292.56 / 292.56 = 1$

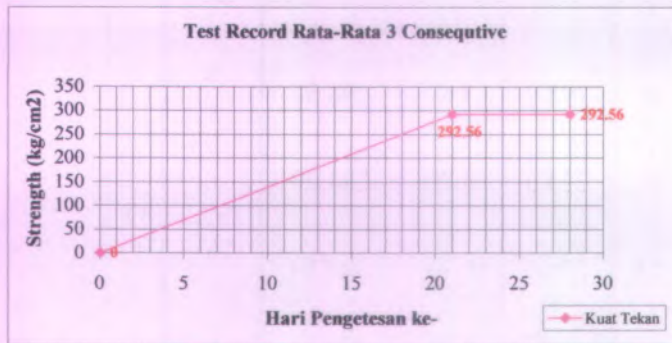
Tabel 4.38 Kuat Tekan Silinder Setelah Dikorelasi

No	um ur (har i)	σ'_i (kg/c m ²) (1)	faktor korela si (2)	σ'_i -28 hari Dikorela si (kg/cm ²) [(1)/(2)]	Rata-rata (kg/c m ²)	evaluasi	Rata-rata 3 conse q	evaluasi
1	8	192.9	0.67	288.75	292.5	O	-	-

2	8	198.0 6	0.67	296.37	6	k		
3	14	223.5 2	0.79	284.29	292.5 6	O k	-	-
4	14	236.5 4	0.79	300.84				
5	21	260.3 1	0.91	284.52	292.5 6	O k	292.5 6	O k
6	21	275.0 2	0.91	300.60				
7	28	299.9 2	1	299.92	292.5 6	O k	292.5 6	O k
8	28	285.2 1	1	285.21				



Gambar 4.12 Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Dua Silinder F'c 25 Mpa



Gambar 4.13 Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Tiga Silinder $f'c$ 25 Mpa

Dari hasil percobaan (untuk benda uji $n = 8$) diperoleh :

$$f_{cr} = \frac{\sum \sigma b' i}{n}$$

$$f_{cr} = \frac{234.05}{8} = 29.256 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{cr} - \sigma b' i)^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{5.5}{8-1}} = 0.8864$$

$$f'c = f_{cr} - 1.34s$$

$$f'c = 29.256 - (1.34 \times 0.8864) = 28.068 \text{ MPa}$$

4.11.2 Benda Uji Silinder Dengan Kuat Tekan $f'c = 30$ Mpa.

Tabel 4.39 Data Tes Kuat Tekan Beton $f'c$ 30 MPa (ASTM 523-75)

Tanggal pengetesan	Umur (hari)	Berat (kg)	Beban (ton)	$\sigma b' i$ (kg/cm ²)	$\sigma b' m$ (kg/cm ²)
12 April	7	13.27	42.5	240.5	236.82

2006	7	12.84	41.2	233.14	
19 April 2006	14	13.4	49	277.28	274.17
	14	13.07	47.9	271.06	
26 April 2006	21	12.52	52.8	298.79	299.64
	21	12.63	53.1	300.48	
3 Mei 2006	28	12.87	58.6	331.61	336.14
	28	12.71	60.2	340.66	

FAKTOR KORELASI (FK)

Dari data kuat tekan hancur maka dapat dicari factor korelasi beton umur 7, 14, 21 dan 28 hari sebagai berikut :

- A. FK beton umur 7 hari = $\sigma_b'm(7\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 236.82 / 336.14 = 0.70$
- B. FK beton umur 14 hari = $\sigma_b'm(14\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 274.17 / 336.14 = 0.82$
- C. FK beton umur 21 hari = $\sigma_b'm(21\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 299.64 / 336.14 = 0.89$
- D. FK beton umur 28 hari = $\sigma_b'm(28\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 336.14 / 336.14 = 1$

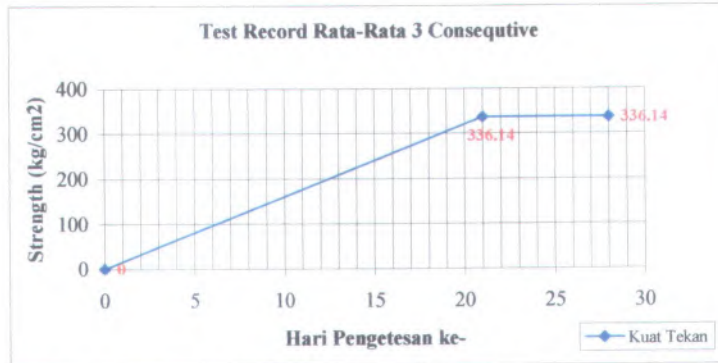
Tabel 4.40 Kuat Tekan Silinder Setelah Dikorelasi

No	umur (hari)	$\sigma_b'i$ (kg/cm ²) (1)	faktor korelasi (2)	$\sigma_b'i-28$ hari Dikorelasi (kg/cm ²) [(1)/(2)]	Rata-rata (kg/cm ²)	evaluasi	Rata-rata 3 consequence	evaluasi
1	7	240.5	0.7	341.36	336.14	Ok	-	-
2	7	233.14	0.7	330.91				
3	14	277.28	0.82	339.95	336.14	Ok	-	-

4	14	271.0 6	0.8 2	332.32				
5	21	298.7 9	0.8 9	335.18	336.1 4	Ok	336.1 4	Ok
6	21	300.4 8	0.8 9	337.09				
7	28	331.6 1	1	331.61	336.1 4	Ok	336.1 4	Ok
8	28	340.6 6	1	340.66				



Gambar 4.14 Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Dua Silinder f'_c 30 Mpa



Gambar 4.15 Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Tiga Silinder f'_c 30 MPa

Dari hasil percobaan (untuk benda uji $n = 8$) diperoleh :

$$f_{cr} = \frac{\sum \sigma b' i}{n}$$

$$f_{cr} = \frac{268.908}{8} = 33.614 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{cr} - \sigma b' i)^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{2.903}{8-1}} = 0.644$$

$$f'_c = f_{cr} - (1.34s)$$

$$f'_c = 33.614 - (1.34 \times 0.644) = 32.75 \text{ MPa}$$

4.11.3 Benda Uji Silinder Dengan Kuat Tekan $f'_c = 35$ MPa.

Tabel 4.41 Data Tes Kuat Tekan Beton f'_c 35 MPa (ASTM 523-75)

Tanggal pengetesan	Umur (hari)	Berat (kg)	Beban (ton)	$\sigma b' i$ (kg/cm ²)	$\sigma b' m$ (kg/cm ²)
15 April 2006	8	12.73	41	232.01	237.39
	8	12.65	42.9	242.76	

21 April 2006	14	13.27	47.1	266.53	262.57
	14	13.4	45.7	258.61	
28 April 2006	21	12.44	53	299.92	298.22
	21	12.95	52.4	296.52	
5 Mei 2006	28	12.67	63	356.51	362.73
	28	13.06	65.2	268.96	

FAKTOR KORELASI (FK)

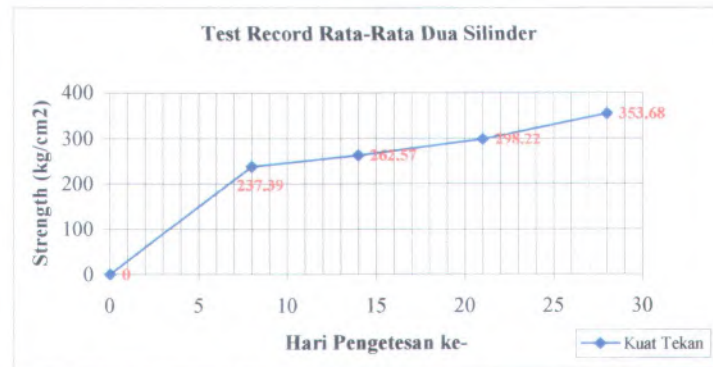
Dari data kuat tekan hancur maka dapat dicari factor korelasi beton umur 7, 14, 21 dan 28 hari sebagai berikut :

- A. FK beton umur 7 hari = $\sigma_b'm(7\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 237.39 / 362.73 = 0.65$
- B. FK beton umur 14 hari = $\sigma_b'm(14\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 262.57 / 362.73 = 0.72$
- C. FK beton umur 21 hari = $\sigma_b'm(21\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 298.22 / 362.73 = 0.82$
- D. FK beton umur 28 hari = $\sigma_b'm(28\text{hari})/\sigma_b'm(28\text{hari})$
 $= 362.73 / 362.73 = 1$

Tabel 4.42 Kuat Tekan Silinder Setelah Dikorelasi

No	um ur (ha ri)	$\sigma_b'i$ (kg/c m ²) (1)	fakt or kor elas i (2)	$\sigma_b'i-28$ hari Dikorela si (kg/cm ²) [(1)/(2)]	Rata- rata (kg/c m ²)	evaluasi	Rata- rata 3 cons eq	evaluasi
1	8	232.0 1	0.6 7	345.67	353.6 8	Ok	-	-
2	8	242.7 6	0.6 7	361.69				
3	14	266.5 3	0.7 4	359.01	353.6 8	Ok	-	-
4	14	258.6	0.7	348.34				

		1	4					
5	21	299.9 2	0.8 4	355.69	353.6 8	Ok	353.6 8	Ok
6	21	296.5 2	0.8 4	351.66				
7	28	338.4	1	338.4	353.6 8	Ok	353.6 8	Ok
8	28	268.9 6	1	368.96				



Gambar 4.16 Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Dua Silinder f'_c 35 Mpa



Gambar 4.17 Grafik Hasil Tes Tekan Rata-Rata Tiga Silinder f'_c 35 MPa

Dari hasil percobaan (untuk benda uji $n = 8$) diperoleh :

$$f_{cr} = \frac{\sum \sigma b' i}{n}$$

$$f_{cr} = \frac{290.19}{8} = 36.274 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{cr} - \sigma b' i)^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{4.395}{8-1}} = 0.792$$

$$f'_c = f_{cr} - (1.34s)$$

$$f'_c = 36.274 - (1.34 \times 0.792) = 35.213 \text{ MPa}$$

4.12 Analisa Hasil Tes Tarik Tulangan Baja

4.12.1 Hasil Tes Tarik Tulangan Diameter (\varnothing) 10mm.

Tabel 4.43 Data Tes Tarik Tulangan \varnothing 10 mm

Percobaan	Panjang (cm)	F_y (kg/cm ²)	F_u (kg/cm ²)
-----------	--------------	-----------------------------	-----------------------------

1	65	3589,09	5141,82
2	65	3360,00	5294,55

$$\text{Tegangan leleh rata-rata (fy)} = (3589,09 + 3360,00)/2 = 3474,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan putus rata-rata (fu)} = (5141,82 + 5294,55)/2 = 5218,18 \text{ kg/cm}^2$$

4.12.2 Hasil Tes Tarik Tulangan Diameter (\varnothing) 12 mm.

Tabel 4.44 Data Tes Tarik Tulangan \varnothing 12 mm

Percobaan	Panjang (cm)	Fy (kg/cm ²)	Fu (kg/cm ²)
1	65	4419,19	7017,68
2	65	4224,75	6133,84

$$\text{Tegangan leleh rata-rata (fy)} = (4419,19 + 4224,75)/2 = 4321,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan putus rata-rata (fu)} = (7017,68 + 6133,84)/2 = 6575,76 \text{ kg/cm}^2$$

4.13 Analisa Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test

4.13.1 Ultrasonic Pulse Velocity Tes Sebelum Tes Lentur

Tabel 4.45 Data Hasil Tes Ultrasonic Pulse Velocity Sebelum Tes Lentur

Mutu (Mpa)	Umur (hari)	Benda Uji	Titik Uji	Panjang (cm)	Waktu (μ s)	Cepat Rambat (m/dt)	Hasil Analisa Kondisi Beton
25	28	A	1	80	188.6	4,241.78	Baik
			2	80	187.8	4,259.85	Baik
			3	80	186.8	4,282.66	Baik
	28	B	1	80	190.4	4,201.68	Baik
			2	80	186.8	4,282.66	Baik

30	28	C	3	80	186.2	4,296.46	Baik		
			1	80	190.6	4,197.27	Baik		
			2	80	188.0	4,255.32	Baik		
	30	28	A	3	80	185.3	4,317.32	Baik	
				1	80	186.6	4,287.25	Baik	
				2	80	181.6	4,405.29	Baik	
		30	28	B	3	80	182.2	4,390.78	Baik
					1	80	187.0	4,278.07	Baik
					2	80	184.8	4,329.00	Baik
30			28	C	3	80	183.4	4,362.05	Baik
					1	80	189.8	4,214.96	Baik
					2	80	185.8	4,305.71	Baik
	35		28	A	3	80	182.2	4,390.78	Baik
					1	80	192.5	4,155.84	Baik
					2	80	193.2	4,140.79	Baik
		35	28	B	3	80	191.2	4,184.10	Baik
					1	80	189.6	4,219.41	Baik
					2	80	190.8	4,192.87	Baik
35			28	C	3	80	186.0	4,301.08	Baik
					1	80	193.8	4,127.97	Baik
					2	80	192.2	4,162.33	Baik
	35		28	C	3	80	192.4	4,158.00	Baik

4.13.2 Ultrasonic Pulse Velocity Tes Setelah Tes Lentur

Tabel 4.46 Data Hasil Tes Ultrasonic Pulse Velocity Setelah Direpair

Mutu	Umur	Benda Uji	Titik Uji	Panjang	Waktu	Cepat Rambat	Hasil Analisa Kondisi Beton
(Mpa)	(hari)			(cm)	(μ s)	(m/dt)	

25	A	1	80	184.1	4,345.46	Baik
		2	80	183.7	4,354.93	Baik
		3	80	185.2	4,319.65	Baik
	B	1	80	187.4	4,268.94	Baik
		2	80	186.7	4,284.95	Baik
		3	80	185.3	4,317.32	Baik
30	A	1	80	184.8	4,329.00	Baik
		2	80	180.2	4,439.51	Baik
		3	80	182.0	4,395.60	Baik
	B	1	80	185.6	4,310.34	Baik
		2	80	182.2	4,390.78	Baik
		3	80	182.0	4,395.60	Baik
35	A	1	80	191.2	4,184.10	Baik
		2	80	191.8	4,171.01	Baik
		3	80	190.4	4,201.68	Baik
	B	1	80	188.2	4,250.80	Baik
		2	80	189.5	4,221.64	Baik
		3	80	185.0	4,324.32	Baik

4.14 Analisa Perhitungan Kapasitas Lentur Penampang Balok *Underreinforced*

4.14.1 Kuat Tekan Beton (f'_c) 25 Mpa

A. Secara Teoritis

Diketahui : $b = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$ $L = 80 \text{ cm} = 800 \text{ mm}$

$h = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$ $L_{tumpu} = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$

decking = $2 \text{ cm} = 20 \text{ mm}$ $L_{bersih} = 60 \text{ cm} = 600 \text{ mm}$

$A_s = 3,14159 \text{ cm}^2 = 314,159 \text{ mm}^2$

$d = 15,75 \text{ cm} = 157,5 \text{ mm}$

$d' = 4,25 \text{ cm} = 42,5 \text{ mm}$

$$\rho = \frac{A_s}{bxd} = \frac{314,159}{150 \times 157,5}$$

$$= 0,0133$$

Data bahan :

$$f_c' = 28,068 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 347,455 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{347,455}{200000} = 0,001737$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$BV \text{ beton} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

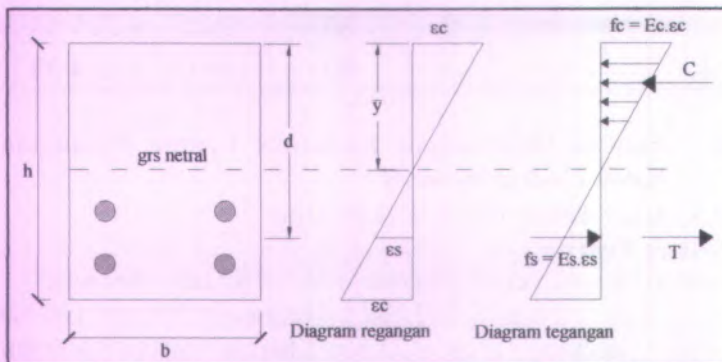
$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{28,068} = 24900,243 \text{ MPa}$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{28,068}$$

$$= 3,709 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{24900,243} = 8,032$$

Perhitungan Momen Retak (Keadaan Elastis)



Gambar 4.18 Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastis.

Luas transformasi (A_t)

$$A_t = b \cdot h + (n-1)A_s$$

$$= 150 \times 200 + (8,032 - 1) \times 314,159$$

$$\begin{aligned}
 &= 32209,166 \text{ mm}^2 \\
 y &= \frac{(bh^2 / 2) + [(n-1)Asxd]}{At} \\
 &= \frac{(150 \times 200^2 / 2) + [(8,032 - 1)314,159 \times 157,5]}{32209,166}
 \end{aligned}$$

$$= 103,944 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 y_t &= h - y \\
 &= 200 - 103,944 = 96,056 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{gt} &= \left(\frac{1}{12} bh^3 \right) + [b \cdot h(y - h/2)^2] + [(n-1) \cdot As \cdot (d - y)^2] \\
 &= \left(\frac{15 \times 20^3}{12} \right) + [15 \times 20(10,3944 - 20/2)^2] \\
 &\quad + [(8,032 - 1) \times 3,14159(15,75 - 10,3944)^2]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 10000 + 46,6654 + 633,643 \\
 &= 10680,3084 \text{ cm}^4 = 106803084 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y_t} = \frac{3,709 \times 106803084}{96,056}$$

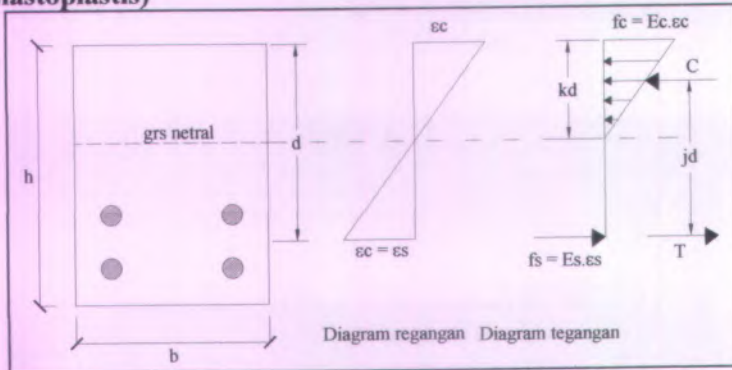
$$= 4124,00 \text{ Nmm}$$

$$= 0,4124 \text{ tm} \approx 0,4124 \text{ tm}$$

$$\varphi = \frac{f_r / E_c}{Y_t} = \frac{3,709 / 24900,243}{96,056}$$

$$= 1,551 \times 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

Perhitungan Momen Saat Leleh Pertama (Keadaan Elastoplastis)



Gambar 4.19 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastoplastis.

$$\varepsilon_c = \frac{f_c'}{E_c} \text{ dan } \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(1)$$

Dari diagram regangan diatas didapat bahwa:

$$\frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \dots\dots\dots(2)$$

Kemudian pers. 1 dimasukkan pers. 2, maka didapat:

$$\frac{f_c'/E_c}{kd} = \frac{f_y/E_s}{d - kd}$$

$$\frac{f_c'}{E_c.kd} = \frac{f_y}{E_s(d - kd)}$$

$$f_y = \frac{1 - k}{k} n.f_c' \dots\dots\dots(3)$$

Dimana $n = \frac{E_s}{E_c}$

Keseimbangan gaya-gaya pada balok

$$C_c = T$$

$$0,5 f_c' b k d = A_s f_y \dots\dots\dots(4)$$

Pers. 3 dimasukkan dalam pers. 4, maka dihasilkan:

$$0,5 f_c' b k d = A_s \frac{1-k}{k} n \cdot f_c'$$

$$0,5 f_c' b k d = \frac{A_s \cdot n \cdot f_c' - A_s \cdot n \cdot f_c' k}{k}$$

$$0,5 f_c' k^2 + \frac{A_s}{b d} n \cdot f_c' k - \frac{A_s}{b d} n \cdot f_c' = 0$$

$$k^2 + 2k\rho n - 2\rho n = 0$$

$$k = \left[\rho^2 n^2 + 2\rho n \right]^{1/2} - \rho n$$

$$\left[0,0133^2 \times 8,032^2 + 2 \times 0,0133 \times 8,032 \right]^{1/2} - 0,0133 \times 8,032$$

$$= 0,368$$

$$k \cdot d = 0,368 \times 157,5$$

$$= 57,96 \text{ mm}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_y \left(\frac{k \cdot d}{d - k \cdot d} \right) = 0,001737 \left(\frac{57,96}{157,5 - 57,96} \right)$$

$$= 0,00101 < \epsilon_y$$

$$f_c = \epsilon_c \times E_c = 0,00101 \times 24900,243 = 25,149 \text{ Mpa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} f_c \times b \times k \times d = \frac{1}{2} 25,149 \times 150 \times 57,96$$

$$= 109322,703 \text{ N}$$

$$C_s = 0 \text{ (As}' = 0)$$

$$C = C_c = 109322,703 \text{ N}$$

$$\bar{y} = \frac{C_c \times k d / 3}{C}$$

$$= \frac{109322,703 \times 57,96 / 3}{109322,703}$$

$$= 19,32 \text{ mm}$$

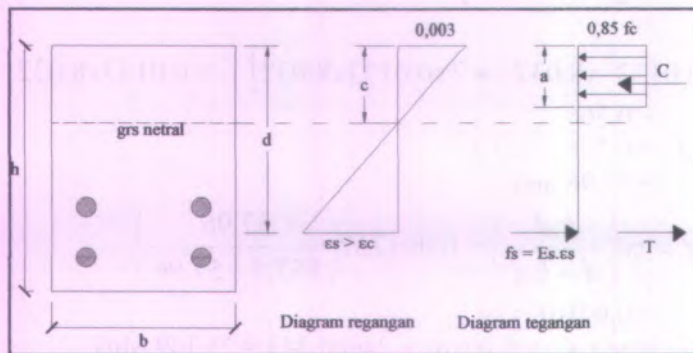
$$j d = d - \bar{y}$$

$$= 157,5 - 19,32 = 138,18 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= A_s \times f_y \times j d \\
 &= 314,159 \times 347,455 \times 138,18 \\
 &= 15083192,0184 \text{ Nmm} \\
 &= 1,50831920184 \text{ tm} \approx 1,508 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_y &= \frac{\epsilon_y}{d - k.d} \\
 &= \frac{0,001737}{157,5 - 57,96} \\
 &= 1,745 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Saat Ultimate (Keadaan Plastis)



Gambar 4.20 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi Plastis.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{314,159 \times 347,455}{0,85 \times 28,068 \times 150} \\
 &= 30,502 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ Mpa} \\
 &= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 30}{10} \right) \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tetapi β_1 tidak boleh $< 0,65$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{30,502}{0,85}$$

$$= 35,885 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 314,159 \times 347,455 \times (157,5 - 30,502/2)$$

$$= 15527348,252 \text{ Nmm}$$

$$= 1,5527348252 \text{ tm} \approx 1,553 \text{ tm}$$

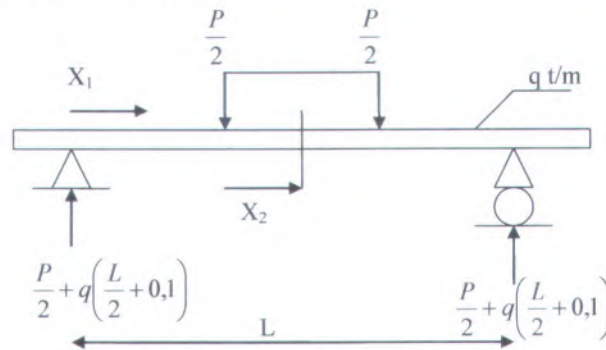
$$M_u = \frac{M_n}{\phi} = \frac{1,553}{0,8} = 1,941 \text{ tm}$$

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} = \frac{0,003}{35,885} = 8,36 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$\mu = \frac{\varphi_{ult}}{\varphi_y} = \frac{8,36 \times 10^{-5}}{1,745 \times 10^{-5}}$$

$$= 4,791$$

Untuk menghitung nilai-nilai dari P_{cr} , P_y dan P_u diperoleh dari hasil perhitungan M_{cr} , M_y , dan M_u dengan bantuan gambar pembebanan dibawah ini.



Gambar 4.21 Skema posisi pembebanan third point loading test beton mutu 25 MPa.

