

796/FT.01/SKRIP/07/2008

**PERILAKU DINAMIK PELAT BETON FIBER TIPIS
SATU ARAH YANG MENGALAMI PERENDAMAN DAN
TANPA PERENDAMAN TERHADAP PEMBEBANAN
TUMBUKAN TERBAGI MERATA DAN BERULANG DI
TENGAH BENTANG PELAT**

SKRIPSI

Oleh

MUHAMMAD ADRIE A

04 04 01 052 X



**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

796/FT.01/SKRIP/07/2008

**PERILAKU DINAMIK PELAT BETON FIBER TIPIS
SATU ARAH YANG MENGALAMI PERENDAMAN DAN
TANPA PERENDAMAN TERHADAP PEMBEBANAN
TUMBUKAN TERBAGI MERATA DAN BERULANG DI
TENGAH BENTANG PELAT**

SKRIPSI

Oleh

MUHAMMAD ADRIE A

04 04 01 052 X



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

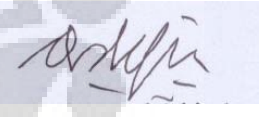
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PERILAKU DINAMIK PELAT BETON FIBER TIPIS SATU ARAH YANG
MENGALAMI PERENDAMAN DAN TANPA PERENDAMAN TERHADAP
PEMBEBANAN TUMBUKAN BERULANG TERBAGI MERATA DAN
BERULANG DI TENGAH BENTANG PELAT**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan bagaimana semestinya .

Depok, 18 Juli 2008



Muhammad Adrie A

NPM 040401052X

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

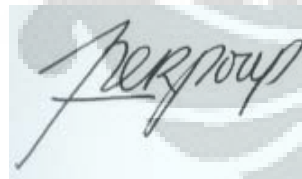
**PERILAKU DINAMIK PELAT BETON FIBER TIPIS SATU ARAH YANG
MENGALAMI PERENDAMAN DAN TANPA PERENDAMAN TERHADAP
PEMBEBANAN TUMBUKAN TERBAGI MERATA DAN BERULANG DI
TENGAH BENTANG PELAT**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 11 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 18 Juli 2008

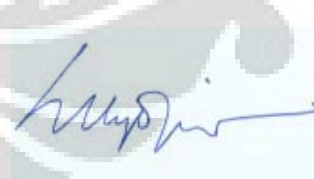
Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA

NIP. 131 654 338



Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

NIP. 131 944 406

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA
Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

| | |
|---|---|
| Muhammad Adrie A 04 04 01 052 X Departemen Teknik Sipil | Dosen Pembimbing Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA Dr. Ir. Elly Tjahyono, DEA |
| PERILAKU DINAMIK PELAT BETON FIBER TIPIS SATU ARAH YANG MENGALAMI PERENDAMAN DAN TANPA PERENDAMAN TERHADAP PEMBEBANAN TUMBUKAN TERBAGI MERATA DAN BERULANG DI TENGAH BENTANG | |
| ABSTRAK | |
| <p>Studi mengenai getaran merupakan permasalahan yang cukup menarik untuk diteliti. Karena secara langsung dan tidak langsung, struktur kita mengalami pembebanan yang dinamakan getaran tersebut. Studi getaran ini meneliti gerakan berosilasi dan kondisi – kondisi dinamisnya. Umumnya getaran ditimbulkan akibat adanya gaya yang bervariasi terhadap waktu.</p> <p>Dalam skripsi ini, akan dibahas mengenai perilaku dinamik pelat beton fiber tipis satu arah yang mengalami perendaman dan tanpa perendaman, terhadap pembebanan tumbukan terbagi merata berulang di tengah bentang. Benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pelat tipis satu arah yang terbuat dari beton dengan mutu K-300 yang telah dicampurkan metal fiber berupa isi staples (dengan komposisi yang bervariasi terhadap volume pelat tersebut, yaitu 0%, 1%, 2% dan 3% dari volume pelat). Benda uji ini, selain divariasikan terhadap kandungan fibernya, juga divariasikan terhadap perlakuan terendam dan tidak terendam. Pada sampel pelat terendam, dilakukan perendaman sehari sebelum melakukan pengujian dinamik, sedangkan pada sampel silinder terendam, pengangkatan sampel dari kolam dan pengujian tekan tepat pada hari ke-28. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari benda uji yang paling optimum perilakunya.</p> <p>Pelat tipis beton fiber satu arah ini dipasang perletakkan sendi – sendi pada ujung - ujungnya, lalu dilakukan pembebanan tumbukan dengan menjatuhkan beban seberat 50 N sejarak 10 cm pada tengah bentangnya, dan dilakukan berulang hingga benda uji mengalami keruntuhan. Seiring dengan pembebanan, benda uji juga dicatat sinyal percepatannya menggunakan perangkat osiloskop dan selanjutnya direkam menggunakan komputer. Sinyal percepatan ini merupakan asupan (<i>input</i>) untuk mencari luaran (<i>output</i>) berupa frekuensi.</p> <p>Penggunaan fiber berupa isi staples mengurangi kuat tekan, f_c', namun di lain sisi kuat terhadap pembebanan tumbukan meningkat. Beton berfiber berfungsi cukup baik pada daerah tarik karena mengikat matriks beton. Hal ini dapat mengurangi pengaruh akibat pembebanan dinamik, sebagai contoh dapat mengurangi penyebaran retak, hal ini menjadikan beton serat lebih daktail daripada beton biasa. Perlakuan tidak rendam pada benda uji menunjukkan sifat yang lebih kuat terhadap tumbukan dibandingkan yang terendam. Hal ini dapat kita lihat dari banyaknya tumbukan yang diterapkan terhadap benda sampai runtuh.</p> | |
| Kata kunci : Pelat Beton Fiber, Frekuensi, Pelat, Staples, Tak Terendam, Terendam, Tumbukan Berulang, Retak | |

| | |
|---|--|
| Muhammad Adrie A NPM 04 04 01 052 X Civil Departemen Engineering | Counsellor I. Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA II. Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA |
| DYNAMIC BEHAVIOUR OF PARTIALLY AND FULLY-CURED FIBER- CONCRETE ONE-WAY THIN PLATE SUBJECTED TO UNIFORMLY DISTRIBUTED AND REPEATEDLY IMPACT LOADING AT PLATE MID SPAN | |
| ABSTRACT | |
| <p>The Study about vibration is an interesting problem to research. Because, the structures, directly or/and indirectly, undergo such that loading. This study researches osilation motion and its dynamic conditions. Vibration generally is generated by influence of loading variating to time.</p> <p>In this script, dynamic responses of fiber-concrete one-way thin plate drained and undrained which is subjected to uniformly distributed impact loading and repeatedly at mid span will be discussed. The Samples are one-way thin plates which are made from k-300 concreate mixed with metal fiber in form of staples (with variated composition toward plate`s volume, namely 0%, 1%, 2% and 3% of plate`s volume). Besides, these samples are also variated toward treatments, undrained and drain. Purpose of this research is to find an optimal content of the fiber.</p> <p>The one-way thin plate is set on hinge at the end of it, and then subjected to impact loading by letting a 50 N weight, 10 cm height load fall into its mid span repeatedly, and executed until this sample collapses. As far as loading actions, accelereation of sample is recorded by oscilloscope set and PC. This acceleration signal is an input to get frequency.</p> <p>Addition of metal fiber in form of staples decreases compression strength, f_c', in the other hand increases a resistance of impact loading. Because fiber concrete has a good tensile strength, because it bonds concrete matrices. Thus, it is able to decrease influence of crack due to dynamic loading, for instance it is able to minimize spreads of cracks, it makes a fiber concrete more ductile than plain concrete. Treatment of undrained shows a nature of a better impact resistance than drained. We can see from the number of impact loading applied to the samples until they collapse.</p> | |
| Keywords : Fiber Concrete, Frequency, Plate, Staples, Drained, Undrained, Impact Loading | |

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| SAMPUL DALAM..... | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI..... | ii |
| PENGESAHAN..... | iii |
| UCAPAN TERIMAKASIH..... | iv |
| ABSTRAK..... | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| | |
| BAB I : PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. LATAR BELAKANG..... | 1 |
| 1.2. LINGKUP PERMASALAHAN..... | 2 |
| 1.3. BATASAN MASALAH..... | 3 |
| 1.4. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN..... | 4 |
| 1.5. RUANG LINGKUP PENELITIAN..... | 4 |
| 1.6. METODOLOGI..... | 5 |
| 1.7. SISTEMATIKA PENULISAN..... | 5 |
| | |
| BAB II : KAJIAN LITERATUR | |
| 2.1. UMUM..... | 7 |
| 2.2. TEORI PELAT..... | 7 |
| 2.2.1. Persamaan Dasar Elastisitas..... | 7 |
| 2.2.2. Pelat Tipis..... | 8 |
| 2.3. TEORI BETON..... | 9 |
| 2.3.1. Semen..... | 9 |
| 2.3.2. Agregat..... | 10 |

| | |
|---|----|
| 2.3.3. Air | 12 |
| 2.4. TEORI MIX-DESIGN | 13 |
| 2.4.1. Pengujian Agregat Halus | 13 |
| 2.4.2. Pengujian Agregat Kasar | 15 |
| 2.4.3. Percobaan Campuran Beton..... | 16 |
| 2.5. <i>FIBER-REINFORCED CONCRETE</i> | 24 |
| 2.5.1. Serat Metal | 26 |
| 2.6. TEORI KONSEP MOMENTUM LINEAR | 26 |
| 2.7. IMPULS | 27 |
| 2.8. <i>FATIGUE</i> | 30 |
| 2.9. TEORI PENDUKUNG PERANGKAT LUNAK..... | 31 |
| 2.9 Transformasi Fourier Cepat | 31 |
| 2.10. MODULUS ELASTISITAS | 31 |
| 2.11. HIPOTESA AWAL | 27 |
| | |
| BAB III : METODOLOGI PENELITIAN | 35 |
| 3.1. PENDAHULUAN | 35 |
| 3.2. PERHITUNGAN CAMPURAN BETON (MIX-DESIGN)..... | 36 |
| 3.2.1. Perhitungan Kebutuhan Material | 36 |
| 3.2.2. Perhitungan Campuran Komposisi Material..... | 36 |
| 3.3. TES MATERIAL..... | 39 |
| 3.3.1. Kuat Tekan Silinder | 39 |
| 3.3.2. Modulus Elastisitas | 40 |
| 3.3.3. Poisson Ratio | 40 |
| 3.4. PENYETELAN PERANGKAT KERAS YANG DIGUNAKAN..... | 42 |
| 3.4.1. PC/Komputer Mikro | 42 |
| 3.4.2. Osciloskop..... | 42 |
| 3.4.3. <i>Coupler</i> | 43 |
| 3.4.4. <i>Accelerometer</i> | 43 |
| 3.4.5. Benda Uji | 43 |
| 3.4.6. Program Akuisisi | 44 |
| 3.5. PENGUJIAN DINAMIK BENDA UJI BALOK..... | 45 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.1. Set-up Pengukuran Alat | 45 |
| 3.5.2. Tahap Pengujian..... | 45 |
| 3.5.3. Tahap Pengambilan Data | 46 |
| BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN | 47 |
| 4.1. UMUM..... | 47 |
| 4.2. PEMERIKSAAN STRUKTUR | 47 |
| 4.3. PENGUJIAN MATERIAL | 49 |
| 4.4. PERHITUNGAN BEBAN IMPULS DAN TUMBUKAN | 51 |
| 4.5. ANALISA FREKUENSI | 55 |
| 4.6. ANALISA POLA RETAK PELAT | 66 |
| 4.7 ANALISA LENDUTAN BENDA ANALISA LENDUTAN BENDA UJI AKIBAT BEBAN DINAMIK | 93 |
| BAB V : PENUTUP | 100 |
| 5.1. KESIMPULAN | 100 |
| 5.2. SARAN | 101 |
| LAMPIRAN..... | 103 |
| DAFTAR ACUAN | xvi |
| DAFTAR PUSTAKA | xvii |

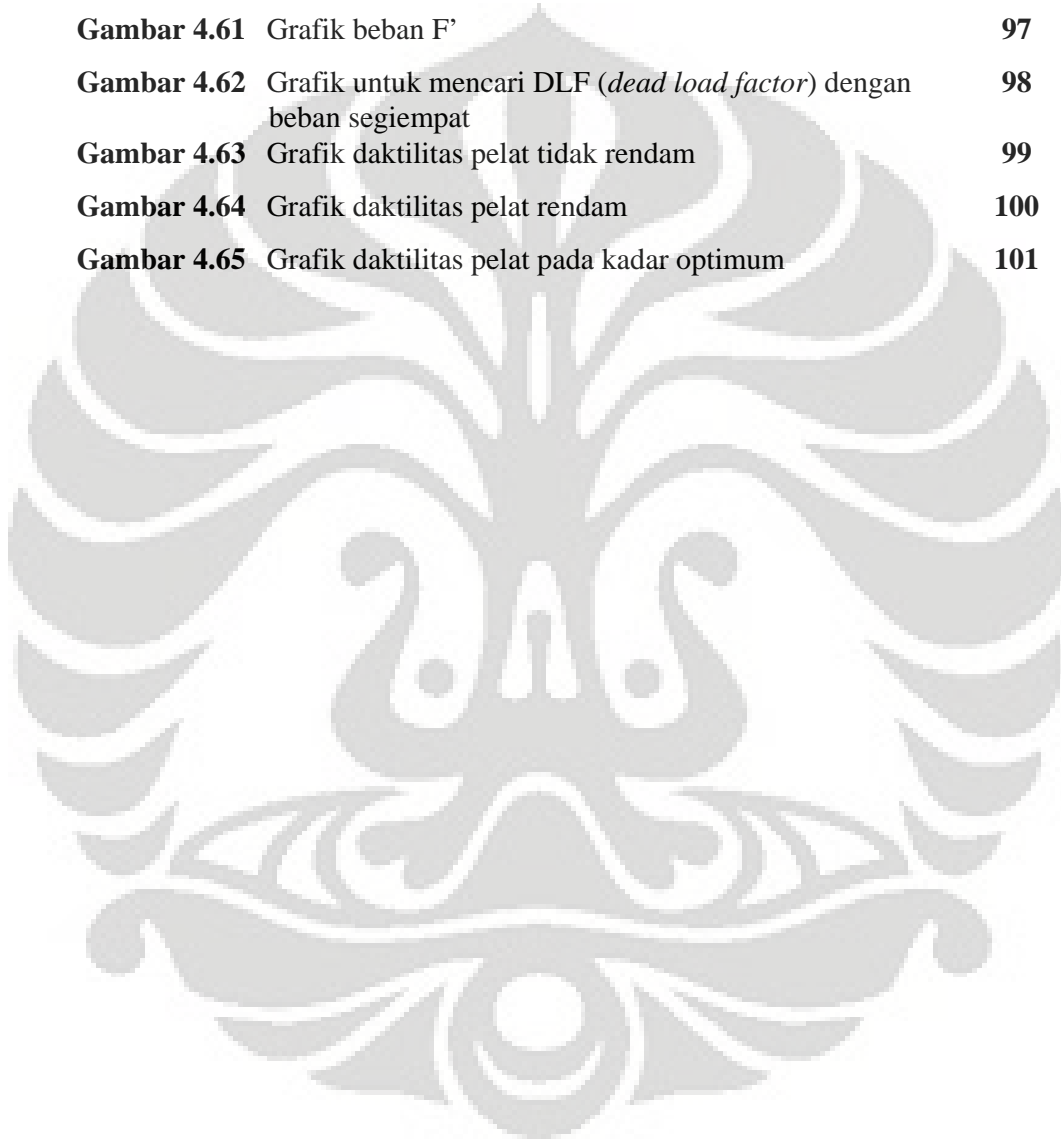
DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|-----------|
| Gambar 2.1 Gaya sebagai fungsi waktu menunjukkan impuls | 28 |
| Gambar 2.2 Kurva S-N | 30 |
| Gambar 2.3 Posisi alat | 34 |
| Gambar 3.1 Specimen rectangular akibat gaya tekan aksial | 42 |
| Gambar 3.2 Instrumentasi alat yang digunakan | 36 |
| Gambar 4.1 Gambar Koordinat Letak Pukulan Pelat dengan Palu Elektrik dan Letak Akselerometer | 49 |
| Gambar 4.2 Grafik hasil tes tekan | 51 |
| Gambar 4.3 Plot grafik hasil tes modulus elastisitas | 52 |
| Gambar 4.4 Grafik beban tumbukan dan Frekuensi | 54 |
| Gambar 4.5 Waktu Jatuh Beban | 55 |
| Gambar 4.6 Impuls dari Tumbukan Peluru | 56 |
| Gambar 4.7 Grafik gaya F' | 57 |
| Gambar 4.8 Gambar pelat benda uji pada saat dilakukan pembebanan | 58 |
| Gambar 4.9 Modelisasi tumbukan terbagi merata ditengah bentang | 59 |
| Gambar 4.10 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 0% TR | 59 |
| Gambar 4.11 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 1% TR | 60 |
| Gambar 4.12 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 2% TR | 61 |
| Gambar 4.13 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 3% TR | 63 |
| Gambar 4.14 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 0% R | 64 |
| Gambar 4.15 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 1% R | 65 |
| Gambar 4.16 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 2% R | 66 |
| Gambar 4.17 Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 3% R | 67 |
| Gambar 4.18 Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 0% | 68 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| Gambar 4.19 | Gambar saat pelat mulai retak | 69 |
| Gambar 4.20 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 69 |
| Gambar 4.21 | Kurva momen retak pada pelat tidak rendam 0% | 70 |
| Gambar 4.22 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 1% | 71 |
| Gambar 4.23 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 71 |
| Gambar 4.24 | Ketika Pelat Mengalami Keretakan Pertama pada Tumbukan ke-17 | 72 |
| Gambar 4.25 | Kurva momen retak pelat tidak rendam 1% | 73 |
| Gambar 4.26 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 2% | 74 |
| Gambar 4.27 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 75 |
| Gambar 4.28 | Ketika Pelat Mengalami Keretakan Pertama pada Tumbukan ke-17 | 76 |
| Gambar 4.29 | Kurva momen retak pelat tidak rendam 2% | 77 |
| Gambar 4.30 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 3% | 78 |
| Gambar 4.31 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 78 |
| Gambar 4.32 | Ketika Pelat Mengalami Keretakan Pertama pada Tumbukan ke-199 | 79 |
| Gambar 4.33 | Kurva momen retak | 80 |
| Gambar 4.34 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 0% | 81 |
| Gambar 4.35 | Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 14 dengan panjang retak 2,3 cm | 81 |
| Gambar 4.36 | Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 14 dengan | 81 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| | panjang retak 2,3 cm | |
| Gambar 4.37 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 82 |
| Gambar 4.38 | Kurva M _{cr} pelat rendam 0% | 83 |
| Gambar 4.39 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 1% | 84 |
| Gambar 4.40 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 84 |
| Gambar 4.41 | Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 60 dengan panjang retak 1,4 cm | 85 |
| Gambar 4.42 | Kurva M _{cr} pelat rendam 1% | 86 |
| Gambar 4.43 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 2% | 87 |
| Gambar 4.44 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 87 |
| Gambar 4.45 | Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 28 dengan panjang retak 3 cm | 88 |
| Gambar 4.46 | Kurva M _{cr} pelat rendam 2% | 88 |
| Gambar 4.47 | Pengukuran lebar retak menggunakan jangka sorong | 89 |
| Gambar 4.48 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 3% | 90 |
| Gambar 4.49 | Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak | 90 |
| Gambar 4.50 | Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 90 dengan panjang retak 3 cm | 91 |
| Gambar 4.51 | Kurva M _{cr} pelat rendam 3% | 91 |
| Gambar 4.52 | Pengukuran lebar retak menggunakan jangka sorong | 93 |
| Gambar 4.53 | Kurva M _{cr} gabungan variasi pelat tidak rendam | 93 |
| Gambar 4.54 | Kurva M _{cr} gabungan variasi pelat rendam | 94 |
| Gambar 4.55 | Kurva M _{cr} gabungan kadar optimum rendam dan tidak rendam | 95 |

| | | |
|--------------------|---|------------|
| Gambar 4.56 | Gambar pelat dengan coakan di tengah akibat retak | 95 |
| Gambar 4.57 | Modelisasi pembuatan pelat dengan coakan di tengah bentang | 95 |
| Gambar 4.58 | Modelisasi pelat tidak rendam 1% pada program SAP | 96 |
| Gambar 4.59 | Penampang pelat saat masih utuh | 96 |
| Gambar 4.60 | Penampang pelat saat sudah retak | 96 |
| Gambar 4.61 | Grafik beban F' | 97 |
| Gambar 4.62 | Grafik untuk mencari DLF (<i>dead load factor</i>) dengan beban segiempat | 98 |
| Gambar 4.63 | Grafik daktilitas pelat tidak rendam | 99 |
| Gambar 4.64 | Grafik daktilitas pelat rendam | 100 |
| Gambar 4.65 | Grafik daktilitas pelat pada kadar optimum | 101 |



DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Besar nilai t berdasarkan kenaikan <i>design strength</i> | 20 |
| Tabel 2.2 Nilai slump untuk berbagai jenis konstruksi | 20 |
| Tabel 2.3 Komposisi S/A, dan air untuk berbagai ukuran agregat | 21 |
| Tabel 2.4 Koreksi untuk komposisi S/A dan air | 22 |
| Tabel 3.1 Jumlah Kebutuhan Sampel Silinder | 36 |
| Tabel 3.2 Jumlah Kebutuhan Pelat | 36 |
| Tabel 3.3 Mix design dengan metode “US Bureau of Reclamation” | 38 |
| Tabel 3.4 Tabel Jumlah Kebutuhan Pelat | 44 |
| Tabel 4.1 Frekuensi Awal dan Periode pada Tiga Titik yang Berbeda | 48 |
| Tabel 4.2 Hasil Frekuensi Awal dan Periode Benda Uji pada Percobaan dan Analiisa Program SAP | 49 |
| Tabel 4.3 Tabel Jumlah Kebutuhan Silinder | 49 |
| Tabel 4.4 Tabel Hasil Tes Tekan | 50 |
| Tabel 4.5 Tabel Modulus Elastisitas beton fiber | 51 |
| Tabel 4.6 Waktu Tempuh Beban 5 kg (50 N) Menumbuk Benda Uji | 53 |
| Tabel 4.7 Tabel Gaya F' | 54 |
| Tabel 4.8 Frekuensi awal percobaan pada tiga titik | 55 – 56 |
| Tabel 4.9 Perbedaan frekuensi penggunaan pelat besi dengan tanpa pelat besi | 57 |
| Tabel 4.10 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 0% | 58 |
| Tabel 4.11 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 1% | 59 |
| Tabel 4.12 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 2% | 60 |
| Tabel 4.13 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 3% | 62 |
| Tabel 4.14 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 0% | 63 |
| Tabel 4.15 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 1% | 63 |
| Tabel 4.16 Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 2% | 64 |

| | | |
|-------------------|--|-------|
| Tabel 4.17 | Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 3% | 65 |
| Tabel 4.18 | Tabel regangan TR 0% | 69 |
| Tabel 4.19 | Tabel regangan TR 1% | 72 |
| Tabel 4.20 | Tabel regangan TR 2% | 75 |
| Tabel 4.21 | Tabel regangan TR 3% | 78 |
| Tabel 4.22 | Tabel regangan R 0% | 82 |
| Tabel 4.23 | Tabel regangan R 1% | 84–85 |
| Tabel 4.24 | Tabel regangan R 2% | 88 |
| Tabel 4.25 | Tabel regangan R 3% | 91 |
| Tabel 4.26 | Tabel rangkuman hasil perhitungan momen retak | 91 |
| Tabel 4.27 | Hasil analisa periode pelat 1% tidak rendam dengan program SAP | 96 |
| Tabel 4.28 | Tabel rangkuman hasil perhitungan lendutan pelat tidak rendam | 98 |
| Tabel 4.29 | Tabel rangkuman hasil perhitungan lendutan pelat rendam | 99 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Studi mengenai getaran merupakan permasalahan yang cukup menarik untuk diteliti. Karena secara langsung dan tidak langsung, struktur kita mengalami pembebanan yang dinamakan getaran tersebut. Studi getaran ini meneliti gerakan berosilasi dan kondisi – kondisi dinamisnya. Gerakan ini dapat berupa gerakan beraturan dan berulang secara kontinyu seperti getaran mesin, atau dapat juga berupa gerakan tidak beraturan atau acak seperti gempa bumi. Umumnya getaran ditimbulkan akibat adanya gaya yang bervariasi terhadap waktu.

Salah satu jenis dari getaran adalah getaran respons singkat akibat adanya beban berupa pembebanan tumbukan dan berulang yang bekerja pada suatu struktur. Dalam hal ini, contoh pembebanan tersebut adalah pembebanan dengan menggunakan benda dengan berat yang kita inginkan yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu terhadap benda uji.

Teknologi material pada saat ini sudah berkembang cukup pesat. Ide – ide untuk menemukan, menggabungkan, dan merekayasa suatu material telah banyak dilakukan dan diujikan dalam penelitian. Salah satunya adalah perkembangan dalam rekayasa material campuran beton. Penelitian mengenai campuran pada beton ini juga sangat menarik, karena dapat mengurangi kelemahan yang ada pada sifat beton. Salah satu material yang dapat digunakan dalam campuran beton adalah serat, di mana beton ini dinamakan beton berserat (*fiber reinforced concrete*).

Beton berserat (*fiber concrete*) adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan yang lain berupa serat. Serat berupa batang – batang atau lembaran – lembaran (*filamen*) dengan diameter antara 5 sampai 5000 mikrometer dan panjang sekitar 25 sampai 100 mm. Beton serat dapat berupa serat metal (kawat bindrad atau *fibermesh*), serat polimer (serat karbon, *acrylic*,

polypropylene), serat mineral (*glass fiber*) dan serat – serat alamiah (asbeston, serat tumbuh – tumbuhan (rami, bambu, ijuk) serat plastic rotan, bambu, sabuk kelapa)).[1]

Dalam hal ini serat dianggap sebagai agregat yang bentuknya sama sekali tidak bulat. Adanya serat mengakibatkan berkurangnya sifat kemudahan dikerjakan (*workability*) dan mempersulit segregasi. Serat dalam beton berguna untuk mencegah adanya retak – retak sehingga menjadikan beton fiber lebih daktail dari beton biasa (*plain concrete*).

Jika serat yang dipakai mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi dari pada beton, misalnya kawat baja maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik maupun modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi daripada beton tanpa serat. Hasil penelitian yang pernah dilakukan yang menggunakan kawat bindrad dengan panjang 60 mm, 80 mm, dan 100 mm menunjukkan bahwa tambahan 1% serat dari volume beton mampu menaikkan kuat tekan beton sekitar 25%, kuat tarik sebesar 47%, dan modulus elastisitas sekitar 10%. Selain itu beton serat juga bersifat lebih tahan benturan/tumbukan (*impact*) dan lenturan.[2]

Beton berfiber ini memiliki kuat yang cukup baik pada daerah tarik karena mengikat matriks beton. Sehingga hal ini dapat mengurangi pengaruh akibat pembebanan dinamik, sebagai contoh dapat mengurangi penyebaran crack.

1.2. LINGKUP PERMASALAHAN

Penggunaan serat – serat pendek secara random untuk merubah sifat – sifat fisik beton merupakan konsep lama. Sebagai contoh serat yang menggunakan rambut kuda telah ribuan tahun yang lalu digunakan untuk memperbaiki sifat – sifat bata. Pada saat ini, serat banyak digunakan bersama matriks. Pengertian matriks terdiri dari [1]:

- Semen Portland murni
- Semen dengan aditif seperti fly ash atau silica fume.
- Mortar yang terdiri dari semen, pasir, dan air.
- Beton yang terdiri dari semen, pasir, agregat kasar (kerikil), dan air.

Faktor penting dalam pencampuran beton berserat adalah bentuk serat, ukuran serat, kadar dan distribusi serat tersebut dalam pencampuran beton. Interaksi

antara serat dan beton merupakan sifat dasar yang mempengaruhi kinerja beton komposit. Pemahaman dari interaksi ini diperlukan untuk memperkirakan dan meramalkan sifat – sifat kompositnya. Berikut ini adalah parameter yang mempengaruhi interaksi serat dengan beton :

- Kondisi dan komposisi beton
- Bentuk dan berat jenis serat
- Penyebaran serat, teratur atau random
- Volume fraksi dari serat

Penelitian pada skripsi ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium, yaitu percobaan mengenai pencampuran antara fiber (dalam kasus ini fiber berupa isi staples dengan kandungan yang bervariasi) dengan agregat halus, agregat kasar, semen, dan air yang pada akhirnya membentuk suatu benda uji beton berupa pelat tipis beton satu arah, yang hasilnya diperlakukan terendam dan tidak terendam, dan kemudian akan dilakukan pengujian pembebanan berupa pembebanan tumbukan berulang terbagi merata hingga benda uji tersebut mengalami keruntuhan (*failure*). Untuk sample pelat yang terendam, pelat tersebut dikembalikan ke dalam kolam sehari sebelum dilakukan pengujian dinamik.

Hal yang sebenarnya ingin diteliti adalah bagaimana sifat dan perilaku dinamis pelat beton berfiber staples tersebut yang diperlakukan terendam dan tidak terendam ini jika dibebani oleh beban tumbukan terbagi merata di tengah bentang dan berulang tersebut.

1.3. BATASAN MASALAH

Skripsi ini membahas mengenai beton berserat, dimana beton dicetak menjadi benda uji berupa pelat tipis satu arah (*one-way thin slab*) dan pelat tersebut diasumsikan sebagai balok dengan penampang yang lebar dengan perletakkan sendi – sendi, sedangkan serat yang dipakai berupa isi staples dengan ukuran produk no. 10. Benda uji tersebut dibebani dengan beban tumbukan terbagi merata berulang pada tengah bentang, hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Sedangkan untuk analisa, skripsi ini membahas perilaku fatigue benda uji, analisa frekuensi benda uji, analisa keretakan akibat pembebanan tumbukan, perhitungan lendutan akibat keretakan, dan analisa momen retak pada benda uji.

1.4. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui perilaku dinamik dari pelat satu arah yang terbuat dari beton berfiber terendam dan tak terendam terhadap pembebanan tumbukan berulang terbagi merata yaitu dengan melihat parameter berupa frekuensi yang didapatkan pada penelitian dan juga mencari kandungan fiber optimumnya. Selain itu, diharapkan penelitian ini dapat menjadi suatu alternatif solusi pada dunia material, yaitu penggunaan material komposit yang lebih ramah lingkungan dengan hasil kekuatan yang sama atau bahkan lebih baik. Pada penelitian ini, diterapkan bagaimana penggunaan/pencampuran serat/fiber tersebut dengan beton pada salah satu elemen struktural, yaitu pelat tipis satu arah.

1.5. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Penelitian tentang beban dinamik telah banyak dilakukan terhadap berbagai macam material. Namun hasil yang didapat tidak seperti yang diharapkan. Umumnya material – material tersebut cukup baik untuk pembebanan statis, namun kurang memuaskan untuk beban dinamis. Penulis memfokuskan pada penelitian perilaku dinamik untuk pelat beton berfiber satu arah, terendam dan tidak terendam, dengan masing-masing variasi kandungan fibernya.

Untuk mengetahui perilaku struktural dinamik pelat tipis yang terbuat dari beton berfiber staples terendam dan tidak terendam tersebut, maka dalam penelitian ini digunakan benda uji berupa pelat tipis satu arah, di atas dua tumpuan, yang terbuat dari beton dengan campuran fiber berupa staples (dengan variasi kandungan), terendam dan tidak terendam, yang akan diuji dengan pembebanan tumbukan terbagi merata berulang, hingga benda uji mengalami *failure* atau runtuh. Selanjutnya dengan menggunakan perangkat lunak yang telah ada, hasil yang didapatkan dari percobaan diolah untuk mendapatkan periode getar alami. Setelah itu hasilnya dianalisis.

Karena penelitian mengenai pengujian statik terhadap pelat tipis mortar berserat metal fiber telah dilakukan, penulis melanjutkan penelitian tersebut dengan mengganti sifat benda uji yang pada awalnya hanya berupa mortar, menjadi beton, dan dengan pengujian terhadap pembebanan dinamik berupa pembebanan tumbukan terbagi merata berulang.

1.6. METODOLOGI

Penulis menggunakan metode eksperimen dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini. Tahap awal dari penulisan adalah dengan penelusuran literatur untuk memahami pelat tipis satu arah, beton, gaya dinamik dan beton fiber yang digunakan dalam penelitian serta dasar teori yang digunakan dalam perangkat lunak yang ada.

Tahap selanjutnya adalah pengujian di laboratorium, yaitu pengujian terhadap benda uji berupa pelat tipis yang terbuat dari beton berfiber berupa staples dengan variasi kandungan, yang diletakkan di atas dua tumpuan, terendam dan tidak terendam, dan dilakukan pembebanan tumbukan terbagi merata berulang. Dengan begitu, akan diketahui sejauh mana perbandingan hasil antara teori dengan penerapannya.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi yang dipilih adalah sistem penulisan yang bersifat kronologis, yaitu penulisan yang didasarkan atas urutan pekerjaan yang dilakukan oleh penulis yang diawali dengan pencarian masalah, pengumpulan literatur pendukung, pelaksanaan penelitian di laboratorium, hingga mendapat kesimpulan dan solusi dari masalah yang diteliti.

Bab I : Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, tujuan, metodologi penulisan, ruang lingkup penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II : Studi Literatur

Menguraikan teori dasar dan pendukung untuk studi penelitian ini. Penelitian yang dilakukan didasari oleh literatur yang ada. Studi literatur ini mencakup teori dasar pelat, material penyusun beton

dan fiber yang digunakan pada penelitian ini, *mix-design* beton biasa, teori pembebanan dinamik, dan diakhiri dengan hipotesa awal.

Bab III : Metodologi Penelitian

Memberikan tahapan dan gambaran secara terperinci berjalannya penelitian yang dilakukan. Berawal dari pengujian material balok, pengukuran ukuran/dimensi balok, melakukan proses *mix design*, pengujian kuat tekan sampel, instalasi alat uji dinamik, dan diakhiri dengan pengujian dinamik balok mortar tersebut.

Bab IV : Analisa dan Hasil Pembasan

Menyajikan semua analisa yang berhubungan dengan topik skripsi ini, yaitu perilaku fatigue benda uji, analisa frekuensi benda uji, analisa keretakan akibat pembebanan tumbukan, perhitungan lendutan akibat keretakan, dan analisa momen retak pada benda uji.

Bab V : Penutup

Berisikan kesimpulan umum dari keseluruhan isi skripsi, dan juga saran terhadap percobaan yang dilakukan.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1. UMUM

Dasar teori yang digunakan dalam skripsi ini terdiri atas empat bagian. Dasar teori pertama menguraikan tentang benda uji, yaitu dasar teori mengenai pelat yang meliputi teori mengenai persamaan dasar elastisitas, teori pelat tipis, dan teori pelat elastis.

Dasar teori yang kedua mengenai bahan dasar pembentuk benda uji berupa mortar dan property mortar. Dasar teori yang ketiga mengenai beton berserat, yaitu beton berserat metal digunakan dalam penelitian pada skripsi ini.

Dasar teori keempat mengenai teori pembebanan yang digunakan untuk menguji benda uji dalam penelitian ini, yaitu tentang pembebanan tumbukan dan impuls.

2.2. TEORI PELAT

2.2.1 Persamaan Dasar Elastisitas

Suatu benda yang dibebani oleh gaya luar akan memberikan gaya – gaya dalam yang mengakibatkan adanya tegangan dan regangan dalam benda tersebut. Dalam teori elastisitas ini, dikaji hubungan antara gaya, perpindahan, tegangan dan regangan dalam benda elastis, sehingga diperlukan pembatasan hanya pada hubungan tegangan dan regangan yang bersifat linier. Dalam hal ini, tegangan dan perubahan bentuk dari benda elastis akan hilang bila gaya luar ditiadakan.

Dalam menentukan analisis hubungan tegangan dan regangan diperlukan asumsi – asumsi terhadap benda yang ditinjau, yaitu :

1. sifat benda mengikuti Hukum Hooke dimana benda tersebut bersifat elastis – linier, homogen, dan isotropis yaitu memiliki bahan material dan sifat elastis yang sama di segala arah.
2. perpindahan yang terjadi sangat kecil sehingga berlaku teori peralihan kecil (small displacement theory)

2.2.2. Pelat Tipis

Pelat merupakan struktur bidang (permukaan) yang datar dan tebalnya jauh lebih kecil dengan dimensinya yang lain. Geometri suatu pelat bisa dibatasi oleh garis lurus atau lengkung. Ditinjau dari segi estetika, kondisi tepi (*boundary condition*) pelat bisa bebas, bertumpuan sederhana dan jepit. Berdasarkan karakteristik tegangan di dalamnya, pelat umumnya dibedakan atas karegori utama berikut :

1. pelat tipis dengan lendutan kecil.

Memisalkan aksi lentur jauh lebih berpengaruh dibandingkan aksi membrane, dengan mengabaikan deformasi geser transversal sehingga berlaku teori Love-Kirchhoff (hipotesa normal bidang) yang mengasumsikan titik – titik material yang sebelum berdeformasi terletak bidang normal pelat yang lurus dan tegak lurus bidang tengah pelat, setelah berdeformasi akan tetap berada pada bidang normal pelat yang lurus dan tetap tegak lurus bidang tengah pelat. Pada bidang tengah pelat diasumsikan pula tidak terjadi deformasi. Teori ini berlaku untuk pelat tipis dengan $L/h > 20$ dan lendutan yang kurang dari 0,2 tebal pelat.

2. Pelat tipis dengan lendutan besar

Pelat tipis yang mempunyai lendutan besar dari 0,2 tebal pelat tetapi masih dianggap kecil untuk dimensi yang lainnya, maka aksi membrane pada bidang tengah pelat menjadi lebih berpengaruh. Hal ini mengakibatkan momen lentur dan aksi membrane harus diperhitungkan bersama – sama.

3. Pelat tebal

Pelat ini mempunyai tebal 0,05 sampai 0,25 lebarnya ($4 < L/h < 20$). Berdasarkan teori Reissner-Mindlin diasumsikan titik – titik material yang sebelum berdeformasi terletak pada bidang normal pelat yang yang lurus dan tegak lurus bidang tengah pelat, setelah berdeformasi akan tetap berada pada bidang normal pelat yang lurus meskipun tidak harus tetap tegak lurus bidang

tengah pelat. Pada masalah getaran pelat yang diperhitungkan adalah deformasi geser transversal pelat tersebut.

4. Membran

Berdasarkan teori membran, aksi membrane sangat berpengaruh dibandingkan aksi lentur pada pelat dan merupakan pelat tipis yang tidak memiliki ketegaran lentur.

2.3. TEORI BETON

Beton merupakan material yang sangat banyak digunakan dalam kegiatan konstruksi. Secara umum beton terdiri dari dua bagian utama bahan matriks bahan inklusi. Material yang berfungsi sebagai bahan matriks adalah pasta beton yang merupakan campuran antara semen dan air. Bahan matriks ini akan berfungsi sebagai pengikat antar material, selain itu bahan ini juga akan memberikan sumbangan kekuatan pada beton. Sedangkan bahan inklusi adalah bahan yang akan memberikan sebagian besar kekuatan pada beton. Material yang biasanya digunakan sebagai bahan inklusi pada beton adalah agregat kasar berupa batu kerikil dan agregat halus yang berupa pasir.

2.3.1. Semen

Material yang paling banyak digunakan sebagai pengikat pada beton adalah semen. Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat beraksi secara kimia dengan air, reaksi yang terjadi merupakan hidrasi sehingga akan membentuk material batu padat. Semen yang paling banyak digunakan sebagai material konstruksi adalah semen portland. Semen ini dibuat dengan cara menghaluskan kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan dicampur bahan gips. Sement portland tersiri dari beberapa jenis yaitu:

1. Semen tipe I, merupakan semen yang paling banyak digunakan untuk kegiatan konstruksi. Semen ini tidak memiliki karakteristik khusus seperti jenis lainnya.

2. Semen tipe II, merupakan semen yang menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah dan kecepatan ikat yang lebih rendah. Semen ini memiliki sifat sedikit tahan terhadap sulfat dan banyak digunakan untuk bangunan yang terletak di daerah dengan tanah berkadar sulfat yang rendah,
3. Semen tipe III, merupakan semen yang mengeras dengan cepat. Kekuatan beton yang dibuat dari semen tipe 3 dalam 24 jam akan sebanding dengan kekuatan beton dari semen biasa dalam 7 hari. Dalam waktu 3 hari, kekuatan beton ini akan setara dengan kekuatan tekan 28 hari beton biasa.
4. Semen tipe 4, merupakan semen dengan suhu rendah dan memiliki waktu ikat yang lama. Baik untuk *mass concrete construction* karena tidak terjadi banyak *cold join*.
5. Semen tipe V, merupakan semen yang memiliki tingkat ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Semen ini digunakan untuk memberikan perlindungan terhadap bahaya korosi akibat pengaruh air laut, air danau, air tambang ataupun pengaruh garam sulfat yang terdapat dalam air tanah.

2.3.2. Agregat

Dalam SNI T-15-1991-03 agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolik atau adukan. Pada beton semen biasanya volume agregat yang digunakan adalah 50-80 % volume total beton, sehingga kondisi agregat yang digunakan sangat berpengaruh pada karakteristik beton. Semakin bagus agregat yang digunakan, maka akan lebih memberikan kekuatan pada beton. Perbedaan dan penilaian agregat dapat ditinjau berdasarkan:

1. Ukuran agregat

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi:

- a. Agregat halus dengan diameter 0-5 mm, atau disebut juga dengan pasir. Pasir dapat dibedakan menjadi:
 - Pasir halus, dengan diameter 0 – 1 mm.
 - Pasir kasar, dengan diameter 1 – 5 mm.
- b. Agregat kasar dengan diameter > 5 mm, biasanya berukuran 5 – 40 mm, disebut juga dengan kerikil.

2. Visual bentuk agregat

Agregat memiliki bentuk yang sangat bervariasi yaitu dapat berbentuk bulat, lonjong, pipih atau kubikal. Bentuk yang paling baik digunakan dalam pembuatan beton adalah bentuk kubikal, karena bentuk ini memiliki kekuatan yang lebih besar dari bentuk yang pipih dan akan saling mengunci antar agregat (*interlocking*). Namun bentuk kubikal akan mempersulit pekerjaan, karena memiliki kemampuan mengalir (*flowability*) yang rendah.

3. Visual tekstur permukaan agregat

Secara visual, permukaan agregat dapat dibedakan menjadi menjadi: kasar, halus, rata atau bergelombang. Tekstur yang kasar akan memberikan pengikatan yang lebih baik oleh semen, hal ini disebabkan karena luas permukaan yang lebih besar pada agregat bertekstur kasar.

4. Kekuatan abrasi

Kekuatan abrasi merupakan kekuatan yang menggambarkan ketahanan agregat akibat penghancuran dengan simulasi mesin Los Angeles. Dari nilai ini akan terlihat gambaran kekuatan benturan, kekuatan akan kekekalan bentuk agregat, bila terkena gaya.

5. Berat jenis dan absorpsi

Berat jenis dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan kondisinya. Kondisi tersebut adalah kering oven (*oven dry*), kering permukaan (*saturated surface dry*), kering udara dan kondisi basah. Biasanya pada pekerjaan beton digunakan kondisi kering permukaan karena pada saat pencampuran pasta semen akan diserap masuk oleh permukaan agregat, namun karena bagian dalam agregat terisi air maka penyerapan air tidak berlebihan. Hal ini akan memperkuat ikatan antar agregat.

6. Kadar organik

Kadar organik adalah nilai yang menggambarkan jumlah material organik yang tercampur pada material agregat halus. Material organik dapat merusak beton oleh karena itu, kadar material organik harus dibatasi.

2.3.3. Air

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, sebaliknya jika kadar air berlebihan maka akan mengurangi kekuatan beton. Namun faktor kadar air akan sangat berpengaruh dalam kemudahan pekerjaan beton. Semakin tinggi kandungan air maka beton akan semakin encer sehingga semakin mudah dikerjakan, dan sebaliknya semakin sedikit kadar air maka beton akan semakin sukar dikerjakan. Sifat ini disebut dengan *workabilitas*.

Proporsi air yang akan digunakan pada campuran beton dinyatakan dalam *rasio air-semen (water-cement ratio)*, yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (Kg) dibagi berrat semen (Kg) dalam campuran beton.

Kualitas air yang akan digunakan untuk campuran beton harus baik, yaitu tidak mengandung minyak, larutan asam, garam alkali, dan bahan-bahan lain yang dapat mengurangi kakuatan beton. Dalam beton air berfungsi sebagai campuran untuk membuat bahan pengikat, yaitu melalui reaksi dengan semen.

2.4. TEORI MIX-DESIGN

Dalam proses pembuatan benda uji untuk penelitian ini, digunakan referensi dari Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton, Laboratorium Bahan Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

2.4.1. Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah menentukan Bulk Specific Gravity, Apparent Specific Gravity dan absorpsi dari agregat halus sesuai dengan ASTM C.128, dimana pengujian akan digunakan untuk menentukan volume agregat di dalam beton.

a. *Bulk Specific Gravity dan Apparent Specific Gravity*

Untuk menentukan *specific gravity* dari agregat halus, agregat yang telah dicuci harus dikeringkan hingga mencapai keadaan kering permukaan (saturated surface dry). Keadaan SSD ini diuji dengan menggunakan kerucut terpancung, agregat yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam kerucut terpancung dan dipadatkan dengan menggunakan tongkat. Pemadatan dilakukan dengan membuat tifa lapisan, dimana masing-masing lapisan dipadatkan dengan 25 kali tumbukan. Keadaan SSD diperoleh apabila ketika kerucut diangkat maka pada agregat halus akan terjadi longsoran.

Besar *bulk specific gravity* dari agregat dapat diperoleh dengan perhitungan:

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{500}{B + 500 + C}$$

Sedangkan besar *apparent specific gravity* adalah:

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{B + A - C}$$

dimana:

A = Berat dari agregat halus yang telah dikeringkan dalam oven (gram)

B = Berat dari piknometer berisi air (gram)

C = Berat dari piknometer dengan agregat halus dan air sesuai dengan kapasitas kalibrasi (gram)

500 = Kapasitas maksimal dari piknometer

b. Absorpsi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Besar presentase absorpsi dihitung dengan:

$$Absorption = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

dimana:

A = Berat dari agregat halus yang telah dikeringkan dalam oven (gram)

500 = Kapasitas maksimum dari wadah (gram)

c. Pemeriksaan berat isi agregat

$$\text{Berat isi agregat (kg/m}^3\text{)} = \frac{W}{V}$$

dimana:

W = Berat dari agregat halus (kg)

V = Volume agregat halus (m³)

d. *Sieve analysis*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butiran pasir sehingga dapat diketahui sebaran gradasi pasir apakah memenuhi syarat atau tidak.

2.4.2. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dilakukan sama dengan pengujian pada agregat halus. Pengujian yang dilakukan sesuai dengan ASTM C.128. Melalui pengujian yang dilakukan maka akan dapat diketahui volume agregat di dalam beton.

a. *Bulk Specific Gravity* dan *Apparent Specific Gravity*

Percobaan *ini* dilakukan dengan menimbang berat agregat dalam kondisi kering permukaan. Kondisi kering permukaan didapat dengan merendam agregat dalam air selama satu hari, kemudian agregat dikeringkan hingga mencapai kering permukaan. Agregat tersebut kemudian dimasukkan ke dalam keranjang dan direndam dalam air, timbang (dalam kondisi agregat di dalam air/kondisi jenuh).

Besar *bulk specific gravity* dari agregat dapat diperoleh dengan perhitungan:

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{B}{B - C}$$

Sedangkan besar *apparent specific gravity* adalah:

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{A - C}$$

dimana:

A = Berat dari benda uji yang telah dikeringkan dalam oven (gram)

B = Berat dari benda uji dalam keadaan SSD (gram)

C = Berat dari benda uji dalam kondisi jenuh (gram)

b. Absorpsi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Besar presentase absorpsi dihitung dengan:

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

dimana:

A = Berat dari benda uji yang telah dikeringkan dalam oven (gram)

B = Berat dari benda uji dalam keadaan SSD (gram)

c. Pemeriksaan berat isi agregat

$$\text{Berat isi agregat (kg/m}^3\text{)} = \frac{W}{V}$$

dimana:

W = Berat dari agregat kasar(kg)

V = Volume agregat kasar (m³)

d. *Sieve analysis*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butiran pada agregat kasar sehingga dapat diketahui sebaran gradasi sudah memenuhi syarat atau tidak.

2.4.3. Percobaan Campuran Beton

Dalam membuat campuran beton, harus diperhatikan bahwa perbandingan antara campuran bahan-bahan beton dibuat untuk menghasilkan beton yang paling ekonomis. Dimana dengan menggunakan

bahan-bahan yang tersedia juga harus diperoleh beton yang memiliki *workability*, *durability* dan *strength* seperti yang diinginkan.

Sebelum melakukan pencampuran material beton, sebelumnya harus dilakukan tes-tes laboratorium terhadap material yang akan digunakan dimana tes ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara komponen-komponen material beton seperti agregat, semen, air dan admixture sehingga didapatkan kombinasi yang paling optimum.

Secara garis besar, prosedur dalam perhitungan campuran beton adalah :

- Tes terhadap material yang akan digunakan pada campuran beton berupa agregat kasar, agregat halus dan semen. Sehingga dapat diketahui apakah material tersebut telah memenuhi syarat.
- Menentukan ukuran butiran maksimum agregat kasar, slump dan kandungan udara yang disesuaikan dengan kebutuhan.
- Menentukan *water-cement ratio* yang memenuhi *strength* dan *durability* yang diinginkan.
- Menentukan perbandingan campuran.
- Penyesuaian jumlah air adukan dan admixture untuk mendapatkan slump dan kandungan udara yang diperlukan.

Sebelum melakukan perhitungan terhadap komposisi campuran beton, maka terlebih dahulu harus ditentukan *standard design strength* yang akan digunakan dalam *mix design*. *Standard design strength* merupakan kuat tekan rencana beton atau kuat tekan beton yang direncanakan pada saat melakukan perhitungan.

Setelah menentukan *standard design strength* maka akan ditentukan *target strength* yaitu kekuatan yang harus dicapai oleh beton dalam umur 28 hari. *Target strength* ini kemudian akan digunakan

digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan perbandingan campuran beton.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan *target strength* beton adalah:

- Standar *desain strength*
- Jenis-jenis kualitas beton yang mungkin dihasilkan di lapangan.
- Kegunaan dari struktur.

Compress strength yang telah dipasang dalam konstruksi harus mempunyai *coefficient of variation* yang tidak melebihi 25 %. *Coefficient of variation* adalah koefisien yang menentukan variasi *compress strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama. *Coefficient of variation* dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$V = \frac{\sigma}{X} \times 100\%$$

dengan,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{Xi}^n (Xi - \bar{X})^2}{n}}$$

dimana:

- V = *coefficient of variation*
- X = *compressive strength* rata-rata dari silinder beton
- Xi = *compressive strength* silinder tes ke-i
- σ = standar deviasi
- n = jumlah silinder tes yang diuji

Besarnya harga *coefficient of variation* harus berkisar antara 5%-25%, dan nilainya akan sangat tergantung kepada:

- Keadaan cuaca dan waktu peoduksi.
- Perupahan dari sifat-sifat fisik agregat dan semen.
- Perubahan gradasi agregat.

Semakin tinggi ketelitian dan keterampilan pada pekerjaan pencampuran dan pengecoran beton maka akan semakin kecil nilai dari *coeffisien of variation* yang dapat ditentukan.

Hubungan antara *target strength* dengan standar *design strength*, ditentukan dengan rumus berikut:

$$\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{ds}}{1-t \cdot v}$$

dimana:

σ_{ts} = target strength

σ_{ds} = design strength

v = coefficient of variation

t = Konstanta, dimana nilainya tergantung dari perbandingan tes silinder yang dapat menghasilkan *strength* di atas *design strength*.

Harga $\frac{1}{1-t \cdot v}$ merupakan increment coefficien. Harga dari t ditentukan oleh banyaknya silinder tes beton dengan perbandingan campuran yang sama dan mencapai *compress strength* diatas *standard design strength*. Pada tabel dibawah ini akan ditentukan nilai-nilai t berdasarkan banyaknya silinder test yang memiliki *strength* lebih besar dari *standard design strength*.

Tabel 2.1. Besar nilai t berdasarkan kenaikan *design strength*

| Presentase <i>strength</i> yang lebih besar dari standard <i>design strength</i> | t |
|--|-------|
| 75 % | 0,703 |
| 80 % | 0,883 |
| 85 % | 1,1 |

Ukuran butiran maximum agregat kasar yang akan digunakan pada percobaan tidak boleh melebihi spesifikasi agregat kasar yang telah ditentukan. Besarnya agregat kasar yang akan digunakan dalam penelitian akan berpengaruh terhadap kandungan air dan semen.

Selanjutnya adalah menentukan slump dari campuran beton. Besar slump suatu beton akan berpengaruh terhadap kemudahan dalam pengerjaan beton tersebut. Semakin rendah nilai *slump* dari suatu beton, berarti beton tersebut memiliki kandungan air yang rendah dan semakin tinggi strength beton yang dihasilkan. Penentuan besar slump untuk berbagai jenis konstruksi dapat ditentukan melalui tabel berikut:

Tabel 2.2. Nilai *slump* untuk berbagai jenis konstruksi

| Jenis konstruksi | <i>Slump Maximum (cm)</i> |
|---|---------------------------|
| 1. <i>Heavy Mass Concrete</i> | 5 |
| 2. <i>Canal lining dengan tebal > 8 cm</i> | 8 |
| 3. <i>Slab dan tunnel Invert</i> | 5 |
| 4. <i>Walls, pier, parapet and curb</i> | 5 |
| 5. <i>Side walls, tunnel lining</i> | 10 |
| 6. Konstruksi-konstruksi lainnya | 8 |

Catatan:

- Harga-harga *slump* diatas adalah untuk beton setelah diletakkan tetapi belum berkonsolidasi
- Untuk pengecoran menggunakan pompa beton, jika slump kurang dari 8 cm maka slump boleh dinaikkan menjadi 9 cm.

Kemudian akan dapat ditentukan jumlah air adukan, kandungan udara dan presentase terhadap agregat. Banyaknya kandungan udara di dalam beton yang menggunakan *air entraining admixture* umumnya

adalah berkisar antara 3 – 6 % dari volume beton tergantung kepada ukuran agrgat maximum yang digunakan.

Komposisi air yang akan digunakan pada campuran beton harus tepat karena akan mempengaruhi kekuatan dan *workability* beton. Untuk memperoleh *strength* yang tinggi, maka jumlah air yang digunakan harus sedikit tetapi harus masih bisa dikerjakan dengan baik. Jumlah air adukan yang digunakan dipengaruhi oleh ukuran maksimum agregat, bentuk partikel, gradasi agregat, dan jumlah tambahan kandungan udara.

Tabel 2.3. Komposisi S/A, dan air untuk berbagai ukuran agregat.

| Size of agregat (mm) | Unit coarse agregat content by volume (%) | Beton tanpa air entrained | | | | Agregat | | | |
|----------------------|---|---------------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|--------|--|--------|
| | | Entrapped air (%) | Sand percent (%) | Water content (%) | Air content (%) | Dengan AE admixture berkualitas baik | | Dengan water reducing admixture berkualitas tinggi | |
| | | | | | | s/a (%) | w (kg) | s/a (%) | w (kg) |
| 15 | 53 | 2.5 | 49 | 190 | 7.0 | 46 | 170 | 47 | 160 |
| 20 | 61 | 2.0 | 45 | 186 | 6.0 | 42 | 165 | 43 | 155 |
| 25 | 66 | 1.5 | 41 | 175 | 5.0 | 37 | 155 | 38 | 145 |
| 40 | 72 | 1.2 | 36 | 165 | 4.5 | 33 | 145 | 34 | 135 |
| 50 | 75 | 1.0 | 33 | 155 | 4.0 | 30 | 135 | 31 | 125 |
| 80 | 81 | 0.5 | 31 | 140 | 3.5 | 28 | 120 | 29 | 110 |

Keterangan:

- Harga-harga diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2.8, dan slump beton adalah 8.
- Penyesuaian harga diatas harus mengikuti tabel di bawah ini:

Tabel 2.4. Koreksi untuk komposisi S/A dan air.

| Perubahan proporsi material | | Koreksi dari s/a dan w | |
|-----------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| | | <i>Sand percent</i> s/a (%) | <i>Water content</i> w (kg) |
| 1 | Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 0.1 dari nilai FM pasir | ± 0.5 | Tanpa koreksi |
| 2 | Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 1 cm dari nilai slump | Tanpa koreksi | ± 1.2% |
| 3 | Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 1% dari kandungan udara | ± 0.5 – 1 | ± 3% |
| 4 | Penggunaan batu pecah | ± 3 – 5 | ± 9 – 15 |
| 5 | Penggunaan pasir terproses | ± 2 – 3 | ± 6 – 9 |
| 6 | Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 0.05 dari w/c | ± 4 | Tanpa koreksi |
| 7 | Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 1% dari s/a | Tanpa koreksi | ± 1.5 |

Kualitas dari beton yang diperoleh akan sebanding dengan jumlah semen yang digunakan dalam campuran tersebut. Jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton dapat dihitung dari *water cement ratio* dan jumlah air adukan yang telah ditentukan. *Water cement ratio* ditentukan dengan memperhitungkan *strength* dan *durability* beton yang diperlukan. Dengan metode *Japan Cement Association*, maka hubungan antara *cement-water ratio* dan *compress strength* dapat ditentukan dengan:

$$\sigma_{28} = -133 + 214 \frac{c}{w}$$

$$214 \frac{c}{w} = \sigma_{28} + 133$$

$$\frac{w}{c} = \frac{214}{(\sigma_{28} + 133)}$$

Dimana:

$$\frac{w}{c} = \text{water-cement ratio}$$

σ_{28} = Target strength pada umur 28 hari

Selanjutnya adalah menghitung kebutuhan semen dengan menggunakan rumus berikut:

$$C = \frac{W}{W/C}$$

dimana:

W = berat air (kg)

W/C = Perbandingan antara semen dengan air (water cement ratio)

Dan jumlah kebutuhan air dalam campuran beton adalah:

$$\text{Volume air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat jenis air}}$$

Kemudian dapat dihitung jumlah kebutuhan agregat dengan menggunakan rumus:

$$Ag \text{ total} = 1 - W - C$$

dimana :

W = volume aiur

C = volume semen

Volume kebutuhan agregat halus adalah:

$$\text{Sand} = Ag \times \frac{S}{A}$$

dimana :

Sand = Volume agregat halus

Ag = Volume total agregat

S / A = perbandingan agregat halus terhadap volume total agregat

Volume kagregat kasar adalah :

$$SA = Ag \left(1 - \frac{S}{A} \right)$$

Dimana :

SA = Volume agregat kasar

Ag = Volume total agregat

S / A = perbandingan agregat halus terhadap volume total agregat

Maka dari seluruh perhitungan diatas akan diperoleh volume semen, air, agregat kasar dan agregat halus yang dibutuhkan unruk *mix design*.

2.5. FIBER-REINFORCED CONCRETE [1]

Selama berabad – abad manusia berusaha untuk memperkuat konstruksi beton dan mortar dengan bermacam – macam serat. Pada zaman dahulu, manusia telah mencoba menggunakan serat jerami untuk pembuatan batu bata, dan pada zaman romawi di pakai serat – serat rambut untuk pembuatan mortar. Kemudian teknologi penambahan bahan kimia mulai dipakai untuk meningkatkan sifat – sifat beton, tetapi hal ini pada kenyataannya masih kurang, sehingga para ahli berusaha untuk menempuh cara lain yang mengarah pada perbaikan sifat – sifat beton.

Suatu teknologi yang yang dikembangkan pertama kali di Amerika Serikat, di mana para peneliti telah berusaha memperbaiki sifat – sifat yang

kurang baik dari beton dengan cara menambahkan serat (*fiber*) dalam jumlah tertentu pada adukan beton, yang dinamakan teknologi beton berserat.

Ide dasar adalah serat – serat dalam jumlah tertentu dicampurkan pada beton membentuk suatu sistem tulangan mikro yang tersebar secara merata di dalam beton dan berfungsi melindungi beton dari keretakan.