Dari gambar diatas dapat dicari besarnya momen maksimum yang terjadi ditengah bentang. Besarnya momen ditengah bentang tersebut dapat dicari sebagai berikut:

$$R_A = \frac{P}{2} + q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)$$

$$M = R_A \cdot X_1 - q(X_1 + 0.1) \cdot \frac{1}{2}(X_1 + 0.1) - P \cdot X_2$$

$$M = \left(\frac{P}{2} + q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)\right) \frac{L}{2} - q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right) \frac{1}{2}\left(\frac{L}{2} + 0.1\right) - \frac{P}{2} \cdot 0.1$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{2}q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)^2 - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{2}q\left(\frac{L^2}{4} + 0.1L + 0.01\right) - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{8}qL^2 - 0.05qL - 0.005q - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P$$

Diketahui : $M_{cr} = 0.4124 \text{ tm}$
 $M_y = 1.508 \text{ tm}$
 $M_u = 1.941 \text{ tm}$

a. Menghitung P_{cr}

$$M_{cr} = \frac{P_{cr}L}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P_{cr}$$

$$0.4124 = \frac{P_{cr} \cdot 0.6}{4} + \frac{1}{8} \cdot 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05P_{cr}$$

$$0.4124 = 0.15 P_{cr} + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_{cr}$$

$$0.4124 = 0.1 P_{cr} + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_{cr} = 4.1 \text{ ton}$$

b. Menghitung P_y

$$M_y = \frac{P_y L}{4} + \frac{1}{8} q L^2 - 0.005 q - 0.05 P_y$$

$$1.508 = \frac{P_y 0.6}{4} + \frac{1}{8} 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05 P_y$$

$$1.508 = 0.15 P_y + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_y$$

$$1.508 = 0.1 P_y + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_y = 15.05 \text{ ton}$$

c. Menghitung P_u

$$M_u = \frac{P_u L}{4} + \frac{1}{8} q L^2 - 0.005 q - 0.05 P_u$$

$$1.941 = \frac{P_u 0.6}{4} + \frac{1}{8} 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05 P_u$$

$$1.941 = 0.15 P_u + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_u$$

$$1.941 = 0.1 P_u + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_u = 19.38 \text{ ton}$$

4.14.2 Kuat Tekan Beton (F'_c) 30 Mpa**A. Secara Teoritis**

$$\text{Diketahui : } b = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm} \quad L = 80 \text{ cm} = 800 \text{ mm}$$

$$h = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm} \quad L_{\text{tumpu}} = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 2 \text{ cm} = 20 \text{ mm} \quad L_{\text{bersih}} = 60 \text{ cm} = 600 \text{ mm}$$

$$A_s = 4,52389 \text{ cm}^2 = 452,389 \text{ mm}^2$$

$$d = 15,55 \text{ cm} = 155,5 \text{ mm}$$

$$d' = 4,45 \text{ cm} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bxd} = \frac{452,389}{150 \times 155,5}$$

$$= 0,0194$$

Data bahan :

$$f'_c = 32,75 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 432,197 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{432,197}{200000} = 0,00216$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

$$BV \text{ beton} = 2390 \text{ kg/m}^3$$

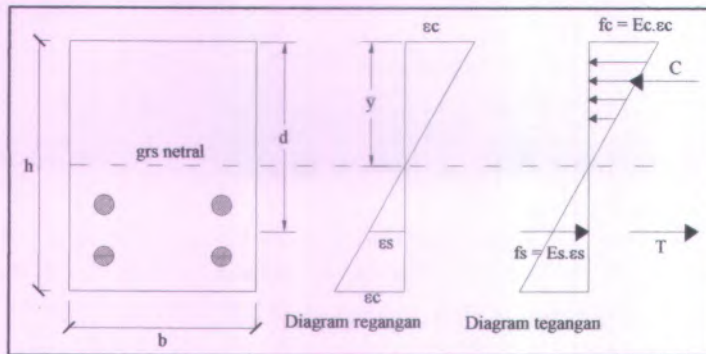
$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{32,75} = 26896,979 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{32,75}$$

$$= 4,006 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{26896,979} = 7,436$$

Perhitungan Momen Retak (Keadaan Elastis)



Gambar 4.22 Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi elastis.

$$\begin{aligned} A_t &= b \cdot h + (n-1)A_s \\ &= 150 \times 200 + (7,436 - 1) \times 452,389 \\ &= 32911,576 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$y = \frac{(bh^2 / 2) + [(n-1)A_s x d]}{A_t}$$

$$= \frac{(150 \times 200^2 / 2) + [(7,436 - 1)452,389 \times 155,5]}{32911,576}$$

$$= 104,91 \text{ mm}$$

$$y_t = h - y$$

$$= 200 - 104,91 = 95,09 \text{ mm}$$

$$I_{gt} = \left(\frac{1}{12}bh^3\right) + [b \cdot h(y - h/2)^2] + [(n - 1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2]$$

$$= \left(\frac{15 \times 20^3}{12}\right) + [15 \times 20(10,491 - 20/2)^2]$$

$$+ [(7,436 - 1) \times 4,52389(15,55 - 10,491)^2]$$

$$= 10000 + 72.324 + 745.174$$

$$= 10817,498 \text{ cm}^4 = 108174980 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_{gt}}{y_t} = \frac{4,006 \times 108174980}{95,09}$$

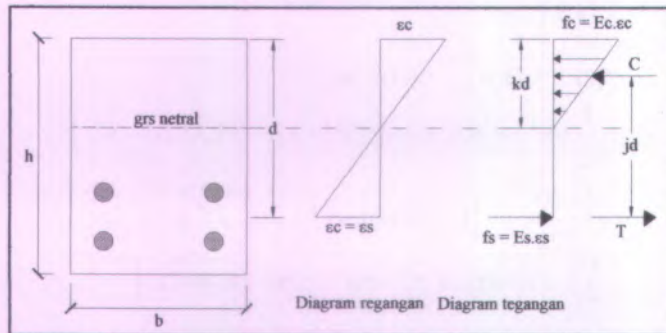
$$= 4557250,71 \text{ Nmm}$$

$$= 0,455725071 \text{ tm} \approx 0,456 \text{ tm}$$

$$\varphi = \frac{f_r / E_c}{Y_b} = \frac{4,006 / 26896,979}{95,09}$$

$$= 1,566 \times 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

Perhitungan Momen Saat Leleh Pertama (Keadaan Elastoplastis)



Gambar 4.23 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 Mpa dalam kondisi elastoplastis.

$$\varepsilon_c = \frac{f_c'}{E_c} \text{ dan } \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(1)$$

Dari diagram regangan diatas didapat bahwa:

$$\frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \dots\dots\dots(2)$$

Kemudian pers. 1 dimasukkan pers. 2, maka didapat:

$$\begin{aligned} \frac{f_c'/E_c}{kd} &= \frac{f_y/E_s}{d - kd} \\ \frac{f_c'}{E_c.kd} &= \frac{f_y}{E_s(d - kd)} \\ f_y &= \frac{1 - k}{k} n.f_c' \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

$$\text{Dimana } n = \frac{E_s}{E_c}$$

Keseimbangan gaya-gaya pada balok

$$C_c = T$$

$$0,5 f_c' b k d = A_s f_y \dots\dots\dots(4)$$

Pers. 3 dimasukkan dalam pers. 4, maka dihasilkan:

$$0,5 f_c' b k d = A_s \frac{1-k}{k} n \cdot f_c'$$

$$0,5 f_c' b k d = \frac{A_s \cdot n \cdot f_c' - A_s \cdot n \cdot f_c' k}{k}$$

$$0,5 f_c' k^2 + \frac{A_s}{b d} n \cdot f_c' k - \frac{A_s}{b d} n \cdot f_c' = 0$$

$$k^2 + 2k \rho n - 2\rho n = 0$$

$$k = \left[\rho^2 n^2 + 2\rho n \right]^{1/2} - \rho n$$

$$= \left[0,0194^2 \times 7,436^2 + 2 \times 0,0194 \times 7,436 \right]^{1/2} - 0,0194 \times 7,436$$

$$= 0,412$$

$$k x d = 0,412 \times 155,5$$

$$= 64,066 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_y \left(\frac{k \cdot d}{d - k \cdot d} \right) = 0,00216 \left(\frac{64,066}{155,5 - 64,066} \right)$$

$$= 0,00151 < \varepsilon_y$$

$$f_c = \varepsilon_c \times E_c = 0,00151 \times 26896,979 = 40,614 \text{ Mpa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} f_c \times b \times k \times d = \frac{1}{2} 40,614 \times 150 \times 64,066$$

$$= 195148,239 \text{ N}$$

$$C_s = 0 \text{ (} A_s' = 0 \text{)}$$

$$C = C_c = 195148,239 \text{ N}$$

$$\bar{y} = \frac{C_c x k d / 3}{C}$$

$$= \frac{195148,239 \times 64,066 / 3}{195148,239}$$

$$= 21,355 \text{ mm}$$

$$j d = d - \bar{y}$$

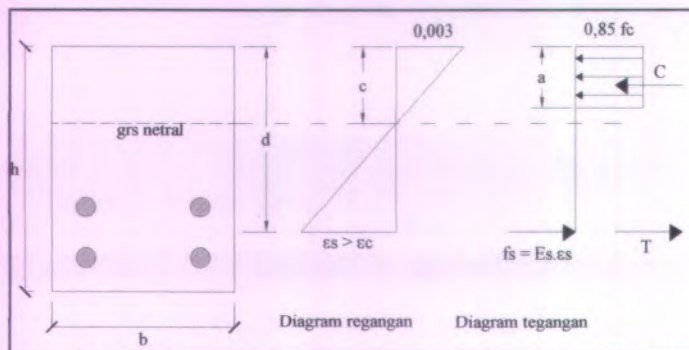
$$= 155,5 - 21,355 = 134,145 \text{ mm}$$

$$M_y = A_s \times f_y \times j d$$

$$\begin{aligned}
 &= 452,389 \times 432,197 \times 134,145 \\
 &= 26228187,166 \text{ Nmm} \\
 &= 2,6228187166 \text{ tm} \approx 2,623 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_y &= \frac{\epsilon y}{d - k.d} \\
 &= \frac{0,00216}{155,5 - 64,066} \\
 &= 2,36 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Saat Ultimate (Keadaan Plastis)



Gambar 4.24 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi Plastis.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{452,389 \times 432,197}{0,85 \times 32,75 \times 150} \\
 &= 46,824 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ Mpa} \\
 &= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 30}{10} \right) \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tetapi β_1 tidak boleh $< 0,65$

$$= 0,85 - 0,05 \left(\frac{32,75 - 30}{10} \right)$$

$$\beta_1 = 0,83625$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{46,824}{0,83625}$$

$$= 55,993 \text{ mm}$$

$$Mn = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 452,389 \times 432,197 \times (155,5 - 46,824/2)$$

$$= 25826000,1224 \text{ Nmm}$$

$$= 2,58260001224 \text{ tm} \approx 2,583 \text{ tm}$$

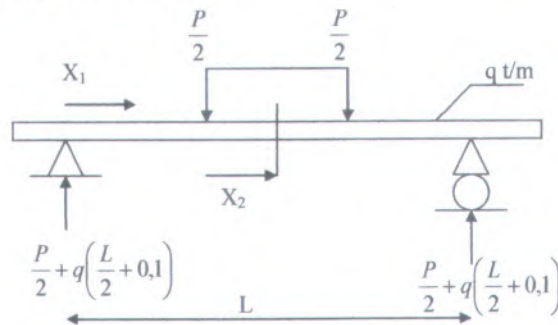
$$Mu = \frac{Mn}{\phi} = \frac{2,583}{0,8} = 3,229 \text{ tm}$$

$$\phi u = \frac{\epsilon u}{c} = \frac{0,003}{55,993} = 5,358 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$\mu = \frac{\phi u l}{\phi y} = \frac{5,358 \times 10^{-5}}{2,36 \times 10^{-5}}$$

$$= 2,270$$

Untuk menghitung nilai-nilai dari P_{cr} , P_y dan P_u diperoleh dari hasil perhitungan M_{cr} , M_y , dan M_u dengan bantuan gambar pembebanan dibawah ini.



Gambar 4.25 Skema posisi pembebanan third point loading test beton mutu 30 MPa.

Dari gambar diatas dapat dicari besarnya momen maksimum yang terjadi ditengah bentang. Besarnya momen ditengah bentang tersebut dapat dicari sebagai berikut:

$$R_A = \frac{P}{2} + q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)$$

$$M = R_A \cdot X_1 - q(X_1 + 0.1) \cdot \frac{1}{2}(X_1 + 0.1) - P \cdot X_2$$

$$M = \left(\frac{P}{2} + q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)\right) \frac{L}{2} - q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right) \frac{1}{2}\left(\frac{L}{2} + 0.1\right) - \frac{P}{2} \cdot 0.1$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{2}q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)^2 - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{2}q\left(\frac{L^2}{4} + 0.1L + 0.01\right) - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{8}qL^2 - 0.05qL - 0.005q - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P$$

Diketahui : $M_{cr} = 0.456 \text{ tm}$
 $M_y = 2.623 \text{ tm}$
 $M_u = 3.229 \text{ tm}$

a. Menghitung P_{cr}

$$M_{cr} = \frac{P_{cr}L}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P_{cr}$$

$$0.456 = \frac{P_{cr} \cdot 0.6}{4} + \frac{1}{8} \cdot 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05P_{cr}$$

$$0.456 = 0.15 P_{cr} + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_{cr}$$

$$0.456 = 0.1 P_{cr} + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_{cr} = 4.53 \text{ ton}$$

b. Menghitung P_y

$$M_y = \frac{P_y L}{4} + \frac{1}{8} q L^2 - 0.005 q - 0.05 P_y$$

$$2.623 = \frac{P_y 0.6}{4} + \frac{1}{8} 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05 P_y$$

$$2.623 = 0.15 P_y + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_y$$

$$2.623 = 0.1 P_y + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_y = 26.2 \text{ ton}$$

c. Menghitung P_u

$$M_u = \frac{P_u L}{4} + \frac{1}{8} q L^2 - 0.005 q - 0.05 P_u$$

$$3.229 = \frac{P_u 0.6}{4} + \frac{1}{8} 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05 P_u$$

$$3.229 = 0.15 P_u + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_u$$

$$3.229 = 0.1 P_u + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_u = 32.26 \text{ ton}$$

4.14.3 Kuat Tekan Beton (F'_c) 35 Mpa**A. Secara Teoritis**

Diketahui : $b = 15 \text{ cm} = 150 \text{ mm}$ $L = 80 \text{ cm} = 800 \text{ mm}$

$h = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$ $L \text{ tumpu} = 10 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$

$\text{decking} = 2 \text{ cm} = 20 \text{ mm}$ $L \text{ bersih} = 60 \text{ cm} = 600 \text{ mm}$

$$A_s = 4,52389 \text{ cm}^2 = 452,389 \text{ mm}^2$$

$$d = 15,55 \text{ cm} = 155,5 \text{ mm}$$

$$d' = 4,45 \text{ cm} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bxd} = \frac{452,389}{150 \times 155,5}$$

$$= 0,0194$$

Data bahan :

$$f_c' = 35,213 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 432,197 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{432,197}{200000} = 0,00216$$

$$\epsilon_{cu} = 0,003$$

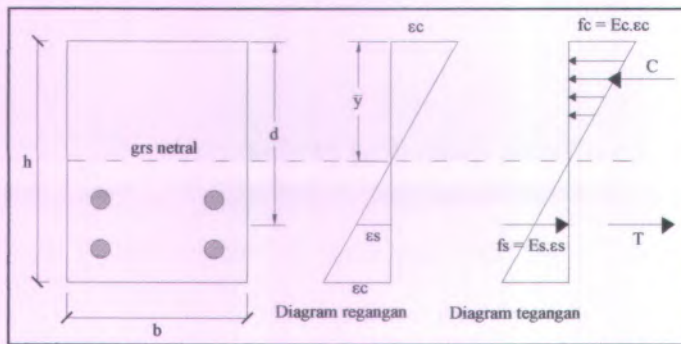
$$BV \text{ beton} = 2415 \text{ kg/m}^3$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{35,213} = 27890,055 \text{ MPa}$$

$$f_{cr} = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{35,213} \\ = 4,154 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{27890,055} = 7,171$$

Perhitungan Momem Retak (Keadaan Elastis)



Gambar 4.26 Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastis.

$$A_t = b \cdot h + (n-1)A_s \\ = 150 \times 200 + (7,171 - 1) \times 452,389 \\ = 32791,69 \text{ mm}$$

$$y = \frac{(bh^2/2) + [(n-1)A_s x d]}{A_t} \\ = \frac{(150 \times 200^2 / 2) + [(7,171 - 1)452,389 \times 155,5]}{32791,69} \\ = 104,725 \text{ mm}$$

$$y_t = h - y$$

$$= 200 - 104,725 = 95,275 \text{ mm}$$

$$I_{gt} = \left(\frac{1}{12}bh^3\right) + [b \cdot h(y - h/2)^2] + [(n-1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2]$$

$$I_{gt} = \left(\frac{1}{12}bh^3\right) + [b \cdot h(y - h/2)^2] + [(n-1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2]$$

$$= \left(\frac{15 \times 20^3}{12}\right) + [15 \times 20(10,4725 - 20/2)^2]$$

$$+ [(7,171 - 1) \times 4,52389(15,55 - 10,4725)^2]$$

$$= 10000 + 66.977 + 719.726$$

$$= 10786.703 \text{ cm}^4 = 107867030 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_{gt}}{y_t} = \frac{4,154 \times 107867030}{95,275}$$

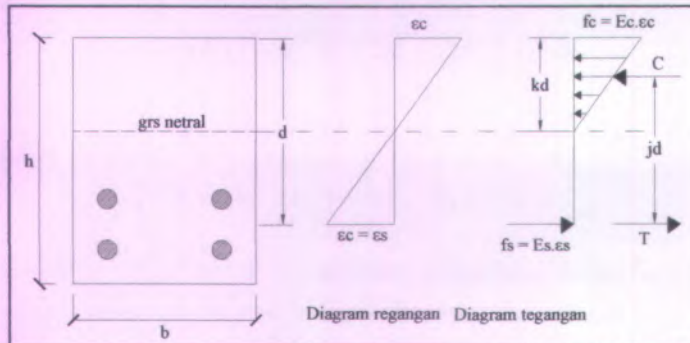
$$= 484079642.62 \text{ Nmm}$$

$$= 0,484 \text{ tm} \approx 0,484 \text{ tm}$$

$$\varphi = \frac{f_r / E_c}{Y_t} = \frac{4,154 / 27890,055}{95,275}$$

$$= 1,563 \times 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

Perhitungan Momen Saat Leleh Pertama (Keadaan Elastoplastis)



Gambar 4.27 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastoplastis.

$$\varepsilon_c = \frac{f_c'}{E_c} \text{ dan } \varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(1)$$

Dari diagram regangan diatas didapat bahwa:

$$\frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d - kd} \dots\dots\dots(2)$$

Kemudian pers. 1 dimasukkan pers. 2, maka didapat:

$$\begin{aligned} \frac{f_c'/E_c}{kd} &= \frac{f_y/E_s}{d - kd} \\ \frac{f_c'}{E_c.kd} &= \frac{f_y}{E_s(d - kd)} \\ f_y &= \frac{1 - k}{k} n.f_c' \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

$$\text{Dimana } n = \frac{E_s}{E_c}$$

Keseimbangan gaya-gaya pada balok

$$C_c = T$$

$$0,5 f_c' b k d = A_s f_y \dots\dots\dots(4)$$

Pers. 3 dimasukkan dalam pers. 4, maka dihasilkan:

$$0,5 f_c' b k d = A_s \frac{1-k}{k} n \cdot f_c'$$

$$0,5 f_c' b k d = \frac{A_s \cdot n \cdot f_c' - A_s \cdot n \cdot f_c' k}{k}$$

$$0,5 f_c' k^2 + \frac{A_s}{b d} n \cdot f_c' k - \frac{A_s}{b d} n \cdot f_c' = 0$$

$$k^2 + 2k\rho n - 2\rho n = 0$$

$$\begin{aligned} k &= [\rho^2 n^2 + 2\rho n]^{1/2} - \rho n \\ &= [0,0194^2 \times 7,171^2 + 2 \times 0,0194 \times 7,171]^{1/2} - 0,0194 \times 7,171 \\ &= 0,406 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k x d &= 0,406 \times 155,5 \\ &= 63,133 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_y \left(\frac{k \cdot d}{d - k \cdot d} \right) = 0,00216 \left(\frac{63,133}{155,5 - 66,133} \right)$$

$$= 0,00148 < \varepsilon_y$$

$$f_c = \varepsilon_c \times E_c = 0,00148 \times 27890,055 = 41,277 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} C_c &= \frac{1}{2} f_c' \times b \times k \times d = \frac{1}{2} 41,277 \times 150 \times 63,133 \\ &= 195445,563 \text{ N} \end{aligned}$$

$$C_s = 0 \text{ (As' = 0)}$$

$$C = C_c = 195445,563 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{C_c x k d / 3}{C} \\ &= \frac{195445,563 \times 63,133 / 3}{195445,563} \end{aligned}$$

$$= 21,04 \text{ mm}$$

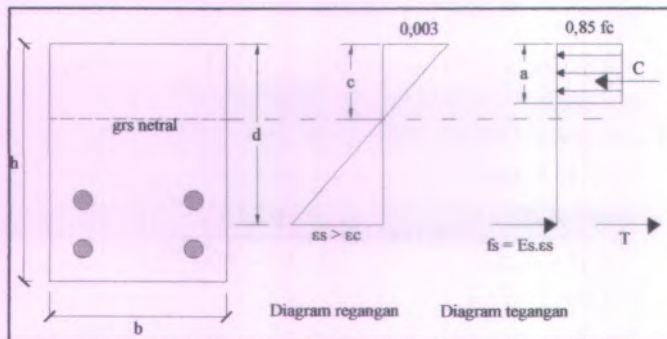
$$j d = d - \bar{y}$$

$$= 155,5 - 21,04 = 134,46 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= A_s \times f_y \times j d \\
 &= 452,389 \times 432,197 \times 134,46 \\
 &= 26289776,334 \text{ Nmm} \\
 &= 2,6289776334 \text{ tm} \approx 2,629 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_y &= \frac{\epsilon_y}{d - k.d} \\
 &= \frac{0,00216}{155,5 - 63,133} \\
 &= 2,338 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Saat Ultimate (keadaan plastis)



4.28 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi Plastis.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{452,389 \times 432,197}{0,85 \times 35 \times 213 \times 150} \\
 &= 43,549 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \text{ untuk } f'_c \leq 30 \text{ Mpa} \\
 &= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 30}{10} \right) \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tetapi β_1 tidak boleh $< 0,65$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{35,213 - 30}{10} \right)$$

$$\beta_1 = 0,824$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{43,549}{0,824}$$

$$= 52,851 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 452,389 \times 432,197 \times (155,5 - 43,549/2)$$

$$= 26146166,036 \text{ Nmm}$$

$$= 2,6146166036 \text{ tm} \approx 2,615 \text{ tm}$$

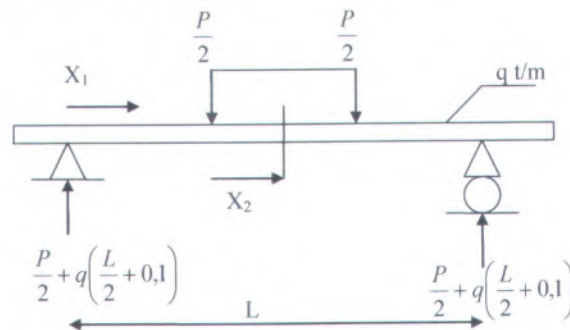
$$M_u = \frac{M_n}{\phi} = \frac{2,615}{0,8} = 3,269 \text{ tm}$$

$$\phi_u = \frac{\epsilon_u}{c} = \frac{0,003}{52,851} = 5,676 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$\mu = \frac{\phi_{ult}}{\phi_y} = \frac{5,676 \times 10^{-5}}{2,338 \times 10^{-5}}$$

$$= 2,428$$

Untuk menghitung nilai-nilai dari P_{cr} , P_y dan P_u diperoleh dari hasil perhitungan M_{cr} , M_y , dan M_u dengan bantuan gambar pembebanan dibawah ini.



Gambar 4.29 Skema posisi pembebanan third point loading test beton mutu 35 MPa.

Dari gambar diatas dapat dicari besarnya momen maksimum yang terjadi ditengah bentang. Besarnya momen ditengah bentang tersebut dapat dicari sebagai berikut:

$$R_A = \frac{P}{2} + q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)$$

$$M = R_A \cdot X_1 - q(X_1 + 0.1) \cdot \frac{1}{2}(X_1 + 0.1) - P \cdot X_2$$

$$M = \left(\frac{P}{2} + q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)\right) \frac{L}{2} - q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right) \frac{1}{2}\left(\frac{L}{2} + 0.1\right) - \frac{P}{2} \cdot 0.1$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{2}q\left(\frac{L}{2} + 0.1\right)^2 - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{2}q\left(\frac{L^2}{4} + 0.1L + 0.01\right) - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{qL^2}{4} + 0.05qL - \frac{1}{8}qL^2 - 0.05qL - 0.005q - 0.05P$$

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P$$

Diketahui : $M_{cr} = 0.484 \text{ tm}$
 $M_y = 2.615 \text{ tm}$
 $M_u = 3.269 \text{ tm}$

a. Menghitung P_{cr}

$$M_{cr} = \frac{P_{cr}L}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P_{cr}$$

$$0.484 = \frac{P_{cr} \cdot 0.6}{4} + \frac{1}{8} \cdot 0.072 \times 0.6^2 - 0.005 \times 0.072 - 0.05P_{cr}$$

$$0.484 = 0.15 P_{cr} + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_{cr}$$

$$0.484 = 0.1 P_{cr} + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_{cr} = 4.81 \text{ ton}$$

b. Menghitung P_y

$$M_y = \frac{P_y L}{4} + \frac{1}{8}qL^2 - 0.005q - 0.05P_y$$

$$2.615 = \frac{P_y \cdot 0.6}{4} + \frac{1}{8} \cdot 0.072 \cdot 0.6^2 - 0.005 \cdot 0.072 - 0.05 P_y$$

$$2.615 = 0.15 P_y + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_y$$

$$2.615 = 0.1 P_y + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_y = 26.12 \text{ ton}$$

c. Menghitung P_u

$$M_u = \frac{P_u L}{4} + \frac{1}{8} q L^2 - 0.005 q - 0.05 P_u$$

$$3.269 = \frac{P_u \cdot 0.6}{4} + \frac{1}{8} \cdot 0.072 \cdot 0.6^2 - 0.005 \cdot 0.072 - 0.05 P_u$$

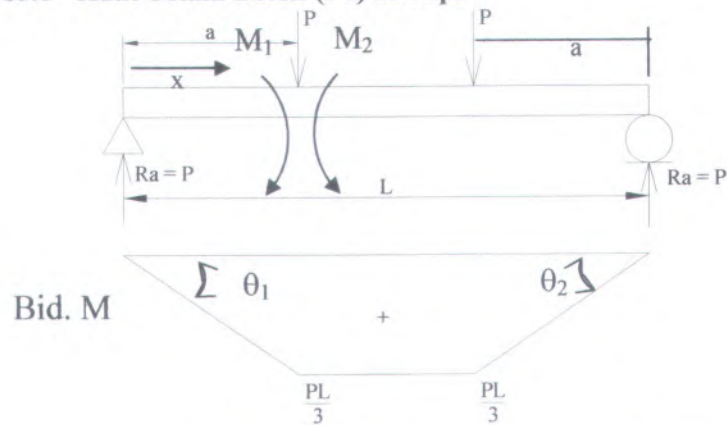
$$3.269 = 0.15 P_u + 3.24 \times 10^{-3} - 0.36 \times 10^{-3} - 0.05 P_u$$

$$3.269 = 0.1 P_u + 2.88 \times 10^{-3}$$

$$P_u = 32.66 \text{ ton}$$

4.15 Perhitungan Defleksi (Δ) Benda Uji Secara Teoritis

4.15.1 Kuat Tekan Beton (f'_c) 25 Mpa



Gambar 4.30 Gambar Bidang M Mutu Beton 25 MPa

a. Penurunan rumus defleksi akibat beban P

- Untuk $0 \leq x \leq a$, $M_1 = P \cdot x$

$$\theta_1 = \frac{1}{EI} \int M_1 \cdot dx = \frac{P \cdot x^2}{2EI} + C_1$$

$$\Delta_1 = \int \theta_1 \cdot dx = \frac{P \cdot x^3}{6EI} + C_1 x + C_2$$

$$\Delta(0) = 0 \text{ maka } C_2 = 0$$

• Untuk $a \leq x \leq L-a$, $M_2 = P \cdot a$

$$\theta_2 = \frac{1}{EI} \int M_2 \cdot dx = \frac{P \cdot ax}{EI} + C_3$$

$$\theta_2(L/2) = 0 \text{ maka } C_3 = -\frac{P \cdot a \cdot L}{2EI}$$

$$\Delta_2 = \int \theta_2 \cdot dx = \frac{P \cdot a \cdot x^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L \cdot x}{2EI} + C_4$$

$$\text{Pada } x = a, \theta_1 = \theta_2$$

$$\frac{P \cdot a^2}{2EI} + C_1 = \frac{P \cdot a^2}{EI} - \frac{P \cdot a \cdot L}{EI}, \text{ maka } C_1 = \frac{P \cdot a^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L}{2EI}$$

$$\text{Pada } x = a, \Delta_1 = \Delta_2$$

$$\frac{P \cdot a^3}{6EI} + \frac{P \cdot a^3}{2EI} - \frac{P \cdot a^2 \cdot L}{2EI} = \frac{P \cdot a^3}{2EI} - \frac{P \cdot a^2 \cdot L}{2EI} + C_4, \text{ maka } C_4 = \frac{P \cdot a^3}{6EI}$$

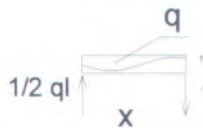
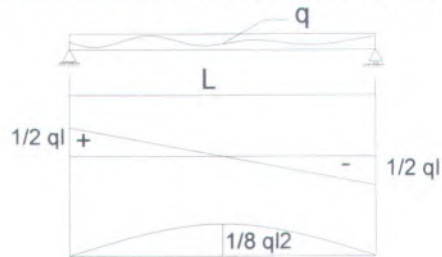
• Maka untuk x Untuk $a \leq x \leq L-a$, M_2

$$\Delta(x) = \frac{P \cdot a \cdot x^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L \cdot x}{2EI} + \frac{P \cdot a^3}{6EI}$$

Maka defleksi yang terjadi di tengah bentang ($L/2$) adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{tb} = \frac{P \cdot a}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$

b. Penurunan rumus defleksi akibat berat sendiri (q)



$$M = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$V = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x$$

$$EI \frac{d^2 \Delta}{dx^2} = M = \frac{ql \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$EI \frac{d\Delta}{dx} = \frac{ql \cdot x^2}{4} - \frac{q \cdot x^3}{6} + C_3$$

$$EI \Delta = \frac{ql \cdot x^3}{12} - \frac{q \cdot x^4}{24} + C_3 x + C_4$$

Tumpuan sederhana $\Delta(0) = 0$, $C_4 = 0$

$$\Delta(L) = 0$$

$$EI \Delta(L) = 0 = \frac{ql^4}{24} + C_3 L$$

$$C_3 = -\frac{qL^3}{24}$$

$$\Delta = -\frac{q}{24EI} (L^3 x - 2Lx^3 + x^4)$$

Defleksi maksimum pada $x = L/2$, maka:

$$\Delta = \frac{5q.L^4}{384EI}$$

$$\text{Jadi } \Delta = \frac{P.a}{24EI} (3l^2 - 4.a^2) + \frac{5ql^4}{384EI}$$

Dimana:

P = Beban

a = Jarak beban P ke pinggir bentang = 20 cm

L = Panjang bentang bersih balok = 60 cm

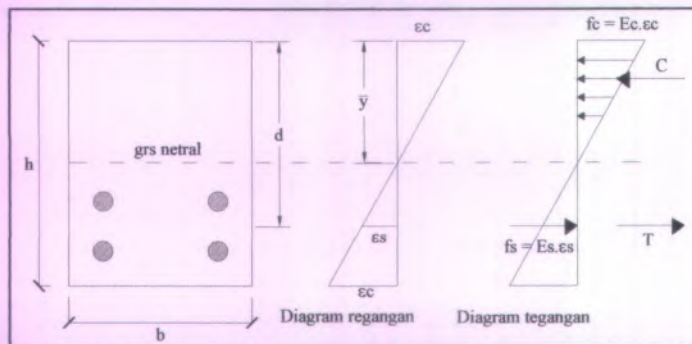
f_c' = 28,068 MPa

E_c = Modulus elastisitas = $4700\sqrt{f_c'}$
= 24900,24 MPa

q = Berat sendiri balok = $2400 \times 0,15 \times 0,2$
= 0,072 t/m

Perhitungan Defleksi Teoritis

a. Defleksi saat crack/retak (fase I)



Gambar 4.31 Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastis.

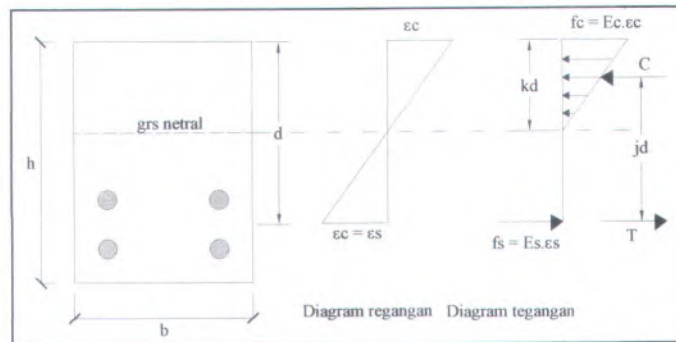
$$\Delta_{crack} = \frac{Pcr.a}{24EI_{gt}} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_{gt}}$$

$$\begin{aligned}
 I_{gt} &= \left(\frac{1}{12}bh^3\right) + [b \cdot h(y - h/2)^2] + [(n - 1) \cdot A_s \cdot (d - y)^2] \\
 &= \left(\frac{15 \cdot 20^3}{12}\right) + [15 \cdot 20(10,3944 - 20/2)^2] \\
 &\quad + [(8,032 - 1) \cdot 3,14159(15,75 - 10,3944)^2] \\
 &= 10000 + 46,6654 + 633,643 \\
 &= 10680,3084 \text{ cm}^4 = 106803084 \text{ mm}^4 \\
 \Delta_{crack} &= \frac{4 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 1000}{24 \cdot 249002 \cdot 4 \cdot 10680 \cdot 3084} (3 \cdot 60^2 - 4 \cdot 20^2) + \\
 &\quad \frac{5 \cdot 0,072 \cdot 60^4 \cdot 10}{384 \cdot 249002 \cdot 4 \cdot 10680 \cdot 3084}
 \end{aligned}$$

$$\Delta_{crack} = 0,012 + 4,57 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 0,012 \text{ cm}$$

$$\Delta_{crack} = 0,12 \text{ mm}$$

b. Defleksi saat yield/leleh (fase II)



Gambar 4.32 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi elastoplastis.

$$\Delta_{yield} = \frac{Py \cdot a}{24EI_{cr}} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_{cr}}$$

$$I_{cr} = I_o + A \cdot d^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b(kd)^3 + b(kd) \left(\frac{1}{2} (kd) \right)^2 + n.A_s(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b(kd)^3 + \frac{1}{4} b(kd)^3 + n.A_s(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{b(kd)^3}{3} + n.A_s(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15 \times 5.796^3}{3} + 8.032 \times 3.14159 (15.75 - 5.796)^2$$

$$I_{cr} = 3473.71 \text{ cm}^4$$

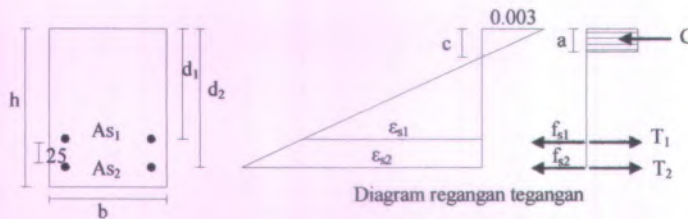
$$\Delta_{yield} = \frac{15.05 \times 20 \times 1000}{24 \times 249002.4 \times 3473.71} (3 \times 60^2 - 4 \times 20^2)$$

$$+ \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 249002.4 \times 3473.71}$$

$$\Delta_{yield} = 0.132 + 1.39 \times 10^{-4} = 0.132 \text{ cm}$$

$$\Delta_{yield} = 1.33 \text{ mm}$$

Defleksi saat ultimate (fase III)



Gambar 4.33 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi ultimate

Diketahui:

$$h = 200 \text{ mm} \quad \text{decking} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm} \quad \phi \text{ tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 157.08 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = h - (\text{decking} + \text{jarak tul} + \phi_{\text{tul}} + 0.5\phi_{\text{tul}})$$

$$d_1 = 200 - (20 + 25 + 10 + 0.5 \times 10)$$

$$d_1 = 140 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - (\text{decking} + 0.5\phi_{\text{tul}})$$

$$d_2 = 200 - (20 + 0.5 \times 10)$$

$$d_2 = 175 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{s1}}{d_1 - c}$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_c \frac{d_1 - c}{c} = 0.003 \frac{(140 - 35.885)}{35.885}$$

$$\epsilon_{s1} = 8.7 \times 10^{-3}$$

$$f_{s1} = \epsilon_{s1} \times E_s = 8.7 \times 10^{-3} \times 200000$$

$$f_{s1} = 1740 \text{ MPa}$$

$$f_{s1} > f_y \Rightarrow 1740 > 347.455 \text{ (tulangan leleh)}$$

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{s2}}{d_2 - c}$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_c \frac{d_2 - c}{c} = 0.003 \frac{(175 - 35.885)}{35.885}$$

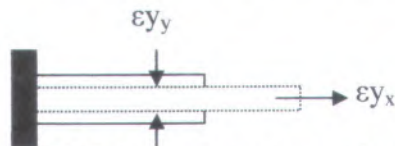
$$\epsilon_{s2} = 0.01163$$

$$f_{s2} = \epsilon_{s2} \times E_s = 0.01163 \times 200000$$

$$f_{s2} = 2326.014 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} > f_y \Rightarrow 2326.014 > 347.455 \text{ (tulangan leleh)}$$

Jadi semua tulangan leleh, baik itu tulangan bawah maupun atas. Maka diameter tulangan harus direduksi.



Gambar 4.34 Hubungan regangan arah x dan arah y pada kondisi plane stress

$$\varepsilon y_x = -\nu \cdot \varepsilon y_y$$

Dimana : εy_x = regangan leleh arah x
(arah longitudinal tulangan)

εy_y = regangan leleh arah y
(arah radial tulangan)

ν = poisson ratio, untuk baja
diambil $\nu = 0,3$

Hubungan perubahan diameter tulangan $\Delta\phi$ dengan regangan arah y:

$$-\frac{\Delta\phi}{\phi} = \varepsilon y_y$$

$$-\left(\frac{\phi - \phi_{ult}}{\phi}\right) = \varepsilon y_y$$

Dimana: ϕ = diameter tulangan pada saat awal

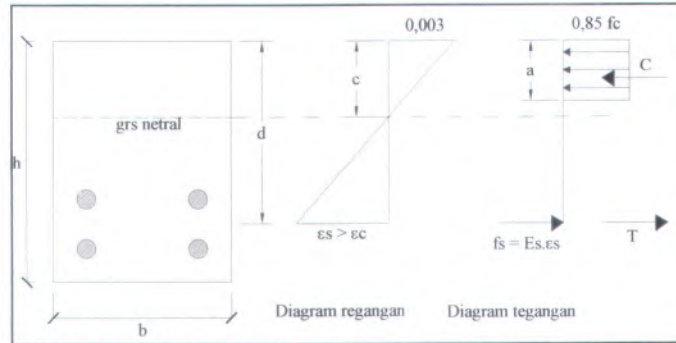
ϕ_{ult} = diameter tulangan pada saat akhir

Sehingga:

$$-\left(\frac{\phi - \phi_{ult}}{\phi}\right) = -\frac{1}{\nu} \varepsilon y_x$$

$$\begin{aligned} \phi_{ult} &= \phi - \frac{\varepsilon y_x \cdot \phi}{\nu} \\ &= 10 - \frac{0,001737 \cdot 10}{0,3} = 9,94 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ ult}} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 9,94^2 = 310,401 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.35 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 25 MPa dalam kondisi plastis

$$I = I_0 + Ad^2$$

$$I_u = \frac{1}{12}bc^3 + bc\left(\frac{1}{2}c\right)^2 + n.A_{s_{ult}}(d-c)^2$$

$$I_u = \frac{1}{12}bc^3 + \frac{1}{4}bc^3 + n.A_{s_{ult}}(d-c)^2$$

$$I_u = \frac{1}{3}bc^3 + n.A_{s_{ult}}(d-c)^2$$

$$= \frac{150 \times 35.885^3}{3} + 8.032 \times 310.401(157.5 - 35.885)^2$$

$$= 2310515.339 + 36874072.04$$

$$= 39184587.38 \text{ mm}^4$$

$$= 3918.458738 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_u = \frac{Pu.a}{24EI_u}(3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_u}$$

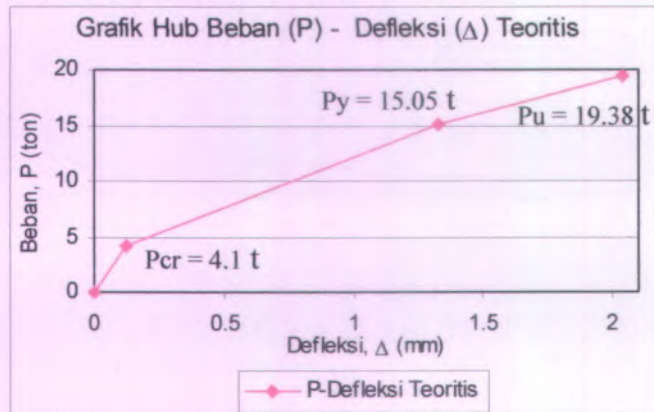
$$\Delta_u = \frac{19.38 \times 20 \times 1000}{24 \times 249002.4 \times 3918.458738}(3 \times 60^2 - 4 \times 20^2)$$

$$+ \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 249002.4 \times 3918.458738}$$

$$\Delta_u = 0.204 + 1.25 \times 10^{-4} = 0.205 \text{ cm} ==$$

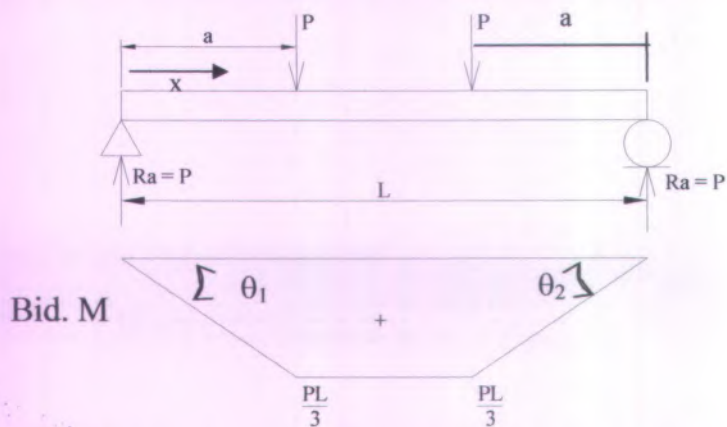
$$\Delta_u = 2.05 \text{ mm}$$

Dari perhitungan P waktu retak, leleh dan ultimate serta defleksi waktu retak, leleh dan ultimate diatas dapat dibuat grafik hubungannya seperti dibawah ini:



Gambar 4.36 Grafik P- Δ Secara teoritis Benda Uji Mutu 25 Mpa

4.15.2 Kuat Tekan Beton (f'_c) 30 Mpa



Gambar 4.37 Gambar Bidang M Mutu Beton 30 MPa

a. Penurunan rumus defleksi akibat beban P

- Untuk $0 \leq x \leq a$, $M_1 = P \cdot x$

$$\theta_1 = \frac{1}{EI} \int M_1 \cdot dx = \frac{P \cdot x^2}{2EI} + C_1$$

$$\Delta_1 = \int \theta_1 \cdot dx = \frac{P \cdot x^3}{6EI} + C_1 x + C_2$$

$$\Delta(0) = 0 \text{ maka } C_2 = 0$$

- Untuk $a \leq x \leq L-a$, $M_2 = P \cdot a$

$$\theta_2 = \frac{1}{EI} \int M_2 \cdot dx = \frac{P \cdot a x}{EI} + C_3$$

$$\theta_2(L/2) = 0 \text{ maka } C_3 = -\frac{P \cdot a \cdot L}{2EI}$$

$$\Delta_2 = \int \theta_2 \cdot dx = \frac{P \cdot a x^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L x}{2EI} + C_4$$

$$\text{Pada } x = a, \theta_1 = \theta_2$$

$$\frac{P \cdot a^2}{2EI} + C_1 = \frac{P \cdot a^2}{EI} - \frac{P \cdot a \cdot L}{EI}, \text{ maka } C_1 = \frac{P \cdot a^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L}{2EI}$$

$$\text{Pada } x = a, \Delta_1 = \Delta_2$$

$$\frac{P \cdot a^3}{6EI} + \frac{P \cdot a^3}{2EI} - \frac{P \cdot a^2 \cdot L}{2EI} = \frac{P \cdot a^3}{2EI} - \frac{P \cdot a^2 \cdot L}{2EI} + C_4, \text{ maka } C_4 = \frac{P \cdot a^3}{6EI}$$

- Maka untuk x Untuk $a \leq x \leq L-a$, M_2

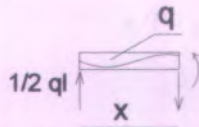
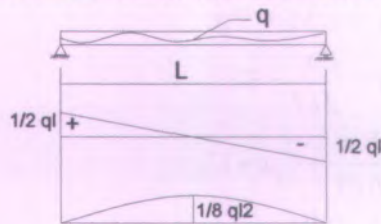
$$\Delta(x) = \frac{P \cdot a \cdot x^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L x}{2EI} + \frac{P \cdot a^3}{6EI}$$

Maka defleksi yang terjadi di tengah bentang ($L/2$) adalah sebagai berikut:

$$\Delta(L/2) = \frac{P \cdot a}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$



b. Penurunan rumus defleksi akibat berat sendiri (q)



$$M = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$V = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x$$

$$EI \frac{d^2 \Delta}{d \cdot x^2} = M = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$EI \frac{d \Delta}{d \cdot x} = \frac{q \cdot L \cdot x^2}{4} - \frac{q \cdot x^3}{6} + C_3$$

$$EI \Delta = \frac{q \cdot L \cdot x^3}{12} - \frac{q \cdot x^4}{24} + C_3 x + C_4$$

Tumpuan sederhana $\Delta(0) = 0$, $C_4 = 0$

$$\Delta(L) = 0$$

$$EI \Delta(L) = 0 = \frac{q L^4}{24} + C_3 L$$

$$C_3 = -\frac{q L^3}{24}$$

$$\Delta = -\frac{q}{24EI} (L^3 x - 2Lx^3 + x^4)$$

Defleksi maksimum pada $x = L/2$, maka:

$$\Delta = \frac{5q.L^4}{384EI}$$

$$\text{Jadi } \Delta = \frac{P.a}{24EI} (3l^2 - 4.a^2) + \frac{5ql^4}{384EI}$$

Dimana:

P = Beban

a = Jarak beban P ke pinggir bentang = 20 cm

L = Panjang bentang bersih balok = 60 cm

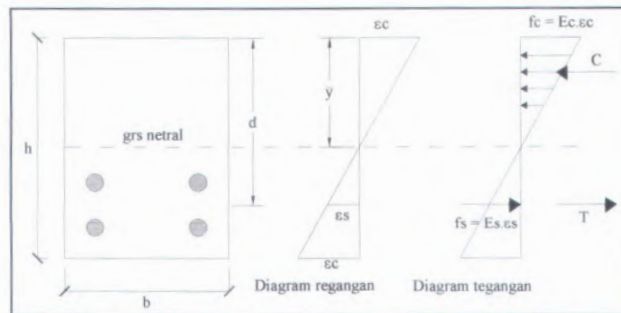
$f_c' = 32,75$ MPa

$E_c = \text{Modulus elastisitas} = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 26896,979$
MPa

q = Berat sendiri balok = $2400 \times 0,15 \times 0,2 = 0,072$ t/m

Perhitungan Defleksi Teoritis

a. Defleksi saat crack/retak (fase I)



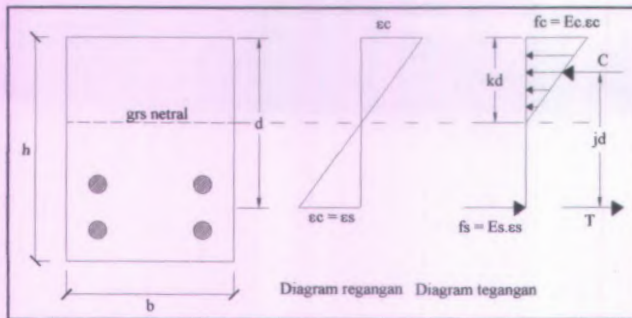
Gambar 4.38 Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi elastis.

$$\Delta_{crack} = \frac{Pcr.a}{24EI_{gt}} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_{gt}}$$

$$I_{gt} = \left(\frac{1}{12} bh^3 \right) + [b.h(y - h/2)^2] + [(n - 1).As.(d - y)^2]$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{15 \times 20^3}{12} \right) + [15 \times 20(10,491 - 20/2)^2] \\
 &\quad + [(7.436 - 1) \times 4.52389(15,55 - 10,491)^2] \\
 &= 10000 + 72.324 + 745.174 \\
 &= 10817.498 \text{ cm}^4 = 108174980 \text{ mm}^4 \\
 \Delta_{\text{crack}} &= \frac{4.53 \times 20 \times 1000}{24 \times 268969.79 \times 10817.498} (3 \times 60^2 - 4 \times 20^2) + \\
 &\quad \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 268969.79 \times 10817.498} \\
 \Delta_{\text{crack}} &= 0.012 + 4.18 \times 10^{-5} = 0.012 \text{ cm} \\
 \Delta_{\text{crack}} &= 0.12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Defleksi saat yield/leleh (fase II)



Gambar 4.39 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi elastoplastis.

$$\Delta_{\text{yield}} = \frac{P y_c a}{24 E I_{cr}} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5 q l^4}{384 E I_{cr}}$$

$$I_{cr} = I_o + A_c d^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b (kd)^3 + b (kd) \left(\frac{1}{2} (kd) \right)^2 + n A_s (d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b(kd)^3 + \frac{1}{4} b(kd)^3 + n.As(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{b(kd)^3}{3} + n.As(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15 \times 6.4066^3}{3} + 7.436 \times 4.52389(15.55 - 6.4066)^2$$

$$I_{cr} = 4127.113 \text{ cm}^4$$

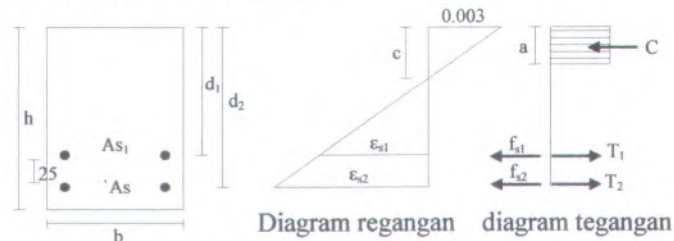
$$\Delta_{yield} = \frac{26.2 \times 20 \times 1000}{24 \times 268969.79 \times 4127.113} (3 \times 60^2 - 4 \times 20^2) + \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 268969.79 \times 4127.113}$$

$$\Delta_{yield} = 0.181 + 1.1 \times 10^{-4} = 0.177 \text{ cm}$$

$$\Delta_{yield} = 1.81 \text{ mm}$$

c. Defleksi saat ultimate (fase III)

Kontrol keadaan tulangan



Gambar 4.40 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi ultimate

Diketahui:

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$As_1 = As_2 = 226.195 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = h - (\text{decking} + \text{jarak tul} + \phi_{tul} + 0.5\phi_{tul})$$

$$d_1 = 200 - (20 + 25 + 12 + 0.5 \times 12)$$

$$d_1 = 137 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - (\text{decking} + 0.5\phi_{\text{tul}})$$

$$d_2 = 200 - (20 + 0.5 \times 12)$$

$$d_2 = 174 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{s1}}{d_1 - c}$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_c \frac{d_1 - c}{c} = 0.003 \frac{(137 - 55.993)}{55.993}$$

$$\epsilon_{s1} = 4.34 \times 10^{-3}$$

$$f_{s1} = \epsilon_{s1} \times E_s = 4.34 \times 10^{-3} \times 200000$$

$$f_{s1} = 868.041 \text{ MPa}$$

$$f_{s1} > f_y \Rightarrow 868.041 > 432.197 \text{ (tulangan leleh)}$$

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{s2}}{d_2 - c}$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_c \frac{d_2 - c}{c} = 0.003 \frac{(174 - 55.993)}{55.993}$$

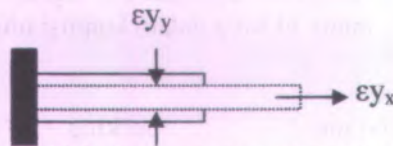
$$\epsilon_{s2} = 6.32 \times 10^{-3}$$

$$f_{s2} = \epsilon_{s2} \times E_s = 6.32 \times 10^{-3} \times 200000$$

$$f_{s2} = 1264.519 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} > f_y \Rightarrow 1264.519 > 347.455 \text{ (tulangan leleh)}$$

Jadi semua tulangan leleh, baik itu tulangan bawah maupun atas. Maka diameter tulangan harus direduksi.