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, menunjukkan bahwa sifat – sifat beton yang dapat diperbaiki antara lain :

1. kemampuan untuk menahan tarik dan momen lentur.
2. ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*).
3. daktilitas (*ductility*) yang berhubungan dengan kemampuan beton untuk menyerap energi.
4. ketahanan terhadap susut.
5. ketahanan terhadap aus (abrasi)

Penggunaan serat – serat pendek secara random untuk merubah sifat – sifat fisik matriks merupakan sebuah konsep lama. Sebagai contoh, serat yang dibuat dari rambut kuda telah ribuan tahun yang lalu digunakan untuk memperbaiki sifat – sifat bata. Pada saat sekarang ini, serat banyak yang digunakan bersama matriks semen. Pengertian matriks bisa terdiri dari :

- Semen Portland murni
- Semen dengan aditif seperti fly ash atau *silica fume*.
- Mortar yang terdiri dari semen, pasir, dan air.
- Beton yang terdiri dari semen, pasir, agregat kasar (kerikil), dan air.

Secara garis besar, serat (*fiber*) dapat digolongkan menjadi :

- Serat metal (*metallics fibers*)
- Serat polimer (*polymeric fibers*)
- Serat mineral (*minerals fibers*)
- Serat – serat alami (*naturally occurring fibers*)

2. 5.1 Serat Metal

Serat metal terbuat dari *carbon steel* atau *stainless steel*. Serat metal memiliki kuat tarik antara 50 sampai 200 Ksi (345 sampai 1300 MPa). Modulus elastisitas serat metal sekitar 29.000 ksi (200 KPa). Bentuk penampang serat metal juga dapat berupa lingkaran, setengah lingkaran, persegi atau tak beraturan. Serat metal memiliki diameter antara 0,5 – 1 mm dan panjang 20- 60 mm.

Serat metal sebagai bahan campur beton, ditambahkan pada saat pembuatan adukan beton berlangsung, yaitu dengan cara menaburkannya secara perlahan – lahan. Penaburan serat metal secara perlahan – lahan untuk menghindari terjadinya penggumpalan dan untuk memastikan bahwa serat metal terdistribusi dengan baik pada seluruh adukan beton

Serat metal yang saling menempel (*glued*) dimaksudkan untuk memudahkan pencampuran pada adukan berkapasitas besar, misalnya pada pabrik beton segar. Metal yang menyatu tersebut (yang tiap rangkaian biasanya terikat 10 – 30 serat metal), akan segera lepas setelah terkena air pada adukan dan menyebar secara merata keseluruh campuran beton. Faktor – faktor yang harus diperhatikan pada saat kita menggunakan serat metal bahan campur pada adukan beton, yaitu :

- bentuk serat metal
- ukuran serat metal
- kadar serat metal

Hasil penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan kawat bindrad dengan panjang 60 mm, 80 mm, dan 100 mm menunjukkan bahwa tambahan 1 % serat dari volume beton mampu menaikkan kuat tekan beton sekitar 25% kuat tarik sekitar 47%, dan modulus elastisitas sekitar 10%. Selain itu, beton serat juga bersifat lebih tahan benturan dan lenturan. (Irawan D, 1995)

2.6. TEORI KONSEP MOMENTUM LINIER

Momentum linier suatu partikel didefinisikan sebagai hasil kali antara masa dan kecepatannya. Jika momentum dinotasian dengan p , maka :

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Momentum linier merupakan besaran vektor yang arahnya sama dengan arah kecepatan. Konsep momentum linier memegang peranan penting, karena berkombinasi dengan dua unsur yang mencirikan keadaan dinamik partikel, yaitu massa dengan kecepatannya. Dalam hal ini, momentum dinyatakan dengan satuan SI, kg.m/s.

Telah diketahui bahwa setiap benda selalu bersifat lembam, seperti yang dinyatakan oleh Hukum I Newton. Hukum kelembaman dapat pula dinyatakan berdasarkan konsep momentum, bahwa :

sebuah partikel bebas selalu bergerak dengan momentum linier yang konstan
($p = \text{konstan}$)

Jika kita memiliki dua buah partikel, masing-masing massanya m_1 dan m_2 bergerak dengan kecepatan v_1 dan v_2 , maka momentum total sistem tersebut dalam waktu tertentu adalah

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

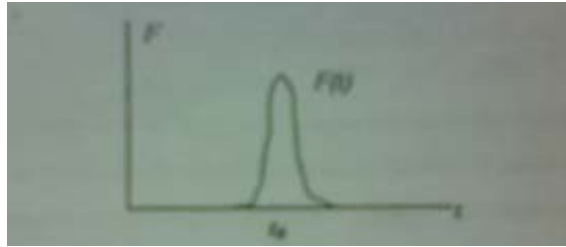
Untuk sistem yang terdiri dari lebih dari dua partikel, maka momentum sistem tersebut adalah

$$\vec{p} = \sum \vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$$

dengan n adalah indeks yang menyatakan jumlah partikel dalam sistem tersebut.

2.7. IMPULS

Jika suatu gaya bekerja pada suatu benda, maka kemungkinan yang terjadi pada benda adalah perubahan gerak (kecepatan), perubahan arah, atau perubahan bentuk. Gaya semacam itu bekerja pada selang waktu yang relatif lama. Namun ada beberapa gaya yang bekerja pada selang waktu yang relatif kecil). Dalam hal ini, kiranya perlu dinyatakan gaya sebagai fungsi dari waktu (gambar). Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa gaya hanya bekerja pada interval $\Delta t = t_0$. Di luar selang waktu Δt disekitar t_0 itu, gaya bernilai nol. Gaya seperti ini disebut *impuls*, yang bekerja hanya dalam selang waktu yang pendek. Gaya ini biasanya kita temukan peristiwa tumbukan.



Gambar 2.1. Gaya sebagai fungsi waktu menunjukkan impuls

Sekarang kita pandang peristiwa saat bola dipukul dalam waktu relatif singkat, sehingga bola tersebut terpental. Kaitan antar gerak partikel dengan gaya pukulan yang bekerja pada partikel tersebut dapat ditinjau berdasarkan hukum II Newton $\Sigma F = m \cdot a$ dengan m adalah massa benda dan a adalah percepatan yang dialami benda akibat resultan gaya (ΣF) yang bekerja padanya. Jika pada benda tersebut bekerja gaya tunggal, maka :

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt}$$

yang berarti berlaku pula hubungan berikut :

$$\int_{t_0}^t F dt = mv - mv_0$$

dengan v_0 adalah kecepatan benda sebelum bekerjanya impuls $F(t)$. Ruas kiri persamaan diatas menyatakan impuls yang bekerja pada benda. Jika impuls dinotasikan I , maka terpenuhi persamaan :

$$I = \int_{t_0}^t F dt$$

yang dapat dipecahkan jika F konstan atau sebagai fungsi waktu $F(t)$. Jadi, persamaan diatas dapat berlaku untuk gaya umum. Hal ini karena didasari oleh hukum II Newton yang bersifat umum. Bila grafik fungsi $F(t)$ diketahui, maka kita dapat menghitung impuls

$$I = \int_{t_0}^t F dt$$

dengan menentukan luas daerah antara kurva $F(t)$ dengan sumbu t .

Perubahan momentum dinyatakan dalam persamaan :

$$\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 = m\vec{v} - m\vec{v}_0$$

dengan Δp menyatakan perubahan momentum benda. Jika persamaan tersebut disubstitusikan, menjadi :

$$\vec{I} = \Delta \vec{p}$$

Jadi, *impuls suatu benda sama dengan perubahan momentumnya*. Impuls merupakan besaran vektor. Dalam SI, impuls dapat dinyatakan dalam satuan N dt atau kg m/dt.

Perubahan momentum terjadi dalam selang waktu tertentu ketika $F(t)$ tidak sama dengan nol. Sebelum gaya $F(t)$ bekerja, benda bergerak dengan kecepatan tetap, jadi momentum juga tidak bergantung kepada t .

Tumbukan

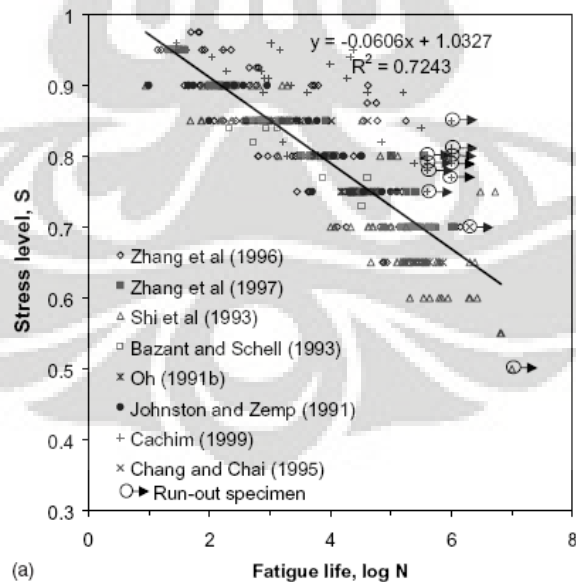
Dalam peristiwa tumbukan terjadi dua hal, yaitu transfer momentum dan transfer energi. Transfer momentum terjadi melalui impuls yang terjadi karena adanya gaya interaksi. Gaya yang terjadi pada peristiwa tumbukan dapat dianggap sebagai gaya impuls, yang hanya terjadi dalam jangka waktu yang relatif pendek. Akibatnya, impuls gaya luar dapat diabaikan terhadap impuls gaya dalam atau gaya interaksi, sehingga dalam peristiwa ini momentum dianggap kekal.

Beban tumbukan dapat didefinisikan sebagai beban yang disebabkan oleh benturan antara dua atau lebih material yang bersifat solid dalam rentang waktu yang sangat cepat. Umumnya respon material dan struktur terhadap beban tumbukan cukup sulit dan kompleks untuk dipelajari. Secara garis besar, respon material dan struktur terhadap beban tumbukan dapat dibagi menjadi tiga kategori. Kategori yang pertama adalah untuk kondisi yang menghasilkan tegangan di bawah titik leleh, dimana material bersifat elastis. Kategori yang kedua terjadi jika beban yang bekerja semakin besar sehingga material mencapai daerah plastisnya. Pada kondisi ini struktur mengalami deformasi yang cukup besar dan material mencapai titik lelehnya, sehingga dapat mengakibatkan keruntuhan dengan mekanisme keruntuhan tertentu. Kategori ketiga terjadi dengan terus memperbesar beban yang bekerja sehingga menyebabkan material berkelakuan cenderung hidrodinamis.

2.8 FATIGUE

Penggunaan fiber dalam dunia konstruksi sudah menjadi kebutuhan untuk penelitian terhadap perilakunya akibat beban siklik. Aplikasi umum penggunaan serat dalam beton terdapat dalam paving bandara, jembatan, jalan raya, dan lantai-lantai untuk industri, dalam menahan beban siklik yang signifikan selama masa layannya. Dalam area aplikasi tersebut, karakteristik *fatigue* untuk beton fiber menjadi sangat penting untuk parameter kekuatan dan desain. Adapun perihal yang perlu diperhatikan meliputi beban berulang/siklik, tingkat regangan (*strain rates*) dan parameter serat.

Diharapkan penambahan serat akan meningkatkan batas kelelahan (*fatigue limit*), sehingga membuat beton tersebut semakin kuat dibanding beton tanpa fiber. Li and Matsumoto melalui modelnya, menunjukkan adanya *fatigue limit* untuk beton serat. Ramakrishnan and Lokvik menunjukkan bahwa beton serat dapat mencapai batas ketahanan mendekati 2×10^6 beban berulang/siklus. Namun demikian, telah diajukan untuk dilakukan tes hingga 10×10^6 siklus untuk mengkonfirmasi kesimpulan tersebut. Dari data numerik tersebut, menunjukkan bahwa pertanyaan mengenai batas kelelahan (*fatigue limit*) masih belum dapat dipecahkan.



Gambar 2.2. Kurva S-N

Struktur yang terkena beban berulang kemungkinan mengalami kegagalan fatik. Tipe dari keruntuhan mensyaratkan :

- 1) Pada umumnya melebihi 1 juta siklus
- 2) Perubahan dari tegangan tulangan sekitar 20 ksi

Kekuatan fatik dari beton terjadi akibat pertambahan dari retak-retak kecil. Tegangan fatik dalam tekan/tarik untuk 10 juta siklus sekitar 55% dari kekuatan statik.

ACI fatik Komite merekomendasikan tegangan tekan dari f_{cr} tidak melebihi :

$$f_{cr} = 0,47f_c' + 0,47f_{min}$$

dimana, f_{min} adalah minimum tegangan tekan dalam siklus ACI Jembatan Komite membatasi tegangan tekan pada beban layan $0,5f_c'$.

2.9 TEORI PENDUKUNG PERANGKAT LUNAK

Untuk mendapatkan parameter frekuensi dan faktor peluruhan, data percepatan yang diperoleh dari percobaan dilakukan analisa dengan menggunakan perangkat lunak yang telah tersedia. Dasar-dasar teori yang mendukung perangkat lunak tersebut adalah teori Transformasi Fourier Cepat.

2.9.1 Transformasi Fourier Cepat

Untuk mentransformasikan data percepatan ke dalam ranah frekuensi, digunakan analisa numerik Transformasi Fourier Cepat. Transformasi FourierCepat (banyaknya pembagian dari fungsi) dari Transformasi Fourier Cepat. Transformasi Fourier Cepat dikembangkan dari pasangan Transformasi Fourier Diskrit.

2.10 MODULUS ELASTISITAS

Pengujian Modulus Elastisitas Beton berdasarkan SNI 03-4196-1996

A. Peralatan

1. Mesin uji tekan yang dapat menghasilkan beban dengan kecepatan kontinu dalam satu gerakan tanpa menimbulkan efek kejut dan mempunyai ketelitian maksimum 10 kN.
2. Kompresometer dan ekstensometer yang mampu mengukur sampai ketelitian 0,635 mm, terdiri dari 3 elemen lingkaran, 1 buah dipasang pada tengah-tengah benda uji untuk mengukur deformasi lateral, kemudian 2 buah lainnya dipasang dekat ujung bawah dan ujung atas benda uji untuk mengukur deformasi longitudinal yang jaraknya ditetapkan sesuai dengan panjang indikator. Pemasangan elemen lingkaran harus simetris terhadap bidang lingkaran benda uji agar kedudukan batang alat pengukur tidak terjadi eksentrisitas.
3. Timbang dengan ketelitian maksimum 10 gr dan kapasitas minimum 35 kg.
4. Jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm.
5. Alat dan perlengkapan kaping benda uji.

B. Pengukuran

Pengukuran harus memenuhi ketentuan bahwa diameter benda uji harus diukur dengan jangka sorong pada tiga posisi ukur di tengah dan kedua ujung benda uji sampai ketelitian 0,05 mm dari hasil pembacaan rata-rata. Panjang benda uji termasuk kaping harus diukur sampai pembacaan 1 mm.

C. Pengujian

Pengujian harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Suhu dan kelembaban ruangan uji selama pengujian dijaga konstan
2. Kecepatan pembebanan
3. Pembebanan berturut-turut sampai beban 40% dari beban maksimum

D. Pengolahan Data

- Modulus Elastisitas

Tegangan didapat dengan rumus :

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

dimana :

σ = Tegangan

F = Gaya (N)

A = Luas penampang

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

dimana :

ε = Regangan

ΔL = Penambahan panjang

L = Panjang awal

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dimana :

σ = Tegangan

ε = Regangan

E = Modulus Elastisitas

Persamaan regresi linier yang digunakan :

$$y = ax + b$$

Persamaan regresi linier tersebut dapat dianalogikan menjadi :

$$\sigma = (E \times \varepsilon) + \text{Reg. plastis pada siklus 1/sebelumnya}$$

Untuk pembacaan dial reg lateral, terdapat koreksi sesuai dengan posisi alat :



Gambar 2.3. Posisi alat

$$d = g \cdot e_r + (e_r + e_g)$$

d = deformasi total benda uji

g = hasil yang terbaca pada alat ukur

e_r = eksentrisitas batang indikator

e_g = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji

2.11 HIPOTESA AWAL

Silinder beton dengan metal fiber memiliki kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan modulus elastisitas yang lebih baik daripada beton biasa, tetapi terjadi penurunan mutu beton akibat perendaman selama 28 hari. Selain itu, Beton berfiber memiliki kuat yang baik pada daerah tarik karena mengikat matriks beton. Sehingga hal ini dapat mengurangi pengaruh akibat pembebanan dinamik, sebagai contoh dapat mengurangi penyebaran crack, hal ini menjadikan beton serat lebih daktail daripada beton biasa.

Dalam hal ini adapun beberapa parameter serat metal yang harus diperhatikan dalam campuran beton, antara lain :

- bentuk serat metal
- ukuran serat metal
- kadar serat metal terhadap volume benda uji (balok)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perilaku dinamik dari penambahan serat – serat (fiber) pada struktur pelat tipis yang terbuat dari beton, terendam dan tidak terendam, terhadap pembebanan harmonik dan berulang. Benda uji yang digunakan terbuat dari beton mutu K-300 dengan kandungan fiber yang bervariasi terhadap volume beton, yaitu dengan kandungan serat 0%, 1%, 2%, dan 3% dari volume beton.

Tujuan utama dari pengujian lab ini adalah untuk mendapatkan data percepatan dari struktur sederhana yang diuji, serta data gaya yang diberikan. Data – data percobaan tersebut akan digunakan sebagai masukan (input) untuk program pengolahan data yang telah tersedia sebelumnya. Di mana, dari program ini akan didapatkan parameter – parameter berupa respons dari benda uji, frekuensi, dan factor peluruhan. Parameter – parameter tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik – grafik.

Sebagai studi kasus dari pengujian ini adalah suatu pelat tipis yang dijepit pada kedua ujungnya, sehingga dapat dimodelisasikan sebagai struktur di atas dua tumpuan sederhana.

Sebelum dilakukan pengujian, tentu saja kita harus melakukan pembuatan benda uji. Benda uji yang akan dibuat berupa pelat tipis yang terbuat dari beton berfiber, yaitu dengan kandungan serat 0%, 1%, 2%, dan 3% dari volume beton. Setelah benda uji telah siap, kita bisa langsung melakukan pengujian.

Kegiatan pengujian diawali dengan mempersiapkan alat penjepit yang telah tersedia, benda uji yang akan dicoba dan jenis – jenis perangkat yang mendukung pengujian ini. Kemudian dilakukan set-up perangkat, dan yang terakhir dilakukan pengambilan data.

3.2 PERHITUNGAN CAMPURAN BETON (MIX DESIGN)

3.2.1 Perhitungan Kebutuhan Material

Untuk mengetahui besarnya karakteristik dari benda uji, maka dilakukan uji tekan dan uji modulus elastisitas, dimana pada pengujian ini digunakan sampel berbentuk silinder dengan ukuran 30 cm dan berdiameter 15 cm. Benda uji didesain dengan mutu beton K-300.

Jumlah kebutuhan sampel benda uji sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jumlah Kebutuhan Sampel Silinder

| Kandungan Fiber | Terendam (buah) | Tidak Terendam (buah) |
|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Kandungan 0 % | 5 | 5 |
| Kandungan 1 % | 5 | 5 |
| Kandungan 2 % | 5 | 5 |
| Kandungan 3 % | 5 | 5 |
| Sub total | 20 | 20 |
| Total | 40 | |

Jumlah kebutuhan pelat adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Jumlah Kebutuhan Pelat

| Kandungan Fiber | Terendam (buah) | Tidak Terendam (buah) |
|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Kandungan 0 % | 3 | 3 |
| Kandungan 1 % | 3 | 3 |
| Kandungan 2 % | 3 | 3 |
| Kandungan 3 % | 3 | 3 |
| Sub total | 12 | 12 |
| Total | 24 | |

Dimana, dimensi pelat yang akan digunakan 3 cm x 20 cm x 70 cm.

3.2.2 Perhitungan Campuran Komposisi Material

Komposisi Mix Design :

| | | | |
|---------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| K-Beton | = 300 kg/m ³ | Bj. Pasir | = 2,6 gr/cm ³ |
| MSA | = 25 mm | FM Pasir | = 2,85 gr/cm ³ |

Slump = 10 cm Bj. CA = 2,65 gr/cm³
Bj.Semen = 3,15 gr/cm³

Perhitungan campuran beton ini menggunakan metode “US Bureau of Reclamation”.

1). Menentukan ukuran butir agregat kasar maksimum, slump, dan fas (W/C)

- Ukuran agregat kasar maksimum (MSA) = 40 mm
- Slump = 10 cm
- Faktor air semen (W/C) = 0,45

2). Menentukan W, A, dan S/A berdasarkan ukuran butir agregat kasar maksimum

- Jumlah air adukan (W) = 186 kg
- Prosentase pasir terhadap total agregat (S/A) = 41 %
- Kandungan udara dalam beton = 1,2 %

Namun nilai-nilai diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2,85 dan slump beton dalam mixer = 10 cm, maka dilakukan penyesuaian untuk FM dan slump yang dipakai. Penyesuaian perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Perhitungan mix design ini bertujuan untuk menentukan proporsi campuran bahan-bahan penyusun beton yang memiliki kekuatan tinggi dan masih mudah untuk dikerjakan. Terdapat beberapa metode perhitungan mix design, yaitu :

- Rancangan menurut “ROAD NO.4”
- Rancangan menurut “American Concrete Institute”
- Rancangan menurut “Cara Inggris”
- Rancangan menurut “US Bureau of Reclamation”

Dalam perhitungan mix design ini menggunakan metode “US Bureau of Reclamation”. Pada prinsipnya metode-metode yang digunakan untuk

menghitung mix design bertujuan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tinggi namun masih dalam batas mudah untuk dikerjakan.

Langkah pertama yang dilakukan untuk menghitung mix design dengan metode “US Bereau of Reclamation” adalah menentukan ukuran butir agregat kasar maksimum, slump, dan fas (W/C). Berdasarkan ukuranbutir agregat kasar maksimum dengan menggunakan tabel 3.3 dibawah ini :

| | | |
|-----------------------|---|--|
| FM = 2,097 | $= 38 + \frac{(2,85-2,8) \times 0,5}{0,1}$ = 36,25 | Tidak ada koreksi |
| Slump = 10 cm | Tidak ada koreksi | $= 165 + 1,2\% \times \frac{(10-8)}{1} \times 165$ = 169 kg |
| Crushed Ca/batu pecah | $4 + 36,25$ = 40,25 | $12 + 169$ = 178 kg |
| S/A | Tidak ada koreksi | $= 178 + (1,5 \times (41-36))$ = 186 kg |

dapat ditentukan :

- Jumlah air adukan (W), satuan Kg.
- Prosentase pasir terhadap total agregat (S/A).
- Kandungan udara dalam beton (entrapped air) terhadap volume beton, dalam %.

Selanjutnya dengan didapatnya jumlah air (W) dan fas (W/C), jumlah semen (C) dapat ditentukan.

Langkah selanjutnya yaitu menghitung volume total agregat. Dengan didapat S/A dan Ag maka dapat dihitung volume pasir (S) dari agregat kasar (Ca), setelah itu dihitung volume cetakan beton (bekisting) yang hasilnya akan dikalikan dengan masing-masing bahan penyusun beton (air adukan, pasir, semen, dan agregat kasar), dari perhitungan mix design didapat (untuk per m³) :

- 1) Jumlah air adukan = 186 kg
- 2) Jumlah semen = 413 kg
- 3) Jumlah pasir = 715 kg
- 4) Jumlah agregat kasar = 1049 kg

3.3 TEST MATERIAL

3.3.1 Kuat Tekan Silinder

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat, kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama di dalam penentuan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air-semen, semakin tinggi kekuatan tekan. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi di dalam pengerasan beton; kelebihan air akan meningkatkan kemampuan pengerjaan (mudahnya beton untuk dicor) akan tetapi menurunkan kekuatan. Suatu ukuran dari pengerjaan beton ini diperoleh dengan percobaan *slump*. Suatu cetakan logam yang berbentuk kecurut terpancung dengan tinggi 12 inci (300 mm) diisi dengan beton segar, kemudian cetakan diangkat, dan pengukuran dilakukan atas merosotnya ketinggian puncak beton yang basah dari kedudukan semula sebelum cetakan diangkat. Lebih kecil *slump*, lebih kaku dan lebih sukar pengerjaan dari beton tersebut. Di dalam pelaksanaan konstruksi, *slump* sebesar 3 samapi 4 inci (75 sampai 100 mm) adalah umum. Penggetaran dan campuran beton akan meningkatkan mudahnya pengerjaan.

Keterangan mengenai perbandingan dari campuran beton tersedia di dalam ACI Standard 211.1 untuk beton normal, beton berat, dan beton massif. ACI Standard 211.2 untuk beton struktur ringan, dan ACI Standard 211.3 untuk beton tanpa *slump*.

Kekuatan beton di Amerika Serikat dinyatakan dengan f_c' , yaitu kekeuatan tekan beton di dalam lb/in^2 (Mpa untuk satuan SI) dari pengetesan benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 6 inci (150 mm) x 12 inci (300 mm) pada hari ke 28 setelah benda uji dibuat. Selain itu, banyak negara yang lazim menggunakan benda uji standard berupa kubus biasanya dengan ukuran sisi 200 mm.

Sifat tegangan-regangan dari beton adalah tergantung dari kekuatan, umur pada saat pembebanan, kecepatan pembebanan, sifat dari agregat dan semen, dan jenis dan ukuran dari benda uji.

Dapat diperhatikan bahwa beton dari beton yang berkekuatan lebih rendah mempunyai kemampuan deformasi (daktilitas) yang lebih tinggi dari beton yang berkekuatan tinggi, dan tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan di antara 0,002 dan 0,0025. Regangan ultimit pada saat hancurnya beton berkisar antara 0,003 sampai 0,008; akan tetapi harga regangan maksimum yang dapat dipakai adalah 0,003-0,004. Menurut ACI menyatakan (ACI-10.2.3) bahwa “Regangan maksimum yang dapat dipakai pada serat tekan ekstrim beton harus diambil sama dengan 0,003”. Regangan maksimum menurut ACI sebesar 0,003 boleh jadi tidak konservatif untuk beton berkekuatan tinggi dengan f_c' di dalam batas 55 sampai 83 MPa.

3.3.2 Modulus Elastisitas

Berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. Selanjutnya, karena beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk modulus elastisitas.

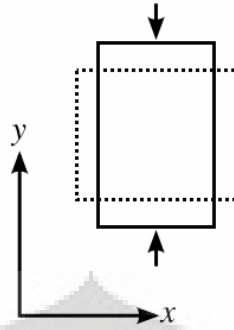
Dalam kurva tegangan-regangan untuk beton, diperlihatkan modulus awal, modulus tangen (tangent modulus), dan modulus sekan (secant modulus). Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50 % dari kekuatan tekan f_c' diambil sebagai modulus elastisitas.

Sebagai suatu hasil dari analisa statistik dari data-data yang tersedia, maka rumus empiris yang diberikan untuk satuan SI :

$$E_c = 0,043W_c^{1,5} \sqrt{f_c'} \quad (\text{ACI 318-83M})$$

Dimana W_c dalam kg/m^3 dan E_c dan f_c' dalam Mpa.

3.3.3 Poisson Ratio



Gambar 3.1. Specimen rectangular akibat gaya tekan aksial

Ketika material benda uji ditekan di satu arah, maka di dua sisi lainnya akan mengecil. Poisson's ratio (ν) merupakan ratio regangan relatif antara regangan transversal terhadap regangan lateral.

Diasumsikan material diberi gaya tekan dalam arah aksial :

$$\nu = -\frac{\epsilon_{\text{trans}}}{\epsilon_{\text{axial}}} = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

Dimana :

ν = Poisson Ratio

ϵ_{trans} = Regangan transversal ((-) untuk aksial tarik, (+) untuk aksial tekan)

$\epsilon_{\text{lateral}}$ = Regangan Lateral ((+) untuk aksial tarik, (-) untuk aksial tekan)

Umumnya, material memiliki Poisson's ratio (ν) antara 0 – 0,5.

Untuk material isotropik, berdasarkan Generalisasi Hukum Hooke, menyatakan deformasi material pada satu arah sumbu, akan menghasilkan deformasi material pada tiga arah sumbu lainnya pada struktur 3D. Maka dapat digunakan persamaan :

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y)]$$

Dimana :

| | |
|--------------------------------------|---|
| ν | = Poisson Ratio |
| $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ | = Regangan dalam arah sumbu x, y, dan z |
| $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ | = Regangan dalam arah sumbu x, y, dan z |
| E | = Modulus elastisitas |

Terjadi perubahan relatif volume akibat gaya tarik atau tekan yang diberikan pada material dapat dihitung dengan persamaan (hanya untuk deformasi kecil) :

$$\frac{\Delta V}{V} = (1 - 2\nu) \frac{\Delta L}{L}$$

Dimana :

V = Volume material

ΔV = Perubahan volume

L = Panjang awal

ΔL = Perubahan panjang : $\Delta L = L_{old} - L_n$

3.4 PENYETELAN PERANGKAT KERAS YANG DIGUNAKAN

3.4.1 PC/komputer mikro

Komputer yang digunakan adalah komputer mikro kompatibel jenis PC AT *processor* 386 tipe DX-33 dengan kemampuan memori empat *Megabyte*. Untuk dapat berkomunikasi dengan osiloskop digital maka ditambahkan satu *card interface* GPIB/IEEE.

3.4.2 Osciloskop

Osciloskop yang digunakan dalam percobaan ini adalah jenis *combiscope* PM 3335 Fluke-PHILLIPS. Osciloskop tersebut selain dapat beroperasi sebagai osciloskop analog, dapat juga berfungsi sebagai suatu *Digital Storage Oscilloscope* (DSO). Dalam hal ini, jenis PM 3335 mempunyai memori akuisisi 8 K dan resolusi vertikal 8 bit, serta terdapat 2 (dua) kanal dengan maksimum frekuensi yang dapat disimpan adalah 2 MHz. Untuk dapat berkomunikasi, alat ini harus dilengkapi dengan interface tambahan dari jenis RS232C atau GPIB/IEEE

3.4.3 Coupler

Coupler yang digunakan adalah *piezotron coupler* tipe 5112 dari KISTLER. Kegunaan dari coupler adalah untuk mengalirkan gaya eksitasi konstan yang sedang berlangsung ke *piezotron transducer* dan selanjutnya meletakkan sinyal dari *transducer* tersebut pada bagian keluaran (*readout equipment*). Sinyal tersebut bisa searah (AC) ataupun 2 (dua) arah (DC), tergantung pada tipe coupler yang digunakan. Pada alat ini juga dapat ditemui tambahan yang bervariasi, sumber konstanta yang dapat disesuaikan, serta alat penyaring. Pada *piezotron transducer* harus digunakan arus sebesar 2-18 mA dari coupler. Besarnya konstanta *piezotron* yang ada menyatakan panjang kabel yang dapat digunakan. Coupler tipe 5112 ini dilengkapi dengan 3 (tiga) buah baterai transistor 9 volt dan dapat dioperasikan pada arus sebesar 2 mA.