Gambar 4.41 Hubungan regangan arah x dan arah y pada kondisi plane stress

$$\epsilon_{yx} = -\nu \cdot \epsilon_y$$

Dimana : ϵy_x = regangan leleh arah x
(arah longitudinal tulangan)

ϵy_y = regangan leleh arah y
(arah radial tulangan)

ν = poisson ratio, untuk baja
diambil $\nu = 0,3$

Hubungan perubahan diameter tulangan $\Delta\phi$ dengan
regangan arah y:

$$-\frac{\Delta\phi}{\phi} = \epsilon y_y$$

$$-\left(\frac{\phi - \phi_{ult}}{\phi}\right) = \epsilon y_y$$

Dimana: ϕ = diameter tulangan pada saat awal

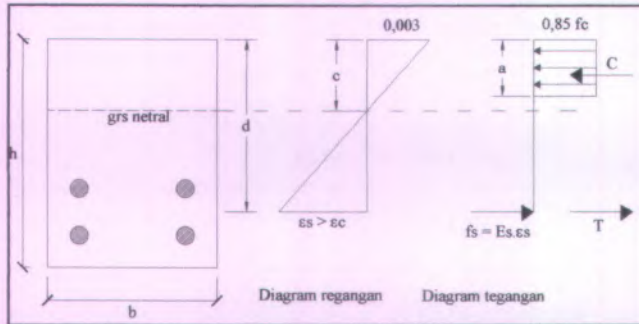
ϕ_{ult} = diameter tulangan pada saat akhir

Sehingga:

$$-\left(\frac{\phi - \phi_{ult}}{\phi}\right) = -\frac{1}{\nu} \epsilon y_x$$

$$\begin{aligned} \phi_{ult} &= \phi - \frac{\epsilon y_x \cdot \phi}{\nu} \\ &= 12 - \frac{0.00216 \times 12}{0,3} = 11.9136 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ ult}} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 11.9136^2 = 445.898 \text{ mm}^4$$



Gambar 4.42 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 30 MPa dalam kondisi plastis

$$I = I_0 + Ad^2$$

$$I_u = \frac{1}{12}bc^3 + bc\left(\frac{1}{2}c\right)^2 + n.A_{s,ult}(d-c)^2$$

$$I_u = \frac{1}{12}bc^3 + \frac{1}{4}bc^3 + n.A_{s,ult}(d-c)^2$$

$$I_u = \frac{1}{3}bc^3 + n.A_{s,ult}(d-c)^2$$

$$= \frac{150 \times 55.993^3}{3} + 7.436 \times 445.898(155.5 - 55.993)^2$$

$$= 8777507.612 + 32830853.38$$

$$= 41608360.99 \text{ mm}^4$$

$$= 4160.836099 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_u = \frac{Pu.a}{24EI_u}(3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_u}$$

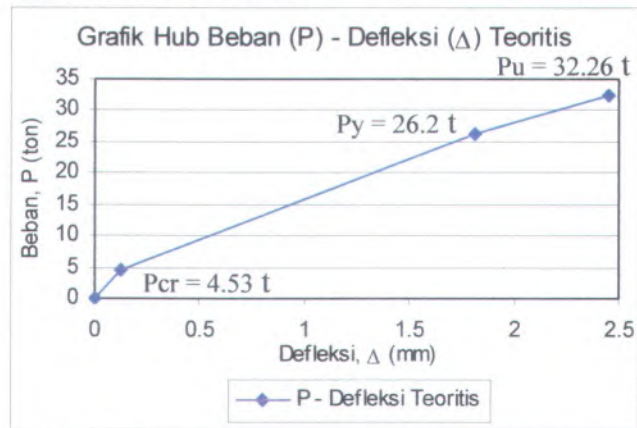
$$\Delta_u = \frac{32.26 \times 20 \times 1000}{24 \times 268969.79 \times 4160.836099}(3 \times 60^2 - 4 \times 20^2)$$

$$+ \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 268969.79 \times 4160.836099}$$

$$\Delta_u = 0.247 + 1.086 \times 10^{-4} = 0.247 \text{ cm}$$

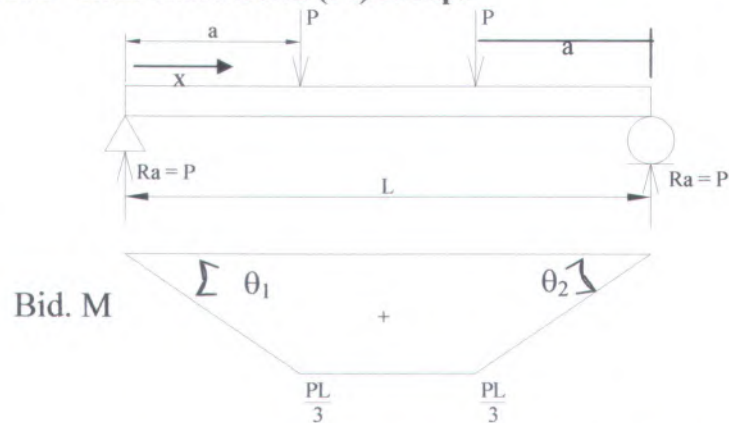
$$\Delta_u = 2.47 \text{ mm}$$

Dari perhitungan P waktu retak, leleh dan ultimate serta defleksi waktu retak, leleh dan ultimate diatas dapat dibuat grafik hubungannya seperti dibawah ini:



Gambar 4.43 Grafik P- Δ Secara teoritis Benda Uji Mutu 30 Mpa

4.15.3 Kuat Tekan Beton (f'_c) 35 Mpa



Gambar 4.44 Gambar Bidang M Mutu Beton 35 MPa

a. Penurunan rumus defleksi akibat beban P

- Untuk $0 \leq x \leq a$, $M_1 = P \cdot x$

$$\theta_1 = \frac{1}{EI} \int M_1 \cdot dx = \frac{P \cdot x^2}{2EI} + C_1$$

$$\Delta_1 = \int \theta_1 \cdot dx = \frac{P \cdot x^3}{6EI} + C_1 x + C_2$$

$$\Delta(0) = 0 \text{ maka } C_2 = 0$$

- Untuk $a \leq x \leq L-a$, $M_2 = P \cdot a$

$$\theta_2 = \frac{1}{EI} \int M_2 \cdot dx = \frac{P \cdot ax}{EI} + C_3$$

$$\theta_2(L/2) = 0 \text{ maka } C_3 = -\frac{P \cdot a \cdot L}{2EI}$$

$$\Delta_2 = \int \theta_2 \cdot dx = \frac{P \cdot ax^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L \cdot x}{2EI} + C_4$$

$$\text{Pada } x = a, \theta_1 = \theta_2$$

$$\frac{P \cdot a^2}{2EI} + C_1 = \frac{P \cdot a^2}{EI} - \frac{P \cdot a \cdot L}{EI}, \text{ maka } C_1 = \frac{P \cdot a^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L}{2EI}$$

$$\text{Pada } x = a, \Delta_1 = \Delta_2$$

$$\frac{P \cdot a^3}{6EI} + \frac{P \cdot a^3}{2EI} - \frac{P \cdot a^2 \cdot L}{2EI} = \frac{P \cdot a^3}{2EI} - \frac{P \cdot a^2 \cdot L}{2EI} + C_4, \text{ maka } C_4 = \frac{P \cdot a^3}{6EI}$$

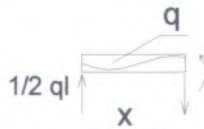
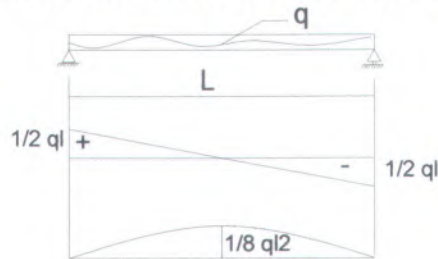
- Maka untuk x Untuk $a \leq x \leq L-a$, M_2

$$\Delta(x) = \frac{P \cdot a \cdot x^2}{2EI} - \frac{P \cdot a \cdot L \cdot x}{2EI} + \frac{P \cdot a^3}{6EI}$$

Maka defleksi yang terjadi di tengah bentang ($L/2$) adalah sebagai berikut:

$$\Delta(L/2) = \frac{P \cdot a}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$

b. Penurunan rumus defleksi akibat berat sendiri (q)



$$M = \frac{q \cdot L \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$V = \frac{q \cdot L}{2} - q \cdot x$$

$$EI \frac{d^2 \Delta}{dx^2} = M = \frac{ql \cdot x}{2} - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

$$EI \frac{d\Delta}{dx} = \frac{ql \cdot x^2}{4} - \frac{q \cdot x^3}{6} + C_3$$

$$EI \Delta = \frac{ql \cdot x^3}{12} - \frac{q \cdot x^4}{24} + C_3 x + C_4$$

Tumpuan sederhana $\Delta(0) = 0, C_4 = 0$

$$\Delta(L) = 0$$

$$EI \Delta(L) = 0 = \frac{ql^4}{24} + C_3 L$$

$$C_3 = -\frac{ql^3}{24}$$

$$\Delta = -\frac{q}{24EI} (L^3 x - 2Lx^3 + x^4)$$

Defleksi maksimum pada $x = L/2$, maka:

$$\Delta = \frac{5q.L^4}{384EI}$$

$$\text{Jadi } \Delta = \frac{P.a}{24EI} (3l^2 - 4.a^2) + \frac{5ql^4}{384EI}$$

Dimana:

P = Beban

a = Jarak beban P ke pinggir bentang = 20 cm

L = Panjang bentang bersih balok = 60 cm

$f_c' = 35,213$ Mpa

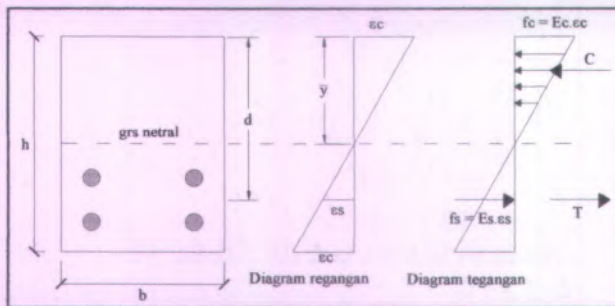
$E_c = \text{Modulus elastisitas} = 4700 \sqrt{f_c'} = 27890,055$

MPa

q = Berat sendiri balok = $2400 \times 0,15 \times 0,2 = 0,072$
t/m

Perhitungan Defleksi Teoritis

a. Defleksi saat crack/retak (fase I)

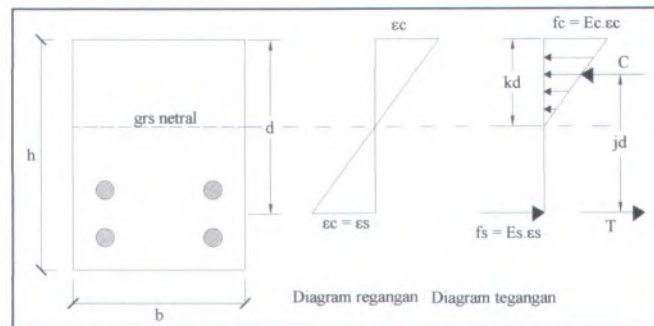


Gambar 4.45 Diagram tegangan dan regangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastis.

$$\Delta_{crack} = \frac{Pcr.a}{24EI_{gt}} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_{gt}}$$

$$\begin{aligned}
 I_{gt} &= \left(\frac{1}{12}bh^3\right) + [b.h(y - h/2)^2] + [(n - 1).As.(d - y)^2] \\
 &= \left(\frac{15 \times 20^3}{12}\right) + [15 \times 20(10.4725 - 20/2)^2] \\
 &\quad + [(7.171 - 1) \times 4.52389(15.55 - 10.4725)^2] \\
 &= 10000 + 66.977 + 719.726 \\
 &= 10786.703 \text{ cm}^4 = 107867030 \text{ mm}^4 \\
 \Delta_{crack} &= \frac{4.81 \times 20 \times 1000}{24 \times 278900.55 \times 10786.703} (3 \times 60^2 - 4 \times 20^2) + \\
 &\quad \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 278900.55 \times 10786.703} \\
 \Delta_{crack} &= 0.012 + 4.03 \times 10^{-5} = 0.012 \text{ cm} \\
 \Delta_{crack} &= 0.12 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Defleksi saat yield/leleh (fase II)



Gambar 4.46 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi elastoplastis.

$$\begin{aligned}
 \Delta_{yield} &= \frac{Py.a}{24EI_{cr}} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_{cr}} \\
 I_{cr} &= I_0 + A.d^2
 \end{aligned}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b(kd)^3 + b(kd) \left(\frac{1}{2} (kd) \right)^2 + n.As(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b(kd)^3 + \frac{1}{4} b(kd)^3 + n.As(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{b(kd)^3}{3} + n.As(d - kd)^2$$

$$I_{cr} = \frac{15 \times 6.3133^3}{3} + 7.171 \times 4.52389 (15.55 - 6.3133)^2$$

$$I_{cr} = 1258.17 + 2767.74 \text{ cm}^4$$

$$I_{cr} = 4025.91 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_{yield} = \frac{26.12 \times 20 \times 1000}{24 \times 278900.55 \times 4025.91} (3 \times 60^2 - 4 \times 20^2)$$

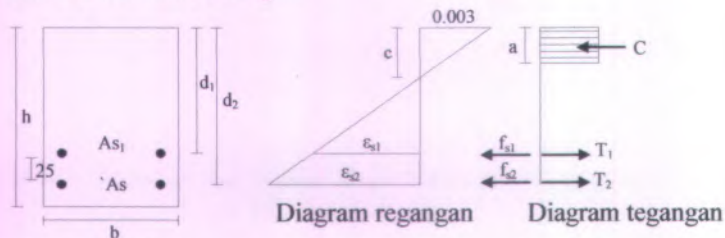
$$+ \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 278900.55 \times 4025.91}$$

$$\Delta_{yield} = 0.178 + 1.08 \times 10^{-4} = 0.178 \text{ cm}$$

$$\Delta_{yield} = 1.78 \text{ mm}$$

c. Defleksi saat ultimate (fase III)

Kontrol keadaan tulangan



Gambar 4.47 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi ultimate

Diketahui:

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$\text{decking} = 20 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 226.195 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = h - (\text{decking} + \text{jarak tul} + \phi_{\text{tul}} + 0.5\phi_{\text{tul}})$$

$$d_1 = 200 - (20 + 25 + 12 + 0.5 \times 12)$$

$$d_1 = 137 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - (\text{decking} + 0.5\phi_{\text{tul}})$$

$$d_2 = 200 - (20 + 0.5 \times 12)$$

$$d_2 = 174 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{s1}}{d_1 - c}$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_c \frac{d_1 - c}{c} = 0.003 \frac{(137 - 52.851)}{52.851}$$

$$\epsilon_{s1} = 4.78 \times 10^{-3}$$

$$f_{s1} = \epsilon_{s1} \times E_s = 4.78 \times 10^{-3} \times 200000$$

$$f_{s1} = 955.316 \text{ MPa}$$

$$f_{s1} > f_y \Rightarrow 955.316 > 432.197 \text{ (tulangan leleh)}$$

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_{s2}}{d_2 - c}$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_c \frac{d_2 - c}{c} = 0.003 \frac{(174 - 52.851)}{52.851}$$

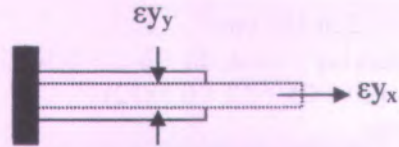
$$\epsilon_{s2} = 6.88 \times 10^{-3}$$

$$f_{s2} = \epsilon_{s2} \times E_s = 6.88 \times 10^{-3} \times 200000$$

$$f_{s2} = 1375.36 \text{ MPa}$$

$$f_{s2} > f_y \Rightarrow 1375.36 > 432.197 \text{ (tulangan leleh)}$$

Jadi semua tulangan leleh, baik itu tulangan bawah maupun atas. Maka diameter tulangan harus direduksi.



Gambar 4.48 Hubungan regangan arah x dan arah y pada kondisi plane stress

$$\epsilon y_x = -\nu \cdot \epsilon y_y$$

Dimana : ϵy_x = regangan leleh arah x
(arah longitudinal tulangan)

ϵy_y = regangan leleh arah y
(arah radial tulangan)

ν = poisson ratio, untuk baja
diambil $\nu = 0,3$

Hubungan perubahan diameter tulangan $\Delta\phi$ dengan regangan arah y:

$$-\frac{\Delta\phi}{\phi} = \epsilon y_y$$

$$-\left(\frac{\phi - \phi_{ult}}{\phi}\right) = \epsilon y_y$$

Dimana: ϕ = diameter tulangan pada saat awal

ϕ_{ult} = diameter tulangan pada saat akhir

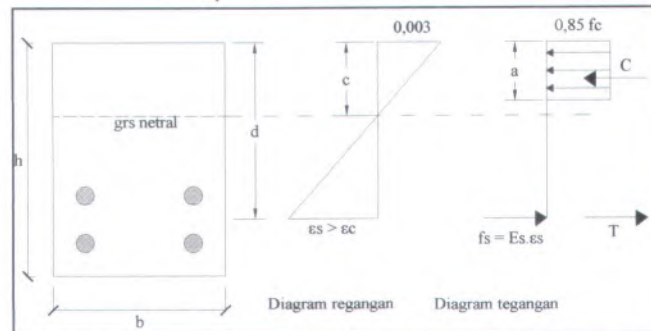
Sehingga:

$$-\left(\frac{\phi - \phi_{ult}}{\phi}\right) = -\frac{1}{\nu} \epsilon y_x$$

$$\phi_{ult} = \phi - \frac{\epsilon y_x \cdot \phi}{\nu}$$

$$= 12 - \frac{0,00216 \times 12}{0,3} = 11,9136 \text{ mm}$$

$$A_{s\text{ ult}} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 11.9136^2 = 445.898 \text{ mm}^4$$



Gambar 4.49 Diagram regangan dan tegangan beton bertulang mutu 35 MPa dalam kondisi pastis

$$I = I_0 + Ad^2$$

$$I_u = \frac{1}{12}bc^3 + bc\left(\frac{1}{2}c\right)^2 + n.A_{s\text{ ult}}(d-c)^2$$

$$I_u = \frac{1}{12}bc^3 + \frac{1}{4}bc^3 + n.A_{s\text{ ult}}(d-c)^2$$

$$I_u = \frac{1}{3}bc^3 + n.A_{s\text{ ult}}(d-c)^2$$

$$= \frac{150 \times 52.851^3}{3} + 7.171 \times 445.898 (155.5 - 52.851)^2$$

$$= 7381245.183 + 33691837.13$$

$$= 41073082.31 \text{ mm}^4$$

$$= 4107.308231 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_u = \frac{Pu.a}{24EI_u} (3l^2 - 4a^2) + \frac{5ql^4}{384EI_u}$$

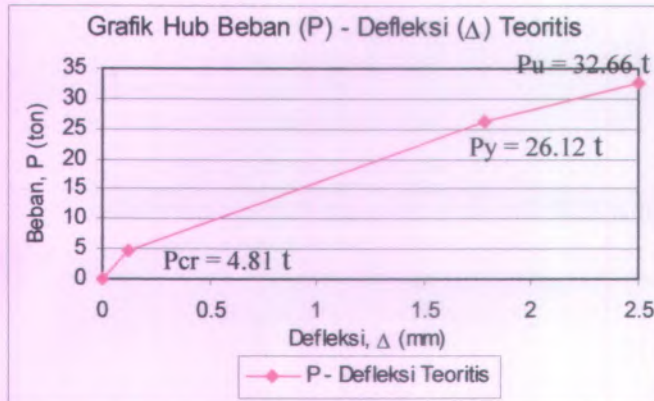
$$\Delta_u = \frac{32.66 \times 20 \times 1000}{24 \times 278900.55 \times 4107.308231} (3 \times 60^2 - 4 \times 20^2)$$

$$+ \frac{5 \times 0.072 \times 60^4 \times 10}{384 \times 278900.55 \times 4107.308231}$$

$$\Delta_u = 0.25 + 1.1 \times 10^{-4} = 0.276 \text{ cm}$$

$$\Delta_u = 2.5 \text{ mm}$$

Dari perhitungan P waktu retak, leleh dan ultimate serta defleksi waktu retak, leleh dan ultimate diatas dapat dibuat grafik hubungannya seperti dibawah ini



4.50 Grafik P-Δ Secara teoritis Benda Uji Mutu 35 MPa

4.16 Hasil Pengetesan Benda Uji Balok Dengan Tri-Point Loading

4.16.1 Benda Uji f_c' 25 Mpa

a. Benda Uji A

Tabel 4.47 Hasil Pengetesan Benda Uji f_c' 25 Mpa (A)

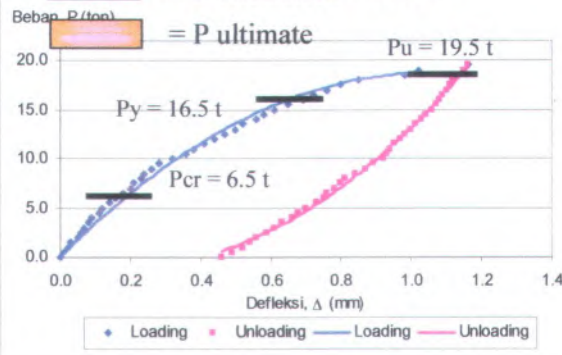
P (ton)	Defleksi, Δ (mm)		P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	
	Loading	Unloading		Loading	Unloading
0.00	0.00	0.46	10.00	0.32	0.92
0.50	0.01	0.49	10.50	0.36	0.93
1.00	0.02	0.52	11.00	0.38	0.94
1.50	0.03	0.54	11.50	0.41	0.95
2.00	0.05	0.56	12.00	0.44	0.97
2.50	0.06	0.59	12.50	0.47	0.98
3.00	0.07	0.61	13.00	0.50	1.00

3.50	0.08	0.63	13.50	0.52	1.01
4.00	0.09	0.66	14.00	0.56	1.03
4.50	0.11	0.68	14.50	0.58	1.04
5.00	0.12	0.70	15.00	0.61	1.06
5.50	0.14	0.73	15.50	0.65	1.07
6.00	0.16	0.75	16.00	0.69	1.08
6.50	0.18	0.76	16.50	0.72	1.09
7.00	0.20	0.78	17.00	0.76	1.10
7.50	0.21	0.80	17.50	0.80	1.11
8.00	0.23	0.81	18.00	0.85	1.12
8.50	0.24	0.84	18.50	0.98	1.13
9.00	0.26	0.87	19.00	1.02	1.15
9.50	0.28	0.89	19.50	1.16	1.16

Keterangan:

= P crack/retak

Grafik Muai, Beban dan Defleksi (P-Δ)



Gambar 4.51 Grafik Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A)

b. Benda Uji B

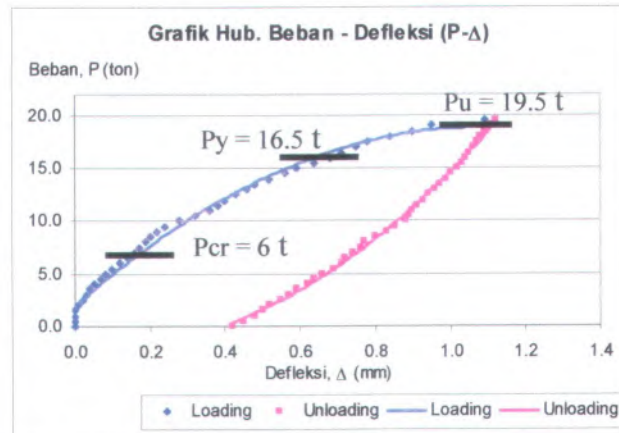
Tabel 4.48 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B)

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)		P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	
	Loading	Unloading		Loading	Unloading
0.00	0.00	0.42	10.00	0.28	0.88

0.50	0.00	0.45	10.50	0.32	0.89
1.00	0.00	0.48	11.00	0.36	0.90
1.50	0.00	0.50	11.50	0.38	0.91
2.00	0.01	0.52	12.00	0.40	0.93
2.50	0.02	0.55	12.50	0.43	0.94
3.00	0.03	0.57	13.00	0.46	0.96
3.50	0.04	0.59	13.50	0.48	0.97
4.00	0.05	0.62	14.00	0.52	0.99
4.50	0.07	0.64	14.50	0.56	1.00
5.00	0.08	0.66	15.00	0.59	1.02
5.50	0.10	0.69	15.50	0.64	1.03
6.00	0.12	0.71	16.00	0.68	1.04
6.50	0.14	0.72	16.50	0.71	1.05
7.00	0.16	0.74	17.00	0.75	1.06
7.50	0.17	0.76	17.50	0.78	1.07
8.00	0.19	0.77	18.00	0.84	1.08
8.50	0.20	0.80	18.50	0.90	1.09
9.00	0.22	0.83	19.00	0.95	1.11
9.50	0.24	0.85	19.50	1.09	1.12

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate

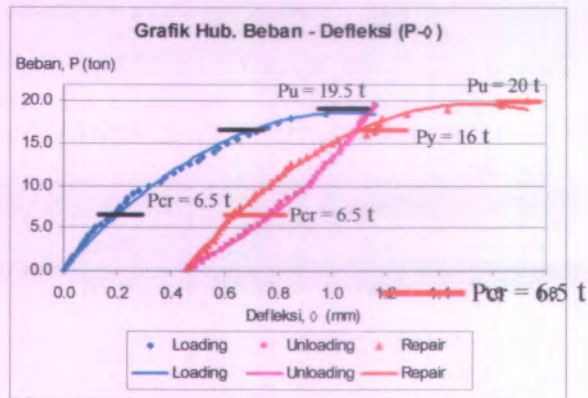
Gambar 4.52 Grafik Benda Uji f'_c 25 Mpa (B)Tabel 4.49 Hasil Pengetesan Benda Uji f'_c 25 Mpa (A) Setelah Repair

P	Defleksi, Δ	P	Defleksi, Δ
(ton)	(mm)	(ton)	(mm)
0.00	0.46	10.50	0.78
0.50	0.47	11.00	0.80
1.00	0.48	11.50	0.82
1.50	0.50	12.00	0.83
2.00	0.51	12.50	0.85
2.50	0.53	13.00	0.88
3.00	0.54	13.50	0.91
3.50	0.56	14.00	0.94
4.00	0.57	14.50	0.96
4.50	0.58	15.00	1.00
5.00	0.59	15.50	1.02
5.50	0.60	16.00	1.13
6.00	0.61	16.50	1.16
6.50	0.63	17.00	1.17
7.00	0.64	17.50	1.18

7.50	0.66	18.00	1.19
8.00	0.69	18.50	1.28
8.50	0.71	19.00	1.43
9.00	0.72	19.50	1.63
9.50	0.74	20.00	1.73
10.00	0.77		

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate



Gambar 4.53 Grafik Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (A) Setelah Repair

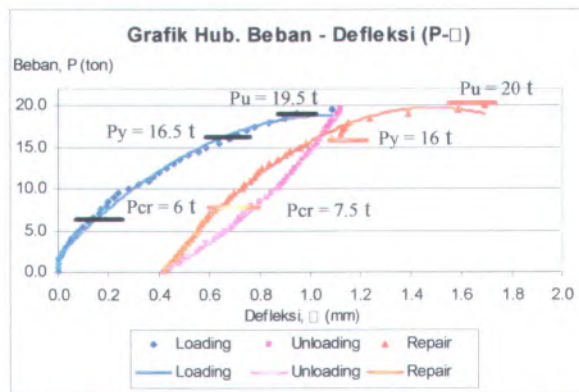
Tabel 4.50 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 25 Mpa (B) Setelah Repair

P	Defleksi, Δ	P	Defleksi, Δ
(ton)	(mm)	(ton)	(mm)
0.00	0.42	10.50	0.74
0.50	0.43	11.00	0.76
1.00	0.44	11.50	0.78
1.50	0.46	12.00	0.79
2.00	0.47	12.50	0.81

2.50	0.49	13.00	0.84
3.00	0.50	13.50	0.87
3.50	0.52	14.00	0.90
4.00	0.53	14.50	0.92
4.50	0.54	15.00	0.96
5.00	0.55	15.50	0.98
5.50	0.56	16.00	1.09
6.00	0.57	16.50	1.12
6.50	0.59	17.00	1.13
7.00	0.60	17.50	1.14
7.50	0.62	18.00	1.15
8.00	0.65	18.50	1.24
8.50	0.67	19.00	1.39
9.00	0.68	19.50	1.59
9.50	0.70	20.00	1.69
10.00	0.73		

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate



Gambar 4.54 Grafik Benda Uji f'_c 25 Mpa (B) Setelah Repair

4.16.2 Benda Uji f_c' 30 Mpa

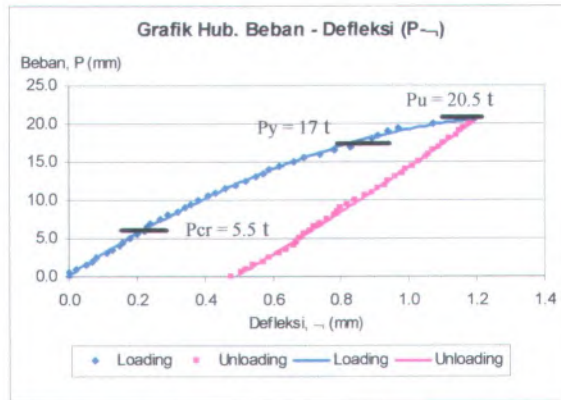
a. Benda Uji A

Tabel 4.51 Hasil Pengetesan Benda Uji f_c' 30 Mpa (A)

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)		P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	
	Loading	Unloading		Loading	Unloading
0.00	0.00	0.48	10.50	0.41	0.87
0.50	0.00	0.51	11.00	0.43	0.89
1.00	0.02	0.52	11.50	0.46	0.91
1.50	0.05	0.54	12.00	0.49	0.93
2.00	0.07	0.57	12.50	0.52	0.94
2.50	0.08	0.59	13.00	0.55	0.96
3.00	0.11	0.62	13.50	0.57	0.98
3.50	0.13	0.64	14.00	0.59	0.99
4.00	0.15	0.66	14.50	0.62	1.01
4.50	0.16	0.67	15.00	0.66	1.03
5.00	0.18	0.68	15.50	0.69	1.05
5.50	0.20	0.69	16.00	0.74	1.06
6.00	0.22	0.71	16.50	0.78	1.07
6.50	0.23	0.72	17.00	0.83	1.09
7.00	0.24	0.74	17.50	0.86	1.10
7.50	0.27	0.76	18.00	0.89	1.12
8.00	0.29	0.78	18.50	0.91	1.14
8.50	0.32	0.79	19.00	0.94	1.15
9.00	0.34	0.80	19.50	0.97	1.16
9.50	0.36	0.82	20.00	1.07	1.18
10.00	0.38	0.84	20.50	1.19	1.19

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P yiled/leleh
- = P ultimate

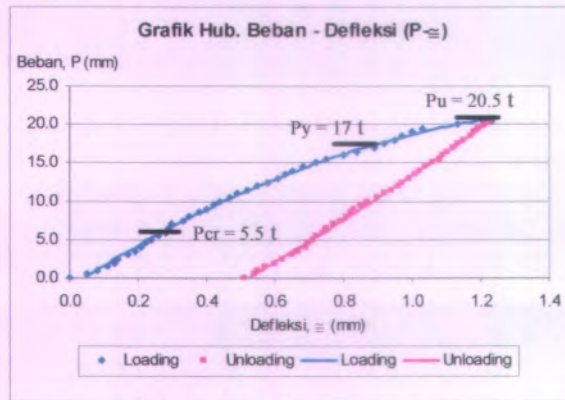
Gambar 4.52 Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A)**b. Benda Uji B**Tabel 4.55 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B)

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)		P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	
	Loading	Unloading		Loading	Unloading
0.00	0.00	0.51	10.50	0.47	0.90
0.50	0.05	0.54	11.00	0.49	0.92
1.00	0.08	0.55	11.50	0.52	0.94
1.50	0.11	0.57	12.00	0.55	0.96
2.00	0.13	0.60	12.50	0.58	0.97
2.50	0.14	0.62	13.00	0.61	0.99
3.00	0.17	0.65	13.50	0.63	1.01
3.50	0.19	0.67	14.00	0.65	1.02
4.00	0.21	0.69	14.50	0.68	1.04
4.50	0.22	0.70	15.00	0.72	1.06
5.00	0.24	0.71	15.50	0.75	1.08
5.50	0.26	0.72	16.00	0.80	1.09
6.00	0.28	0.74	16.50	0.84	1.10
6.50	0.29	0.75	17.00	0.89	1.12
7.00	0.30	0.77	17.50	0.92	1.13
7.50	0.33	0.79	18.00	0.95	1.15
8.00	0.35	0.81	18.50	0.97	1.17

8.50	0.38	0.82	19.00	1.00	1.18
9.00	0.40	0.83	19.50	1.03	1.19
9.50	0.42	0.85	20.00	1.13	1.21
10.00	0.44	0.87	20.50	1.23	1.23

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate



Gambar 4.56 Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B)

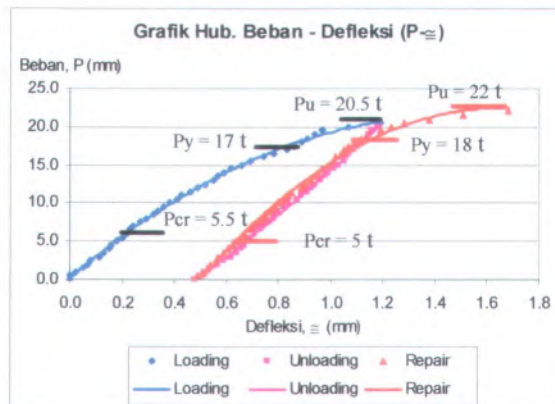
Tabel 4.53 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A) Setelah Repair

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	P (ton)	Defleksi, Δ (mm)
0.00	0.48	11.50	0.85
0.50	0.49	12.00	0.89
1.00	0.51	12.50	0.90
1.50	0.53	13.00	0.92
2.00	0.54	13.50	0.94
2.50	0.56	14.00	0.95
3.00	0.57	14.50	0.97
3.50	0.59	15.00	0.99

4.00	0.61	15.50	1.01
4.50	0.63	16.00	1.02
5.00	0.64	16.50	1.04
5.50	0.66	17.00	1.05
6.00	0.67	17.50	1.07
6.50	0.69	18.00	1.09
7.00	0.70	18.50	1.12
7.50	0.72	19.00	1.14
8.00	0.74	19.50	1.19
8.50	0.75	20.00	1.23
9.00	0.77	20.50	1.28
9.50	0.79	21.00	1.38
10.00	0.80	21.50	1.51
10.50	0.82	22.00	1.68
11.00	0.84		

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate





Gambar 4.57 Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (A) Setelah Repair


Tabel 4.54 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B)
Setelah Repair

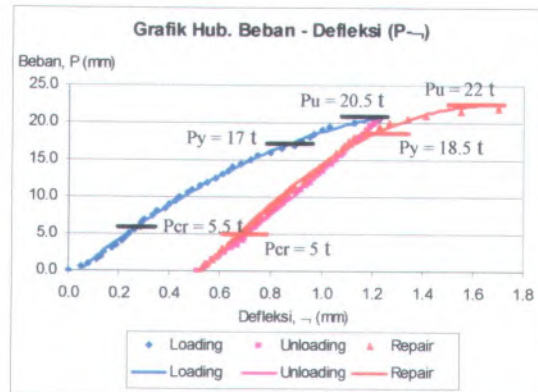
P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	P (ton)	Defleksi, Δ (mm)
0.00	0.52	11.50	0.89
0.50	0.53	12.00	0.93
1.00	0.55	12.50	0.94
1.50	0.57	13.00	0.96
2.00	0.58	13.50	0.98
2.50	0.60	14.00	0.99
3.00	0.61	14.50	1.01
3.50	0.63	15.00	1.03
4.00	0.65	15.50	1.05
4.50	0.67	16.00	1.06
5.00	0.68	16.50	1.08
5.50	0.70	17.00	1.09
6.00	0.71	17.50	1.11
6.50	0.73	18.00	1.13
7.00	0.74	18.50	1.16
7.50	0.76	19.00	1.18
8.00	0.78	19.50	1.23
8.50	0.79	20.00	1.27
9.00	0.81	20.50	1.34
9.50	0.83	21.00	1.41
10.00	0.84	21.50	1.55
10.50	0.86	22.00	1.70
11.00	0.88		

Keterangan:

 = P crack/retak

 = P viled/leleh

 = P ultimate



Gambar 4.55 Grafik Benda Uji $f'c$ 30 Mpa (B) Setelah Repair

4.16.3 Benda Uji $f'c$ 35 Mpa

a. Benda Uji A

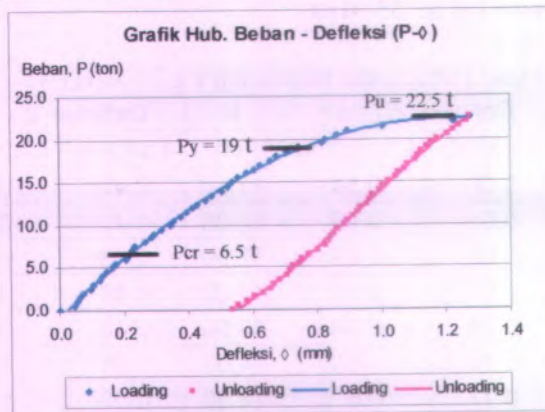
Tabel 4.58 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A)

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)		P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	
	Loading	Unloading		Loading	Unloading
0.00	0.00	0.54	11.50	0.40	0.93
0.50	0.05	0.56	12.00	0.42	0.94
1.00	0.06	0.59	12.50	0.43	0.96
1.50	0.07	0.61	13.00	0.46	0.97
2.00	0.08	0.64	13.50	0.48	0.98
2.50	0.10	0.66	14.00	0.51	1.00
3.00	0.11	0.67	14.50	0.53	1.01
3.50	0.13	0.69	15.00	0.54	1.03
4.00	0.14	0.71	15.50	0.56	1.05
4.50	0.15	0.72	16.00	0.59	1.06
5.00	0.17	0.73	16.50	0.61	1.08
5.50	0.18	0.75	17.00	0.63	1.09
6.00	0.21	0.76	17.50	0.66	1.11
6.50	0.22	0.78	18.00	0.68	1.12
7.00	0.23	0.81	18.50	0.71	1.13
7.50	0.24	0.83	19.00	0.75	1.15

8.00	0.27	0.84	19.50	0.82	1.16
8.50	0.29	0.85	20.00	0.83	1.18
9.00	0.30	0.86	20.50	0.87	1.21
9.50	0.32	0.87	21.00	0.90	1.23
10.00	0.35	0.89	21.50	1.01	1.25
10.50	0.36	0.90	22.00	1.23	1.27
11.00	0.38	0.92	22.50	1.28	1.28

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P yiled/leleh
- = P ultimate



Gambar 4.59 Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A)

b. Benda Uji B

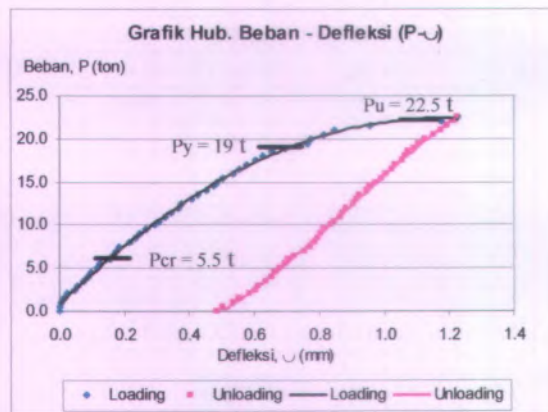
Tabel 4.56 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B)

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)		P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	
	Loading	Unloading		Loading	Unloading
0.00	0.00	0.49	11.50	0.35	0.88
0.50	0.00	0.51	12.00	0.37	0.89
1.00	0.01	0.54	12.50	0.38	0.91
1.50	0.02	0.56	13.00	0.41	0.92

2.00	0.03	0.59	13.50	0.43	0.93
2.50	0.05	0.61	14.00	0.46	0.95
3.00	0.06	0.62	14.50	0.48	0.96
3.50	0.08	0.64	15.00	0.49	0.98
4.00	0.09	0.66	15.50	0.51	1.00
4.50	0.10	0.67	16.00	0.54	1.01
5.00	0.12	0.68	16.50	0.56	1.03
5.50	0.13	0.70	17.00	0.58	1.04
6.00	0.16	0.71	17.50	0.61	1.06
6.50	0.17	0.73	18.00	0.63	1.07
7.00	0.18	0.76	18.50	0.66	1.08
7.50	0.19	0.78	19.00	0.70	1.10
8.00	0.22	0.79	19.50	0.77	1.11
8.50	0.24	0.80	20.00	0.78	1.13
9.00	0.25	0.81	20.50	0.82	1.155
9.50	0.27	0.82	21.00	0.85	1.175
10.00	0.30	0.84	21.50	0.96	1.195
10.50	0.31	0.85	22.00	1.18	1.215
11.00	0.33	0.87	22.50	1.23	1.23

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate

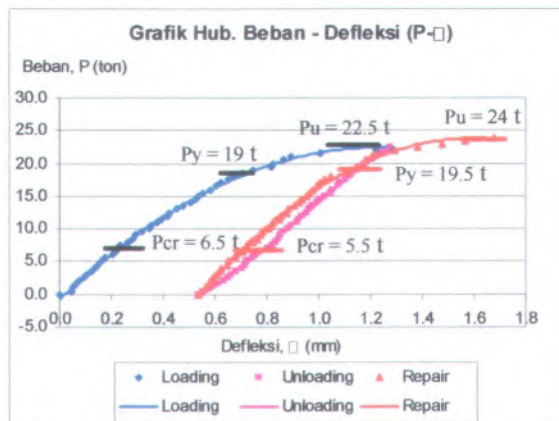
Gambar 4.60 Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B)Tabel 4.57 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A) Setelah Repair

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	P (ton)	Defleksi, Δ (mm)
0.00	0.54	12.50	0.88
0.50	0.55	13.00	0.89
1.00	0.57	13.50	0.91
1.50	0.58	14.00	0.93
2.00	0.59	14.50	0.94
2.50	0.60	15.00	0.96
3.00	0.61	15.50	0.97
3.50	0.62	16.00	0.98
4.00	0.63	16.50	1.00
4.50	0.65	17.00	1.01
5.00	0.66	17.50	1.03
5.50	0.68	18.00	1.05
6.00	0.69	18.50	1.12
6.50	0.71	19.00	1.13
7.00	0.72	19.50	1.16

7.50	0.73	20.00	1.18
8.00	0.75	20.50	1.19
8.50	0.77	21.00	1.21
9.00	0.78	21.50	1.23
9.50	0.79	22.00	1.30
10.00	0.81	22.50	1.39
10.50	0.82	23.00	1.48
11.00	0.83	23.50	1.57
11.50	0.85	24.00	1.68
12.00	0.86		

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate




Gambar 4.61 Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A) Setelah Repair


Tabel 4.58 Hasil Pengetesan Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B) Setelah Repair


P	Defleksi, Δ	P	Defleksi, Δ
---	-------------	---	-------------

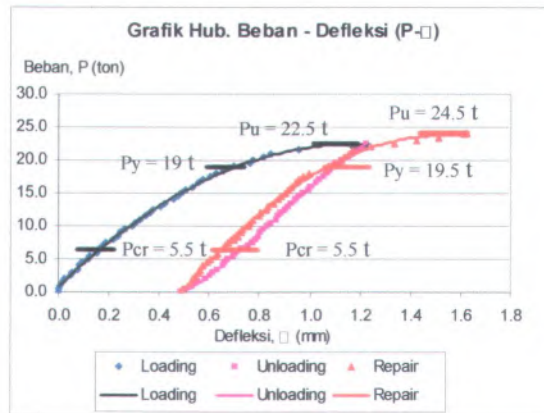
(ton)	(mm)	(ton)	(mm)
0.00	0.49	12.50	0.83
0.50	0.50	13.00	0.84
1.00	0.52	13.50	0.86
1.50	0.53	14.00	0.88
2.00	0.54	14.50	0.89
2.50	0.55	15.00	0.91
3.00	0.56	15.50	0.92
3.50	0.57	16.00	0.93
4.00	0.58	16.50	0.95
4.50	0.60	17.00	0.96
5.00	0.61	17.50	0.98
5.50	0.63	18.00	1.00
6.00	0.64	18.50	1.07
6.50	0.66	19.00	1.08
7.00	0.67	19.50	1.11
7.50	0.68	20.00	1.13
8.00	0.70	20.50	1.14
8.50	0.72	21.00	1.16
9.00	0.73	21.50	1.18
9.50	0.74	22.00	1.25
10.00	0.76	22.50	1.34
10.50	0.77	23.00	1.43
11.00	0.78	23.50	1.52
11.50	0.80	24.00	1.63
12.00	0.81		

Keterangan:

 = P crack/retak

 = P yiled/leleh

 = P ultimate



Gambar 4.62 Grafik Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B) Setelah Repair

4.17 Pengetesan Benda Uji Pembanding (C)

4.17.1 Benda Uji $f'c$ 25 Mpa

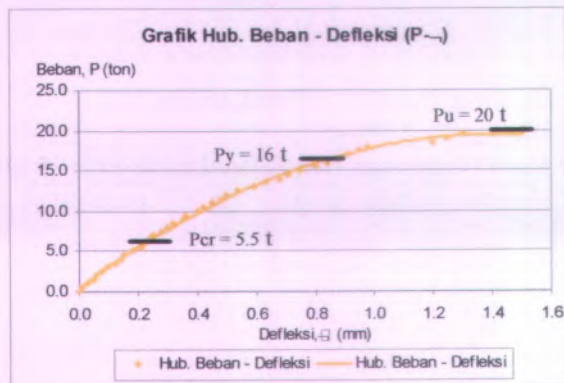
Tabel 4.59 Hasil Pengetesan Benda Pembanding $f'c$ 25 MPa

P	Defleksi, Δ	P	Defleksi, Δ
(ton)	(mm)	(ton)	(mm)
0.00	0.00	10.50	0.42
0.50	0.01	11.00	0.45
1.00	0.03	11.50	0.48
1.50	0.05	12.00	0.50
2.00	0.06	12.50	0.54
2.50	0.08	13.00	0.59
3.00	0.10	13.50	0.63
3.50	0.12	14.00	0.68
4.00	0.14	14.50	0.71
4.50	0.15	15.00	0.75
5.00	0.18	15.50	0.80
5.50	0.21	16.00	0.84
6.00	0.22	16.50	0.88
6.50	0.24	17.00	0.91

7.00	0.25	17.50	0.95
7.50	0.28	18.00	0.98
8.00	0.30	18.50	1.20
8.50	0.32	19.00	1.25
9.00	0.35	19.50	1.30
9.50	0.36	20.00	1.50
10.00	0.40		

Keterangan:

- = P crack/retak
- = P viled/leleh
- = P ultimate



Gambar 4.63 Grafik Benda Uji Pembanding $f'c$ 25 MPa




4.17.2 Benda Uji $f'c$ 30 MPa

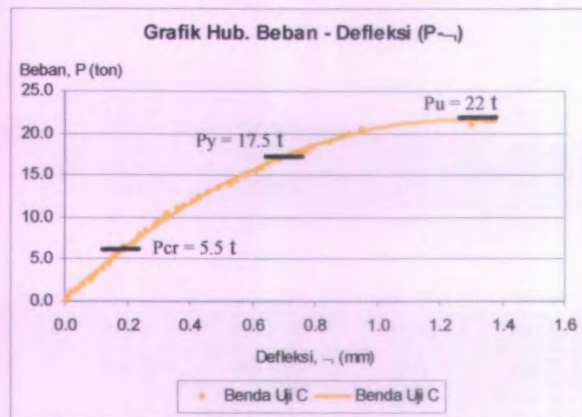
Tabel 4.60 Hasil Pengetesan Benda Pembanding $f'c$ 30 MPa

P	Defleksi, Δ	P	Defleksi, Δ
(ton)	(mm)	(ton)	(mm)
0.00	0.00	11.50	0.38
0.50	0.01	12.00	0.41
1.00	0.02	12.50	0.43
1.50	0.04	13.00	0.46
2.00	0.06	13.50	0.49

2.50	0.08	14.00	0.53
3.00	0.09	14.50	0.55
3.50	0.10	15.00	0.58
4.00	0.12	15.50	0.61
4.50	0.14	16.00	0.63
5.00	0.15	16.50	0.65
5.50	0.16	17.00	0.69
6.00	0.17	17.50	0.75
6.50	0.19	18.00	0.77
7.00	0.22	18.50	0.79
7.50	0.23	19.00	0.85
8.00	0.24	19.50	0.88
8.50	0.26	20.00	0.91
.00	0.29	20.50	0.95
9.50	0.30	21.00	1.30
10.00	0.32	21.50	1.35
10.50	0.33	22.00	1.38
11.00	0.36		

Keterangan:

-  = P crack/retak
-  = P viled/leleh
-  = P ultimate

Gambar 4.64 Grafik Benda Uji Pembanding $f'c$ 30 Mpa

4.17.3 Benda Uji $f'c$ 35 Mpa

Tabel 4.61 Hasil Pengetesan Benda Pembanding $f'c$ 35 MPa

P (ton)	Defleksi, Δ (mm)	P (ton)	Defleksi, Δ (mm)
0.00	0.00	12.50	0.53
0.50	0.02	13.00	0.56
1.00	0.05	13.50	0.59
1.50	0.09	14.00	0.62
2.00	0.11	14.50	0.64
2.50	0.13	15.00	0.67
3.00	0.15	15.50	0.70
3.50	0.16	16.00	0.72
4.00	0.18	16.50	0.75
4.50	0.19	17.00	0.77
5.00	0.21	17.50	0.79
5.50	0.23	18.00	0.82
6.00	0.24	18.50	0.86
6.50	0.27	19.00	0.89
7.00	0.30	19.50	0.92

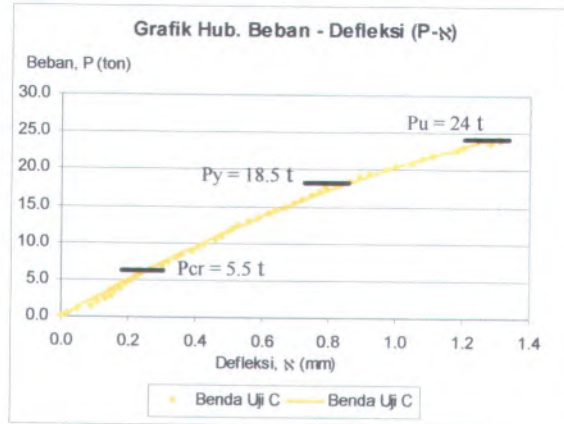
7.50	0.32	20.00	0.97
8.00	0.34	20.50	1.00
8.50	0.36	21.00	1.05
9.00	0.39	21.50	1.08
9.50	0.41	22.00	1.11
10.00	0.43	22.50	1.18
10.50	0.46	23.00	1.20
11.00	0.48	23.50	1.28
11.50	0.50	24.00	1.31
12.00	0.51		

Keterangan:

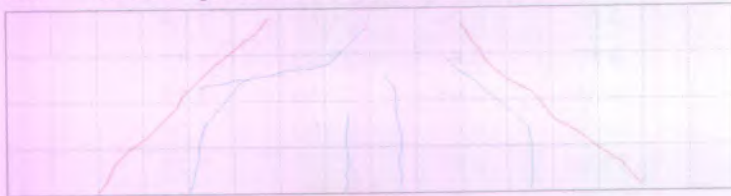
= P crack/retak

= P viled/leleh

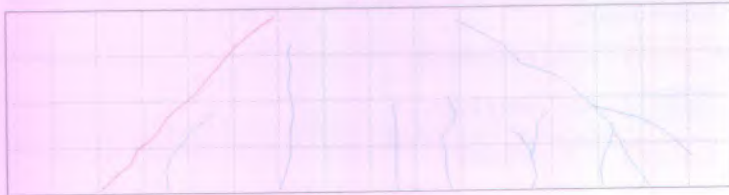
= P ultimate



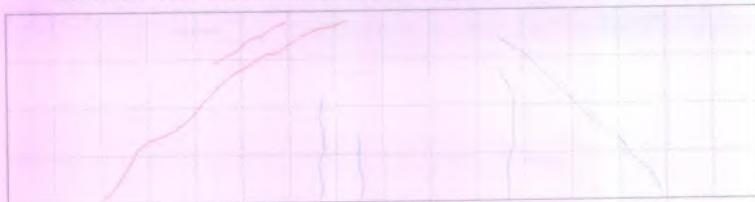
Gambar 4.65 Grafik Benda Uji Pembanding $f'c$ 35 Mpa

4.18 Pola Retak Balok Setelah Dibebani (Loading)**4.18.1 Benda Uji Balok Mutu ($f'c$) 25 MPa**

(a)



(b)

Gambar 4.66 Pola Retak Benda Uji A Mutu ($f'c$) 25 MPa)

(a)



(b)

Gambar 4.67 Pola Retak Benda Uji B Mutu ($f'c$) 25 MPa)

Keterangan:

- = Retak Sebelum Repair
— = Retak Setelah Repair

4.18.2 Benda Uji Balok Mutu (f'_c) 30 MPa



(a)

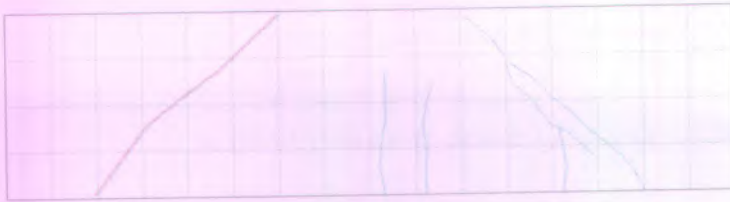


(b)

Gambar 4.68 Pola Retak Benda Uji A Mutu (f'_c 30 MPa)



(a)



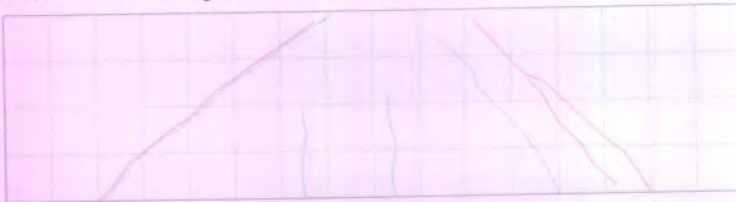
(b)