3.4.4 Accelerometer

Accelerometer yang akan digunakan dalam penelitian ini diproduksi oleh KISTLER. *Accelerometer* ini dapat digunakan untuk mengukur getaran pada struktur dengan kemampuan frekuensi yang cukup tinggi. Alat ini dapat mengukur getaran pada struktur segera setelah suatu percepatan terjadi pada struktur.

Pada pengujian ini digunakan *accelerometer* tipe 8620. *Accelerometer* tipe ini mempunyai ukuran yang kecil dan impedansi yang rendah. Seperti kebanyakan *accelerometer*, sensitivitas dari tipe ini menyatakan suatu angka perbandingan (ratio) antara keluaran listrik (electrical output) dan percepatan yang diberikan

3.4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 24 variasi pelat yang terbuat dari mortar ditambah agregat kasar dengan mutu K-300 dicampur dengan variasi kandungan metal fiber per m³ balok adalah 0%, 1%, 2%, dan 3%. Untuk menguji karakteristik benda uji, dilakukan test tekan dan modulus elastisitas untuk setiap tipe dari benda uji.

Secara umum, gambaran perjalanan penelitian adalah kedua ujung dari pelat diberi perletakan sendi – sendi, kemudian dibebani dengan

menjatuhkan beban 50 N sejarak 10 cm ke bagian tengah pelat, pembebanan tersebut berupa beban tumbukan terbagi merata.

Tabel 3.4. Tabel Jumlah Kebutuhan Pelat

| Kandungan Fiber (%) | Terendam | Tidak Terendam |
|---------------------|----------|----------------|
| | (buah) | (buah) |
| 0 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 |
| Subtotal | 12 | 12 |
| Total | 24 | |

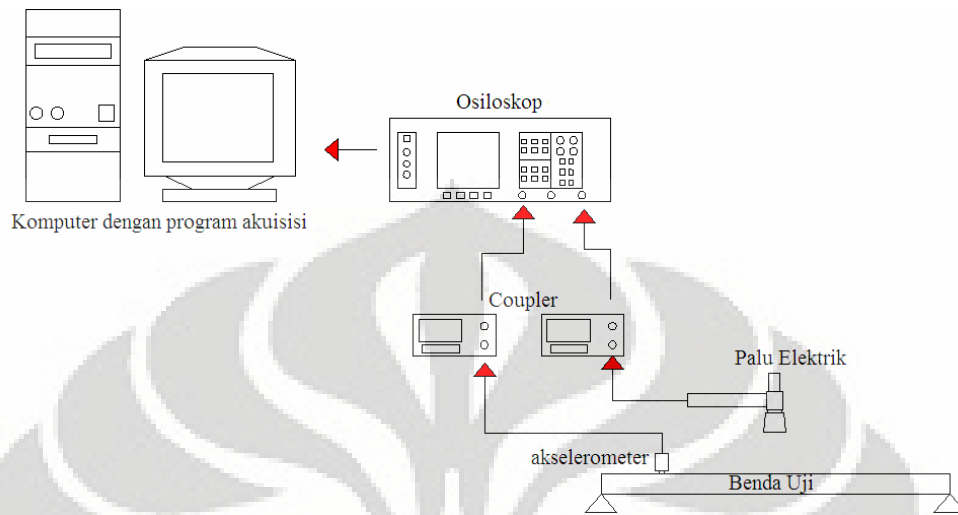
Untuk pelat, ada perbedaan pada cara perendaman dengan sampel silinder (yang terendam). Pada sampel pelat yang terendam, setelah diangkat di hari ke-28, pelat tersebut direndam kembali di dalam kolam sehari sebelum pengujian dinamik dilakukan. Sedangkan untuk pelat yang tidak rendam, sama seperti sample silinder tidak rendam, yaitu setelah berumur 7 hari, pelat diangkat dari kolam, dan dilakukan curing lanjutan dengan karung goni basah selama 7 hari.

3.4.6 Program Akuisisi

Program ini dibuat dalam bahasa HT-BASIC dengan kemampuan membaca dan merekam data yang berasal dari osiloskop PHILIPS sehingga dapat dibaca oleh komputer mikro (PC) untuk penggunaan lebih lanjut. Disini terdapat pilihan untuk jumlah kanal osiloskop yang digunakan, yaitu dua atau empat kanal, serta pilihan konfigurasi dari perekaman data.

III.5 PENGUJIAN DINAMIK BENDA UJI BALOK

3.5.1 Set-up Pengukuran Alat



Gambar 3.2. Instrumentasi alat yang digunakan

3.5.2 Tahap Pengujian

Untuk pengujian pelat terendam, pengujian diawali dengan merendam sampel pelat rendam yang ingin diuji sehari sebelum pengujian. Pada hari pelat ingin diuji, pelat tersebut diangkat dari kolam, dan dibiarkan kira – kira selama 30 menit. Untuk pelat tidak rendam, pelat bisa langsung diuji.

Tujuan dari pengujian adalah untuk mendapatkan data sinyal percepatan dari benda uji. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan *accelerometer* tepat pada titik tengah bentang dari benda uji. Alasan diletakkannya *accelerometer* pada lokasi ini adalah agar sinyal yang didapat, dapat mewakili keadaan yang sebenarnya.

Untuk mendapatkan sinyal percepatan dari benda uji, dilakukan pembebanan berupa beban tumbukan pada titik tengah bentang dari ujung pelat. Beban tumbukan yang bekerja pada pelat merupakan beban tumbukan terbagi merata berulang hingga pelat tersebut mengalami keruntuhan (*failure*).

Untuk mengetahui frekuensi awal benda uji, sebelum dilakukan pembebanan, benda uji yang telah dipasangkan akselerometer tersebut dipukul menggunakan palu elektrik. Sinyal berupa getaran pada benda uji akibat pukulan palu elektrik, langsung ditangkap oleh akselerometer, yang kemudian melalui *coupler*, sinyal tersebut diterjemahkan menjadi suatu grafik percepatan dan dibaca oleh osiloskop. Setelah osiloskop membaca sinyal tersebut, dengan bantuan program akuisisi, kita dapat merekamnya ke dalam disket, dan mengolahnya untuk mendapatkan data frekuensi.

Selanjutnya, benda uji dibebani dengan beban tumbukan dengan berat 50 N dan tinggi 10 cm. Perekaman frekuensi dilakukan setiap sepuluh kali tumbukan. Tiap tumbukan satu dengan tumbukan berikutnya, diberi jeda waktu 30 detik. Benda uji dibebani terus hingga benda uji tersebut mengalami keruntuhan.

3.5.3 Tahap Pengambilan Data

Setelah semua peralatan dipasang dengan tepat, maka pengujian siap dilaksanakan. Pengujian dilaksanakan dengan cara mengamati respons struktur pada titik tengah dari pelat beton tersebut akibat beban tumbukan terbagi merata dengan menggunakan beban seberat 50 N setinggi 10 cm dari benda uji.

Frekuensi pertama diambil ketika benda belum mengalami pembebanan. Akselerometer diletakkan di seperempat bentang. Pelat dipukul dengan palu elektrik pada tengah bentangnya. Sinyal getaran dari palu elektrik merangsang akselerometer untuk merekam percepatan. Percepatan tersebut diinterpretasi oleh osiloskop, dan dapat direkam di komputer. Percepatan diolah menggunakan program pada komputer tersebut, yaitu program HT basic yang basis FFT (akuisisi data) untuk mendapatkan data frekuensi.

Pengambilan data percepatan selanjutnya dilakukan tidak kontinu melainkan per siklus yaitu perekaman tiap 10 kali tumbukan. Data tersebut dicatat, setelah itu dilakukan pengambilan data lagi setelah 10 siklus berikutnya.

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 UMUM

Pengujian laboratorium bertujuan untuk mendapatkan data percepatan dari benda uji berupa struktur pelat tipis satu arah sederhana dengan perletakan sendi-sendi. Data – data percepatan tersebut kemudian akan diolah menggunakan suatu program untuk mendapatkan parameter – parameter yang diinginkan yaitu respons dari benda uji berupa respon frekuensinya. Setelah mendapatkan data parameter berupa frekuensi, data tersebut akan dibandingkan satu sama lain (berdasarkan kandungan fiber dalam beton yang terdapat pada benda uji) dan disajikan dalam grafik. Dari penyajian grafik tersebut, kita dapat menyimpulkan kandungan fiber mana dalam beton yang memberikan pengaruh positif paling optimum.

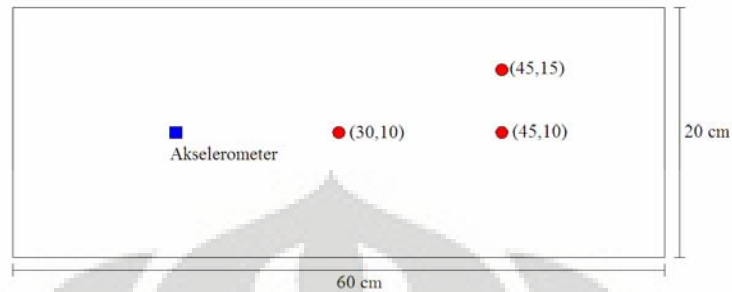
Untuk membandingkan hasil pengujian laboratorium, benda uji diperiksa juga dengan menggunakan program analisa struktur yaitu SAP 2000 v.10. Input untuk dimasukkan ke dalam program ini adalah kuat tekan silinder (f_c'), modulus elastisitas, berat jenis (kg/m^3) dan Poisson Ratio.

4.2 PEMERIKSAAN STRUKTUR

Pemeriksaan struktur menggunakan program analisa struktur, yaitu SAP 2000 v.10, dengan mengasumsikan beban yang terjadi merupakan murni beban/berat sendiri benda uji. selain itu, pemeriksaan struktur selanjutnya juga dilakukan melalui pengujian, dengan memperlakukan pembebanan terbagi merata dengan besar beban 50 N (5 kg) kepada benda uji.

Tabel berikut merupakan tabel data mengenai frekuensi awal benda sebelum dilakukannya pembebanan. Diuji dengan menggunakan palu elektrik yang dipukul pada tengah titik dengan koordinat tertentu pada benda uji (lihat gambar) dan akselerometer yang diletakkan pada seperempat bentang dari benda

uji. Adapun tujuan pengujian pada tiga titik berbeda tersebut adalah untuk mengetahui apakah frekuensi pada titik yang berbeda sama atau tidak.



Gambar 4.1. Gambar Koordinat Letak Pukulan Pelat dengan Palu Elektrik dan Letak Akselerometer

Tabel 4.1. Tabel Frekuensi Awal dan Periode pada Tiga Titik yang Berbeda

| Variabel | R/TR | Letak Palu | Frekuensi Benda Uji (HZ) | T Benda Uji (ms) |
|----------|------|------------|--------------------------|----------------------|
| | | | (sebelum pembebanan) | (sebelum pembebanan) |
| 0% | TR | (30 , 10) | 214,84375 | 4,654545455 |
| | | (45 , 10) | 214,84375 | 4,654545455 |
| | | (45 , 15) | 214,84375 | 4,654545455 |
| 1% | TR | (30 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 10) | 195,3125 | 5,12 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 2% | TR | (30 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 10) | 214,8437 | 4,654546538 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 3% | TR | (30 , 10) | 195,3125 | 5,12 |
| | | (45 , 10) | 195,3125 | 5,12 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 0% | R | (30 , 10) | 283,203125 | 3,531034483 |
| | | (45 , 10) | 283,203125 | 3,531034483 |
| | | (45 , 15) | 283,203125 | 3,531034483 |
| 1% | R | (30 , 10) | 185,546875 | 5,389473684 |
| | | (45 , 10) | 185,546875 | 5,389473684 |
| | | (45 , 15) | 185,546875 | 5,389473684 |
| 2% | R | (30 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |

Dari tabel tersebut, dapat kita simpulkan bahwa pengecekan frekuensi pada titik lain (selain titik tengah bentang) menghasilkan frekuensi yang sama.

Tabel berikut merupakan perbandingan antara hasil percobaan laboratorium dalam menghitung frekuensi dengan hasil program analisa struktur SAP 2000 v.10

Tabel 4.2. Tabel Hasil Frekuensi Awal dan Periode Benda Uji pada Percobaan dan Analisa Program SAP

| Kadar Fiber (%) | Kondisi | | T awal (ms) | | F awal (Hz) | |
|-----------------|------------|-------------------|-------------|-------|-------------|--------|
| | Rendam (R) | Tidak Rendam (TR) | Percobaan | SAP | Percobaan | SAP |
| 0 | | TR | 4,655 | 5,710 | 214,843 | 175,14 |
| 1 | | TR | 5,689 | 5,987 | 175,78 | 167,04 |
| 2 | | TR | 4,876 | 7,410 | 205,078 | 134,95 |
| 3 | | TR | 5,12 | 8,168 | 195,3125 | 122,43 |
| 0 | R | | 6,024 | 6,675 | 166,015 | 149,82 |
| 1 | R | | 5,12 | 6,843 | 195,31 | 146,14 |
| 2 | R | | 5,689 | 7,158 | 175,78 | 139,71 |
| 3 | R | | 4,096 | 7,544 | 244,14 | 132,56 |

Terlihat pada tabel, perbedaan periode awal benda uji, tidak jauh berbeda antara percobaan laboratorium dengan menggunakan program.

4.3 PENGUJIAN MATERIAL

Untuk mengetahui besarnya karakteristik dari benda uji, maka dilakukan uji tekan dan uji modulus elastisitas, dimana pada pengujian ini digunakan sample berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. benda uji didesain dengan mutu beton K-300.

Jumlah kebutuhan sample benda uji sebagai berikut :

Tabel 4.3. Tabel Jumlah Kebutuhan Silinder

| Kandungan Fiber (%) | Terendam | Tidak Terendam |
|---------------------|----------|----------------|
| | (buah) | (buah) |
| 0 | 5 | 5 |
| 1 | 5 | 5 |
| 2 | 5 | 5 |
| 3 | 5 | 5 |
| Subtotal | 20 | 20 |
| Total | 40 | |

Silinder benda uji terbagi atas dua macam, yaitu terendam dan tidak terendam. Silinder tidak terendam di-*curing* selama 7 hari di dalam kolam, lalu diangkat setelah 7 hari tersebut. Setelah diangkat, silinder tersebut tetap di-*curing* dengan

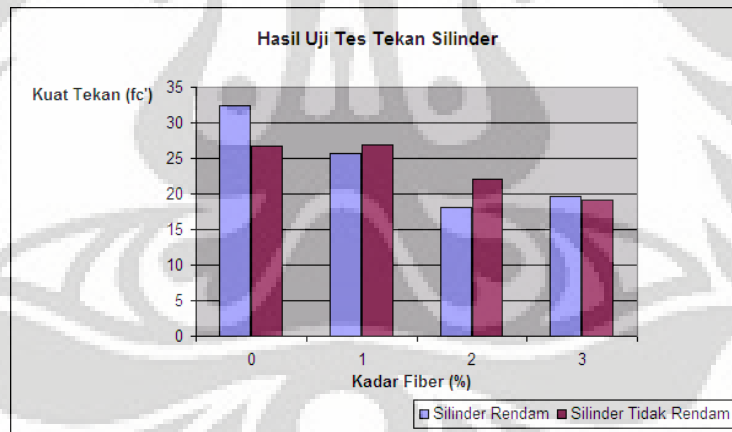
karung goni basah selama 7 hari. Diuji kekuatan tekannya pada hari ke-28 bersama dengan silinder yang mengalami perendaman.

Silinder yang terendam di-*curing* selama 28 hari di kolam. Diangkat pada saat hari ke-28, dan langsung dilakukan pengujian tes tekan beton (setelah sebelumnya dilakukan proses *capping*).

Tabel 4.4. Tabel Hasil Tes Tekan

| Kadar Fiber (%) | Kondisi | | Kuat Tekan (f_c') (Mpa) | Berat Jenis (Kg/m ³) |
|-----------------|---------|----|-----------------------------|----------------------------------|
| | R | TR | | |
| 0 | | TR | 26.6405 | 2348.0593 |
| 1 | | TR | 26.934 | 2343.30575 |
| 2 | | TR | 22.037 | 2375.557 |
| 3 | | TR | 19.078 | 2325.695 |
| 0 | R | | 32.37749 | 2355.3578 |
| 1 | R | | 25.7096 | 2392.3191 |
| 2 | R | | 18.058 | 2423.72 |
| 3 | R | | 19.588 | 2436.452 |

Gambar 4.2. Grafik hasil tes tekan



Terdapat perbedaan pada sampel untuk pengujian tes tekan silinder 0% terendam. Sampel ini diangkat pada hari ke-27, dan dilakukan pengujian tes tekan pada keesokan harinya, yaitu hari ke-28.

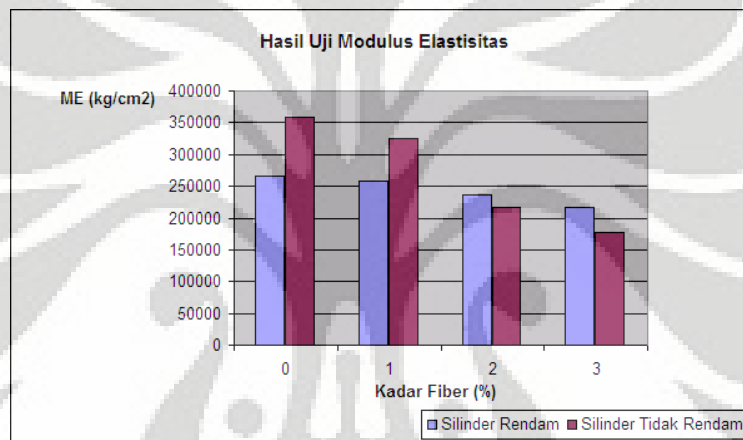
Terlihat dari grafik, penambahan fiber mengurangi kekuatan tekan beton. Dan kekuatan tekan beton yang tidak terendam lebih besar dibandingkan dengan beton rendam. Hal ini sesuai dengan hipotesa awal, yaitu terjadi penurunan mutu beton akibat perendaman selama 28 hari.

Hasil modulus elastisitas dan angka poisson.

Tabel 4.5 Tabel Modulus Elastisitas beton fiber

| Kadar Fiber (%) | Kondisi | | ME (kg/cm ²) | Poisson's Ratio |
|-----------------|---------|----|--------------------------|-----------------|
| | R | TR | | |
| 0 | | TR | 358517,83 | 0,2331 |
| 1 | | TR | 325733,8321 | 0,1395 |
| 2 | | TR | 216075,1366 | 0,1797 |
| 3 | | TR | 177041,515 | 0,199 |
| 0 | R | | 266666,4783 | 0,1509 |
| 1 | R | | 258189,8612 | 0,1951 |
| 2 | R | | 236096,8105 | 0,1765 |
| 3 | R | | 215787,0138 | 0,2288 |

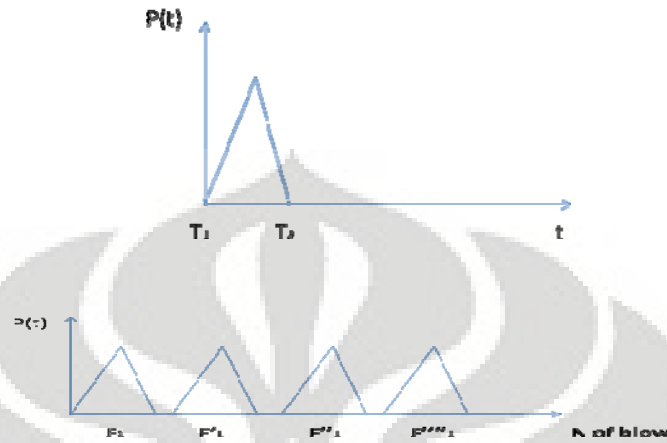
Gambar 4.3. Plot grafik hasil tes modulus elastisitas



Hasil modulus elastisitas pada silinder tidak rendam 0% terlihat sangat besar. Hal ini dikarenakan sampel silinder baru dilakukan pengujian setelah kira – kira 2 bulan dicetak. Semakin lama beton didiamkan, kekuatannya akan makin besar. Begitu juga dengan sampel 0% ini. Angka tes tekannya pun sangat besar.

4.4 PERHITUNGAN BEBAN IMPULS DAN TUMBUKAN

Adapun hasil yang akan didapat saat dilakukan pembebanan terhadap benda uji (balok) yang muncul di layar *Osciloscop*. Dibawah ini adalah grafik impuls akibat tumbukan oleh beban. Pengujian Tumbukan Sederhana (Spektrum Fourier)



Gambar 4.4. Grafik beban tumbukan dan Frekuensi

Penentuan beban tumbukan diawali dengan menghitung waktu yang dibutuhkan dari posisi awal hingga menumbuk benda uji pada suatu ketinggian.

Penentuan ini didapat dari perbedaan waktu pada sinyal beban dan akselerometer yang tercatat dikalikan dengan skala d4isi.

Maka dengan rumus :

$$v = \frac{s}{t}$$

dimana :

s = Jarak

t = waktu aplikasi beban di balok

v = kecepatan jatuh benda

Selanjutnya, dengan massa beban diketahui, maka :

$$P = m \times v$$

Untuk mendapatkan gaya impuls (momentum yang bekerja pada selang waktu tertentu), maka dapat dicari lamanya beban tumbukan bekerja didapat dari sinyal jatuh beban.

$$I = \frac{P}{t}$$

dimana :

- I = Impuls (perubahan momentum)
P = Momentum (N.s)
t = waktu



Gambar 4.5. Waktu Jatuh Beban

berdasarkan perhitungan dan percobaan yang dilakukan, didapatkan :

$$\Delta P = m_1 \times v_1 - m_2 \times v_2$$

$$\Delta P = m_1 \times v_1 - 0$$

$$\Delta P = 5 \text{ kg} \times 1,19 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = 5,95 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

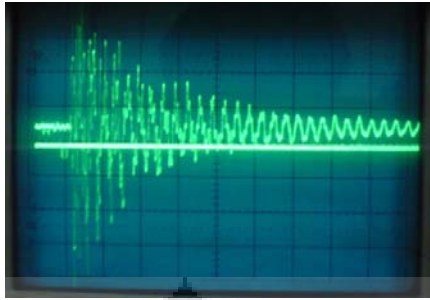
$$\Delta P = 5,95 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{s}}{\text{s}}$$

$$\Delta P = 5,95 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{s}$$

$$\Delta P = 5,95 \text{ N} \cdot \text{s}$$

Tabel 4.6. Waktu Tempuh Beban 5 kg (50 N) Menumbuk Benda Uji

| H (cm) | Tinggi (m) | Waktu jatuh (s) | Kecepatan (m/s) | Kecepatan (m/s) $(\sqrt{2gh})$ | Momentum (p) Kg.m/s |
|--------|------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|---------------------|
| 6 | 0,06 | 0,074 | 0,81 | 1,08 | 4,05 |
| 8 | 0,08 | 0,077 | 1,04 | 1,25 | 5,2 |
| 10 | 0,1 | 0,084 | 1,19 | 1,40 | 5,95 |



Gambar 4.6. Impuls dari Tumbukan Peluru

Dari gambar 4. skala 1 d4isi adalah 1 mili detik, maka lamanya waktu gaya impuls yang bekerja adalah $1 \text{ d4} \times 1 \text{ milidetik} = 0,001 \text{ detik}$.

$$I = F' \cdot \Delta t$$

$$I = \Delta P$$

$$\Delta P = F' \cdot \Delta t$$

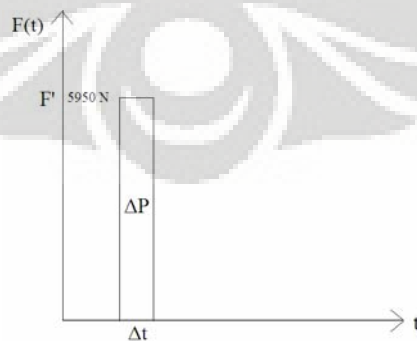
$$F' = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

Dari percobaan didapatkan $\Delta t = 0,001 \text{ s}$

$$F' = \frac{5,95}{0,001} = 5950 \text{ N}$$

Tabel 4.7. Tabel Gaya F'

| h (cm) | Momentun (p) kg.m/det | Waktu Sentuh Δt | Gaya (F') N |
|--------|--------------------------|----------------------------|----------------|
| 6 | 4,05 | 0,001 | 4050 |
| 8 | 5,2 | 0,001 | 5200 |
| 10 | 5,95 | 0,001 | 5950 |



Gambar 4.7. Grafik gaya F'

4.5 ANALISA FREKUENSI

Parameter frekuensi dengan menggunakan metode Transformasi Fourier Cepat (FFT) yang pada awalnya bekerja pada ranah waktu akan berada dalam ranah frekuensi. Proses pencarian nilai frekuensi adalah mengambil frekuensi – frekuensi yang mempunyai titik puncak pada interval tertentu. Pada program ini berada interval 0 s/d 5000 Hz sehingga diperlukan pembagian – pembagian interval yang lebih kecil untuk mendapatkannya.

Berdasarkan sajian tabel dan grafik, terlihat bahwa telah terjadi pergeseran frekuensi ke arah yang lebih kecil dari setiap benda uji.

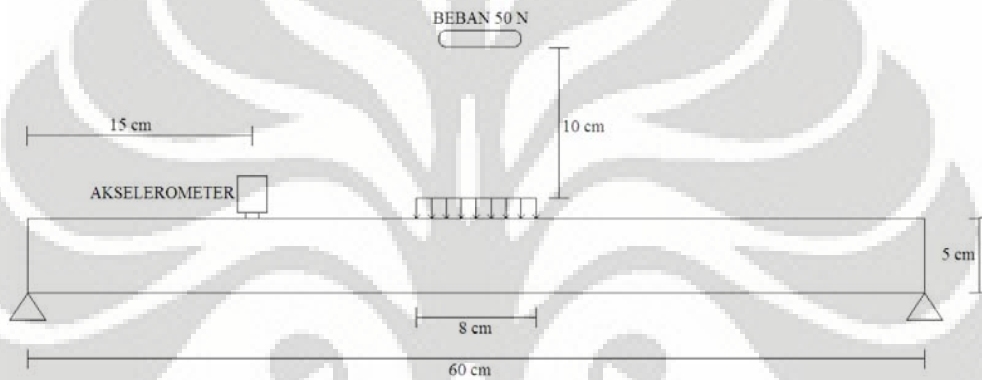
Pada frekuensi pertama (sebelum benda uji dibebani) yang diukur dengan palu elektrik dipukul pada tiga titik yang diwakili dengan koordinat, dan akselerometer diletakkan pada seperempat bentang, didapat hasil frekuensi pertama sebagai berikut :

Tabel 4.8. Frekuensi awal percobaan pada tiga titik

| Variabel | R/TR | Letak Palu | Frekuensi Benda Uji (HZ) | T Benda Uji (ms) |
|----------|------|------------|--------------------------|----------------------|
| | | | (sebelum pembebanan) | (sebelum pembebanan) |
| 0% | TR | (30 , 10) | 214,84375 | 4,654545455 |
| | | (45 , 10) | 214,84375 | 4,654545455 |
| | | (45 , 15) | 214,84375 | 4,654545455 |
| 1% | TR | (30 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 10) | 195,3125 | 5,12 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 2% | TR | (30 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 10) | 214,8437 | 4,654546538 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 3% | TR | (30 , 10) | 195,3125 | 5,12 |
| | | (45 , 10) | 195,3125 | 5,12 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 0% | R | (30 , 10) | 283,203125 | 3,531034483 |
| | | (45 , 10) | 283,203125 | 3,531034483 |
| | | (45 , 15) | 283,203125 | 3,531034483 |
| 1% | R | (30 , 10) | 185,546875 | 5,389473684 |
| | | (45 , 10) | 185,546875 | 5,389473684 |
| | | (45 , 15) | 185,546875 | 5,389473684 |
| 2% | R | (30 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 10) | 205,078125 | 4,876190476 |
| | | (45 , 15) | 205,078125 | 4,876190476 |
| 3% | R | (30 , 10) | 244,140625 | 4,096 |
| | | (45 , 10) | 244,140625 | 4,096 |
| | | (45 , 15) | 244,140625 | 4,096 |

Dari hasil tabel di atas terlihat bahwa frekuensi pertama yang simetrik (koordinat 30,10) dengan asimetrik (koordinat 45,10 ; 45,15) relatif sama

Pengujian berikutnya merupakan pengujian frekuensi pasca-pembebanan. Benda uji diberi beban berupa beban terbagi merata pada luasan tertentu. Agar beban menjadi beban terbagi merata yang bekerja pada benda uji, maka di atas benda uji diletakkan suatu pelat besi berukuran 2 cm x 8 cm x 20 cm dengan berat 3 kg, baru setelah itu dijatuhkan beban sebesar 50 N sejarak jatuh 10 cm tepat diatas pelat besi tersebut.