Gambar 4.69 Pola Retak Benda Uji B Mutu ($f'c$ 30 MPa)

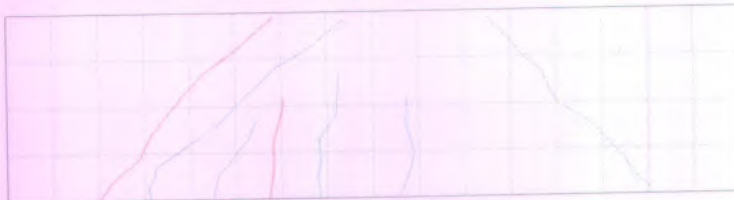
Keterangan:

- = Retak Sebelum Repair
- = Retak Setelah Repair

4.18.3 Benda Uji Balok Mutu ($f'c$) 35 MPa



(a)



(b)

Gambar 4.70 Pola Retak Benda Uji A Mutu ($f'c$ 35 MPa)



(a)



(b)

Gambar 4.71 Pola Retak Benda Uji B Mutu (f_c 35 MPa)

Keterangan:

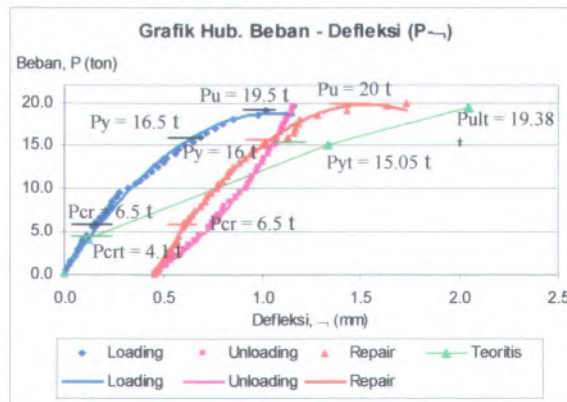
- = Retak Sebelum Repair
- = Retak Setelah Repair

BAB V
EVALUASI HASIL ANALISA DATA

5.1 Perbandingan Hubungan P – Δ Pengujian dan Teoritis

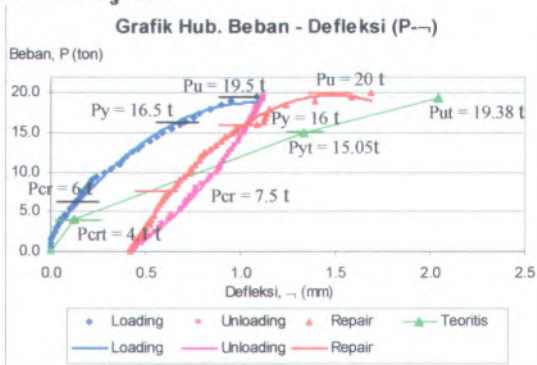
5.1.1 Benda Uji f'c 25 MPa

a. Benda Uji A



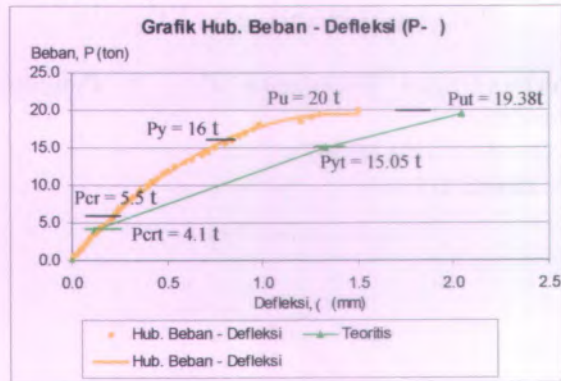
Gambar 5.1 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis
Benda Uji f'c 25 Mpa (A)

b. Benda Uji B



Gambar 5.2 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis
Benda Uji f'c 25 Mpa (B)

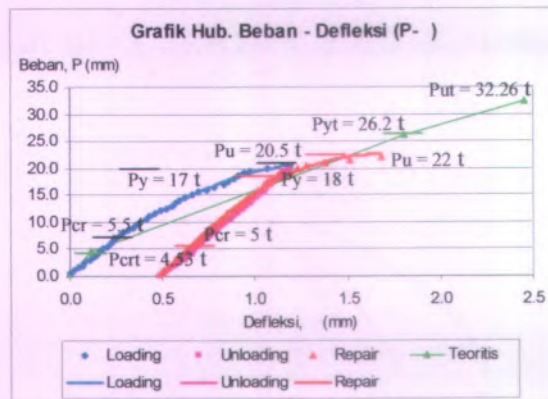
c. Benda Uji C



Gambar 5.3 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji f'_c 25 Mpa (C)

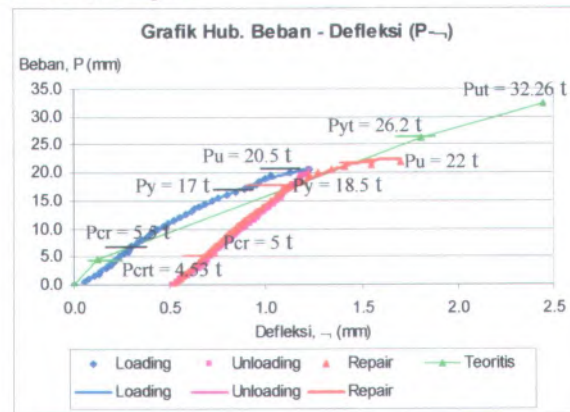
5.1.2 Benda Uji f'_c 30 MPa

a. Benda Uji A



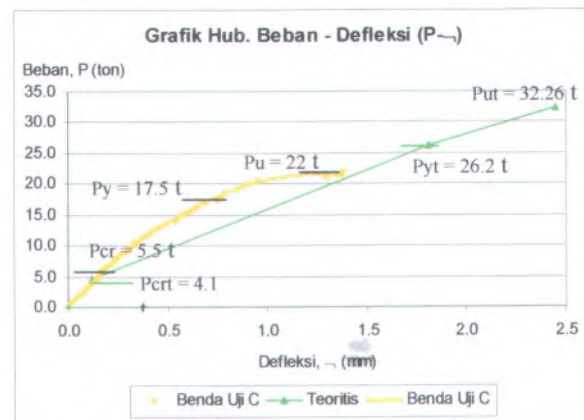
Gambar 5.4 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji f'_c 30 Mpa (A)

b. Benda Uji B



Gambar 5.5 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji f'_c 30 Mpa (B)

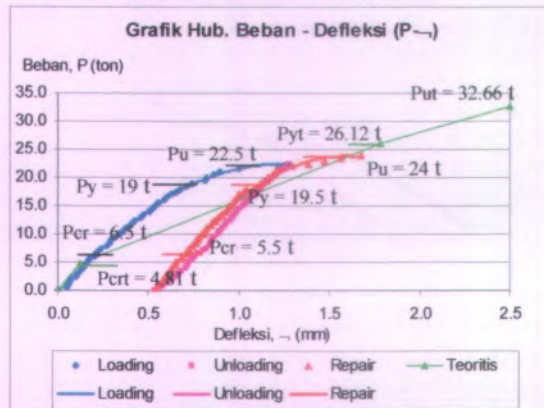
c. Benda Uji C



Gambar 5.6 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji f'_c 30 Mpa (C)

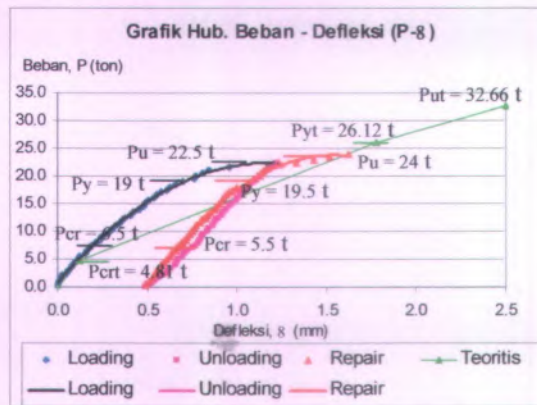
5.1.3 Benda Uji $f'c$ 35 MPa

a. Benda Uji A



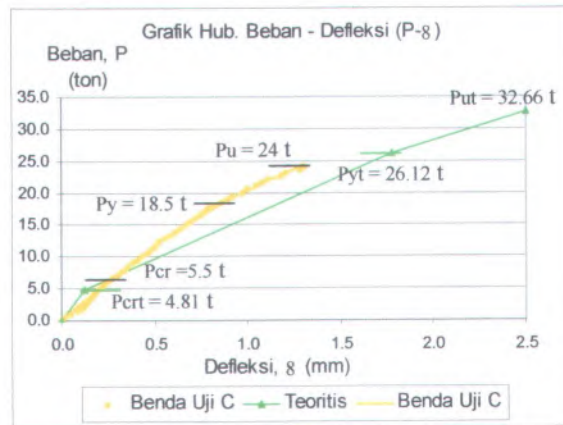
Gambar 5.7 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (A)

b. Benda Uji B



Gambar 5.8 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (B)

c. Benda Uji C



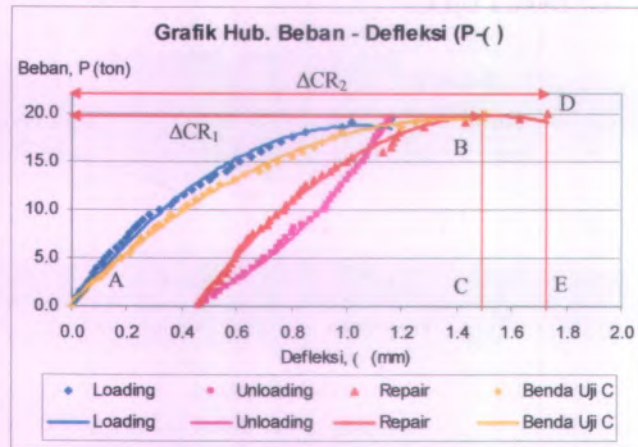
Gambar 5.9 Perbandingan P – Δ Pengujian dan Teoritis Benda Uji $f'c$ 35 Mpa (C)

5.2 Nilai Daktilitas

5.2.1. Benda Uji $f'c$ 25 Mpa

5.2.1.1. Benda Uji A

Dari tes lentur yang dilakukan pada benda uji A dengan $f'c$ 25 MPa, maka didapatkan grafik hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) seperti yang terlihat pada gambar 5.10



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ)
Benda Uji A

🔧 Sebelum Repair

Diketahui, $\Delta y = 1.09 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.16 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji A sebelum repair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{1.16}{1.09} = 1.064$$

🔧 Sesudah Repair

Diketahui, $\Delta y = 1.13 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.73 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji A sesudah repair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.531$$

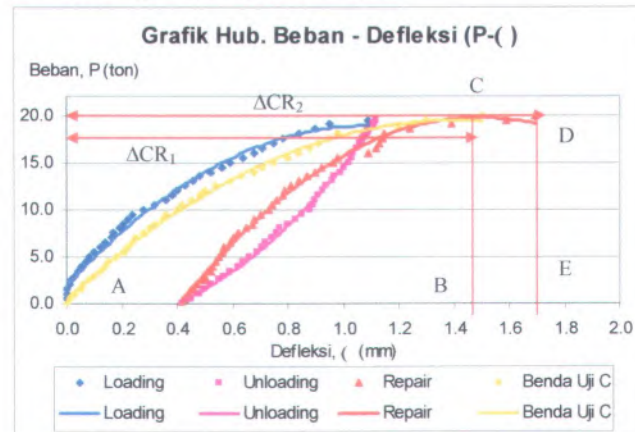
Jadi peningkatan daktilitas benda uji A sesudah direpair adalah sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\mu_{sdh} - \mu_{blm}}{\mu_{blm}} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{1.531 - 1.064}{1.064} \times 100\% = 43.89\%$$

5.2.1.2. Benda Uji B

Dari tes lentur yang dilakukan pada benda uji B dengan $f'c$ 25 MPa, maka didapatkan grafik hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) seperti yang terlihat pada



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B

📌 Sebelum Repair

Diketahui, $\Delta y = 1.04$ mm

$\Delta u = 1.12$ mm

Maka Daktilitas dari benda uji B sebelum direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.077$$

📌 Sesudah Repair

Diketahui, $\Delta y = 1.09$ mm

$\Delta u = 1.69$ mm

Maka Daktilitas dari benda uji B sesudah direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.550$$

Jadi peningkatan daktilitas benda uji B sesudah direpair adalah sebagai berikut:

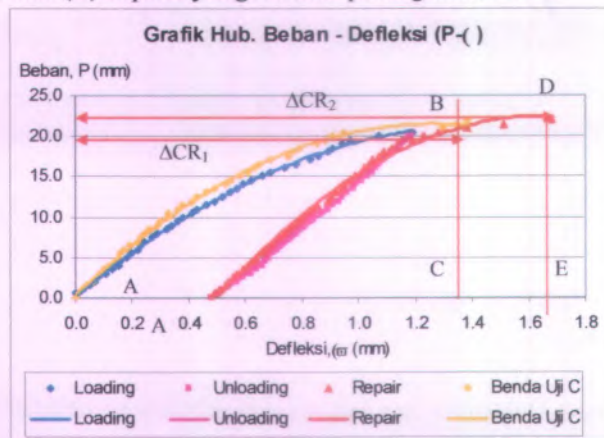
$$\mu = \frac{\mu_{sdh} - \mu_{blm}}{\mu_{blm}} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{1.550 - 1.077}{1.077} \times 100\% = 43.92\%$$

5.2.2. Benda Uji f'c 30 Mpa

5.2.2.1. Benda Uji A

Dari tes lentur yang dilakukan pada benda uji A dengan f'c 30 MPa, maka didapatkan grafik hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) seperti yang terlihat pada gambar 5.12



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A

Sebelum direpair

Diketahui, $\Delta y = 1.09$ mm

$\Delta u = 1.19$ mm

Maka Daktilitas dari benda uji A sebelum direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.092$$

🌈 Sesudah direpair

Diketahui, $\Delta y = 1.09 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.68 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji A sesudah direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.541$$

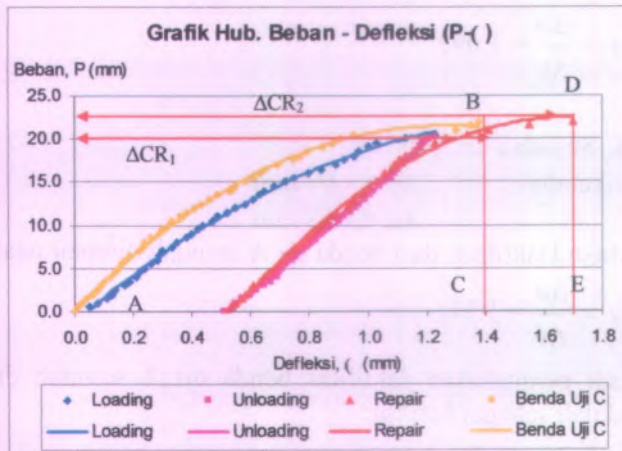
Jadi peningkatan daktilitas benda uji A sesudah direpair adalah sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\mu_{sdh} - \mu_{blm}}{\mu_{blm}} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{1.541 - 1.092}{1.092} \times 100\% = 41.12 \%$$

5.2.2.2. Benda Uji B

Dari tes lentur yang dilakukan pada benda uji B dengan $f'c$ 30 MPa, maka didapatkan grafik hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) seperti yang terlihat pada gambar 5.13



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B

✚ Sebelum direpair

Diketahui, $\Delta y = 1.12 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.23 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji B sebelum direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.098$$

✚ Sesudah Repair

Diketahui, $\Delta y = 1.16 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.70 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji B sesudah direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.466$$

Jadi peningkatan daktilitas benda uji B sesudah direpair adalah sebagai berikut:

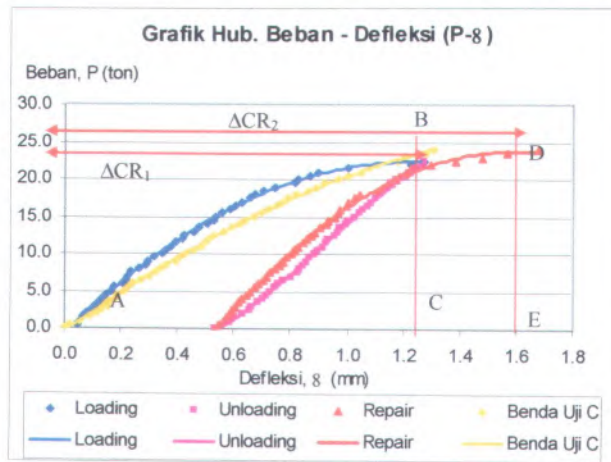
$$\mu = \frac{\mu_{sdh} - \mu_{blm}}{\mu_{blm}} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{1.466 - 1.098}{1.098} \times 100\% = 33.52\%$$

5.2.3. Benda Uji f'c 35 Mpa

5.2.3.1. Benda Uji A

Dari tes lentur yang dilakukan pada benda uji A dengan f'c 35 MPa, maka didapatkan grafik hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) seperti yang terlihat pada gambar 5.14



Gambar 5.14 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A

🔧 Sebelum direpair

Diketahui, $\Delta y = 1.15 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.28 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji A sebelum direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.113$$

✚ Sesudah direpair

Diketahui, $\Delta y = 1.16 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.68 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji A sesudah direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.448$$

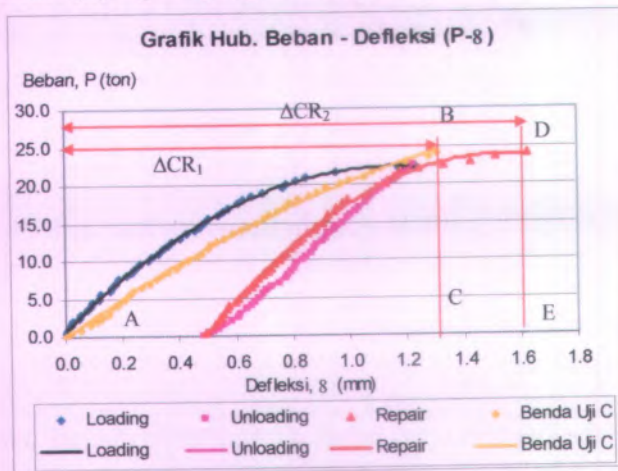
Jadi peningkatan daktilitas benda uji A sesudah direpair adalah sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\mu_{sdh} - \mu_{blm}}{\mu_{blm}} \times 100\%$$

$$\mu = \frac{1.448 - 1.113}{1.113} \times 100\% = 30.10 \%$$

5.2.3.2. Benda Uji B

Dari tes lentur yang dilakukan pada benda uji B dengan $f'c$ 35 MPa, maka didapatkan grafik hubungan antara beban (P) dan defleksi (Δ) seperti yang terlihat pada gambar 5.15



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B

🔧 Sebelum direpair

Diketahui, $\Delta y = 1.10 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.23 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji B sebelum direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.118$$

🔧 Sesudah Repair

Diketahui, $\Delta y = 1.11 \text{ mm}$

$\Delta u = 1.63 \text{ mm}$

Maka Daktilitas dari benda uji B sesudah direpair adalah:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 1.486$$

Jadi peningkatan daktilitas benda uji B sesudah direpair adalah sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\mu_{sdh} - \mu_{blm}}{\mu_{blm}} \times 100\%$$

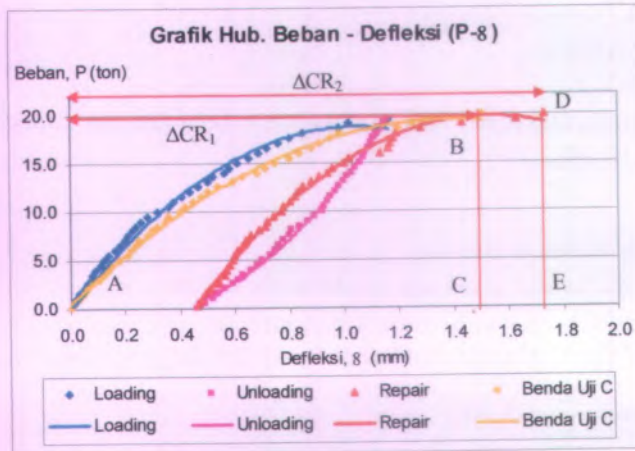
$$\mu = \frac{1.486 - 1.118}{1.118} \times 100\% = 32.92 \%$$

5.3 Energi Disipasi Benda Uji

5.3.1 Benda Uji $f'c$ 25 MPa

a. Benda Uji A

Dari gambar 5.16 dibawah selain didapatkan daktilitas dari benda uji, juga dapat diketahui nilai besarnya energi disipasi (energi pelepasan) dengan menghitung luasan grafik hubungan $P-\Delta$. Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari grafik. Untuk grafik benda uji setelah direpair maka diasumsikan grafiknya adalah grafik saat loading, ditambah dengan grafik hasil repair, jadi seakan-akan ada grafik semu dan batasnya adalah sampai keruntuhan benda uji setelah direpair.



Gambar 5.16 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ)
Benda Uji A

Dik: $y_1 = -9.6813x^2 + 27.1x + 0.4637$ (benda uji C)
 $y_2 = -13.193x^2 + 32.93x$ (benda uji A)

Luas A_1 (A-B-C)

$$\begin{aligned}
 A_1 &= y_1 \, dx \\
 &= \int_0^x y_1 \cdot dx \\
 &= \int_0^{1.5} -9.6813x^2 + 27.1x + 0.4637 \cdot dx \\
 &= -3.2271x^3 + 13.55x^2 + 0.4637x \Big|_0^{1.5} \\
 &= -3.227(1.5^3) + 13.55(1.5^2) + 0.4637(1.5) - 0 \\
 &= 20.292
 \end{aligned}$$

Luas A_2 (A-D-E)

$$\begin{aligned}
 A_2 &= y_2 \, dx \\
 &= \int_0^x y_2 \cdot dx
 \end{aligned}$$

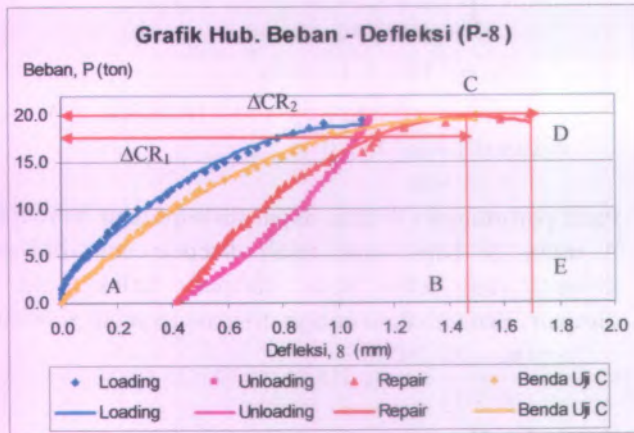
$$\begin{aligned}
 &= \int_0^{1.73} -13.193x^2 + 32.93x \cdot dx \\
 &= -4.398x^3 + 16.465x^2 \Big|_0^{1.73} \\
 &= (-4.398(1.73^3) + 16.465(1.73^2)) - (-4.398(0^3) + 16.465(0^2)) \\
 &= 26.506
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa balok A mutu 25 Mpa yang telah direpair memiliki energi disipasi yang lebih besar daripada balok yang tidak direpair. Penambahan energi disipasi tersebut sebesar:

$$\Delta E = \frac{26.506 - 20.292}{20.292} \times 100\% = 30.623 \%$$

b. Benda Uji B

Dari gambar 5.17 dibawah selain didapatkan daktilitas dari benda uji, juga dapat diketahui nilai besarnya energi disipasi (energi pelepasan) dengan menghitung luasan grafik hubungan P- Δ . Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari grafik. Untuk grafik benda uji setelah direpair maka diasumsikan grafiknya adalah grafik saat loading, ditambah dengan grafik hasil repair, jadi seakan-akan ada grafik semu dan batasnya adalah sampai keruntuhan benda uji setelah direpair.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B

Dik: $y_1 = -9.6813x^2 + 27.1x + 0.4637$ (benda uji C)
 $y_2 = -11.162x^2 + 28.404x + 2.2397$ (benda uji A)

Luas A_1 (A-B-C)

$$A_1 = y_1 \, dx$$

$$= \int_0^x y_1 \cdot dx$$

$$= \int_0^{1.5} -9.6813x^2 + 27.1x + 0.4637 \, dx$$

$$= -3.2271x^3 + 13.55x^2 + 0.4637x \Big|_0^{1.5}$$

$$= -3.227(1.5^3) + 13.55(1.5^2) + 0.4637(1.5) - 0$$

$$= 20.292$$

Luas A_2 (A-D-E)

$$A_2 = y_2 \, dx$$

$$= \int_0^x y_2 \cdot dx$$

$$= \int_0^{1.69} -11.162x^2 + 28.404x + 2.2397 \, dx$$

$$\begin{aligned}
 &= - 3.721x^3 + 14.202x^2 + 2.2397x \Big|_0^{1.69} \\
 &= (- 3.721(1.69^3) + 14.202(1.69^2) + \\
 &2.2397(1.69)) - (- 3.721(0^3) + 14.202(0^2) + \\
 &2.2397(0)) \\
 &= 26.387
 \end{aligned}$$

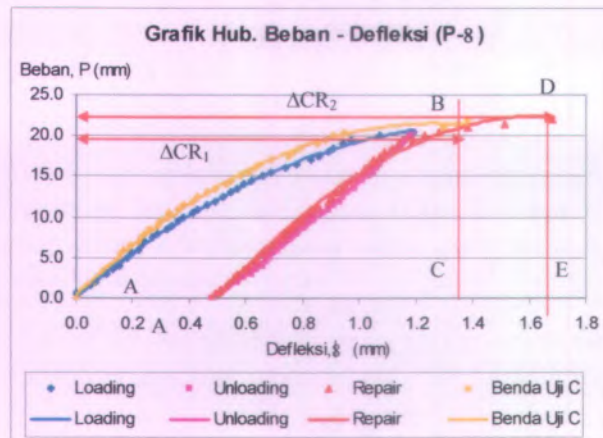
Pada perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa balok B mutu 25 Mpa yang telah direpair memiliki energi disipasi yang lebih besar daripada balok yang tidak direpair. Penambahan energi disipasi tersebut sebesar:

$$\Delta E = \frac{26.387 - 20.292}{20.292} \times 100\% = 30.04 \%$$

5.3.2 Benda Uji f'c 30 MPa

a. Benda Uji A

Dari gambar 5.18 dibawah selain didapatkan daktilitas dari benda uji, juga dapat diketahui nilai besarnya energi disipasi (energi pelepasan) dengan menghitung luasan grafik hubungan P-Δ. Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari grafik. Untuk grafik benda uji setelah direpair maka diasumsikan grafiknya adalah grafik saat loading, ditambah dengan grafik hasil repair, jadi seakan-akan ada grafik semu dan batasnya adalah sampai keruntuhan benda uji setelah direpair.