Gambar 4.8. Gambar pelat benda uji pada saat dilakukan pembebanan

Penggunaan pelat besi pada benda uji berpengaruh sangat kecil terhadap frekuensi. Hampir tes frekuensi yang dilakukan menggunakan palu elektrik menunjukkan hasil relatif sama antara pemukulan palu elektrik di atas pelat besi(dengan pelat besi tersebut) dengan tanpa pelat besi (pelat besi diangkat dari benda uji, lalu dipukul dengan palu elektrik). Hal ini bisa kita lihat dari tabel berikut ini (sebagai referensi, penulis mengambil contoh pada Pelat Tidak Rendam 3%) :

Tabel 4.9. Perbedaan frekuensi penggunaan pelat besi dengan tanpa pelat besi

| Jumlah Pukulan | Frekuensi (TANPA pelat besi) | Frekuensi (DENGAN pelat besi) |
|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0 | 195,3125 | 195,3125 |
| 10 | 195,3125 | 185,546875 |
| 20 | 195,3125 | 195,3125 |
| 30 | 195,3125 | 195,3125 |
| 40 | 195,3125 | 185,546875 |
| 50 | 185,546875 | 185,546875 |

| | | |
|-----|--------------|------------|
| 70 | 185,546875 | 185,541875 |
| 90 | 185,546875 | 185,541875 |
| 100 | 185,546875 | 175,78125 |
| 110 | 175,1875 | 175,78125 |
| 120 | 175,1875 | 175,78125 |
| 165 | 175,1875 | 175,78125 |
| 197 | 126,953125 | 136,7128 |
| 199 | 126,953125 | 126,953125 |
| 200 | 126,953125 | 126,953125 |
| 210 | 126,953125 | 136,7128 |
| 220 | 126,953125 | 126,953125 |
| 230 | 126,953125 | 126,953125 |
| 235 | 68,35 | 58,59375 |
| 250 | 68,35 | 68,359375 |
| 270 | 68,35 | 68,359375 |
| 280 | 68,35 | 58,59375 |
| 290 | 58,59375 | 58,59375 |
| 300 | 58,59375 | 58,59375 |
| 305 | 58,59375 | 48,828125 |
| 310 | 39,0625 | 39,0625 |
| 313 | PELAT RUNTUH | |

Menurut analisa penulis, hal ini dikarenakan sinyal dari palu elektrik yang ditangkap oleh akselerometer, antara dengan menggunakan pelat besi dan tanpa penggunaan pelat besi, menghasilkan getaran yang sama. Oleh karena itu, pelat besi dapat diasumsikan diabaikan, dan diasumsikan hanya sebagai media beban merata yang terlihat pada arah sumbu memanjang pelat sepanjang 8 cm yang berada di tengah bentang.



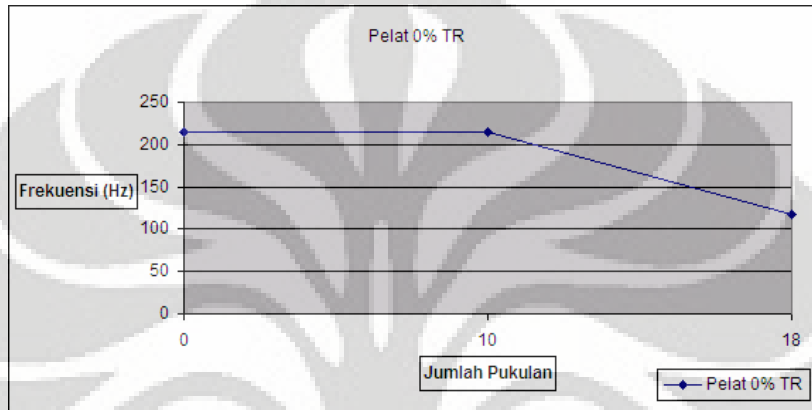
Gambar 4.9. Modelisasi tumbukan terbagi merata ditengah bentang

Berikut merupakan hasil perekaman frekuensi dari semua variasi kandungan fiber dengan perlakuan rendan dan tidak rendan. TR berarti tidak rendan, dan R berarti rendan.

Pelat TR 0%

Tabel 4.10. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 0%

| 0% TR | Jumlah Tumbukan | Frekuensi (Hz) | Periode (ms) | Keterangan |
|------------|-----------------|----------------|--------------|-------------|
| | 0 | 214,84375 | 4,654545 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 214,84375 | 4,654545 | |
| | 18 | 117,1875 | 8,533333 | Mulai retak |
| | 19 | Pelat Runtuh | | |



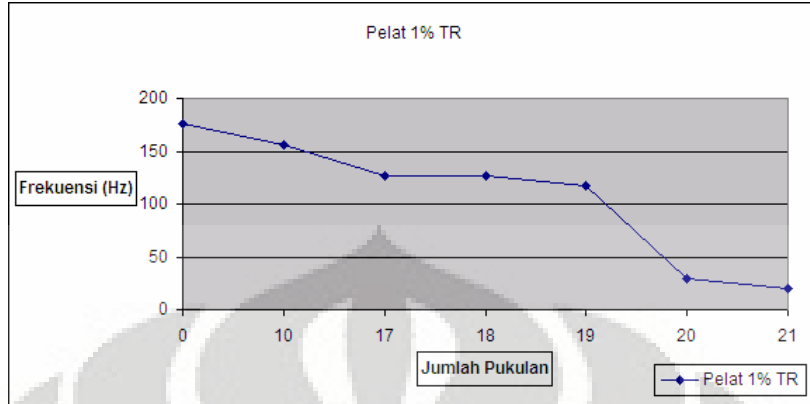
Gambar 4.10. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 0% TR

Pelat dengan kadar fiber 0% yang tidak terendam ini mulai mengalami keretakan setelah tumbukan ke-18. Setelah ditumbuk satu kali lagi (tumbukan ke 19), balok mengalami keruntuhan (*collapse*). Pada kasus pelat dengan kadar fiber 0% (tanpa fiber) ini, keretakan tidak ada yang menanggulangnya, sehingga setelah muncul retak pertama, begitu diberikan pembebanan selanjutnya, pelat tersebut langsung runtuh.

Pelat TR 1%

Tabel 4.11. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 1%

| 1% TR | Jumlah Tumbukan | Frekuensi (Hz) | Periode (ms) | Keterangan |
|------------|-----------------|----------------|--------------|-------------------------|
| | 0 | 175,78125 | 5,688888889 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 156,25 | 6,4 | |
| | 17 | 126,953125 | 7,876923077 | Mulai retak |
| | 18 | 126,953125 | 7,876923077 | Retak bertambah panjang |
| | 19 | 117,1875 | 8,533333333 | Retak bertambah panjang |
| | 20 | 29,296875 | 34,13333333 | Retak bertambah lebar |
| | 21 | 19,53125 | 51,2 | Retak bertambah lebar |
| | 22 | Pelat Runtuh | | |



Gambar 4.11. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 1% TR

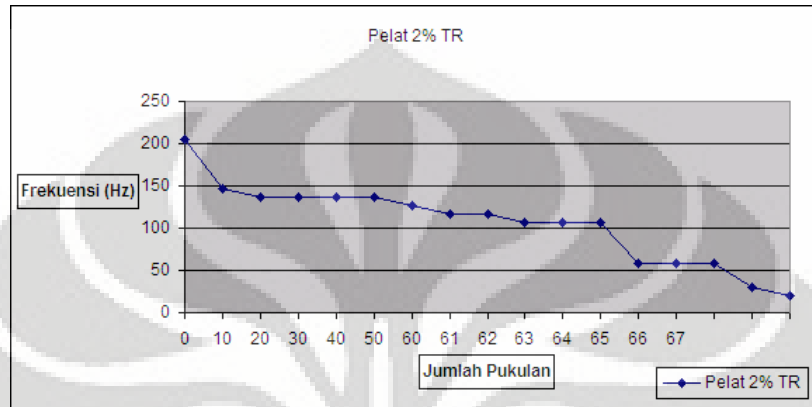
Pelat dengan kadar 1% tidak rendam ini mengalami runtuh pada tumbukan ke 22. Pada tumbukan ke 10, frekuensi pelat sudah mulai menurun. Dan retak pertama muncul pada saat tumbukan ke 17. Pada tumbukan seterusnya, yaitu tumbukan 18 dan 19, retak tumbukan ke 17 makin bertambah panjang, diikuti dengan semakin menurunnya frekuensi. Pada tumbukan ke 20 dan 21, retak pada tumbukan ke 17 makin melebar, dan frekuensi drop menjadi 19,53125 Hz sebelum pelat tersebut runtuh pada tumbukan ke 22.

Pelat TR 2%

Tabel 4.12. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 2%

| 2% TR | Jumlah Pukulan | Frekuensi (Hz) | T (ms) | Keterangan |
|------------|----------------|----------------|-------------|---------------------|
| | 0 | 205,78 | 4,859558752 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 146,484375 | 6,826666667 | |
| | 17 | 136,71875 | 7,314285714 | Mulai Retak |
| | 19 | 136,71875 | 7,314285714 | Mulai Retak |
| | 21 | 136,71875 | 7,314285714 | Keretakan Bertambah |
| | 25 | 136,71875 | 7,314285714 | |
| | 28 | 126,953125 | 7,876923077 | Keretakan Bertambah |
| | 30 | 117,1875 | 8,533333333 | |
| | 34 | 117,1875 | 8,533333333 | Keretakan Bertambah |
| | 38 | 107,421875 | 9,309090909 | Keretakan Bertambah |
| | 40 | 107,421875 | 9,309090909 | |
| | 43 | 107,421875 | 9,309090909 | Keretakan Bertambah |

| | | | | |
|--|----|--------------|-------------|---------------------------|
| | 46 | 58,59375 | 17,06666667 | |
| | 48 | 58,59375 | 17,06666667 | |
| | 50 | 58,59375 | 17,06666667 | Keretakan Bertambah |
| | 51 | 29,296875 | 34,13333333 | Keretakan Bertambah Lebar |
| | 52 | 19,53125 | 51,2 | Keretakan Bertambah Lebar |
| | 53 | Pelat Runtuh | | |



Gambar 4.12. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 2% TR

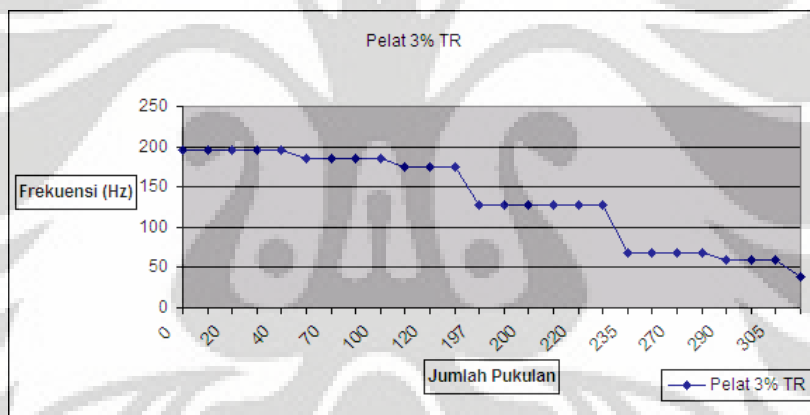
Pelat dengan isi kandungan fiber terlihat mempunyai kelebihan dalam mengatasi retak. Terlihat tahapan dalam penurunan frekuensi sampai pelat tersebut runtuh. Pada pelat tidak rendam dengan kadar fiber 2% ini, keretakan mulai muncul pada tumbukan ke 17, dan runtuh pada tumbukan ke 53. Keretakan terus bertambah seiring dengan penumbukan, dan frekuensi terus berkurang seiring bertambahnya keretakan. Keretakan bertambah lebar pada tumbukan ke 51 dan 52 (sesaat sebelum pelat mengalami keruntuhan)

Pelat TR 3%

Tabel 4.13. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi TR 3%

| 3% TR | Jumlah Pukulan | Frekuensi (Hz) | T (ms) | Keterangan |
|------------|----------------|----------------|-------------|------------|
| | 0 | 195,3125 | 5,12 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 20 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 30 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 40 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 50 | 185,546875 | 5,389473684 | |
| | 70 | 185,546875 | 5,389473684 | |
| | 90 | 185,546875 | 5,389473684 | |
| | 100 | 185,546875 | 5,389473684 | |

| | | | | |
|--|-----|------------|-------------|--------------------|
| | 110 | 175,1875 | 5,708169818 | |
| | 120 | 175,1875 | 5,708169818 | |
| | 165 | 175,1875 | 5,708169818 | |
| | 197 | 126,953125 | 7,876923077 | Mulai Muncul Retak |
| | 199 | 126,953125 | 7,876923077 | Retak Bertambah |
| | 200 | 126,953125 | 7,876923077 | Retak Bertambah |
| | 210 | 126,953125 | 7,876923077 | |
| | 220 | 126,953125 | 7,876923077 | |
| | 230 | 126,953125 | 7,876923077 | |
| | 235 | 68,35 | 14,63057791 | Retak Bertambah |
| | 250 | 68,35 | 14,63057791 | |
| | 270 | 68,35 | 14,63057791 | |
| | 280 | 68,35 | 14,63057791 | |
| | 290 | 58,59375 | 17,06666667 | |
| | 300 | 58,59375 | 17,06666667 | |
| | 305 | 58,59375 | 17,06666667 | |
| | 310 | 39,0625 | 25,6 | |
| | 313 | | | Pelat Runtuh |



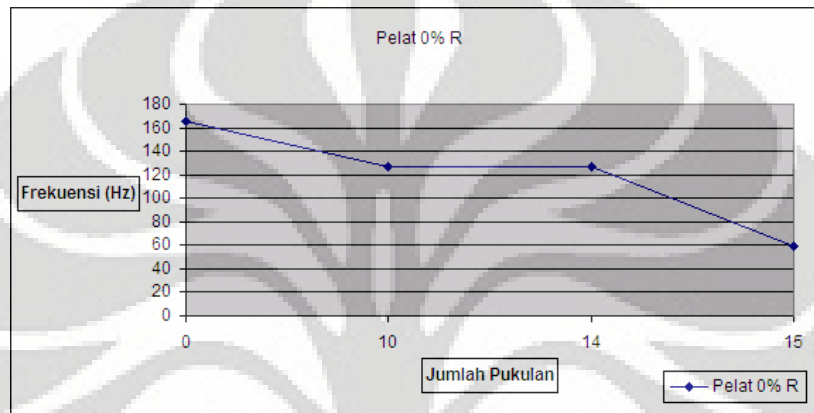
Gambar 4.13. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 3% TR

Pelat tidak randam 3% ini bisa dikatakan cukup kuat melihat tumbukan yang dilakukan dengan beban 50 N ketinggian 10 cm, pelat ini runtuh pada tumbukan ke 313. frekuensi mulai turun pada tumbukan ke 50, namun keretakan belum muncul pada saat itu. Begitu juga pada tumbukan ke 50 dan 110, frenkuensi turun namun belum terjadi keretakan. Keretakan kecil mulai muncul pada tumbukan ke 197, diikuti dengan penurunan frekuensi. Pelat terus menahan runtuh, dan terus mengalami penambahan retak dan pelebaran retak juga penurunan frekuensi. Pada tumbukan ke 313, pelat tersebut runtuh.

Pelat R 0%

Tabel 4.14. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 0%

| 0% R | Jumlah Tumbukan | Frekuensi (Hz) | Periode (ms) | Keterangan |
|------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|
| | 0 | 166,015625 | 6,023529412 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 126,953125 | 7,876923077 | |
| | 14 | 126,953125 | 7,876923077 | Mulai retak |
| | 15 | 58,59375 | 17,06666667 | Retak bertambah |
| | 16 | | | Pelat Runtuh |



Gambar 4.14. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 0% R

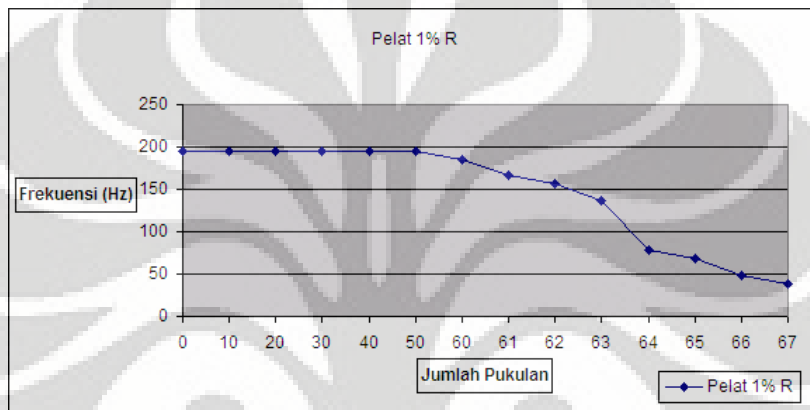
Seperti yang kita ketahui, pelat dengan kadar fiber 0% (plain concrete) bersifat getas. Ketika beton ini mengalami retak, tidak ada yang bisa mengatasi keretakan tersebut hingga jika beton tersebut dibebani lagi, akan runtuh. Terlihat dari tabel, pelat ini saat setelah dibebani pada tumbukan ke 10, frekuensinya sudah mulai turun (namun belum terlihat tanda – tanda keretakan). Setelah itu pada saat tumbukan ke 14 muncul retak kecil pertama, tumbukan ke 15 retak 14 mulai bertambah lebar dan terjadi penurunan frekuensi, dan pada tumbukan ke 16, pelat tersebut runtuh.

Pelat R 1%

Tabel 4.15. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 1%

| 1% R | Jumlah Tumbukan | Frekuensi (Hz) | Periode (ms) | Keterangan |
|------------|-----------------|----------------|--------------|------------|
| | 0 | 195,3125 | 5,12 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 20 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 30 | 195,3125 | 5,12 | |

| | | | | |
|--|----|----------|--------|--------------------------------------|
| | 40 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 50 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 60 | 185,5468 | 5,389 | Mulai retak |
| | 61 | 166,0156 | 6,023 | Retak bertambah panjang |
| | 62 | 156,25 | 6,4 | Retak bertambah panjang |
| | 63 | 136,718 | 7,314 | Retak bertambah panjang |
| | 64 | 78,125 | 12,8 | Retak bertambah panjang dan menyebar |
| | 65 | 68,159 | 14,678 | Retak menyebar |
| | 66 | 48,828 | 20,48 | Retak bertambah lebar |
| | 67 | 39,0625 | 25,6 | Retak bertambah lebar |
| | 68 | | | Pelat Runtuh |



Gambar 4.15. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 1% R

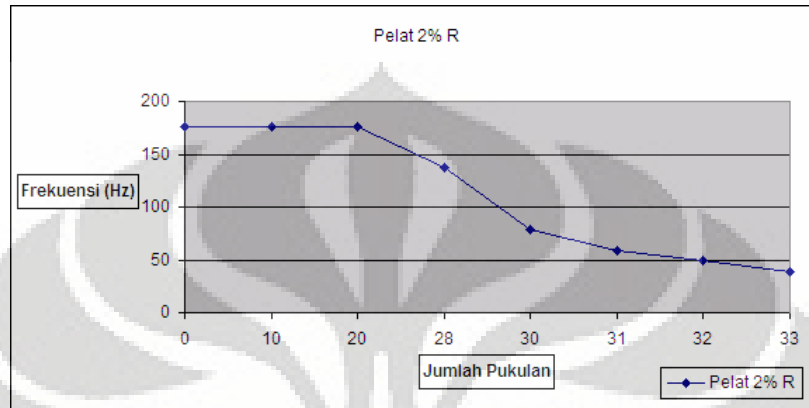
Frekuensi terlihat konstan dari tumbukan ke 0 hingga tumbukan ke 50. Pada tumbukan ke 60, frekuensi mulai turun dan mulai muncul retak pada saat itu. Frekuensi makin menurun seiring dengan pemberian beban tumbukan hingga pelat runtuh. Pada tumbukan ke 61, 62 dan 63, retak makin bertambah panjang. Pada tumbukan ke 64 dan 65, retakan menjalar (menyebar). Tumbukan ke 66 dan 67 membuat retakan menjadi makin lebar dan pada akhirnya pelat runtuh pada tumbukan ke 68.

Pelat R 2%

Tabel 4.16. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 2%

| 2% R | Jumlah Pukulan | Frekuensi (Hz) | T (ms) | Keterangan |
|------------|----------------|----------------|--------|-------------|
| | 0 | 175,78125 | 5,688 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 175,78125 | 5,688 | |
| | 20 | 175,78125 | 5,688 | |
| | 28 | 136,7128 | 7,315 | Mulai Retak |

| | | | | |
|--|----|--------------|--------|--------------------------------------|
| | 30 | 78,125 | 12,8 | Retak bertambah panjang dan menyebar |
| | 31 | 58,59375 | 17,067 | Retak bertambah panjang |
| | 32 | 48,828125 | 20,48 | Retak bertambah panjang dan menyebar |
| | 33 | 39,0625 | 25,6 | Retak bertambah lebar |
| | 34 | Pelat Runtuh | | |



Gambar 4.16. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 2% R

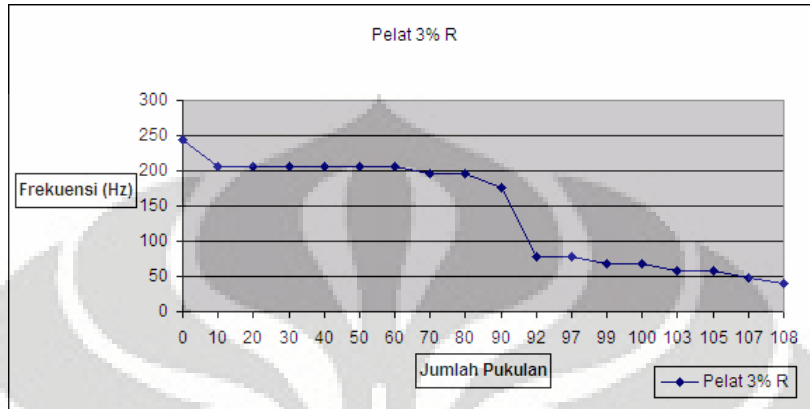
Frekuensi terlihat konstan pada awal – awal tumbukan. Dan menurun ketika pelat tersebut mulai mengalami keretakan, yaitu pada tumbukan ke 28. Pelat tersebut dapat menahan retak sampai pada tumbukan ke 33, di mana sebelum runtuh, keretakan bertambah panjang dan menyebar, serta makin bertambah lebar.

Pelat 3% R

Tabel 4.17. Tabel frekuensi dan jumlah tumbukan yang terjadi R 3%

| 3% R | Jumlah Pukulan | Frekuensi (Hz) | T (ms) | Keterangan |
|------------|----------------|----------------|-------------|-------------------------|
| | 0 | 244,140625 | 4,096 | |
| 50 N 10 cm | 10 | 205,078125 | 4,876190476 | |
| | 20 | 205,078125 | 4,876190476 | |
| | 30 | 205,078125 | 4,876190476 | |
| | 40 | 205,078125 | 4,876190476 | |
| | 50 | 205,078125 | 4,876190476 | |
| | 60 | 205,078125 | 4,876190476 | |
| | 70 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 80 | 195,3125 | 5,12 | |
| | 90 | 175,78125 | 5,688888889 | Mulai retak |
| | 92 | 78,125 | 12,8 | Retak bertambah panjang |
| | 97 | 78,125 | 12,8 | Retak bertambah panjang |
| | 99 | 68,359375 | 14,62857143 | Retak menyebar |
| | 100 | 68,359375 | 14,62857143 | retak bertambah lebar |
| | 103 | 58,59375 | 17,06666667 | retak bertambah lebar |

| | | | | |
|--|-----|--------------|-------------|-----------------------|
| | 105 | 58,59375 | 17,06666667 | retak bertambah lebar |
| | 107 | 48,828125 | 20,48 | retak bertambah lebar |
| | 108 | 39,0625 | 25,6 | retak bertambah lebar |
| | 109 | Pelat Runtuh | | |



Gambar 4.17. Grafik Frekuensi vs Jumlah Tumbukan 3% R

Pelat dengan kadar fiber 3% randam ini bisa dikatakan cukup kuat terhadap tumbukan. Frekuensi mulai turun pada tumbukan ke 10, dan terus konstan hingga tumbukan ke 60. pelat ini mulai retak pada tumbukan ke 90, diikuti dengan penurunan frekuensi. Terlihat tahapan penurunan frekuensi hingga pelat tersebut runtuh pada tumbukan ke 109.

4.6 ANALISA POLA RETAK PELAT

Beton polos (plain concrete, beton tanpa tulangan) hanya akan mencapai kondisi elastis (distribusi tegangan segitiga), dan tidak akan mencapai kondisi ultimit (distribusi tegangan parabola – garis lurus). Karena kekuatan tarik beton hanya 10% dari kuat tekannya. Olehkarena itu, beton dikompositkan dengan material seperti baja tulangan yang dapat menahan tarik. Namun jika tidak terdapat tulangan di dalamnya, maka jika terjadi keretakan beton tersebut akan mengalami failure.

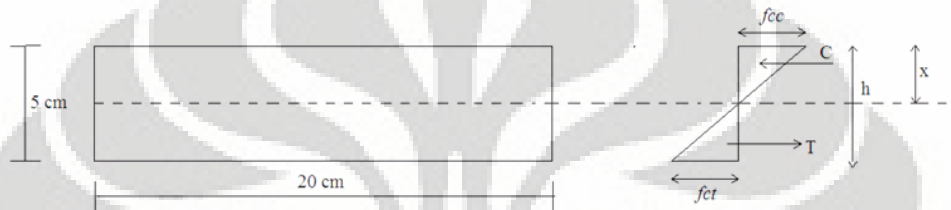
Pada skripsi ini, benda uji yang digunakan adalah pelat tipis satu arah yang dapat diasumsikan menjadi balok dengan penampang lebar. Pola retaknya mirip seperti pada balok.

Beton berserat memiliki kuat tarik berasal dari fiber yang dikandungnya. Dalam skripsi ini, fiber yang dipakai berupa staples yang tersebar dan tercampur

secara merata di seluruh adukan beton. Kondisi seperti ini memungkinkan beton berserat dapat mencapai kondisi ultimit.

Berikut merupakan hitungan analisa mengenai momen retak dari semua variasi kandungan fiber beserta perlakuan rendam dan tidak rendam. Dengan asumsi, pelat merupakan pelat satu arah yang bisa dianggap sebagai balok dengan penampang lebar :

1. Pelat TR 0%



Gambar 4.18. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 0%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan yang terjadi adalah tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

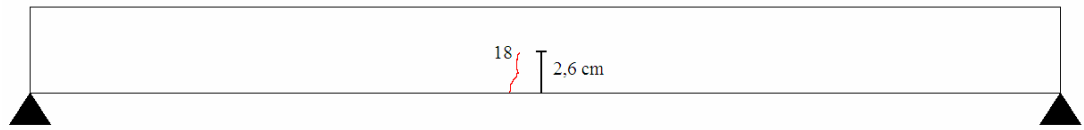
$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

$$M_n = T \times 33,33 \text{mm} = 3125 \text{N} \times 33,33 \text{mm} = 104166,67 \text{N} \cdot \text{mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika Sudah retak :

Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 18 dengan panjang retak 2,6 cm



Gambar 4.19. Gambar saat pelat mulai retak

Maka ketinggian penampang efektif pelat berkurang akibat retakan dengan panjang retak 2,6 cm (dari dasar pelat) tersebut, sehingga luas efektif penampang pada pelat berubah dan mempengaruhi nilai momen nominal :



Gambar 4.20. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak

Pada saat beton tanpa tulangan ini terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis sudah berakhir. Hal ini menunjukkan gaya tarik yang mampu dipikul beton. Seperti gambar di atas, luasan efektif hanya setinggi 2,6 cm dari atas. Sehingga segitiga tarik beton membesar dan mempengaruhi luasan daerah tekannya.

Pada tinggi retak **2,6 cm**,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} =$$

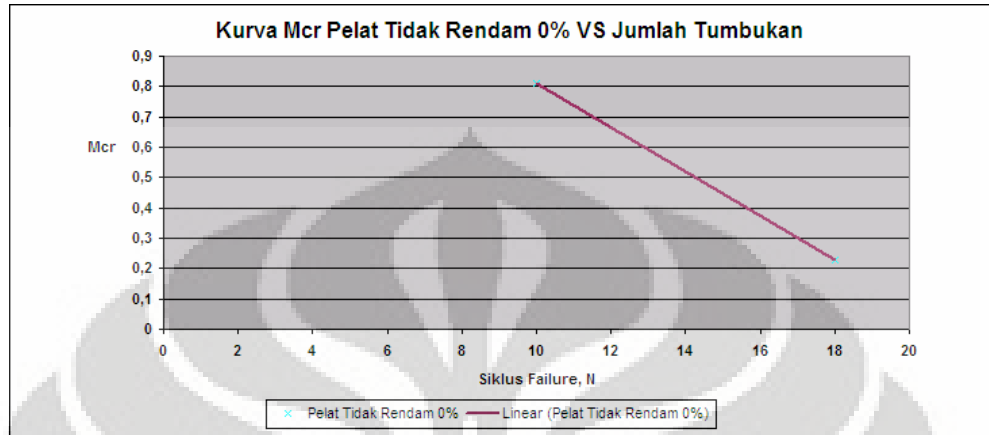
$$\frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (24 - 12) \cdot 1,25 = 1500 \text{N}$$

Jarak C dan T = 1,6 cm

$$M_n = T \times 16 \text{mm} = 3125 \text{N} \times 16 \text{mm} = 124000 \text{N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton beton tidak rendam 0% pada asumsi kondisi elastis =

$$\frac{24000}{104166,6667} \times 100\% = 23,04\%$$



Gambar 4.21. Kurva momen retak pada pelat tidak rendam 0%

Hasil perhitungan dari momen retak di atas, dapat di-plot ke dalam grafik, dengan sumbu X merupakan jumlah tumbukan dan sumbu Y merupakan momen retak. Terlihat dari kurva di atas, nilai Mcr turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai Mcr terus turun. Pada pelat rendam 0%, Mcr mulai turun pada pukulan ke 18, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Karena pelat ini kadarnya hanya 0%, maka begitu masuk ke siklus selanjutnya, pelat langsung runtuh.

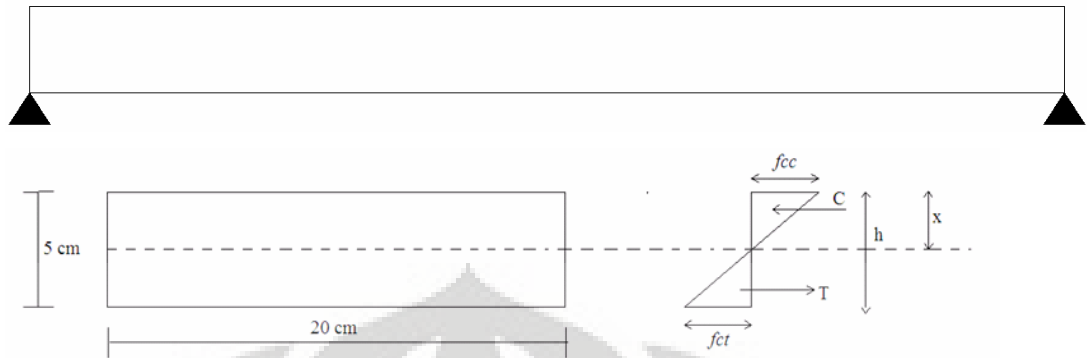
Regangan pada pelat tidak rendam 0%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran lebar retakan menggunakan jangka sorong.

Tabel 4.18. Tabel regangan TR 0%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 18 | 600 | 0,12 | 0,0002 |

2. Pelat TR 1%



Gambar 4.22. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 1%

Pada dasarnya, kondisi elastis beton berserat sama dengan beton tanpa tulangan tetapi beton berserat mampu bertahan hingga kondisi ultimit.

Ketika kondisi sebelum terjadi retak :

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

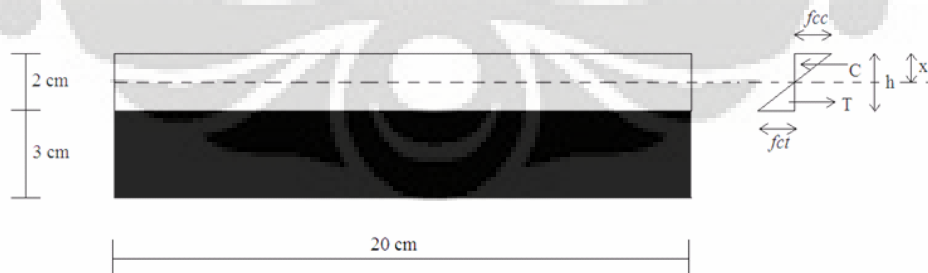
$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

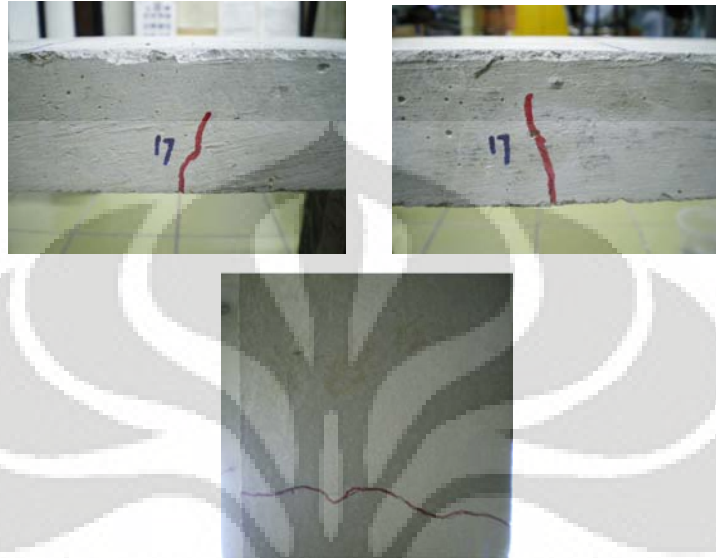
$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika kondisi setelah terjadi retak :

Retak mulai terjadi pada tumbukan ke 17, yaitu dengan panjang retak **3 cm**



Gambar 4.23. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak



Gambar 4.24. Ketika Pelat Mengalami Keretakan Pertama pada Tumbukan ke-17

Pada tinggi retak 3 cm,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 1250 \text{ N}$$

Jarak C dan T = 1,33 cm

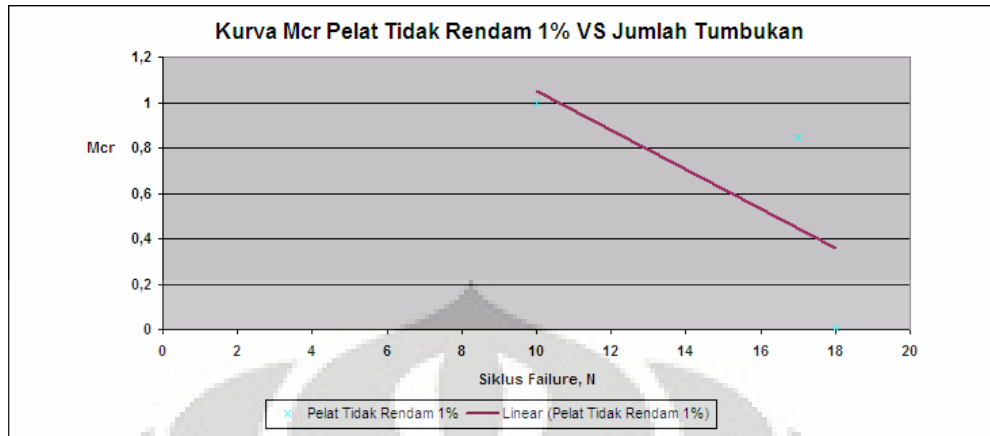
$$M_n = T \times 13,33 \text{ mm} = 1250 \text{ N} \times 13,33 \text{ mm} = 16666,66667 \text{ N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton tidak rendam 1 % pada asumsi kondisi elastis :

$$\frac{16666,66667}{104166,6667} \times 100\% = 16\%$$

Dengan cara yang sama, ketika terjadi retak selanjutnya :

- Tumbukan ke 18, dengan tinggi retak = 4,7 cm, M_n pelat = 0,36 %



Gambar 4.25. Kurva momen retak pelat tidak rendam 1%

Terlihat dari kurva di atas, nilai M_{cr} turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai M_{cr} terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai M_{cr} . Pada pelat tidak rendam 1%, M_{cr} mulai turun pada pukulan ke 17, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Dan terus turun hingga pelat mengalami keruntuhan.

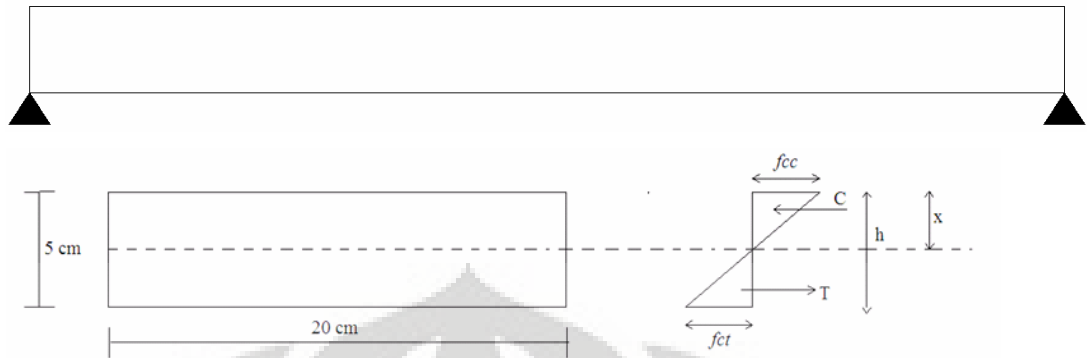
Regangan pada pelat tidak rendam 1%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran lebar retakan menggunakan jangka sorong.

Tabel 4.19. Tabel regangan TR 1%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 17 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 18 | 600 | 1,4 | 0,002333333 |
| 19 | 600 | 2,14 | 0,003566667 |
| 20 | 600 | 3,37 | 0,005616667 |
| 21 | 600 | 3,9 | 0,0065 |

3. Pelat TR 2%



Gambar 4.26. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 2%

Pada dasarnya, kondisi elastis beton berserat sama dengan beton tanpa tulangan tetapi beton berserat mampu bertahan hingga kondisi ultimit.

Ketika kondisi sebelum terjadi retak :

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{ MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

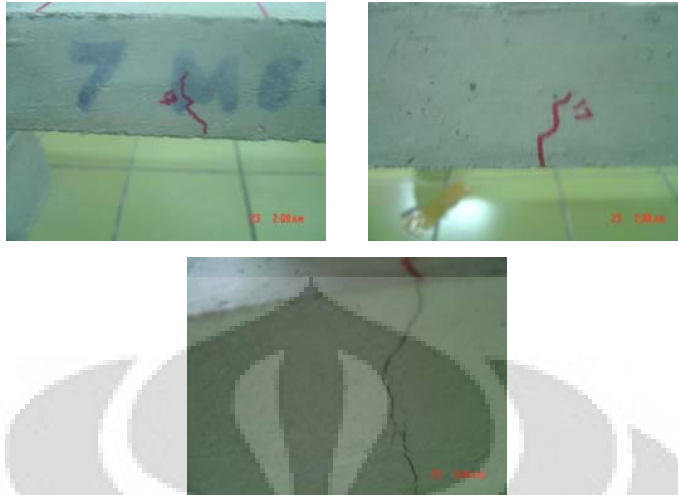
$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika kondisi setelah terjadi retak :

Retak mulai terjadi pada tumbukan ke 17, yaitu dengan panjang retak 2,1 cm



Gambar 4.27. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak



Gambar 4.28. Ketika Pelat Mengalami Keretakan Pertama pada Tumbukan ke-17

Pada tinggi retak 2,1 cm,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 1812,5 \text{ N}$$

Jarak C dan T = 1,933 cm

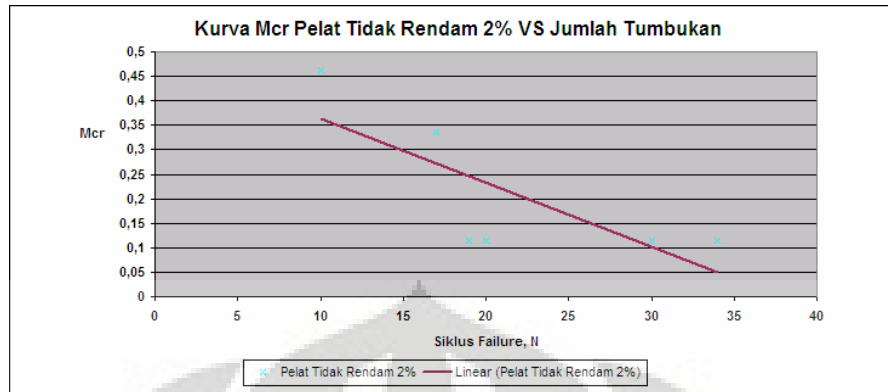
$$M_n = T \times 13,33 \text{ mm} = 1250 \text{ N} \times 19,33 \text{ mm} = 35041,66667 \text{ N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton tidak rendam 2 % pada asumsi kondisi elastis :

$$\frac{35041,66667}{104166,6667} \times 100\% = 33,64\%$$

Dengan cara yang sama, ketika terjadi retak selanjutnya :

- Tumbukan ke 19, dengan tinggi retak = 3,3 cm, M_n pelat = 11,56 %
- Tumbukan ke 34, dengan tinggi retak = 4,2 cm, M_n pelat = 2,56 %



Gambar 4.29. Kurva momen retak pelat tidak rendam 2%

Terlihat dari kurva di atas, nilai M_{cr} turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai M_{cr} terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai M_{cr} . Pada pelat tidak rendam 2%, M_{cr} mulai turun pada pukulan ke 17, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Dan terus turun hingga pelat mengalami keruntuhan.

Regangan pada pelat tidak rendam 2%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran lebar retakan menggunakan jangka sorong.

Tabel 4.20. Tabel regangan TR 2%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 17 | 600 | 0,05 | 8,33333E-05 |
| 19 | 600 | 0,08 | 0,000133333 |
| 21 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 25 | 600 | 0,18 | 0,0003 |
| 28 | 600 | 0,33 | 0,00055 |
| 30 | 600 | 0,64 | 0,001066667 |
| 34 | 600 | 0,97 | 0,001616667 |
| 38 | 600 | 1,56 | 0,0026 |
| 40 | 600 | 3,5 | 0,005833333 |
| 43 | 600 | 5,34 | 0,0089 |
| 46 | 600 | 7,43 | 0,012383333 |
| 48 | 600 | 8,3 | 0,013833333 |
| 50 | 600 | 10,5 | 0,0175 |
| 51 | 600 | 13,2 | 0,022 |

4. Pelat TR 3%



Gambar 4.30. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis TR 3%

Pada dasarnya, kondisi elastis beton berserat sama dengan beton tanpa tulangan tetapi beton berserat mampu bertahan hingga kondisi ultimit.

Ketika kondisi sebelum terjadi retak :

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{ MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

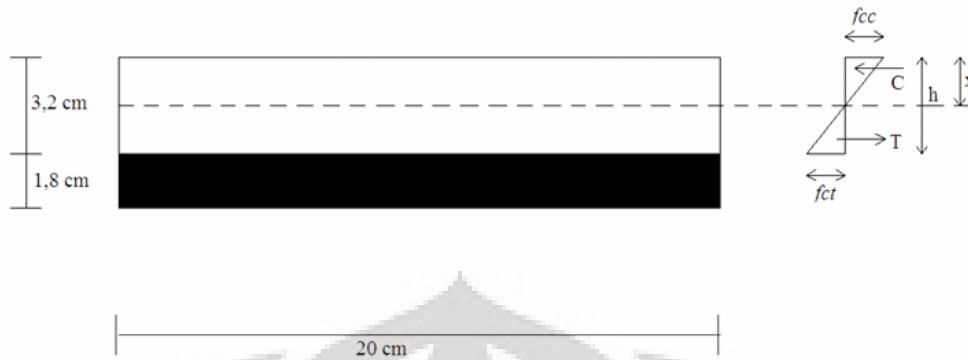
$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika kondisi setelah terjadi retak :

Retak mulai terjadi pada tumbukan ke 197, namun pada sisi lainnya belum terjadi retak. Baru pada tumbukan ke 199, keretakan sudah muncul di kedua sisi, yaitu dengan panjang retak **1,8 cm**.



Gambar 4.31. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak



Gambar 4.32. Ketika Pelat Mengalami Keretakan Pertama pada Tumbukan ke-199

Pada tinggi retak **1,8 cm**,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 2000 \text{N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 2,133 \text{ cm}$$

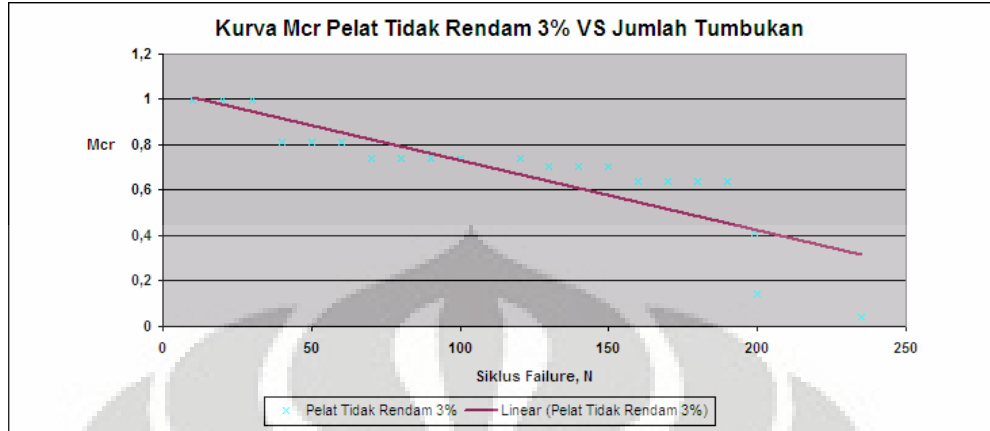
$$M_n = T \times 21,33 \text{mm} = 2000 \text{N} \times 21,33 \text{mm} = 42666,66667 \text{N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton tidak rendam 3% pada asumsi kondisi elastis =

$$\frac{42666,66667}{104166,6667} \times 100\% = 40,96\%$$

Dengan cara yang sama, ketika terjadi retak selanjutnya :

- Tumbukan ke 200, dengan tinggi retak = 3,1 cm, M_n pelat = 14,44 %
- Tumbukan ke 235, dengan tinggi retak = 4 cm, M_n pelat = 4 %



Gambar 4.33. Kurva momen retak

Terlihat dari kurva di atas, nilai M_{cr} turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai M_{cr} terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai M_{cr} . Pada pelat tidak rendam 3%, M_{cr} mulai turun pada pukulan ke 199, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Dan terus turun hingga pelat mengalami keruntuhan.

Regangan pada pelat tidak rendam 3%

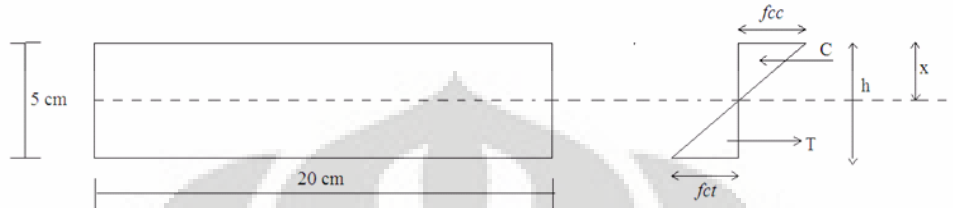
Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran lebar retakan menggunakan jangka sorong.

Tabel 4.21. Tabel regangan TR 3%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 199 | 600 | 0,04 | 6,66667E-05 |
| 200 | 600 | 0,09 | 0,00015 |
| 210 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 220 | 600 | 0,19 | 0,000316667 |
| 230 | 600 | 0,22 | 0,000366667 |
| 235 | 600 | 0,36 | 0,0006 |
| 250 | 600 | 0,72 | 0,0012 |
| 270 | 600 | 1,64 | 0,002733333 |
| 280 | 600 | 2,4 | 0,004 |
| 290 | 600 | 3,8 | 0,006333333 |

| | | | |
|-----|-----|------|-------------|
| 300 | 600 | 7,6 | 0,012666667 |
| 305 | 600 | 10,7 | 0,017833333 |
| 310 | 600 | 15,4 | 0,025666667 |

5. Pelat R 0%



Gambar 4.34. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 0%

Pada saat beton tanpa tulangan ini belum terjadi retak, maka kondisi tegangan yang terjadi adalah tegangan elastis. Kondisi blok tegangan segitiga – tampang tidak retak. Kondisi ini memungkinkan kekuatan tarik beton diperhitungkan dan akan diterapkan sampai pada saat dimana regangan tarik beton mencapai nilai batasnya.

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

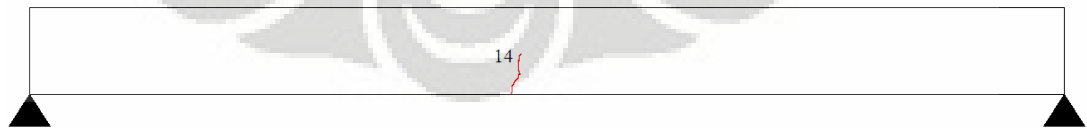
$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika Sudah retak :



Gambar 4.35. Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 14 dengan panjang retak 2,3 cm



Gambar 4.36. Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 14 dengan panjang retak 2,3 cm

Maka ketinggian penampang efektif pelat berkurang akibat retakan dengan panjang retak 2,3 cm (dari dasar pelat) tersebut, sehingga luas efektif penampang pada pelat berubah dan mempengaruhi nilai momen nominal :



Gambar 4.37. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak

Pada saat beton tanpa tulangan ini terjadi retak, maka kondisi tegangan elastis sudah berakhir. Hal ini menunjukkan gaya tarik yang mampu dipikul beton. Seperti gambar di atas, luasan efektif hanya setinggi 2,7 cm dari atas. Sehingga segitiga tarik beton membesar dan mempengaruhi luasan daerah tekannya.

Pada tinggi retak 2,7 cm,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

Didapat nilai $f_{ct} = 0,05 f_c' = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{N/mm}^2$

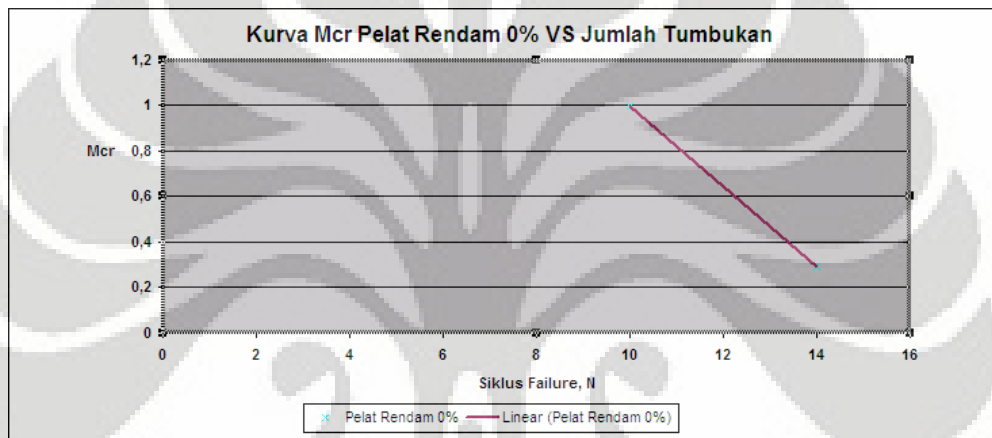
Gaya tarik di dalam beton (T) = $\frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 1437,5 \text{N}$

Jarak C dan T = 1,533 cm

$M_n = T \times 15,33 \text{mm} = 1437,5 \text{N} \times 15,33 \text{mm} = 22041,66667 \text{N.mm}$

Sehingga, M_{cr} beton beton rendam 0% pada asumsi kondisi elastis =

$$\frac{22041,66667}{104166,6667} \times 100\% = 21,16\%$$



Gambar 4.38. Kurva M_{cr} pelat rendam 0%

Terlihat dari kurva di atas, nilai M_{cr} turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai M_{cr} terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai M_{cr} . Pada pelat rendam 0%, M_{cr} mulai turun pada pukulan ke 14, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Karena pelat ini kadarnya hanya 0%, maka begitu masuk ke siklus selanjutnya, pelat langsung runtuh.

Regangan pada pelat rendam 0%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran panjang retakan menggunakan jangka sorong.

Tabel 4.22. Tabel regangan R 0%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 14 | 600 | 0,12 | 0,0002 |

6. Pelat R 1%



Gambar 4.39. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 1%

Pada dasarnya, kondisi elastis beton berserat sama dengan beton tanpa tulangan tetapi beton berserat mampu bertahan hingga kondisi ultimit.

Ketika kondisi sebelum terjadi retak :

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

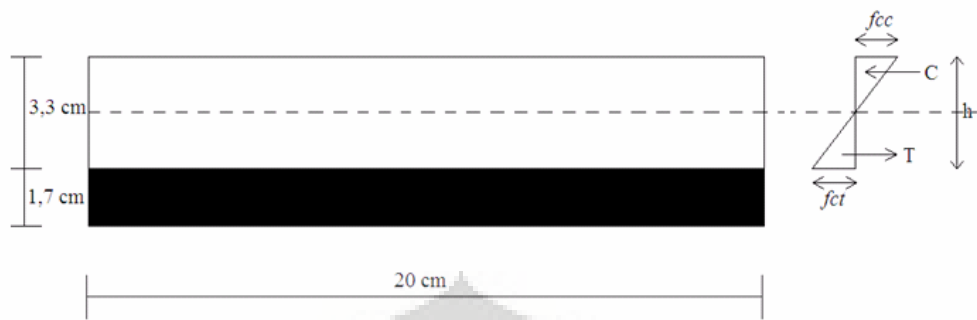
$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

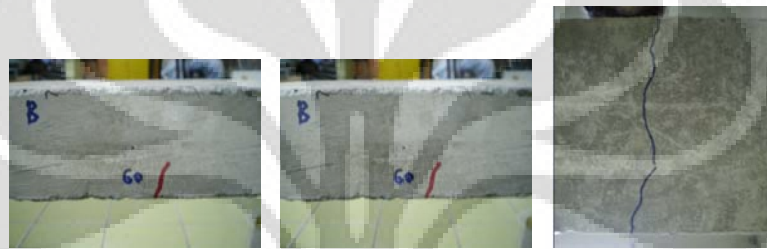
$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika kondisi setelah terjadi retak :

Retak mulai terjadi pada tumbukan ke 60, yaitu dengan panjang retak 1,7 cm



Gambar 4.40. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak



Gambar 4.41. Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 60 dengan panjang retak 1,4 cm

Pada tinggi retak 1,7 cm,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 2062,5 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 2,2 \text{ cm}$$

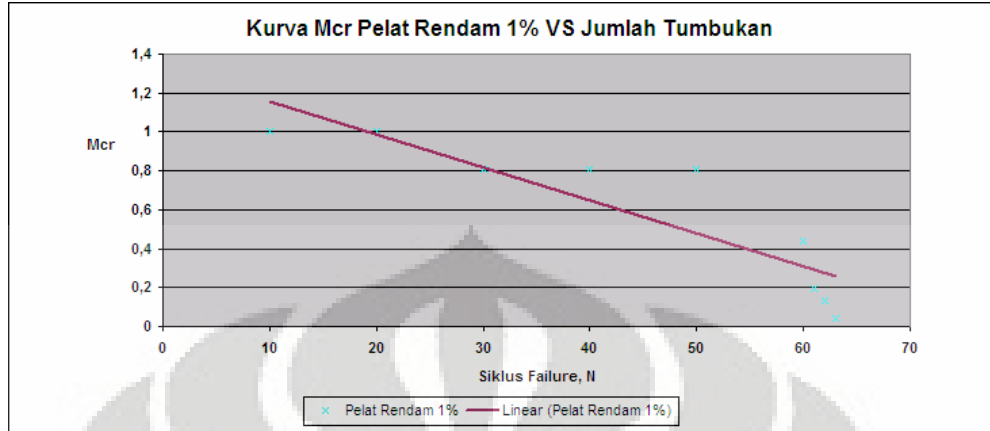
$$M_n = T \times 22 \text{ mm} = 2062,5 \text{ N} \times 22 \text{ mm} = 45375 \text{ N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton randam 1 % pada asumsi kondisi elastis :

$$\frac{45375}{104166,6667} \times 100\% = 43,56\%$$

Dengan cara yang sama, ketika terjadi retak selanjutnya :

- Tumbukan ke 61, dengan tinggi retak = 2,8 cm, M_n pelat = 19,36 %
- Tumbukan ke 62, dengan tinggi retak = 3,2 cm, M_n pelat = 12,96 %
- Tumbukan ke 63, dengan tinggi retak = 4,3 cm, M_n pelat = 1,96 %



Gambar 4.42. Kurva Mcr pelat rendam 1%

Terlihat dari kurva di atas, nilai Mcr turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai Mcr terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai Mcr. Pada pelat rendam 1%, Mcr mulai turun pada pukulan ke 60, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Dan terus turun hingga pelat mengalami keruntuhan.

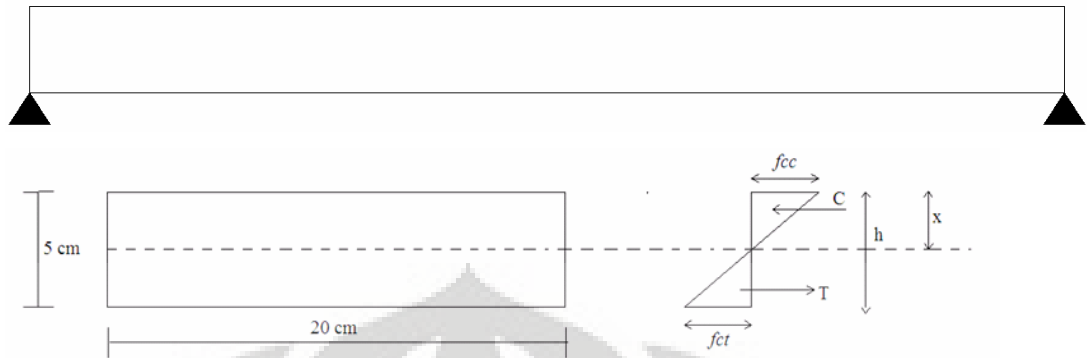
Regangan pada pelat rendam 1%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran panjang retakan menggunakan jangka sorong.

Tabel 4.23. Tabel regangan R 1%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 60 | 600 | 0,08 | 0,000133333 |
| 61 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 62 | 600 | 0,34 | 0,000566667 |
| 63 | 600 | 0,42 | 0,0007 |
| 64 | 600 | 0,87 | 0,00145 |
| 65 | 600 | 0,97 | 0,001616667 |
| 66 | 600 | 4,19 | 0,006983333 |
| 67 | 600 | 6,56 | 0,010933333 |

7. Pelat R 2%



Gambar 4.43. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 2%

Pada dasarnya, kondisi elastis beton berserat sama dengan beton tanpa tulangan tetapi beton berserat mampu bertahan hingga kondisi ultimit.

Ketika kondisi sebelum terjadi retak :

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{ MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

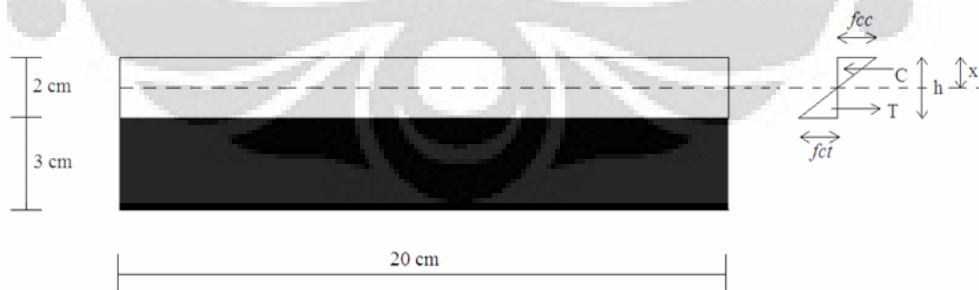
$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika kondisi setelah terjadi retak :

Retak mulai terjadi pada tumbukan ke 28, yaitu dengan panjang retak 3 cm



Gambar 4.44. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak



Gambar 4.45. Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 28 dengan panjang retak 3 cm

Pada tinggi retak 3 cm,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 1250 \text{N}$$

Jarak C dan T = 1,33 cm

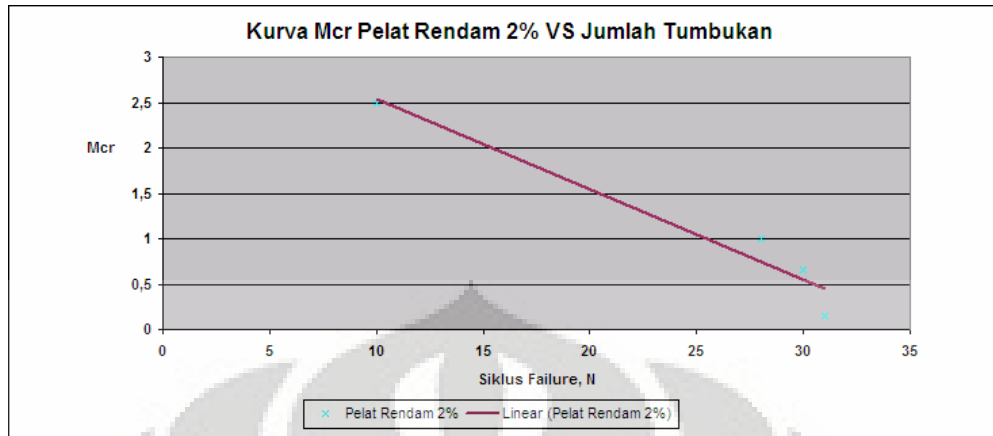
$$M_n = T \times 13,33 \text{mm} = 1250 \text{N} \times 13,33 \text{mm} = 16666,66667 \text{N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton rendah 2 % pada asumsi kondisi elastis :

$$\frac{16666,66667}{104166,6667} \times 100\% = 16\%$$

Dengan cara yang sama, ketika terjadi retak selanjutnya :

- Tumbukan ke 30, dengan tinggi retak = 3,7 cm, M_n pelat = 6,76 %
- Tumbukan ke 31, dengan tinggi retak = 4,7 cm, M_n pelat = 0,36 %

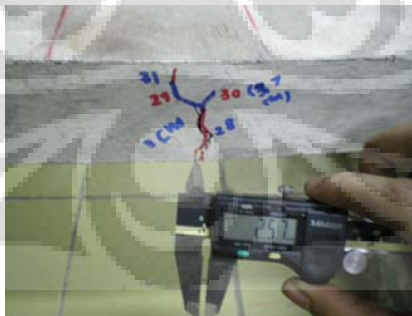


Gambar 4.46. Kurva Mcr pelat rendam 2%

Terlihat dari kurva di atas, nilai Mcr turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai Mcr terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai Mcr. Pada pelat rendam 2%, Mcr mulai turun pada pukulan ke 28, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Dan terus turun hingga pelat mengalami keruntuhan.