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A

Dik: $y_1 = -13.212x^2 + 33.475x + 0.327$ (benda uji C)
 $y_2 = -9.6051x^2 + 28.563x + 0.2764$ (benda uji A)

Luas A_1 (A-B-C)

$$\begin{aligned} A_1 &= \int_0^x y_1 \cdot dx \\ &= \int_0^x y_1 \cdot dx \\ &= \int_0^{1.38} -13.212x^2 + 33.475x + 0.327 \cdot dx \\ &= -4.404x^3 + 16.7375x^2 + 0.327x \Big|_0^{1.38} \\ &= (-4.404(1.38^3) + 16.7375(1.38^2) + 0.327(1.38)) - (-4.404(0^3) + 16.7375(0^2) + 0.327(0)) \\ &= 20.752 \end{aligned}$$

Luas A_2 (A-D-E)

$$\begin{aligned} A_2 &= \int_0^x y_2 \cdot dx \\ &= \int_0^x y_2 \cdot dx \end{aligned}$$

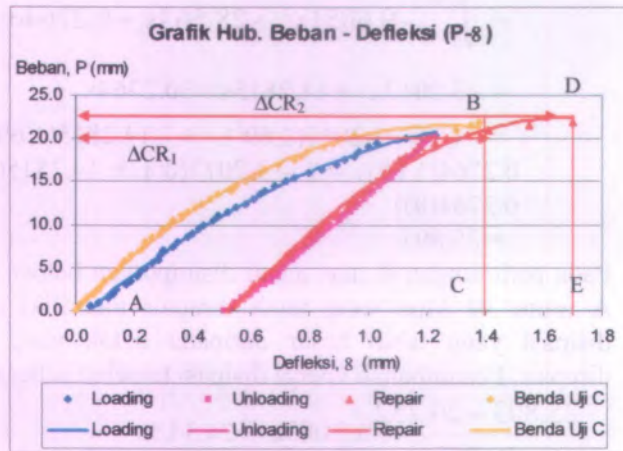
$$\begin{aligned}
&= \int_0^{1.69} -9.6051x^2 + 28.563x + 0.2764dx \\
&= -3.2017x^3 + 14.2815x^2 + 0.2764x \Big|_0^{1.69} \\
&= (-3.2017(1.69^3) + 14.2815(1.69^2) + 0.2764(1.69)) - (-3.2017(0^3) + 14.2815(0^2) + 0.2764(0)) \\
&= 25.803
\end{aligned}$$

Pada perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa balok A mutu 30 Mpa yang telah direpair memiliki energi disipasi yang lebih besar daripada balok yang tidak direpair. Penambahan energi disipasi tersebut sebesar:

$$\Delta E = \frac{25.803 - 20.752}{20.752} \times 100\% = 24.34\%$$

b. Benda Uji B

Dari gambar 5.19 dibawah selain didapatkan daktilitas dari benda uji, juga dapat diketahui nilai besarnya energi disipasi (energi pelepasan) dengan menghitung luasan grafik hubungan P- Δ . Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari grafik. Untuk grafik benda uji setelah direpair maka diasumsikan grafiknya adalah grafik saat loading, ditambah dengan grafik hasil repair, jadi seakan-akan ada grafik semu dan batasnya adalah sampai keruntuhan benda uji setelah direpair.



Gambar 5.19 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ)
Benda Uji B

Dik: $y_1 = -13.212x^2 + 33.475x + 0.327$ (benda uji C)
 $y_2 = -9.2576x^2 + 29.034x - 1.2063$ (benda uji B)

Luas A_1 (A-B-C)

$$\begin{aligned}
 A_1 &= y_1 \, dx \\
 &= \int_0^x y_1 \cdot dx \\
 &= \int_0^{1.38} -13.212x^2 + 33.475x + 0.327 \, dx \\
 &= -4.404x^3 + 16.7375x^2 + 0.327x \Big|_0^{1.38} \\
 &= (-4.404(1.38^3) + 16.7375(1.38^2) + 0.327(1.38)) - (-4.404(0^3) + 16.7375(0^2) + 0.327(0)) \\
 &= 20.752
 \end{aligned}$$

Luas A_2 (A-D-E)

$$\begin{aligned}
 A_2 &= y_2 \, dx \\
 &= \int_0^x y_2 \cdot dx
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^{1.70} -9.2576x^2 + 29.034x - 1.206 \, dx \\
 &= -3.086x^3 + 14.517x^2 - 1.2063x \Big|_0^{1.70} \\
 &= (-3.086(1.70^3) + 14.517(1.70^2) - 1.2063(1.70)) \\
 &\quad - 3.086(0^3) + 14.517(0^2) - 1.2063(0) \\
 &= 24.742
 \end{aligned}$$

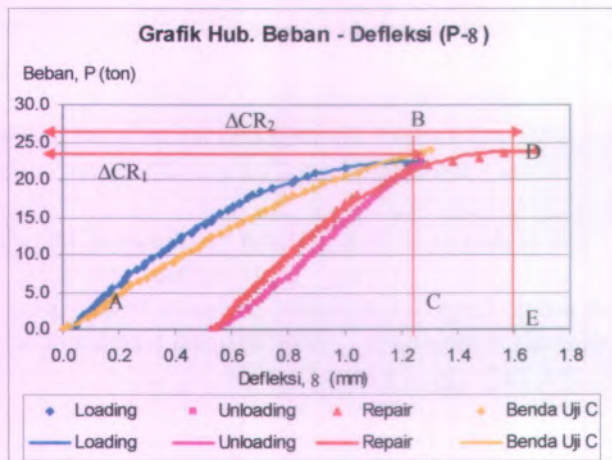
Pada perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa balok B mutu 30 Mpa yang telah direpair memiliki energi disipasi yang lebih besar daripada balok yang tidak direpair. Penambahan energi disipasi tersebut sebesar:

$$\Delta E = \frac{24.742 - 20.752}{20.752} \times 100\% = 19.227\%$$

5.3.3 Benda Uji $f'c$ 35 MPa

a. Benda Uji A

Dari gambar 5.20 dibawah selain didapatkan daktilitas dari benda uji, juga dapat diketahui nilai besarnya energi disipasi (energi pelepasan) dengan menghitung luasan grafik hubungan P- Δ . Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari grafik. Untuk grafik benda uji setelah direpair maka diasumsikan grafiknya adalah grafik saat loading, ditambah dengan grafik hasil repair, jadi seakan-akan ada grafik semu dan batasnya adalah sampai keruntuhan benda uji setelah direpair.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji A

Dik: $y_1 = -5.6628x^2 + 26.02x$ (benda uji C)
 $y_2 = -13.096x^2 + 35.594x - 0.5075$ (benda uji A)

Luas A_1 (A-B-C)

$$A_1 = \int y_1 dx$$

$$= \int_0^x y_1 \cdot dx$$

$$= \int_0^{1.31} -5.6628x^2 + 26.02x \cdot dx$$

$$= -1.8876x^3 + 13.01x^2 \Big|_0^{1.31}$$

$$= (-1.8876(1.31^3) + 13.01(1.31^2)) - (-1.8876(0^3)$$

$$+ 13.01(0^2))$$

$$= 18.083$$

Luas A_2 (A-D-E)

$$A_2 = \int y_2 dx$$

$$= \int_0^x y_2 \cdot dx$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^{1.68} -13.096x^2 + 35.594x - 0.5076 \, dx \\
&= -4.365x^3 + 17.7975x^2 - 0.5076x \Big|_0^{1.68} \\
&= (-4.365(1.68^3) + 17.7975(1.68^2) - 0.5076(1.68)) - (-4.365(0^3) + 17.7975(0^2) - 0.5076(0)) \\
&= 28.680
\end{aligned}$$

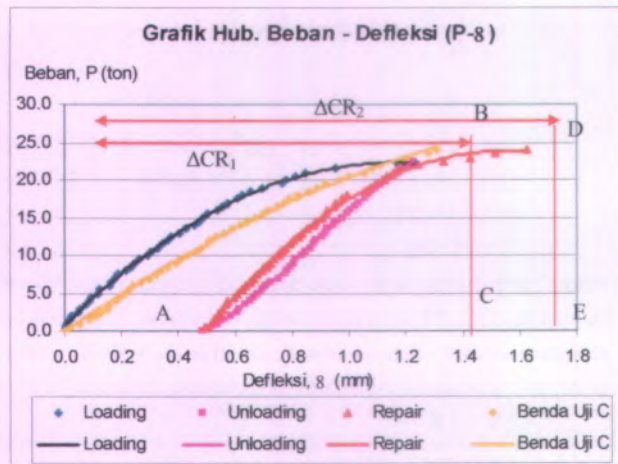
Pada perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa balok A mutu 35 Mpa yang telah direpair memiliki energi disipasi yang lebih besar daripada balok yang tidak direpair. Penambahan energi disipasi tersebut sebesar:

$$\Delta E = \frac{28.168 - 18.083}{18.083} \times 100\% = 55.771\%$$

b. Benda Uji B

Dari gambar 5.21 diatas selain didapatkan daktilitas dari benda uji, juga dapat diketahui nilai besarnya energi disipasi (energi pelepasan) dengan menghitung luasan grafik hubungan P- Δ . Persamaan yang digunakan adalah persamaan dari grafik. Untuk grafik benda uji setelah direpair maka diasumsikan grafiknya adalah grafik saat loading, ditambah dengan grafik hasil repair, jadi seakan-akan ada grafik semu dan batasnya adalah sampai keruntuhan benda uji setelah direpair.





Gambar 5.21 Grafik Hubungan Beban (P) dan Defleksi (Δ) Benda Uji B

Dik: $y_1 = -5.6628x^2 + 26.02x$ (benda uji C)
 $y_2 = -13.376x^2 + 34.791x + 1.0741$ (benda uji A)

Luas A_1 (A-B-C)

$$\begin{aligned}
 A_1 &= y_1 dx \\
 &= \int_0^x y_1 \cdot dx \\
 &= \int_0^{1.31} -5.6628x^2 + 26.02x \cdot dx \\
 &= -1.8876x^3 + 13.01x^2 \Big|_0^{1.31} \\
 &= (-1.8876(1.31^3) + 13.01(1.31^2)) - (-1.8876(0^3) \\
 &\quad + 13.01(0^2)) \\
 &= 18.083
 \end{aligned}$$

Luas A_2 (A-D-E)

$$\begin{aligned}
 A_2 &= y_2 dx \\
 &= \int_0^x y_2 \cdot dx
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^{1.63} -13.376x^2 + 34.791x + 1.0741 \cdot dx \\
&= -4.459x^3 + 17.396x^2 + 1.0741x \Big|_0^{1.63} \\
&= (-4.459(1.63^3) + 17.396(1.63^2) + 1.0741(1.63) - (-4.459(0^3) + 17.396(0^2) + 1.0741(0))) \\
&= 28.659
\end{aligned}$$

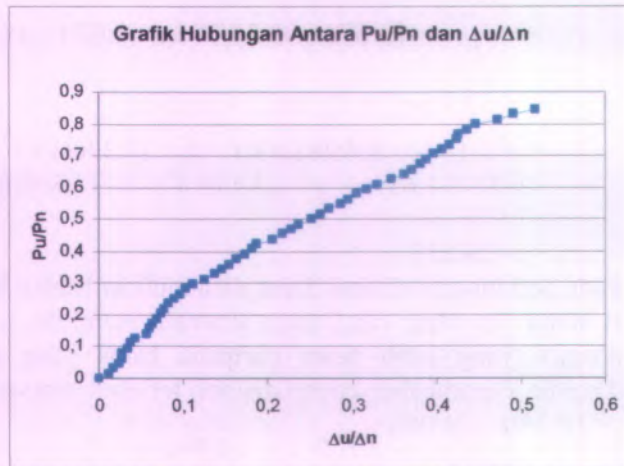
Pada perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa balok B mutu 35 Mpa yang telah direpair memiliki energi disipasi yang lebih besar daripada balok yang tidak direpair. Penambahan energi disipasi tersebut sebesar:

$$\Delta E = \frac{28.659 - 18.083}{18.083} \times 100\% = 58.486\%$$

5.4 Perbandingan Harga Pu/Pn dengan $\Delta u/\Delta n$

5.4.1. Benda Uji f'_c 25 Mpa

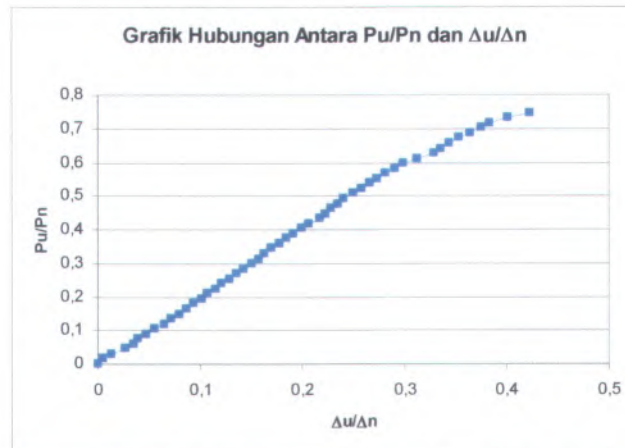
Pada gambar 5.22 dibawah ini akan disajikan grafik hubungan antara rasio Pu/Pn dengan rasio $\Delta u/\Delta n$, disana terlihat bahwa grafik tersebut berbentuk trilinear linier yang menyerupai grafik beban dan defleksi karena pengaruh lentur.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara P_u/P_n dan $\Delta u/\Delta_n$ benda uji 25 Mpa

5.4.2. Benda Uji f'_c 30 Mpa

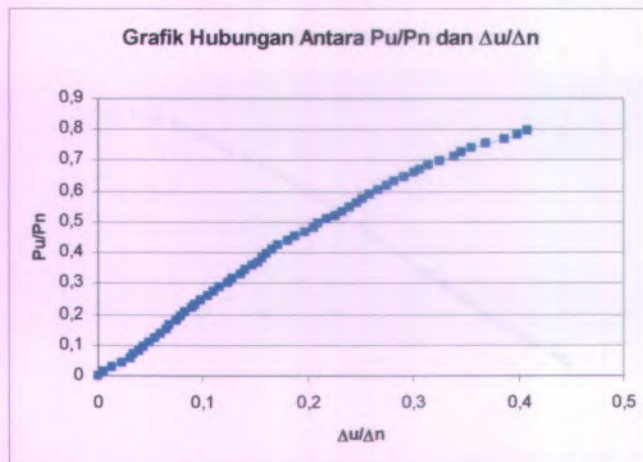
Pada gambar 5.23 dibawah ini akan disajikan grafik hubungan antara rasio P_u/P_n dengan rasio $\Delta u/\Delta_n$, disana terlihat bahwa grafik tersebut berbentuk trilinear yang menyerupai grafik hubungan antara beban dan defleksi karena pengaruh lentur.



Gambar 5.23 Grafik Hubungan antara P_u/P_n dan $\Delta u/\Delta_n$ benda uji 30 Mpa.

5.4.3. Benda Uji f'_c 35 Mpa

Pada gambar 5.24 dibawah ini akan disajikan grafik hubungan antara rasio P_u/P_n dengan rasio $\Delta u/\Delta_n$, disana terlihat bahwa grafik tersebut berbentuk trilinear yang menyerupai grafik hubungan beban dan defleksi karena pengaruh lentur.



Gambar 5.24 Grafik Hubungan antara P_u/P_n dan $\Delta u/\Delta_n$ benda uji 35 Mpa.

BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Ditinjau dari retak yang terjadi, pada balok setelah diperbaiki menghasilkan pola retak yang tidak sama letaknya dengan retak sebelum diperbaiki, retak yang telah diinjeksi tidak mengalami retak lagi. Hal ini dikarenakan material yang digunakan untuk injeksi memiliki kuat tekan yang lebih besar dari material beton pada balok.
2. Adanya peningkatan daktilitas dari benda uji yang diperbaiki dengan metode injeksi jika dibandingkan dengan benda uji yang tidak diperbaiki, yaitu mutu beton ($f'c$) = 25 MPa, benda uji A terjadi peningkatan daktilitas sebesar 43.89 %, benda uji B meningkat sebesar 43.92 %. Untuk mutu beton $f'c$ = 30 Mpa, benda uji A meningkat 41.12 %, benda uji B meningkat 33.52 % dan benda uji dengan mutu beton $f'c$ = 35 MPa benda uji A meningkat sebesar 30.10 % dan benda uji B meningkat sebesar 32.92 %.
3. Selain peningkatan daktilitas dari benda uji yang diperbaiki dengan metode injeksi juga terjadi peningkatan energi disipasi. Yaitu untuk mutu beton ($f'c$) 25 Mpa benda uji A sebesar 30.623 %, benda uji B, energi disipasi meningkat sebesar 30.04 %. Sedangkan $f'c$ 30 Mpa benda uji A meningkat 24.34 % dan benda uji B meningkat sebesar 19.224 % dan yang terakhir benda uji dengan mutu beton $f'c$ = 35 MPa benda uji A meningkat sebesar 55.771% dan energi disipasi benda uji B meningkat sebesar 58.486 %.
4. Maka secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa balok yang diperbaiki dengan metode injeksi lebih kuat daripada balok yang tidak diperbaiki dengan metode injeksi. Hal ini dapat ditunjukkan dari peningkatan daktilitas benda uji setelah direpair dibandingkan dengan sebelum direpair.

Selain itu juga ditunjukkan dari peningkatan energi disipasi dari benda uji setelah direpair.

6.2. Saran

Penulis memberikan saran kepada pembaca laporan tugas akhir ini yang berminat untuk melanjutkan penelitian tentang perbaikan beton, dalam hal ini menggunakan metode injeksi untuk memperhatikan:

1. Dalam perencanaan balok untuk pengujian lentur murni sebaiknya perlu untuk merencanakan penulangan penahan gaya geser, agar retak yang terjadi pada balok benar-benar retak lentur murni. Tentu saja untuk menghasilkan retak lentur murni perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan metode *third point loading test*.
2. Dalam penggunaan material perbaikan perlu diperhatikan bahwa material tersebut lebih efektif digunakan apabila balok atau elemen struktur yang lain yang ingin diperbaiki memiliki kuat tekan lebih kecil dari kuat tekan material perbaikan. Mengapa? Karena apabila kuat tekan balok atau elemen struktur yang lain yang akan diperbaiki memiliki kuat tekan yang lebih besar dari kuat tekan material perbaikan maka retak yang diperbaiki tersebut akan menjadi sumbu terlemah pada balok sehingga dimungkinkan terjadi retak kembali ditempat yang sama.

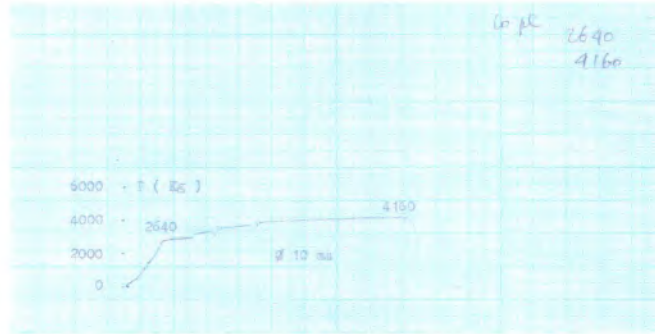
DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. T. L., Editor, "The Repair of Concrete Structure", 1987, Blakie and Son Limited, 7 Leicester Place, London, WCZH7BP.
- American Concrete Institute, "Field Guide to Concrete Repair Application Procedure", 2004, The American Concrete Institute.
- American Society for Testing and Material, "Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement (ASTM C 187)", 2003, The American Society for Testing and Material, Philadelphia.
- American Society for Testing and Material, "Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle (ASTM C 191)", 2003, The American Society for Testing and Material, Philadelphia.
- Departemen Pekerjaan Umum, "Peraturan Beton Bertulang Indonesia (N.I.-2)", 1971, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, "Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)", 2002, Jakarta.
- Jonbi, "Concrete Repair & Maintenance", 2003, Yayasan Jhon Hi-tech Idetama, Jakarta.
- Nawi, E. G., "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar", 1998, Refika Aditama, Bandung.

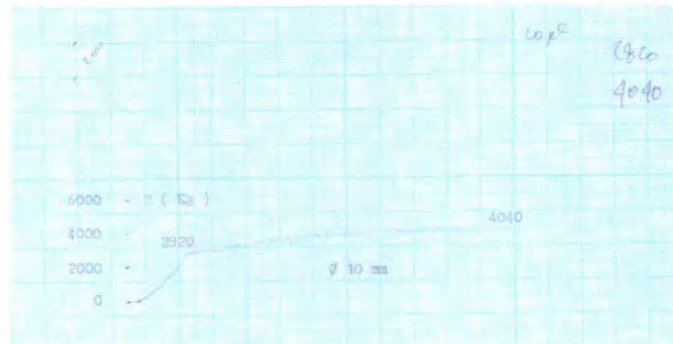
LAMPIRAN 1.

Grafik Hasil Tes Tarik Tulangan Baja.

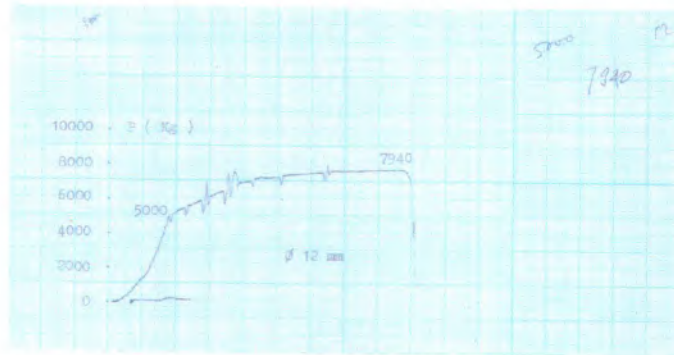
Grafik hasil tes tarik tulangan ϕ 10 mm benda uji 1.



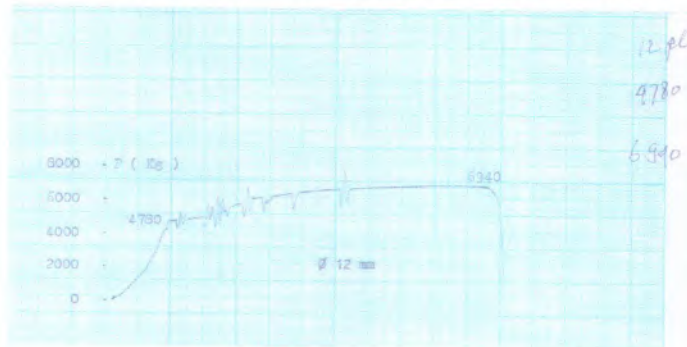
Grafik hasil tes tarik tulangan ϕ 10 mm benda uji 2.



Grafik hasil tes tarik tulangan ϕ 12 mm benda uji 1.



Grafik hasil tes tarik tulangan ϕ 12 mm benda uji 2.



LAMPIRAN 2.

Tabel 4.3.4 PBI – 71

Jumlah semen minimum dan nilai factor air semen maksimum.

	Jumlah semen minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai factor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap-uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering beganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	375	0,52
Beton yang kontinu berhubungan dengan air :		
a. Air tawar	275	0,57
b. Air laut	375	0,52

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	KEKUATAN TEKAN (N/mm ²)			
		Pada Umur (Hari)			
		3	7	28	91
Semen Pordlan S - 550	Alami (Koral)	20	28	40	46
	Batu Pecah	23	32	45	53
Semen Pordlan S - 475	Alami (Koral)	13	19	31	42
	Batu Pecah				

Tabel 5.2. Perkiraan kekuatan tekan (N/mm²) beton dengan factor air – semen 0,5 dan jenis semen dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia.

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis Agregat	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	190
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Tabel 5.5. Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton.