Regangan pada pelat rendam 2%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran panjang retakan menggunakan jangka sorong.



Gambar 4.47. Pengukuran lebar retak menggunakan jangka sorong

Tabel 4.24. Tabel regangan R 2%

| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 28 | 600 | 0,04 | 6,66667E-05 |
| 30 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 31 | 600 | 1,28 | 0,002133333 |
| 32 | 600 | 2,57 | 0,004283333 |
| 33 | 600 | 3,6 | 0,006 |

8. Pelat R 3%



Gambar 4.48. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis R 3%

Pada dasarnya, kondisi elastis beton berserat sama dengan beton tanpa tulangan tetapi beton berserat mampu bertahan hingga kondisi ultimit.

Ketika kondisi sebelum terjadi retak :

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct}$$

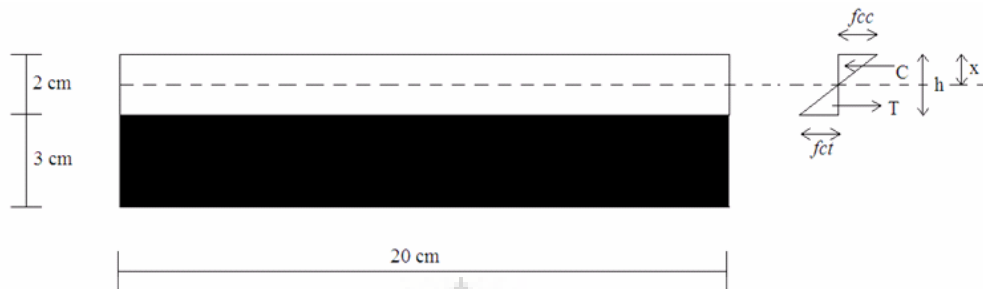
$$= \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot (50 - 25) \cdot 1,25 = 3125 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 3,33 \text{ cm}$$

$$M_n = T \times 33,33 \text{ mm} = 3125 \text{ N} \times 33,33 \text{ mm} = 104166,67 \text{ N.mm} \rightarrow M_n \text{ Sebelum Retak}$$

Ketika kondisi setelah terjadi retak :

Retak mulai terjadi pada tumbukan ke 90, yaitu dengan panjang retak 3 cm



Gambar 4.49. Gambar penampang pelat dan grafik tegangan elastis ketika retak



Gambar 4.50. Pelat mengalami keretakan pada pukulan ke 90 dengan panjang retak 3 cm

Pada tinggi retak 3 cm,

$$f_{ct} = 0,05 f_{c'}$$

$$\text{Didapat nilai } f_{ct} = 0,05 f_{c'} = 0,05 \cdot 25 \text{MPa} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

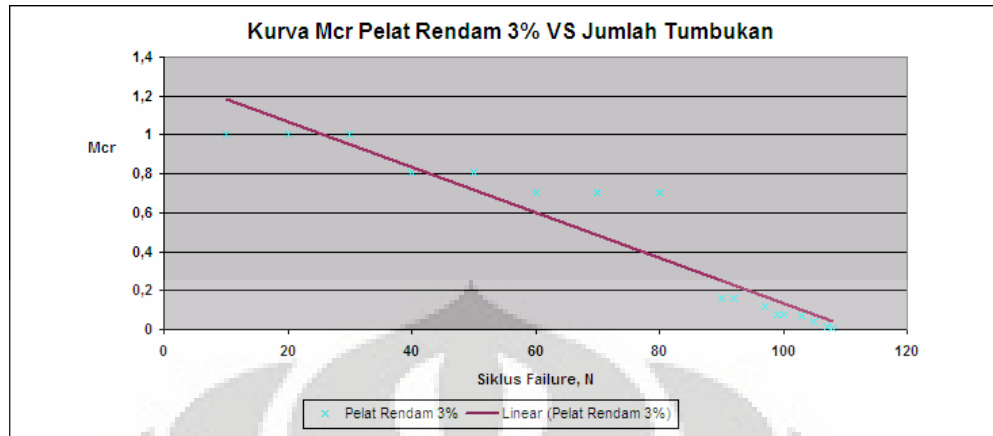
$$\text{Gaya tarik di dalam beton (T)} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x) \cdot f_{ct} = 1250 \text{ N}$$

$$\text{Jarak C dan T} = 1,33 \text{ cm}$$

$$M_n = T \times 13,33 \text{ mm} = 1250 \text{ N} \times 13,33 \text{ mm} = 16666,66667 \text{ N.mm}$$

Sehingga, M_{cr} beton rendam 3 % pada asumsi kondisi elastis :

$$\frac{16666,66667}{104166,6667} \times 100\% = 16\%$$



Gambar 4.51. Kurva Mcr pelat rendam 3%

Terlihat dari kurva di atas, nilai Mcr turun karena bertambahnya jumlah pembebanan. Terus dilakukannya pembebanan membuat munculnya keretakan pada pelat tersebut, sehingga nilai Mcr terus turun. Tinggi retak mempengaruhi besarnya nilai Mcr. Pada pelat rendam 3%, Mcr mulai turun pada pukulan ke 40, di mana pada siklus tersebut retak pertama muncul. Dan terus turun hingga pelat mengalami keruntuhan.

Regangan pada pelat rendam 3%

Asumsi, panjang pelat (L) dianggap tidak berubah. Pengukuran panjang retakan menggunakan jangka sorong.



Gambar 4.52. Pengukuran lebar retak menggunakan jangka sorong

Tabel 4.25. Tabel regangan R 3%

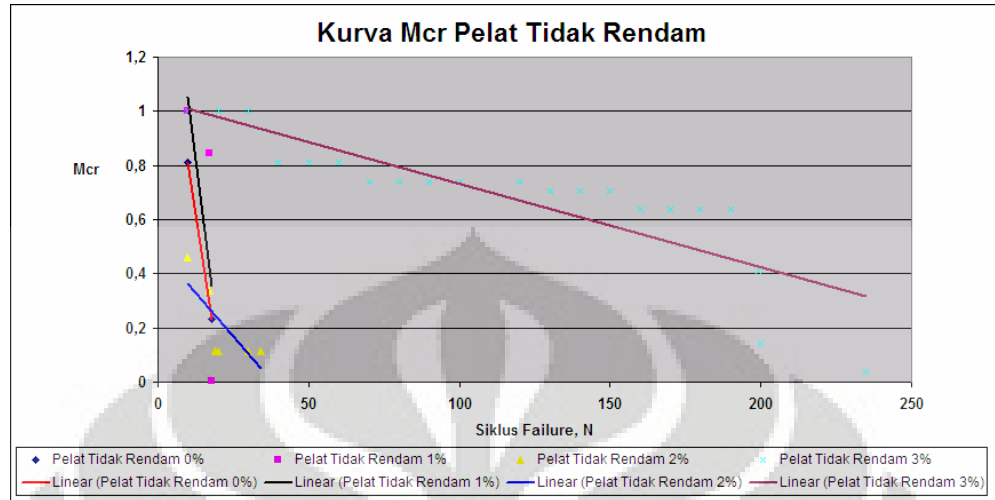
| Retak ke - | Panjang Pelat (L) (mm) | Lebar Retakan (ΔL) (mm) | $\Delta L/L$ |
|------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 90 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 92 | 600 | 0,12 | 0,0002 |
| 97 | 600 | 0,26 | 0,000433 |
| 99 | 600 | 0,36 | 0,0006 |
| 100 | 600 | 0,43 | 0,000717 |
| 103 | 600 | 1,94 | 0,003233 |
| 105 | 600 | 2,6 | 0,004333 |
| 107 | 600 | 3,09 | 0,00515 |
| 109 | 600 | 4,23 | 0,00705 |

Dari seluruh perhitungan di atas, dapat dirangkum dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.26. Tabel rangkuman hasil perhitungan momen retak

| Kandungan Fiber | Rendam/Tidak Rendam | Retak ke - | Tinggi Retak (cm) | Mcr (%) |
|--------------------|---------------------|---------------|----------------------|---------|
| 0% | Tidak Rendam | 18 | 2,6 | 23,04 |
| 1% | Tidak Rendam | 17 | 3 | 16 |
| | | 18 | 4,7 | 0,36 |
| 2% | Tidak Rendam | 17 | 2,1 | 33,64 |
| | | 19 | 3,3 | 11,56 |
| | | 34 | 4,2 | 2,56 |
| 3% | Tidak Rendam | 199 | 1,8 | 40,96 |
| | | 200 | 3,1 | 14,44 |
| | | 235 | 4 | 4 |
| 0% | Rendam | 14 | 2,3 | 29,16 |
| 1% | Rendam | 60 | 1,7 | 43,56 |
| | | 61 | 2,8 | 19,36 |
| | | 62 | 3,2 | 12,96 |
| | | 63 | 4,3 | 1,96 |
| 2% | Rendam | 28 | 3 | 16 |
| | | 30 | 3,7 | 6,76 |
| | | 31 | 4,7 | 0,36 |
| 3% | Rendam | 90 | 3 | 16 |

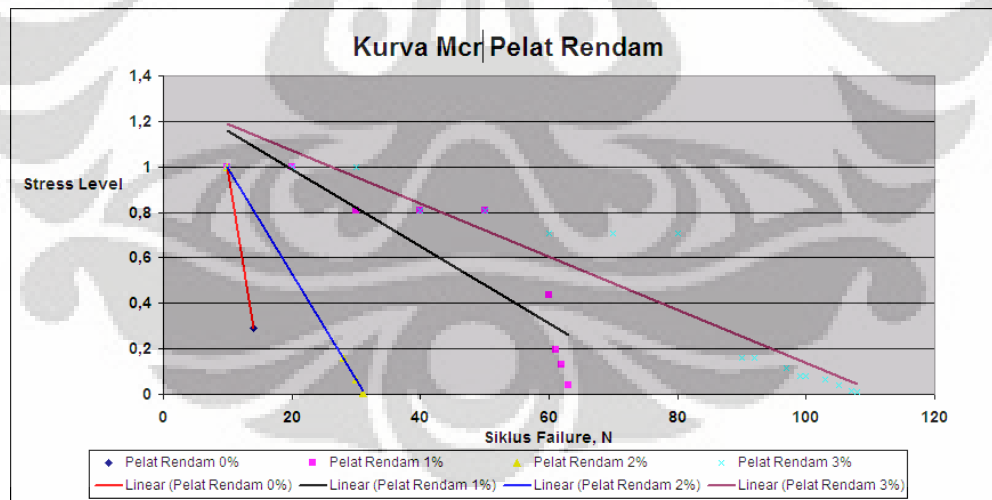
Pelat Tidak Rendam



Gambar 4.53. Kurva Mcr gabungan variasi pelat tidak rendam

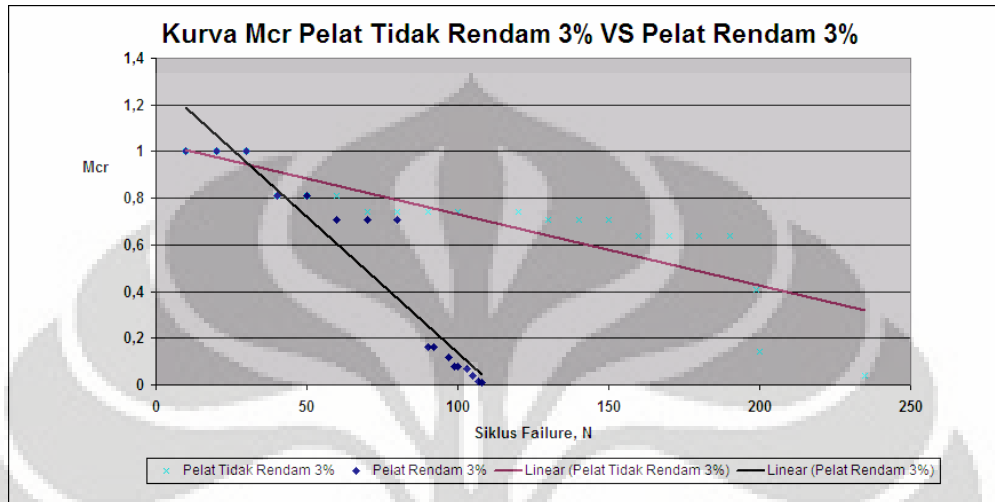
Terlihat dari gambar di atas, pelat dengan tidak rendam 3% terlihat optimum dari semua variasi tidak rendam. Pelat ini mampu bertahan pada tumbukan terbanyak, dan memperlihatkan penurunan momen retak yang stabil.

Pelat Rendam



Gambar 4.54. Kurva Mcr gabungan variasi pelat rendam

Terlihat dari gambar di atas, pelat dengan rendam 3% terlihat optimum dari semua variasi rendam. Pelat ini mampu bertahan pada tumbukan terbanyak, dan memperlihatkan penurunan momen retak yang stabil.

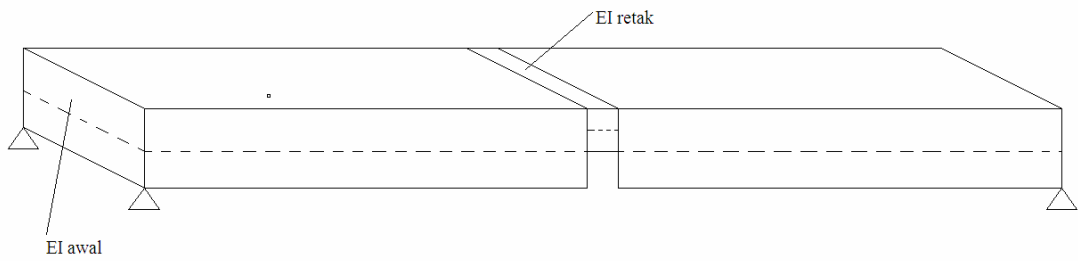


Gambar 4.55. Kurva Mcr gabungan kadar optimum rendam dan tidak rendam

Perbandingan antara variasi optimum pada perlakuan yang berbeda, terendam dan tidak terendam, terlihat pelat tidak rendam 3% menunjukkan hasil yang lebih optimum dibandingkan pelat rendam 3%.

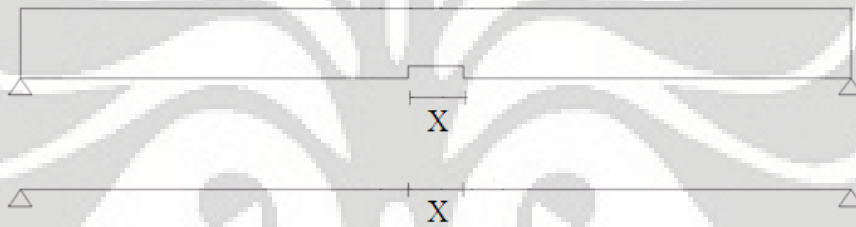
4.8 ANALISA LENDUTAN BENDA UJI AKIBAT BEBAN DINAMIK

Untuk mengetahui lendutan yang terjadi akibat beban dinamik dan pengaruh retakan pada tengah bentang, penulis menggunakan referensi dari buku "Introduction of Structural Dynamics" karya Biggs dengan analisa beban sebagai *concentrated load*. Analisa ini merupakan analisa aproksimatif. Analisa ini membutuhkan catatan mengenai tinggi retak, dan perbedaan jarak antara keretakan pada kedua sisi balok tersebut pada uji laboratorium. Perbedaan jarak diasumsikan berada pada *range* tengah bentang. Pada bagian yang retak, inersia dan luas penampang dianggap berubah.



Gambar 4.56. Gambar pelat dengan coakan di tengah akibat retak

Dari gambar diatas terlihat adanya coakan pada tengah bentang akibat pengurangan luas efektif penampang karena retak. Untuk mendapatkan nilai periode struktur, penulis menggunakan bantuan program analisa struktur yaitu SAP 2000 v.10.



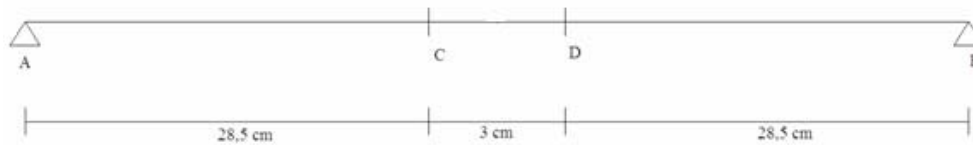
Gambar 4.57. Modelisasi pembuatan pelat dengan coakan di tengah bentang

Modelisasi dilakukan dengan membuat beberapa nodal pada grid pelat yang akan dibuat. Properti penampang dibuat dua macam, yaitu penampang penuh pelat dan penampang jika luas efektifnya berkurang akibat retak (penampang retak).

Untuk bentang penampang retak, dibuat berdasarkan jarak retak antara kedua sisi pelat, x , dengan asumsi jarak antara dua retak itu (x) berada pada rentang tengah pelat.

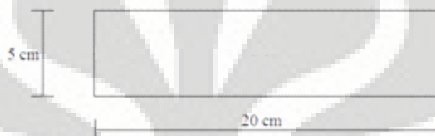
Contoh perhitungan analisa lendutan pada pelat **Tidak Rendam 1%** pada pukulan ke-17 dengan tinggi retak 3 cm dengan $x = 3$ cm.

Modelisasi :



Gambar 4.58. Modelisasi pelat tidak rendam 1% pada program SAP

Saat melakukan modelisasi di SAP, yang di-define sebagai penampang penuh adalah AC dan DB dengan panjang bentang 28,5 cm.



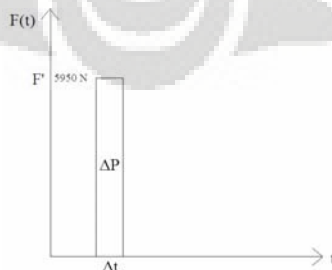
Gambar 4.59. Penampang pelat saat masih utuh

Sedangkan yang di-define sebagai penampang retak adalah CD, dengan panjang bentang 3 cm.



Gambar 4.60. Penampang pelat saat sudah retak

Di mana F_1 merupakan beban impuls yang diaplikasikan kepada benda uji, $F_1 = F' = 5950 \text{ N}$



Gambar 4.61. Grafik beban F'

Dengan bantuan program analisa struktur SAP 2000 v10, didapat Periode pelat tersebut setelah mengalami retak dengan tinggi 3 cm :

Tabel 4.27. Tabel hasil analisa periode pelat 1% tidak rendam dengan program SAP

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,008006 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000866 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000564 |

Didapat :

$$T_1 = 0,008006 \text{ s}$$

$$T_2 = 0,000866 \text{ s}$$

$$T_3 = 0,000564 \text{ s}$$

Sehingga didapat frekuensi natural:

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1} = 784,4116912 \text{ rad/s}^2$$

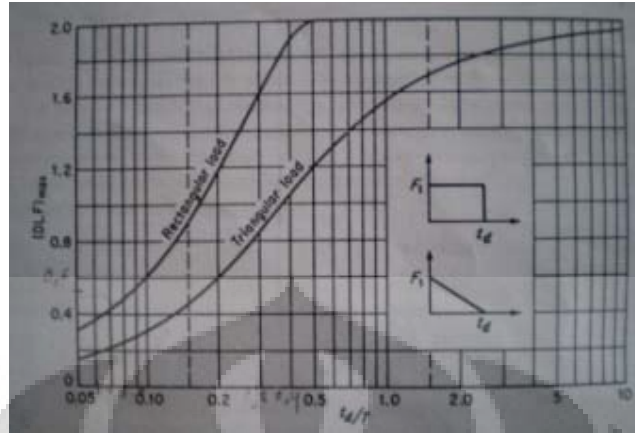
$$\omega_2 = \frac{2\pi}{T_2} = 7251,732102 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{T_3} = 11134,75177 \text{ rad/s}^2$$

Persamaan lendutan dinamik :

$$y(x) = \frac{2F_i}{ml} \sum_0^n \frac{1}{\omega_n} \left(\sin \frac{n\pi c_1}{l} \right) (DLF)_n \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Faktor beban mati (DLF) didapat dari grafik *Rigorous Analysis of one degree system* :



Gambar 4.62. Grafik untuk mencari DLF (*dead load factor*) dengan beban segiempat

$$\frac{td}{T_1} = \frac{0,001}{0,008006} = 0,125; \text{ DLF} = 0,62$$

$$\frac{td}{T_2} = \frac{0,001}{0,000866} = 1,155; \text{ DLF} = 2$$

$$\frac{td}{T_3} = \frac{0,001}{0,000564} = 1,77; \text{ DLF} = 2$$

dengan $c_1 = 300 \text{ mm}$, maka :

$$y_1(x) = \frac{2 \times 5950}{24 \times 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 600 \text{ mm}} \times \frac{1}{784,4116912^2} \left(\sin \frac{1 \cdot 180 \cdot 300 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \right) \cdot 0,62 \cdot \left(\sin \frac{1 \cdot 180 \cdot 300 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \right)$$

$$y_1(x) = 0,00084613 \text{ mm}$$

$$y_2(x) = \frac{2 \times 5950}{24 \times 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 600 \text{ mm}} \times \frac{1}{7251,732102^2} \left(\sin \frac{2 \cdot 180 \cdot 300 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \right) \cdot 2 \cdot \left(\sin \frac{2 \cdot 180 \cdot 300 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \right)$$

$$y_2(x) = 0$$

$$y_3(x) = \frac{2 \times 5950}{24 \times 10^{-3} \text{ kg/mm} \times 600 \text{ mm}} \times \frac{1}{11134,75177^2} \left(\sin \frac{3 \cdot 180 \cdot 300 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \right) \cdot 2 \cdot \left(\sin \frac{3 \cdot 180 \cdot 300 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} \right)$$

$$y_3(x) = 1,33307\text{E-}05 \text{ mm}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil lendutan :

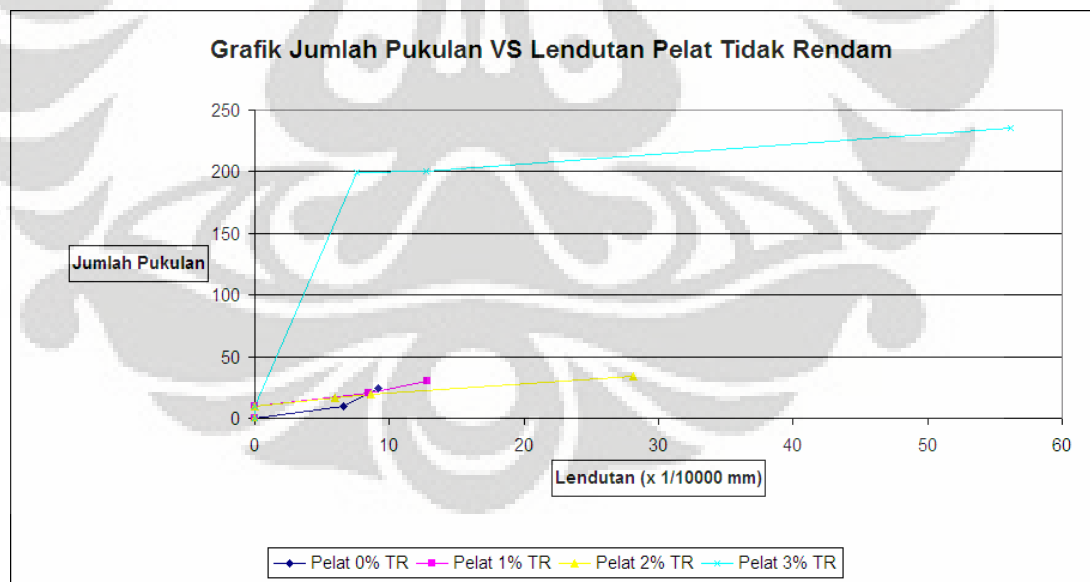
Untuk pelat tidak randam :

Tabel 4.28. Tabel rangkuman hasil perhitungan lendutan pelat tidak randam

| Variasi Kandungan Fiber | Tumbukan ke- | Tinggi Retak (cm) | Y (lendutan) (mm) | | | Mode Dominan |
|-------------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------|-------------|--------------|
| | | | Mode 1 | Mode 2 | Mode 3 | Mode 1 |
| 0% | 18 | 2,6 | 0,000917 | 0 | 3,92408E-06 | 0,000917 |
| 1% | 17 | 3 | 0,000846 | 0 | 1,33307E-05 | 0,000846 |
| | 30 | 4,7 | 0,001286 | 0 | 1,00621E-05 | 0,001286 |
| 2% | 17 | 2,1 | 0,0005958 | 0 | 6,97615E-06 | 0,0005958 |
| | 19 | 3,3 | 0,00086056 | 0 | 6,87393E-06 | 0,00086056 |
| | 34 | 4,2 | 0,002814 | 0 | 6,84003E-06 | 0,002814 |
| 3% | 199 | 1,8 | 0,000755 | 0 | 1,83659E-05 | 0,000755 |
| | 200 | 3,1 | 0,0012771 | 0 | 1,92644E-05 | 0,0012771 |
| | 235 | 4 | 0,005618 | 0 | 1,87003E-05 | 0,005618 |

Dari tabel di atas terlihat bahwa semakin pelat bertambah retak, lendutannya makin bertambah besar bertambah. Semakin banyak jumlah fiber yang terkandung pada pelat, semakin besar lendutan akhirnya (lendutan sebelum pelat mengalami *failure*).

Grafik Daktilitas Pelat Tidak Randam



Grafik 4.63. Grafik daktilitas pelat tidak randam

Kadar optimum fiber pelat tidak terendam pada kasus daktilitas adalah pelat dengan kadar fiber 3%. Terlihat pelat tersebut mampu menahan tumbukan yang paling panjang siklusnya, juga mampu mengalami lendutan yang paling besar.

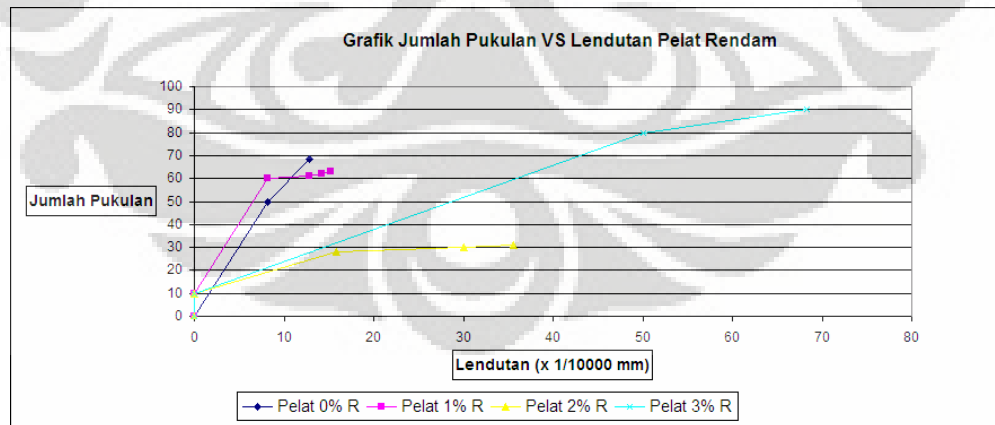
Untuk pelat rendam :

Tabel 4.29. Tabel rangkuman hasil perhitungan lendutan pelat rendam

| Variasi Kandungan Fiber | Tumbukan ke- | Tinggi Retak | Y (lendutan) | | | Mode Dominan |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|-------------|--------------|
| | | | Mode 1 | Mode 2 | Mode 3 | |
| 0% | 14 | 2,3 | 0,001434 | 0 | 2,24552E-05 | 0,001434 |
| | | | | | | |
| 1% | 60 | 1,7 | 0,000819 | 0 | 3,1429E-05 | 0,000819 |
| | 61 | 2,8 | 0,00128 | 0 | 3,32698E-05 | 0,00128 |
| | 62 | 3,2 | 0,00152 | 0 | 3,50096E-05 | 0,00152 |
| | 63 | 4,3 | 0,0011427 | 0 | 1,68572E-05 | 0,011427 |
| 2% | 28 | 3 | 0,00159 | 0 | 1,38558E-05 | 0,00159 |
| | 30 | 3,7 | 0,003 | 0 | 1,36637E-05 | 0,003 |
| | 31 | 4,7 | 0,00356 | 0 | 1,33591E-05 | 0,00356 |
| 3% | 90 | 3 | 0,00683 | 0 | 0,000154811 | 0,00683 |

Sama seperti pelat yang tidak terendam, pelat rendam ini juga semakin bertambah retak, lendutannya makin bertambah besar bertambah. semakin tinggi jumlah kandungan fiber, lendutan yang dialami oleh pelat juga makin besar.

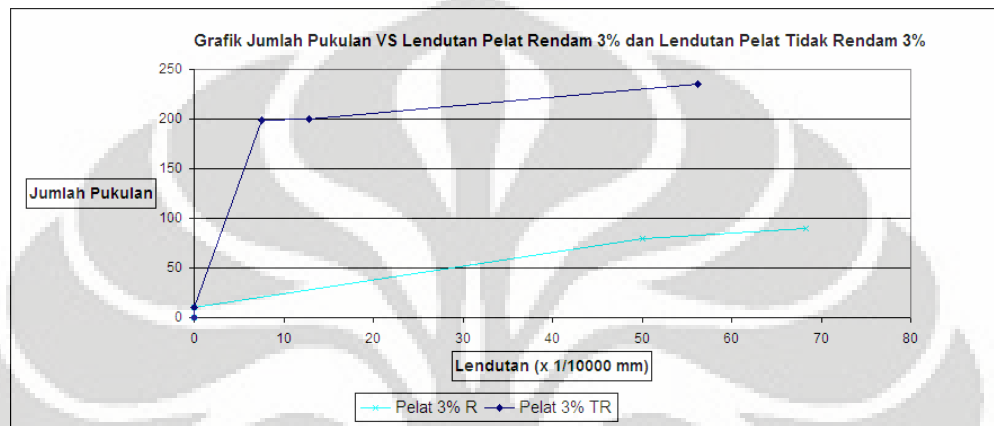
Grafik Daktilitas Pelat Rendam



Grafik 4.64. Grafik daktilitas pelat rendam

Terlihat dari grafik, kadar optimum fiber pelat terendam pada kasus daktilitas adalah pelat dengan kadar fiber 3%. Terlihat pelat tersebut mampu menahan tumbukan yang paling panjang siklusnya, juga mampu mengalami lendutan yang paling besar.

Grafik Pelat Tidak Rendam 3% VS Pelat Rendam 3%



Grafik 4.65. Grafik daktilitas pelat pada kadar optimum

Dari grafik di atas, pelat tidak rendam 3% mampu menahan tumbukan lebih banyak dibandingkan dengan pelat rendam 3%. Sedangkan, yang memiliki kemampuan untuk mengalami lendutan yang lebih besar adalah pelat terendam 3%

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan :

1. Berdasarkan hasil uji kuat tekan dan berat jenis beton silinder menunjukkan bahwa penambahan fiber dalam campuran beton tidak memberikan pengaruh yang berarti. Bahkan secara keseluruhan, penambahan fiber dalam beton menurunkan kuat tekan, f_c' , dari beton itu sendiri. Hal ini tidak sesuai dengan yang diharapkan. Sehingga pemakaian staples sebagai campuran beton tidak disarankan untuk uji tes tekan.
2. Beton dengan perlakuan rendam, diuji kuat tekannya dalam keadaan jenuh (diangkat dari kolam pada saat hari pengujian), menghasilkan peningkatan berat jenis beton dan penurunan kuat tekan beton akibat adanya kandungan air di dalamnya.
3. Pelat beton tidak rendam menunjukkan sifat yang lebih tahan beban tumbukan daripada yang direndam. Hal ini dapat kita bandingkan dengan jumlah tumbukan yang dapat ditahan oleh pelat tersebut hingga pelat mengalami keruntuhan.
4. Semakin tinggi kadar fiber yang dikandung pelat, semakin kuat pelat tersebut menahan beban tumbukan. Terlihat dari percobaan, bahwa pelat dengan kandungan 3% jauh lebih lama runtuh dibandingkan dengan pelat dengan kandungan %. Begitu seterusnya.
5. Pola retak yang terjadi pada pelat akibat beban tumbukan berulang terbagi merata di tengah bentang, muncul/terlihat pada sekitar tengah bentang.
6. Beton dengan kadar fiber 0% (tanpa serat) menunjukkan sifat yang getas. Sedangkan beton fiber menunjukkan sifat yang lebih daktail dibandingkan beton biasa (beton tanpa serat).

7. Frekuensi benda uji makin menurun seiring dengan terus diulangnya pembebanan. Hal ini dikarenakan daya redam dari benda uji tersebut, makin lama makin lemah akibat timbulnya keretakan dan fatigue.
8. Momen nominal makin berkurang ketika keretakan bertambah tinggi.
9. Pelat tidak rendam 3% memiliki siklus yang terpanjang pada mekanisme menuju failure.
10. Pelat tidak rendam 3% mampu menahan tumbukan lebih banyak dibandingkan dengan pelat rendam 3%. Sedangkan, yang memiliki kemampuan untuk mengalami lendutan yang lebih besar adalah pelat terendam 3%
11. Penggunaan pelat besi sebagai media terbagi merata tidak mempengaruhi frekuensi.
12. Hasil uji dinamik pelat dilakukan tidak tepat pada hari ke 28, melainkan lebih dari 28 hari. Pengujian dilakukan kurang lebih pada umur 35 – 40 hari.
13. Untuk pengujian tes tekan silinder beton yang mengalami perendaman dan tanpa perendaman dengan kandungan 0%, dilakukan *curing* dengan cara yang sedikit berbeda. Untuk beton ini, dilakukan pengangkatan beton dari kolam pada umur 27 hari kemudian didiamkan 27 hari kemudian dan diuji tekan keesokan harinya. Sehingga untuk beton yang mengalami perendaman, tidak didapatkan kondisi jenuh ketika pengujian tekan keesokan harinya. Oleh karena itu, hasil uji tes tekan yang didapatkan, cukup besar dibandingkan sampel yang mengalami perendaman dengan kadar lainnya yang diangkat tepat pada umur 28 hari dan langsung diuji tes tekannya pada hari yang sama.

V.2 Saran

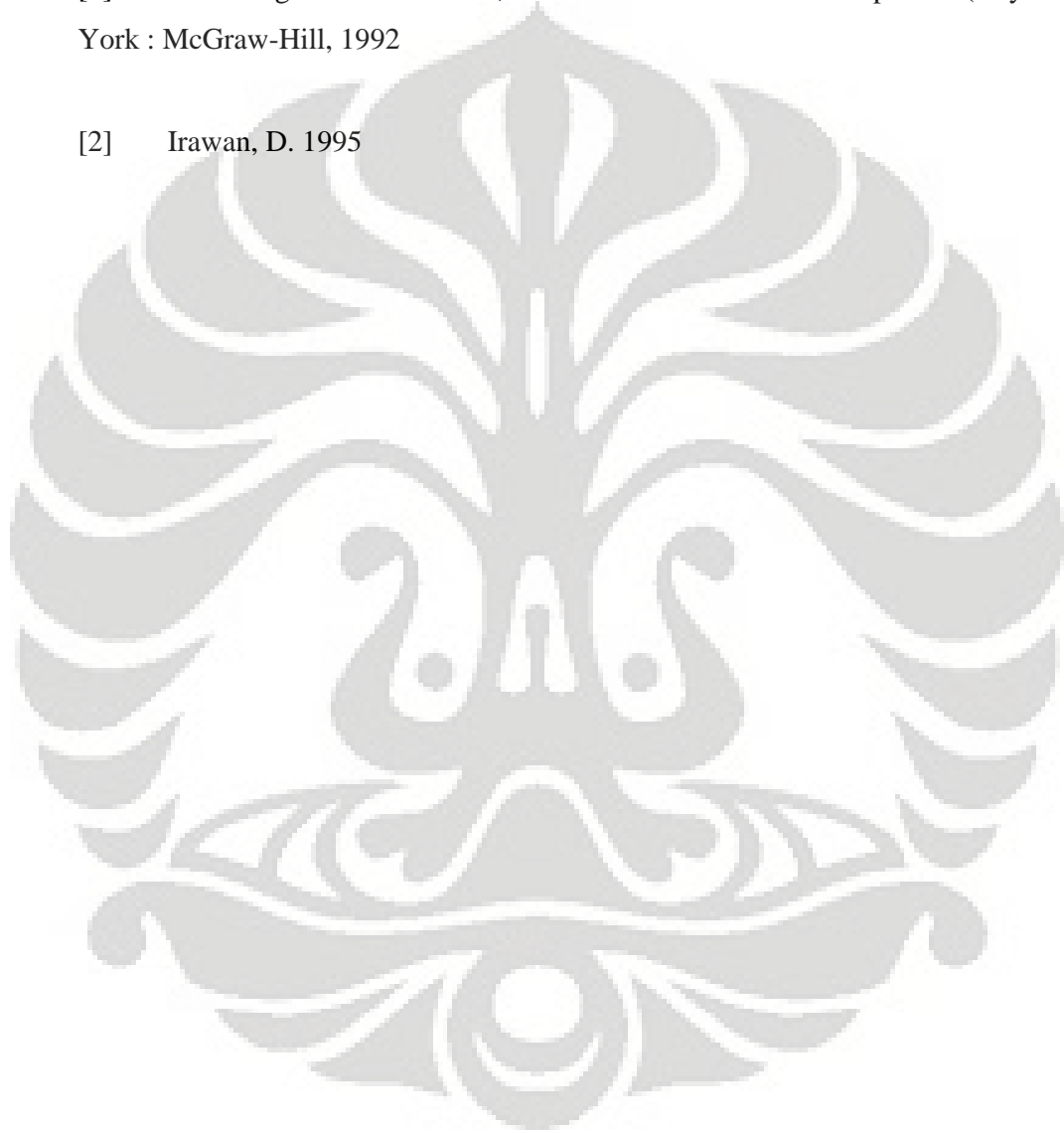
Agar pada saat pengujian menghasilkan data sesuai yang diinginkan, penulis ingin menyarankan :

1. Perletakan benda uji harus dalam keadaan baik. Karena perletakan tersebut jika dalam keadaan longgar, keruntuhan benda uji akan semakin lama akibat beban yang di aplikasikan menjadi tidak efektif.
2. Pastikan akselerometer terpasang dengan baik dan diolesi dengan vaselin. Perekaman frekuensi yang naik turun diakibatkan oleh pemasangan akselerometer yang kurang benar.

3. Sebaiknya saat pengujian benda uji yang terendam, benda uji tersebut harus diangkat minimal 1,5 jam sebelum pengujian, agar benda uji sudah agak kering. Karena jika masih dalam kondisi dangat basah, pemasangan akselerometer sangatlah sukar. Atau, bisa juga kita lap dengan kain kering di daerah yang ingin kita pasangi akselerometer.
4. Rekamlah frekuensi lebih sering ketika benda uji sudah mulai mengalami retak. Karena dikhawatirkan benda uji runtuh terlebih dahulu sebelum datanya didapat. Tiap kali benda uji mengalami retak tambahan, biasanya frekuensinya berubah terus.
5. Karena kadar optimum belum didapatkan, perlu dilakukan penelitian selanjutnya untuk kandungan fiber sebesar 4%, 5%, dan 6% terhadap volume benda uji.
6. Alat – alat untuk penelitian selanjutnya : *Strain Gauge* (untuk penelitian lendutan dan daktilitas).
7. Penggunaan isi staples sebagai fiber sebaiknya jangan ditambahkan jika menginginkan peningkatan kekuatan beton. Sebab penambahan isi staples justru mengurangi kekuatan tekan.

DAFTAR ACUAN

- [1] P.N Balaguru and S.P Shah, Fiber-reinforced Cement Composites (Ney York : McGraw-Hill, 1992
- [2] Irawan, D. 1995



DAFTAR PUSTAKA

- Balaguru, P.N and Shah. S.P (1992). *Fiber Reinforced Cement Composites*. McGraw-Hill, New York
- Nathanael, Devy (2002). *Uji Beban Statik Pada Pelat Tipis Terbuat Dari Mortar Berserat Dengan Variasi Kadar Serat 0%, 1%, 2%, 3% Dari Volume Mortar*.
- W, Setiawan. (1997). *Uji Beban Tumbukan Pada Pelat Tipis Kantilever Terbuat Dari Mortar Fiber*
- Wang Chu-Kia, Salmon CG, and Hariandja Binsan (1986). *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Penerbit Erlangga, Jakarta, hal. 5
- Chen, Wai-Fah and Atsuta, Toshio (1976). *Theory Beam-Columns Volume 1: In-Plane Behavior and Design*. McGraw-Hill, New York
- Somayanji, Shan.(2001). *Civil Engineering Materials Second Edition*. Prentice Hall, New Jersey
- Beer, P. and Johnston Russell E. Jr (1995). *Vector Mechanics For Engineers : Static and Dynamic*. McGraw-Hill, New York
- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamic of Structures: International Edition*. Prentice Hall, New Jersey

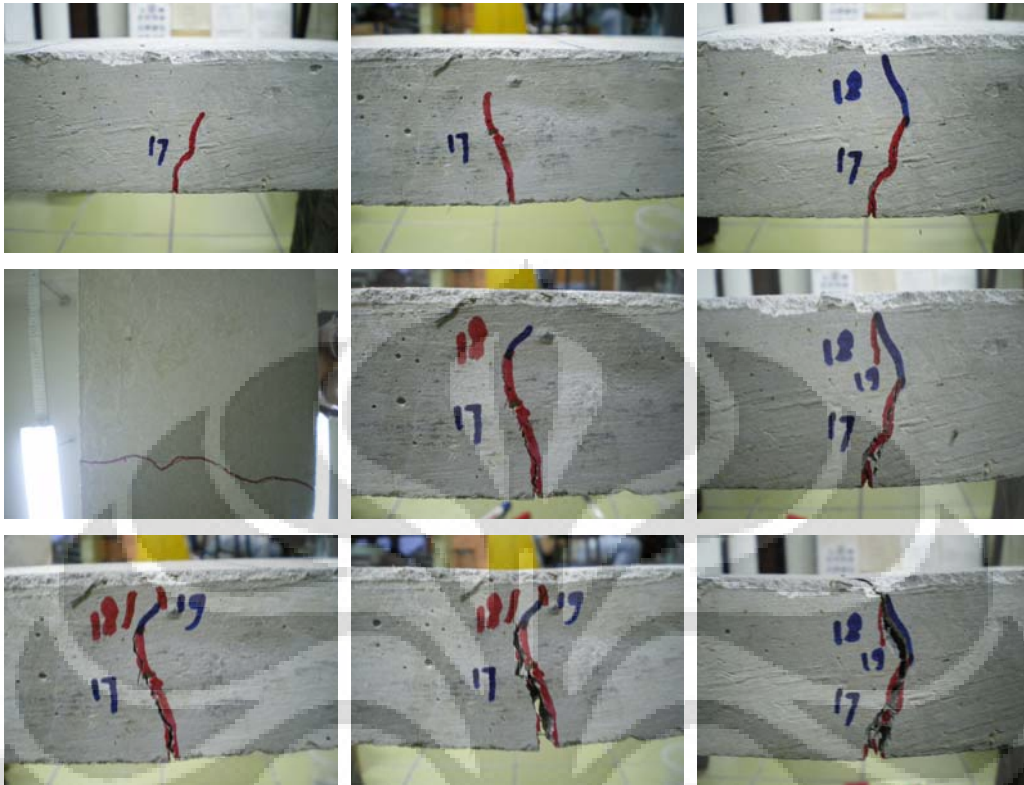
LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar

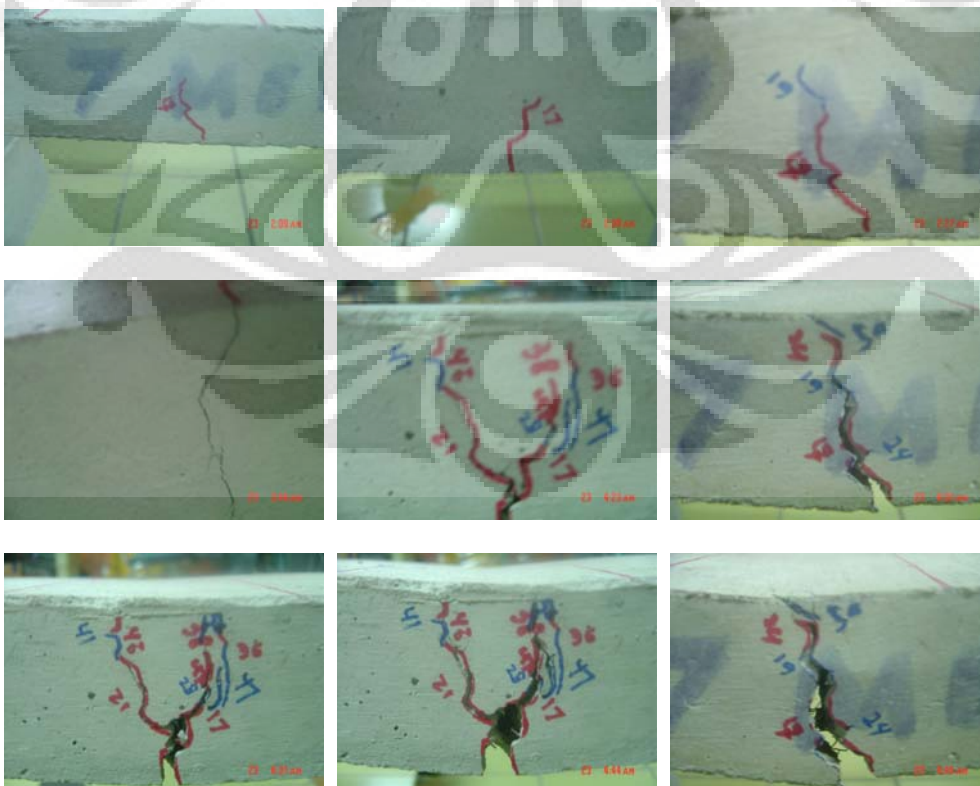
Pelat Tidak Rendam 0%



Pelat Tidak Rendam 1%



Pelat Tidak Rendam 2%

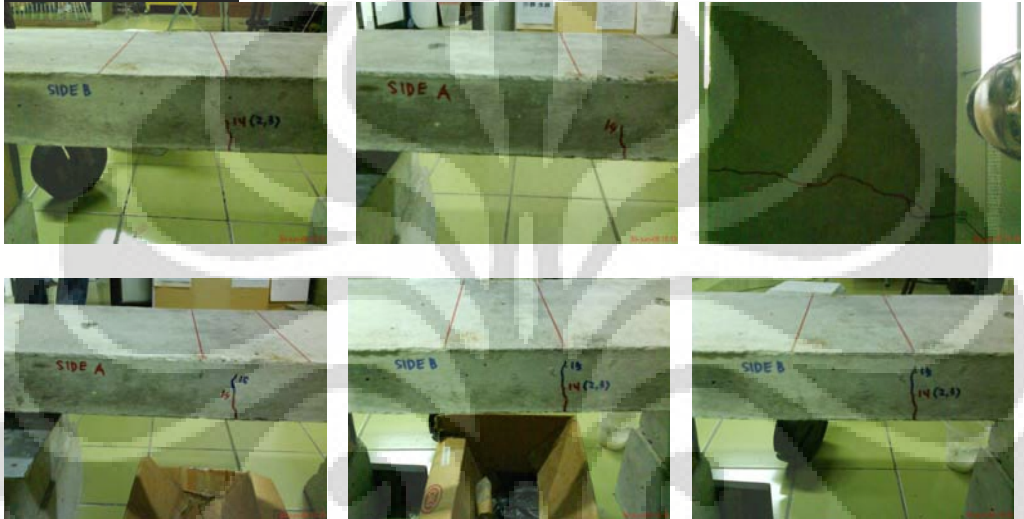


Pelat Tidak Rendam 3%



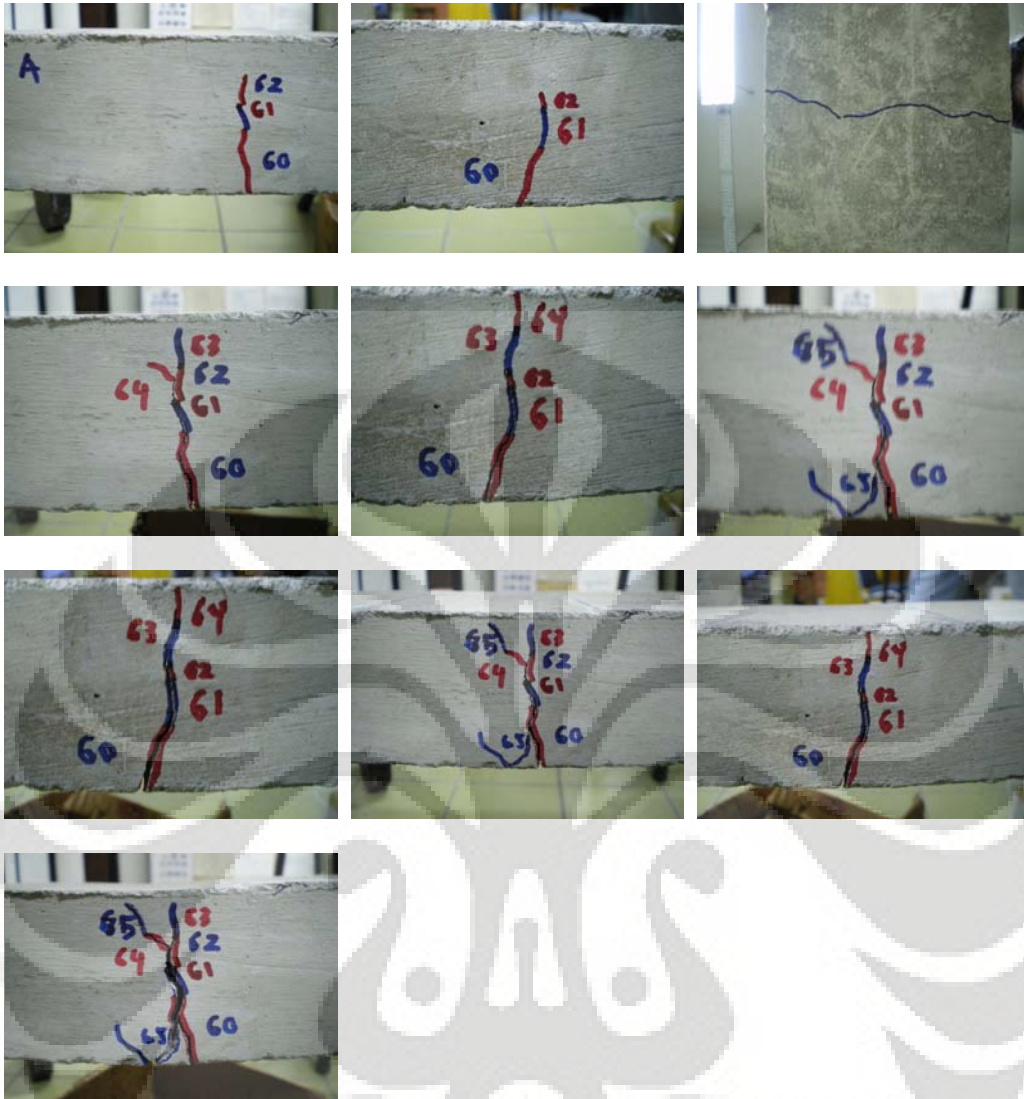


Pelat Rendam 1%



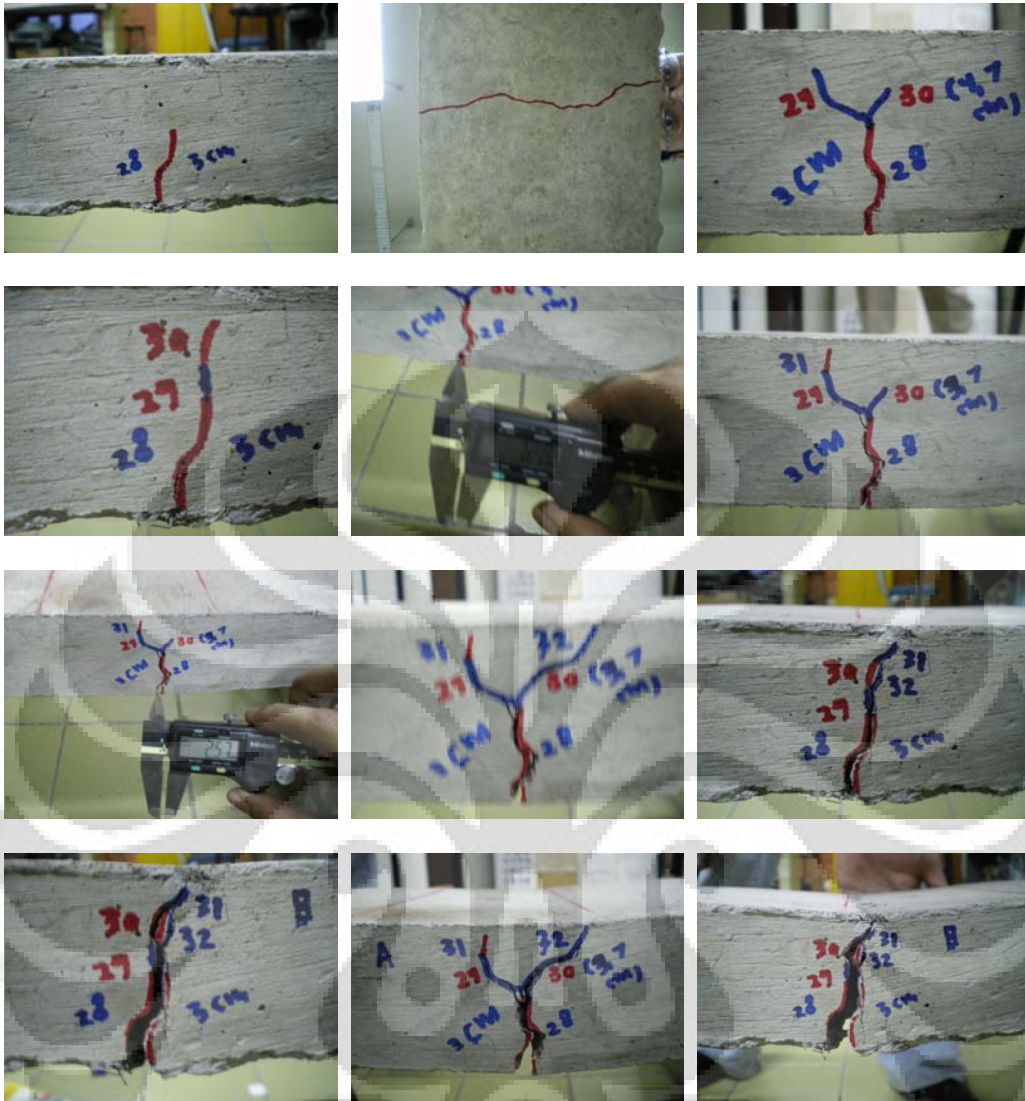
Pelat Rendam 1%





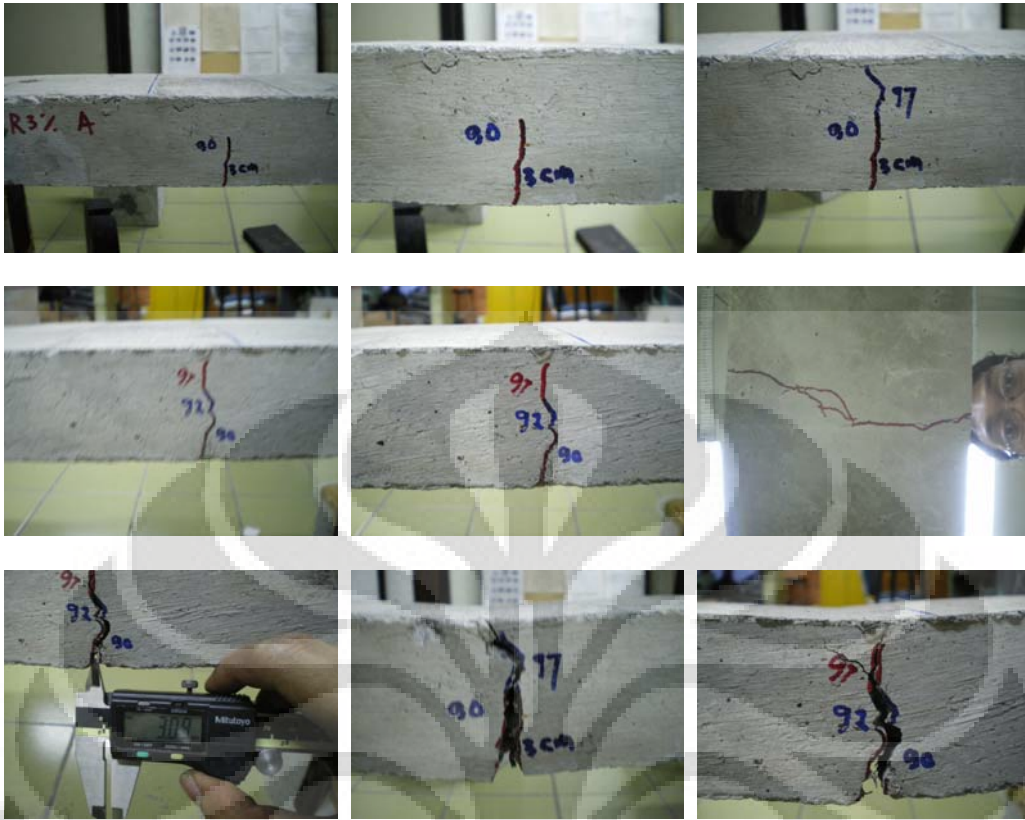
Pelat Rendam 2%





Pelat Rendam 3%





Lampiran 2 Tabel – tabel ragam periode dan frekuensi SAP

TR 0% Retak ke-18

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,008402 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000579 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000306 |

TR 1% Retak ke 17

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,008006 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000866 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000564 |

TR 1% Retak ke 18

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,010287 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,00081 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,00049 |

TR 2% Retak ke 17

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,005784 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000623 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000408 |

TR 2% Retak ke 19

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,008074 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000637 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000405 |

TR 2% Retak ke 34

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,020175 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000711 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000404 |

TR 3% Retak ke 199

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,035732 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,001624 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000662 |

TR 3% Retak ke 200

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,010164 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,00106 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000678 |

TR 3% Retak ke 235

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,009612 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,001158 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000668 |

R 0% Retak ke -14

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,011055 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,002156 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000732 |

R 1% Retak ke -60

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,008006 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,002059 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000866 |

R 1% Retak ke -61

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,010212 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,002098 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000891 |

R 1% Retak ke -62

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,012318 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,002128 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000914 |

R 1% Retak ke -63

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,042636 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,002403 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,001384 |

R 2% Retak ke -28

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,012454 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,000969 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000575 |

R 2% Retak ke -30

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,020848 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,001127 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000571 |

R 2% Retak ke -31

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,17578 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,00569 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,000565 |

R 3% Retak ke -90

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | |
|---|-----------------|----------------|---------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period |
| Text | Text | Unitless | Sec |
| MODAL | Mode | 1 | 0,040384 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,003181 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,001922 |