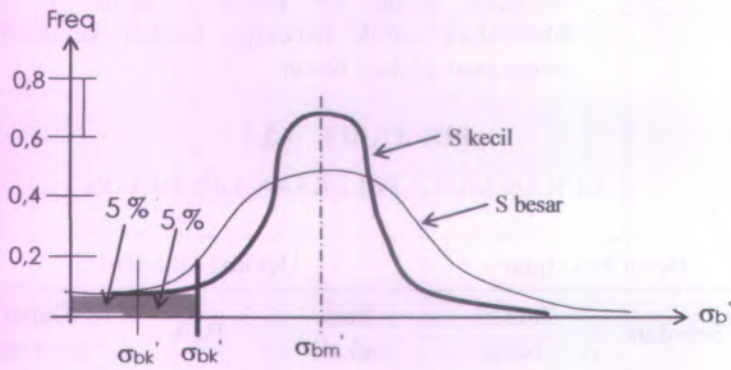
PBI TABEL 4.5.1

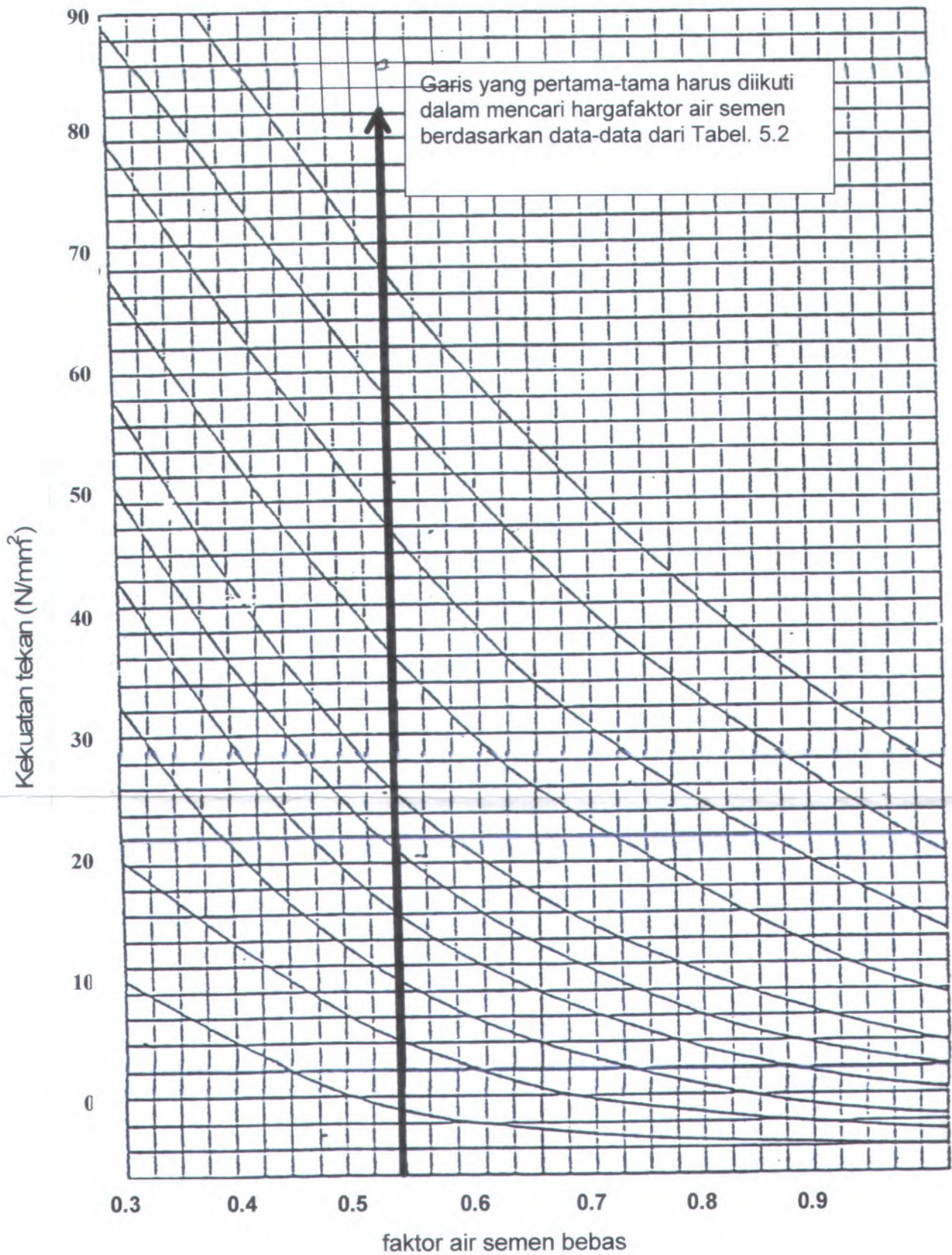
UKURAN MUTU PELEKSANAAN BETON

Besar Pekerjaan		Deviasi Standard S		
Sebutan	Jumlah beton	Baik sekali	Baik	Dapat diterima
Kecil	$< 1000 \text{ m}^3$	$45 < S \leq 55$	$55 < S \leq 65$	$65 < S \leq 85$
Sedang	$1000-3000 \text{ m}^3$	$35 < S \leq 45$	$45 < S \leq 55$	$55 < S \leq 75$
Besar	$> 3000 \text{ m}^3$	$25 < S \leq 35$	$35 < S \leq 45$	$45 < S \leq 65$

PENETAPAN S_r TANPA DATA PENDUKUNG PENGALAMAN LABORATORIUM

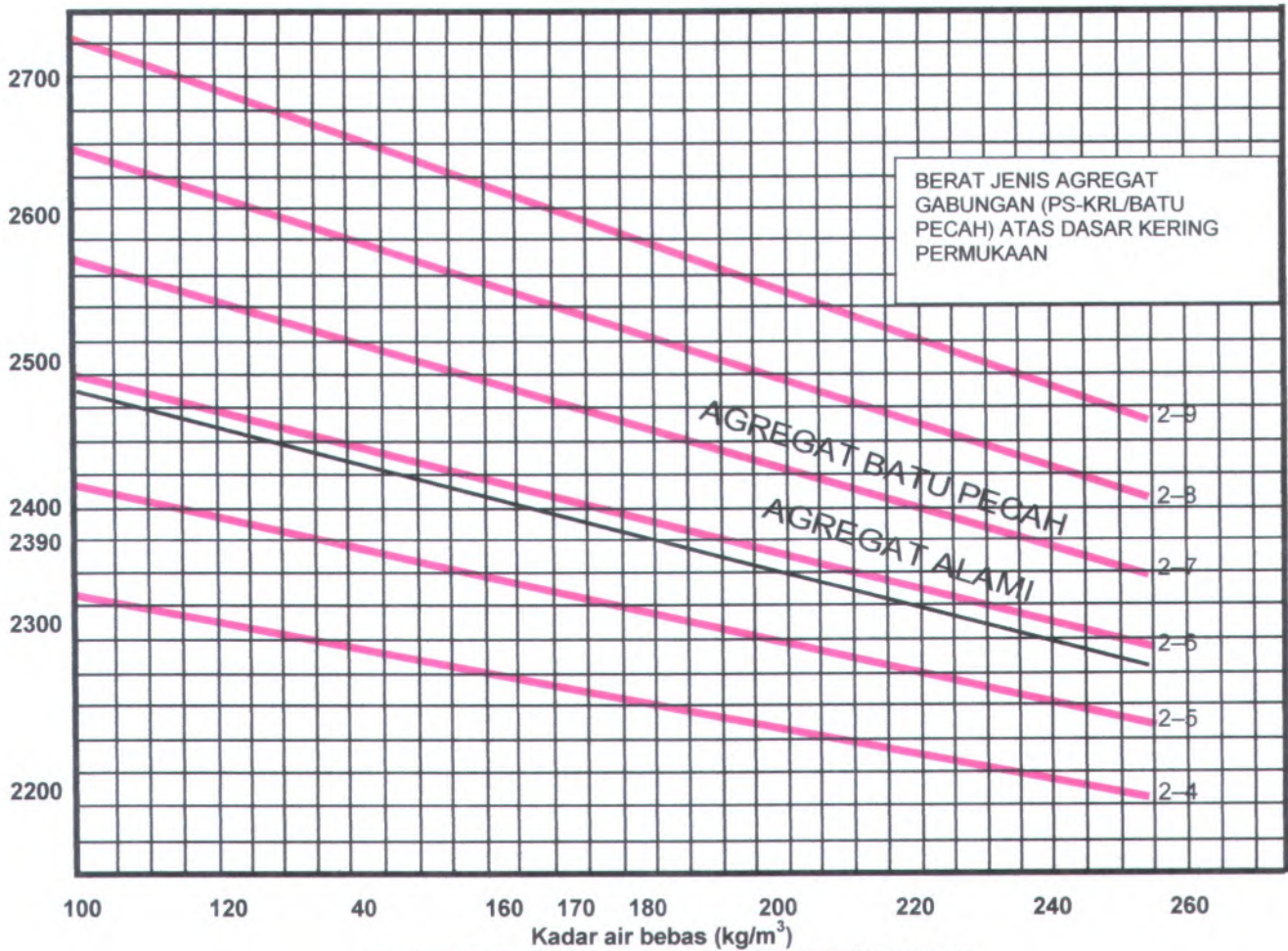
MUTU BETON,k..	S_r
125	40
175	60
225	80
300	100





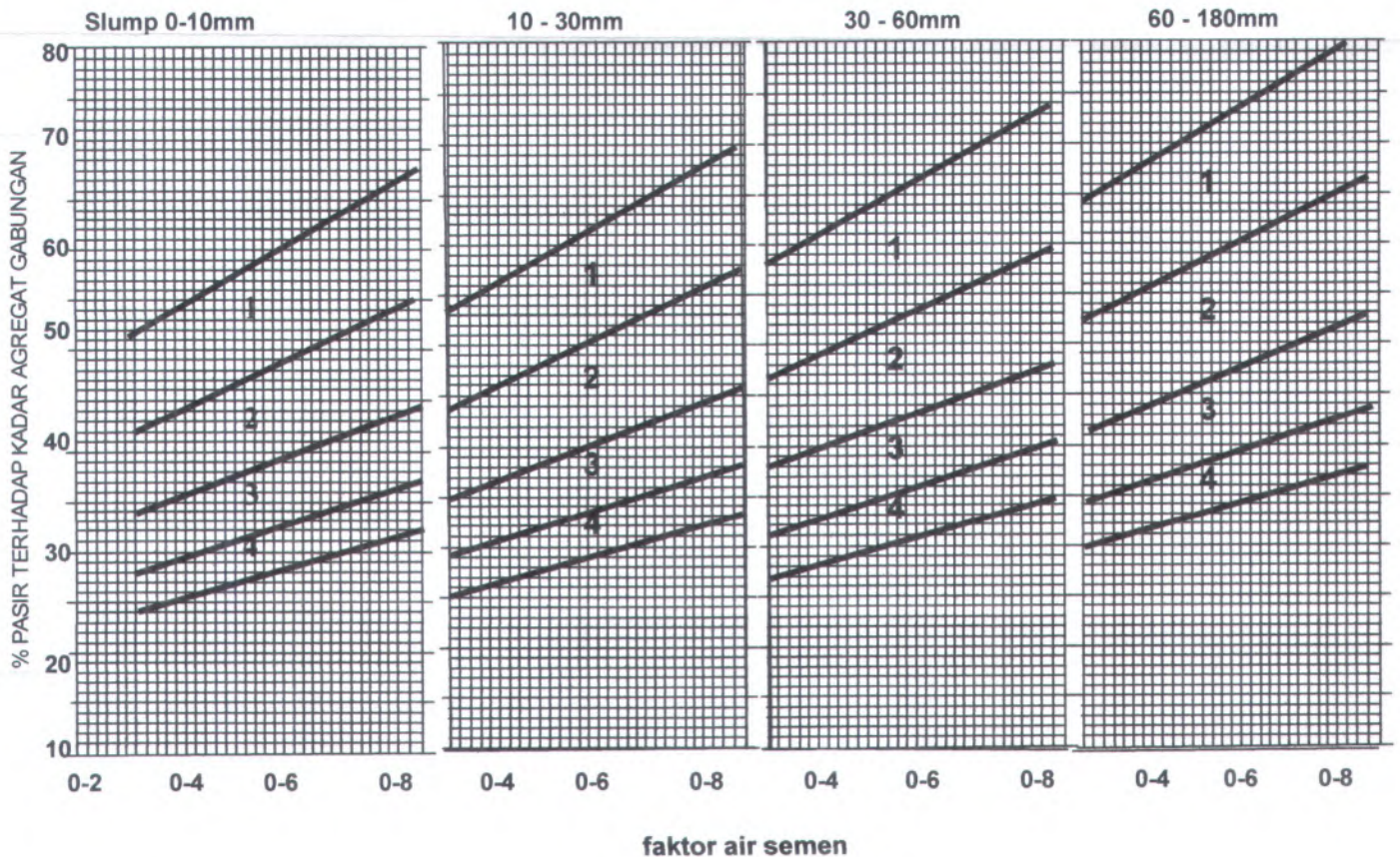
Grafik 5.2 Hubungan antara kekuatan tekan dan faktor air-semen

$$1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

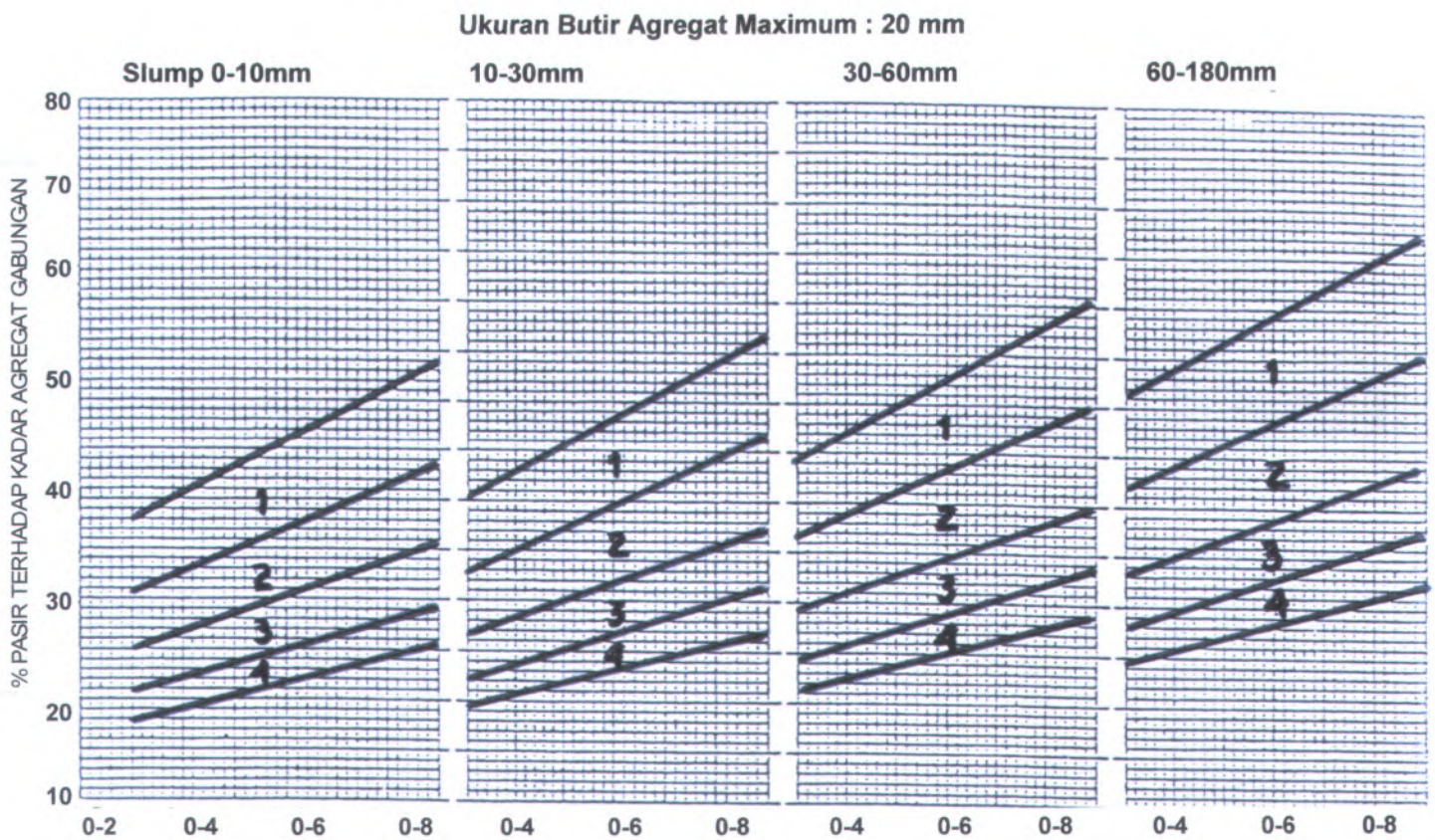


Grafik 5.5. PERKIRAAN BERAT JENIS BETON BASAH YANG DIMAMPATKAN SECARA PENUH

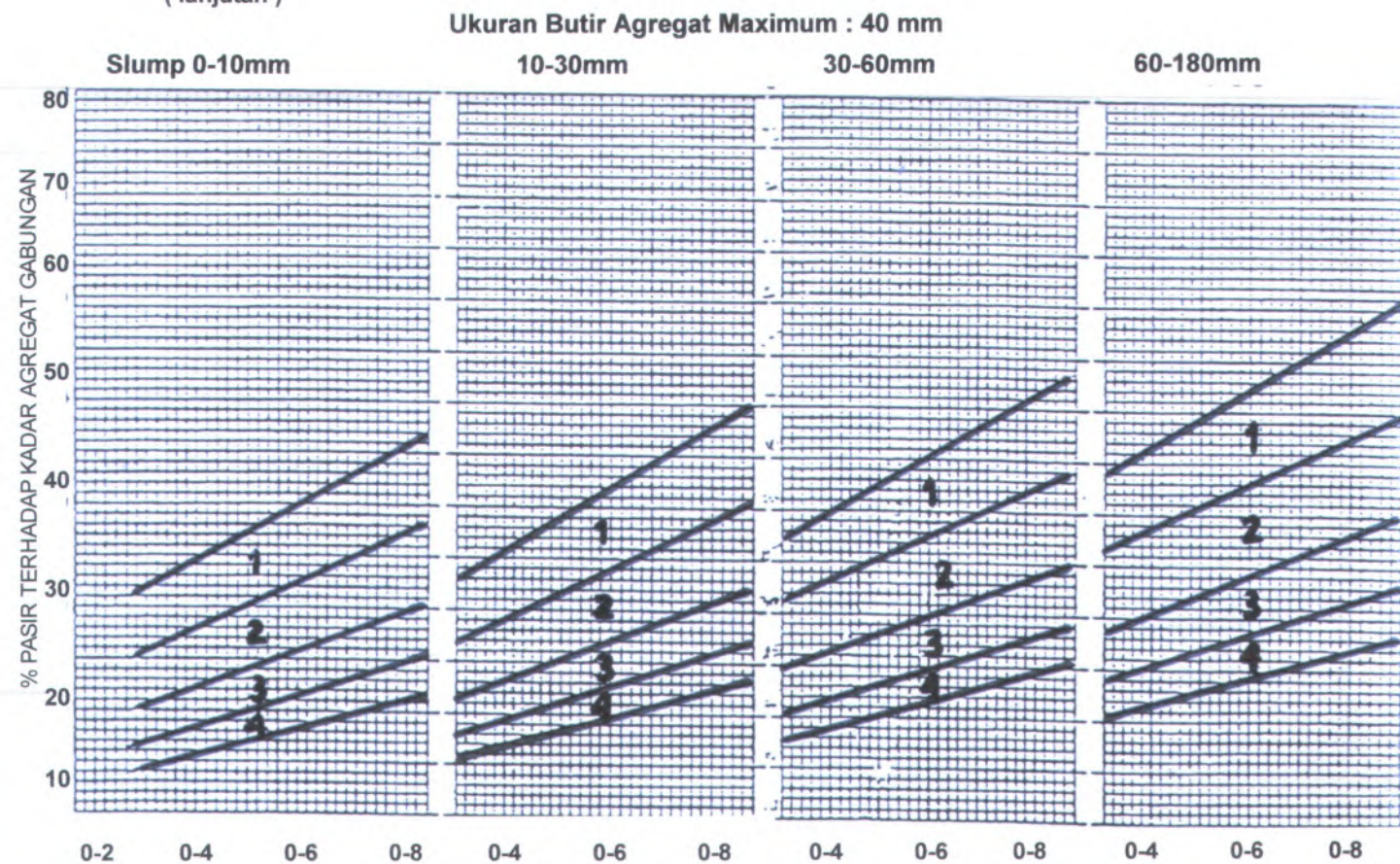
Ukuran butir agregat maksimum 10mm



**Grafik 5.6. PRESENTASI JUMLAH PASIR YANG DIANJURKAN
UNTUK DAERAH SUSUNAN BUTIR No. 1, 2, 3 DAN 4**



Grafik 5.6
(lanjutan)



(lanjutan)

Cementand Concrete Association Training Centre

CHANCE IN THE WATER CONTENT OF A CUBIC METRE OF CONCRETE (IN LITRES)
REQUIRED TO MODIFY THE SLUMP

TO CHANGE A SLUMP FROM

mm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	10	6	10	13	16	18	20	22	23	25	26	27	28	29	30	31	32	32	33	34	35	35	36	36	37	38	38	39	39	-
15	16	6	4	8	10	12	14	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	28	29	29	30	31	31	32	32	33	33	-
20	20	10	4	3	5	8	10	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24	25	25	26	26	27	28	28	29	29	-
25	23	13	8	3	2	5	7	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	19	20	21	21	22	23	23	24	24	25	25	26	-
30	26	16	10	5	2	3	5	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18	19	20	20	21	22	22	23	23	24	24	-
35	28	18	12	8	5	3	2	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15	16	17	17	18	18	19	20	20	21	21	-
40	30	20	14	10	7	5	2	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	15	16	16	17	18	18	19	19	-
45	32	22	16	12	9	7	4	2	2	3	4	5	6	7	8	9	1	11	12	12	13	13	14	15	15	16	16	17	17	-
50	33	23	18	13	10	8	5	3	2	1	3	4	5	6	7	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	14	15	15	16	-
55	35	25	19	15	11	10	7	5	3	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	10	11	11	12	12	13	13	14	14	-
60	36	26	20	16	13	11	8	6	4	3	1	1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	13	13	-
65	37	27	21	17	14	12	9	7	5	4	2	1	1	2	3	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	12	-
70	38	28	22	18	15	13	10	8	6	5	3	2	1	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	10	11	11	-
75	39	29	23	19	16	14	11	9	7	6	4	3	2	1	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	10	-
80	40	30	24	20	17	15	12	10	8	7	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	5	6	7	7	8	8	9	9	10	-
85	41	31	25	21	18	16	13	11	9	8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	-
90	42	32	26	22	19	17	14	12	10	9	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	-
95	42	32	27	23	19	18	15	13	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	-
100	43	33	28	23	20	18	15	13	12	10	9	7	6	5	4	3	2	2	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	-
105	44	34	28	24	21	19	16	14	12	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	-
110	45	35	29	25	21	20	17	15	13	11	10	9	8	7	5	4	3	2	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	-
115	45	35	29	25	22	20	17	15	13	12	11	9	8	7	6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	2	2	3	3	4	-
120	46	36	30	26	23	21	18	16	14	13	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	2	1	1	1	1	2	2	3	3	-
125	46	36	31	26	23	22	18	16	15	13	12	11	10	9	7	6	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	2	2	3	-
130	47	37	31	27	24	22	19	17	15	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	3	2	2	1	1	1	1	2	2	-
135	48	38	32	28	24	23	20	18	16	14	13	12	11	10	8	7	6	5	4	4	3	2	2	1	1	1	1	1	2	-
140	48	38	32	28	25	23	20	18	16	15	13	12	11	10	9	8	7	6	6	5	4	4	3	2	2	1	1	1	1	-
145	49	39	33	29	25	24	21	19	17	15	14	13	12	11	9	8	7	6	5	4	4	3	3	2	2	1	1	1	1	-
150	49	39	33	29	26	24	21	19	17	16	14	13	12	11	10	9	8	7	7	6	5	5	4	3	3	2	2	1	1	-

Lampiran 3.

Foto-Foto Pelaksanaan Praktikum di Laboratorium



Foto Caping Benda Uji Silinder



Foto Tes Tekan Benda Uji Silinder

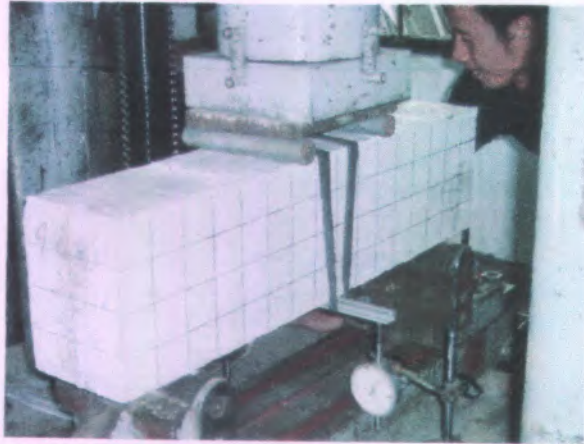


Foto Seting Pengujian *Third Point Loading Test*



Foto Retak yang Terjadi Setelah Pengujian *Third Point Loading Test*



Foto Proses Pembersihan dan Memperlebar jalur retakan



Foto Bahan Penutup Retakan (sealer)

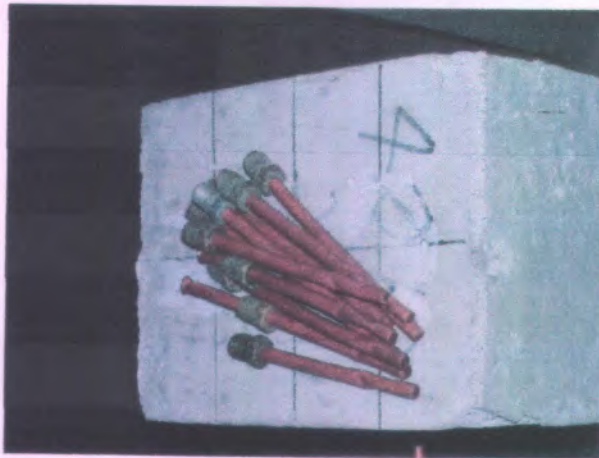


Foto Nipple Injeksi



Foto Bahan Injeksi



Foto Kepala Nipple Injeksi



Foto Penutupan Jalur Retakan dan Pemasangan Nipple
Injeksi

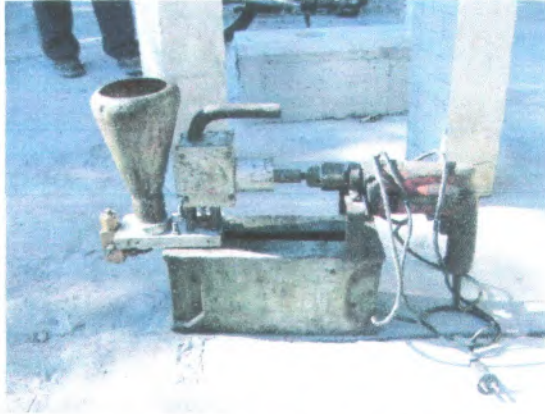


Foto Alat *Low Compressor Injection*

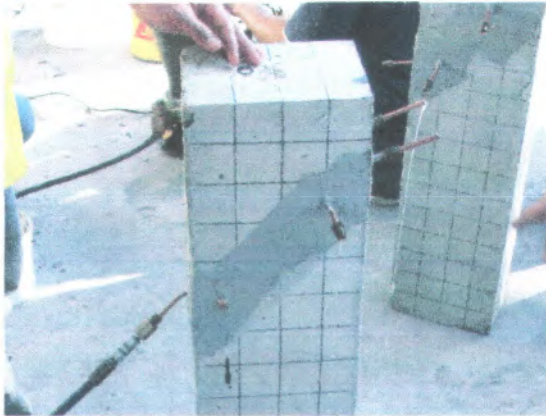


Foto Proses Injeksi Pada Balok



Foto Penghalusan Permukaan Balok Sebelum Pengujian
Third Point Loading Test



Foto Proses Pengujian *Third Point Loading Test* Pada Balok
yang Telah Diperbaiki



Foto Retak yang Terjadi Setelah Pengujian



Penulis dilahirkan di Lumajang, 31 Mei 1981, merupakan anak terakhir dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Sidorejo2, SMPN1 Yosowilangun, SMAN 2 Lumajang. Setelah lulus dari SMAN 2 Lumajang tahun 2000, penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2002 dan terdaftar dengan NRP 3102 100 096.

Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Struktur. Penulis sempat aktif di organisasi kampus yaitu menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS) ITS selama dua periode yaitu tahun 2003-2004 dan 2004-2005. Selain itu penulis juga seringkali mengikuti beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan baik oleh Jurusan Teknik Sipil, maupun Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMS).