

097/FT.EKS.01/SKRIP/07/2008

**PRILAKU BALOK BETON BERSERAT METAL DAN  
BALOK BETON PRATARIK TERHADAP  
PEMBEBANAN BERULANG**

(Kasus studi : balok dengan coakan lebar 3,2 mm dan tinggi 1,6 cm serta  
dengan variasi serat 0% atau 1% dari volume total beton)

**SKRIPSI**

Oleh :

**BAMBANG YUDHO WIBOWO**

**04 04 21 010 3**



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

**097/FT.EKS.01/SKRIP/07/2008**

**BEHAVIOUR OF FIBER REINFORCED AND  
PRETENSIONED CONCRETE BEAM TO REPEATED  
IMPACT LOADING**

**(Case study : beam with 3.2 mm width and 1.6 cm height of notch, and with  
0% or 1% fiber variation of total concrete volume)**

**FINAL ASSIGNMENT**

**By**

**BAMBANG YUDHO WIBOWO**

**04 04 21 010 3**



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

097/FT.EKS.01/SKRIP/07/2008

**PRILAKU BALOK BETON BERSERAT METAL DAN  
BALOK BETON PRATARIK TERHADAP  
PEMBEBANAN BERULANG**

(Kasus studi : balok dengan coakan lebar 3,2 mm dan tinggi 1,6 cm serta  
dengan variasi serat 0% atau 1% dari volume total beton)

**SKRIPSI**

oleh :

**BAMBANG YUDHO WIBOWO**

**04 04 21 010 3**



**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 :

### **PRILAKU BALOK BETON BERSERAT METAL DAN BALOK BETON PRATARIK TERHADAP PEMBEBANAN BERULANG**

**(Kasus studi : balok dengan coakan lebar 3,2 mm dan tinggi 1,6 cm serta  
dengan variasi serat 0% atau 1% dari volume total beton)**

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 sebagaimana mestinya.

Depok, 25 Juli 2008

Bambang Yudho Wibowo  
NPM 04 04 21 010 3



## FINAL ASSIGNMENT ORIGINALITY CLARIFICATION

I, Hereby :

Student Name : **BAMBANG YUDHO WIBOWO**

Student Card Number : 0404210103

Major : Civil Engineering

Clarify that this final assignment I have been made is my own work. This final assignment is the original copy and not a duplication of other final assignment that have been made published or used to gain bachelor degree in University of Indonesia as well as other university or any institute, unless the references included as they should be.

Depok, 25 Juli 2008

Bambang Yudho Wibowo

NPM : 04 04 21 010 3

## **PENGESAHAN**

Skripsi dengan judul :

### **PRILAKU BALOK BETON BERSERAT METAL DAN BALOK BETON PRATARIK TERHADAP PEMBEBANAN BERULANG**

**(Kasus studi : balok dengan coakan lebar 3,2 mm dan tinggi 1,6 cm serta  
dengan variasi serat 0% atau 1% dari volume total beton)**

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, 25 Juli 2008

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA

NIP. 1316455338

## APPROVAL

Final Assignment titled :

### **BEHAVIOUR OF FIBER REINFORCED AND PRETENSIONED CONCRETE BEAM TO REPEATED IMPACT LOADING**

**(Case study : beam with 3.2 mm width and 1.6 cm height of notch, and with  
0% or 1% fiber variation of total concrete volume)**

Is proposed to fulfill one of the requirements needed to achieve Bachelor Degree in Civil Engineering Department, Engineering Faculty, University of Indonesia. This Final Assignment have been tested at Final Assignment test conference on 11 july 2008 and expressed by validity and fulfill condition/valid as Final Assignment at Department of Civil Engineering, Engineering Faculty University of Indonesia.

Depok, 25 july 2008

Lecturer Counsellor

Dr. Ir.Heru Purnomo  
NIP. 1316455338

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis terima kasih kepada :

**Dr. Ir. Heru Purnomo ,DEA**

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

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi saya kali ini membahas tentang studi perilaku balok beton dan balok pratarik berserat metal berdasarkan uji tumbukan sederhana. Dimana akan didapat sinyal percepatan yang dihasilkan dari struktur tercatat pada osiloskop dan terekam oleh komputer. Sinyal inilah yang merupakan bahan mentah yang nantinya akan diolah dengan menggunakan program – program yang telah ada untuk mendapatkan parameter – parameter frekuensi.

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah mendukung saya diantaranya :

1. Kedua orang tua saya, yang telah memberi dorongan moral dan materil.
2. Bapak Heru Purnomo yang telah membimbing saya dalam pembuatan skripsi ini.
3. Teman – teman dan dosen – dosen saya yang turut memberi dukungan.

Saya menyadari bahwa skripsi saya ini masih terdapat kekurangan, untuk itu saya harapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pembaca.

Demikianlah kata pengantar ini, apabila ada kata – kata yang salah, harap dimaafkan.

Depok, 25 Juli 2008

PENYUSUN

Bambang Yudho Wibowo  
0404210103  
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Heru Purnomo,DEA

**PRILAKU BALOK BETON BERSERAT METAL DAN BALOK  
BETON PRATARIK TERHADAP PEMBEBANAN BERULANG.  
(Kasus studi : balok dengan coakan lebar 3,2 mm dan tinggi 1,6 cm serta  
dengan variasi serat 0% atau 1% dari volume total beton)**

**ABSTRAK**

Beton adalah material yang berperilaku baik dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik. Karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak dapat terjadi pada taraf pembebanan yang masih awal ataupun rendah.

Permasalahan yang sampai sekarang cukup menarik perhatian para peneliti adalah getaran, misalnya getaran akibat beban tumbukan berulang yang bekerja pada struktur.

Dalam skripsi ini akan dibahas respon akibat beban tumbukan terhadap benda uji balok yang telah diberikan coakan pada tengah bentang dengan lebar 3,2 mm dan tinggi 1,6 cm, dan ditumpu dengan perletakan sendi-rol. Benda uji yang digunakan terbuat dari beton fiber dan balok pratarik mutu K-300 yang terdiri dari Beton Tanpa Serat (BTS), Beton Serat (BS), Beton Pratarik Tanpa Serat (BPTS), dan Beton Pratarik Serat (BPS).

Parameter yang akan diteliti terhadap perilaku balok yang dibebani tumbukan adalah parameter frekuensi. Keempat jenis balok beton tersebut kemudian diuji terhadap beban berulang dengan tinggi jatuh sama hingga benda uji mencapai keruntuhan.

Sinyal percepatan yang dihasilkan dari struktur tercatat pada osiloskop dan terekam oleh komputer. Sinyal inilah yang merupakan bahan mentah yang nantinya akan diolah dengan menggunakan program – program yang telah ada untuk mendapatkan frekuensi alami balok tersebut.

Dari hasil pengujian diketahui bahwa, serat dapat memberikan kontribusi pada struktur dalam menahan tarik, sehingga struktur mampu menahan jumlah tumbukan yang lebih banyak. Hal ini membuktikan bahwa dari 4 jenis spesimen yang diuji, BTS (Beton Tanpa Serat) mengalami keruntuhan lebih cepat jika dibandingkan dengan 3 (tiga) jenis balok yang lainnya. Sedangkan balok beton pratarik dengan serat metal 1% dari volume total menjalani proses untuk runtuh yang paling lama dibandingkan dengan 3 (tiga) jenis balok yang lainnya. Pola retak yang dihasilkan akibat beban tumbukan pada semua jenis balok adalah pola retak lentur.

**Kata kunci : Serat metal, Balok Pratarik, Coakan, Balok beton**

Bambang Yudho Wibowo  
0404210103  
Civil Engineering Department

Counselor  
Dr. Ir. Heru Purnomo,DEA

**BEHAVIOUR OF FIBER REINFORCED AND PRETENSIONED  
CONCRETE BEAM TO REPEATED IMPACT LOADING  
(Case study : beam with 3.2 mm width and 1.6 cm height of notch, and  
with 0% or 1% fiber variation of total concrete volume)**

**ABSTRACT**

Concrete is a good material to face compression but it is weak to resist tension. Due to this weakness, possibility of fracture to appear in early staging of loading is quite high.

Vibration problem is still concerned by the researchers i.e. vibration problems caused by repeated impact loading on structure.

This study will discuss mainly about concrete beam response to repeated impact loading. The beam is notched at its middle span. Notch dimension are 3,2 mm wide and 1,6 cm high. All beams have concrete characteristic stress of K-300 and they are supported by a roller and hinged on each side. There are four different samples of beam: Non-Fiber Concrete Beam (BTS), Fiber Concrete Beam(BS), Non-Fiber Pretension Beam(BPTS), Fiber Pretension Beam (BPS)

Frequency parameter will be used to study the behaviour of beam due to impact load. The four samples are tested by repeated impact load with constant height until the beam are in failure condition.

Acceleration signal that is resulted from the structure will be showed on the osciloscop and recorded by the computer. This signal as initial data will be processed by the Fast Fourier Transform program to get natural frequency.

The study shows that fiber material contributes to the improvement of tension strength of beam; thus beam with fiber can accept more hammer blow. The examination shows that from 4 types of concrete beam, collapse for the non-fibered concrete beam is earlier than the fibered ones. While the pretensioned concrete beam with 1% of metal fiber volume survive better before it crashed compare to the other concrete beam types. Fracture pattern at all types of beams due to blow are flex fracture patterns.

**Keywords : Fiber metal, Pretension beam, Notch, Concrete beam**

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
FINAL ASSIGNMENT ORIGINALITY CLARIFICATION.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
APPROVAL.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GRAFIK .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB.I. PENDAHULUAN.....	1
1.1.LATAR BELAKANG.....	1
1.2.PERMASALAHAN .....	2
1.3.PEMBATASAN MASALAH.....	3
1.4.TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.5. METODE PENULISAN .....	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN .....	4
BAB.II. DASAR TEORI .....	5
2.1.PENGERTIAN BETON.....	5
2.2.KINERJA BETON.....	6
2.3.UMUR BETON.....	7
2.4.FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEKUATAN TEKAN BETON .....	8
2.5.FAKTOR AIR SEMEN (FAS).....	9
2.6.BETON SERAT.....	9



2.6.1.Serat Metal .....	11
2.6.1.1.Bentuk Serat Metal .....	11
2.6.1.2.Ukuran Serat Metal .....	12
2.6.1.3.Kadar Serat Metal .....	12
2.6.2.Serat Polymer .....	13
2.6.3.Serat Mineral .....	14
2.6.4. Serat Alami .....	14
2.7.BETON PRATARIK.....	14
2.7.1.Keuntungan dan Kerugian Beton Pratarik .....	15
2.7.2.Prilaku Balok Pratarik.....	16
2.7.3.Tiga Konsep Dasar Beton Pratarik .....	19
2.7.3.1.Konsep Balok Homogen .....	19
2.7.3.2.Konsep Gaya Dalam.....	21
2.7.3.3.Konsep Beban Berimbang .....	22
2.7.4.Kehilangan Pratarik .....	23
2.7.4.1.Perpendekan Elastis .....	24
2.7.4.2.Relaksasi Tegangan Baja .....	25
2.7.4.3.Total Kehilangan Pratarik Yang Dijinkan Dalam Desain .....	25
2.8.HUBUNGAN MOMENTUM DAN IMPULS .....	26
2.8.1.Konsep Momentum Linier .....	26
2.8.2.Impuls.....	27
2.9.KETEGARAN RETAK .....	30
2.10.KONSEP DARI MEKANISME KERUNTUHAN ELASTIS LINEAR.....	30
2.11.UKURAN COAKAN .....	31
2.12.SIFAT MEKANIK BETON .....	32
2.12.1.Tegangan Lentur Pada Balok Beton Homogen .....	32
2.12.2.Tegangan Geser .....	35
2.12.3. Lendutan Balok.....	36
2.13.PERCobaAN SEBELUMNYA .....	38
2.13.1.Percobaan Palu Elektrik .....	38

2.13.2. Beton Tanpa Serat (BTS) .....	39
2.13.3. Beton Serat (BS) .....	40
2.13.4. Beton Pratarik Tanpa Serat (BPTS) .....	42
2.13.5. Beton Pratarik Serat (BPS) .....	44
<b>BAB. III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>48</b>
3.1. PENDAHULUAN .....	48
3.2. BAHAN DAN ALAT .....	48
3.2.1. Pembuatan Frame Untuk Balok Pratarik .....	49
3.3. PEMBUATAN BENDA UJI .....	51
3.3.1. Pembuatan Adukan .....	51
3.3.1.1. Pembuatan Adukan Balok Biasa .....	51
3.3.1.2. Pembuatan Balok Pratarik .....	52
3.3.2. Pencetakan Adukan .....	52
3.3.3. Perawatan Spesimen / Benda Uji .....	53
3.4. PENGUJIAN SPESIMEN .....	53
3.4.1. Penentuan Kuat Tekan .....	53
3.4.2. Penentuan Modulus Elastisitas dan Nilai Poisson .....	54
3.4.3. Pengujian Tumbukan Sederhana .....	56
3.5. PENGOLAHAN DATA .....	57
3.5.1. Data Yang Didapat .....	57
3.5.2. Pengolahan Data .....	57
<b>BAB. IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>58</b>
4.1. NILAI SLUMP .....	58
4.2. DATA KUAT TEKAN .....	58
4.3. KUAT TEKAN SILINDER .....	59
4.4. HASIL MODULUS ELASTISITAS DAN NILAI POISSON .....	60
4.5. PERHITUNGAN MOMENTUM .....	60
4.6. DURASI PEMBEBANAN .....	61
4.7. HUBUNGAN ANTARA TINGGI JATUH DENGAN IMPULS ....	63
4.8. ANALISA FREKUENSI .....	64
4.8.1. Analisa Frekuensi Natural .....	64
4.8.2. Analisa Frekuensi Balok Tanpa Serat (BTS) .....	64

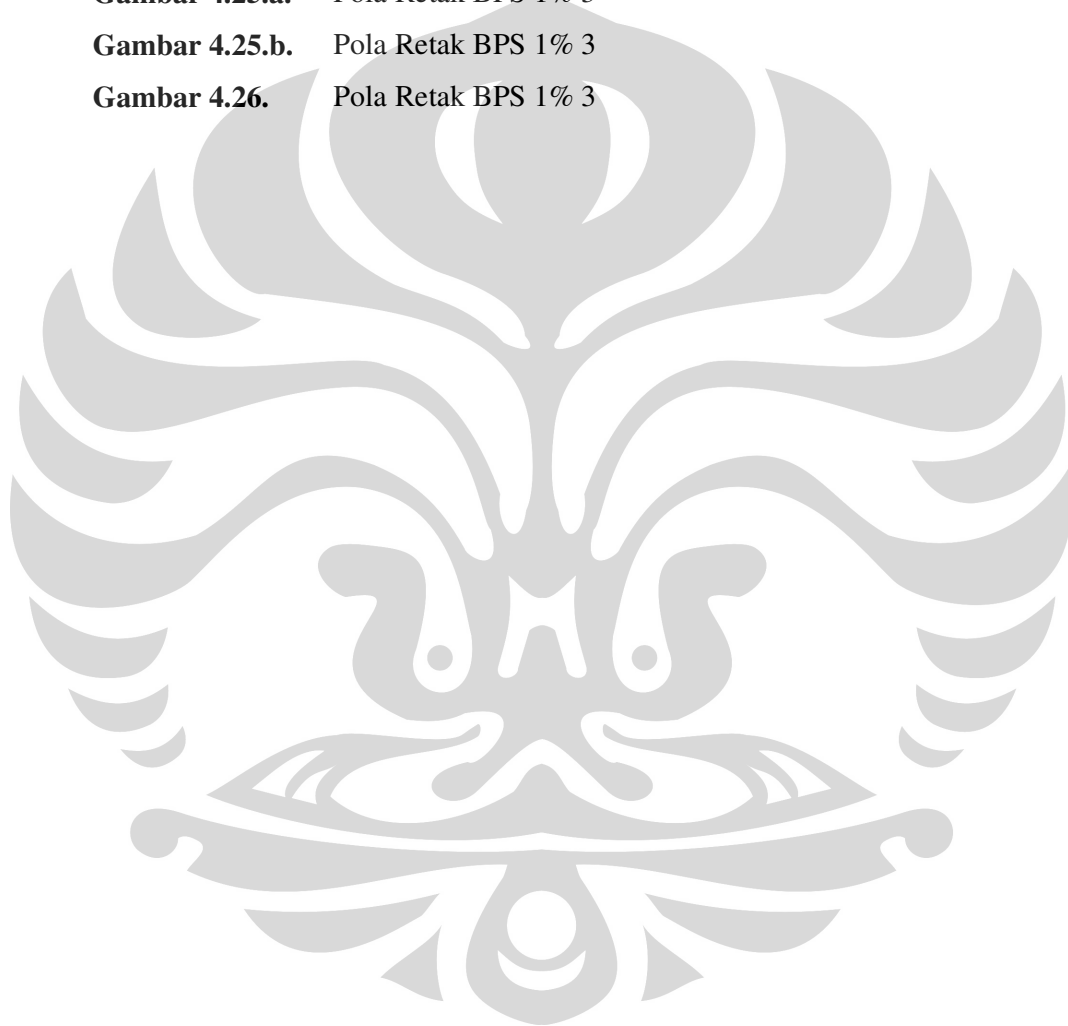
4.8.2.1. Balok Tanpa Serat 1 (BTS 1) .....	64
4.8.2.2. Balok Tanpa Serat 2 (BTS 2) .....	67
4.8.2.3. Balok Tanpa Serat 3 (BTS 3) .....	70
4.8.3. Analisa Frekuensi Balok Serat 1% (BS) .....	73
4.8.3.1. Balok Serat 1 (BS 1) .....	73
4.8.3.2. Balok Serat 2 (BS 2) .....	76
4.8.3.3. Balok Serat 3 (BS 3) .....	79
4.8.4. Analisa Frekuensi Balok Pratarik Tanpa Serat (BPTS) .....	83
4.8.4.1. Balok Pratarik Tanpa Serat 1 (BPTS 1) .....	83
4.8.4.2. Balok Pratarik Tanpa Serat 2 (BPTS 2) .....	86
4.8.4.3. Balok Pratarik Tanpa Serat 3 (BPTS 3) .....	89
4.8.5. Analisa Frekuensi Balok Serat 1% (BS) .....	93
4.8.5.1. Balok Pratarik Serat 1 (BS 1) .....	93
4.8.5.2. Balok Pratarik Serat 2 (BS 2) .....	96
4.8.5.3. Balok Pratarik Serat 3 (BS 3) .....	100
4.9. MENENTUKAN TINGGI JATUH MAKSIMUM BEBAN TUMBUKAN .....	107
4.9.1. Beton Tanpa Serat (BTS) .....	108
4.9.2. Beton Serat (BS) .....	108
4.10. ANALISA BALOK PRATARIK .....	109
BAB. V. Kesimpulan dan Saran .....	110
5.1. KESIMPULAN .....	110
5.2. SARAN .....	111
DAFTAR PUSTAKA .....	108
LAMPIRAN .....	

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Proses pembuatan beton 5
<b>Gambar 2.2.</b>	Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton 8
<b>Gambar 2.3</b>	Tahap perilaku sampai dengan beban kerja – balok pratarik 19
<b>Gambar 2.4</b>	Perhitungan dengan konsep balok homogen 21
<b>Gambar 2.5</b>	Konsep beban berimbang dari pratekan 23
<b>Gambar 2.6</b>	Gaya sebagai fungsi waktu melukiskan impuls 28
<b>Gambar 2.7</b>	Impuls I sama dengan luas bagian terarsir 29
<b>Gambar 2.8</b>	Sensitivitas coakan ( <i>notch</i> ) pada material 31
<b>Gambar 2.9</b>	Ukuran coakan ( <i>notch</i> ) 31
<b>Gambar 2.10</b>	Ukuran coakan 32
<b>Gambar 2.11</b>	Distribusi tegangan Elastis dan Inelastis pada balok homogen 33
<b>Gambar 2.12</b>	Distribusi Tegangan aktual & ekuivalen pada saat beban maks 34
<b>Gambar 2.13</b>	Distribusi tegangan sepanjang bidang horizontal 35
<b>Gambar 2.14</b>	Distribusi tegangan geser pada penampang balok segiempat 36
<b>Gambar 2.15</b>	Pola Retak BTS 1 39
<b>Gambar 2.16</b>	Pola Retak BTS 2 39
<b>Gambar 2.17</b>	Pola Retak BTS 3 40
<b>Gambar 2.18</b>	Pola Retak BS 1 40
<b>Gambar 2.19</b>	Pola Retak BS 2 41
<b>Gambar 2.20</b>	Pola Retak BS 3 42
<b>Gambar 2.21</b>	Pola Retak BPTS 1 42
<b>Gambar 2.22</b>	Pola Retak BPTS 2 43
<b>Gambar 2.23</b>	Pola Retak BPTS 3 44
<b>Gambar 2.24</b>	Pola Retak BPS 1 44
<b>Gambar 2.25</b>	Pola Retak BPS 2 45
<b>Gambar 2.26</b>	Pola Retak BPS 3 46
<b>Gambar 2.27</b>	Perbandingan Gaya Palu 47
<b>Gambar 3.1</b>	Frame balok pratarik 50

<b>Gambar 3.2</b>	Kolom-kolom sebagai dudukan katrol dan keranjang beban	50
<b>Gambar 3.3</b>	Dudukan katrol	51
<b>Gambar 3.4</b>	Koreksi Dial Lateral	55
<b>Gambar 3.5</b>	Posisi alat untuk uji modulus elastisitas	56
<b>Gambar 3.6</b>	Percepatan (perkiraan)	57
<b>Gambar 4.1</b>	Waktu tempuh palu penumbuk ke benda uji	60
<b>Gambar 4.2</b>	Impuls dari tumbukan peluru Noverya (a) dan Bambang (b)	61
<b>Gambar 4.3.a.</b>	Pola Retak BTS 1	67
<b>Gambar 4.3.b.</b>	Pola Retak BTS 1	67
<b>Gambar 4.4.</b>	Pola Retak BTS 1	67
<b>Gambar 4.5.</b>	Pola Retak BTS 2	70
<b>Gambar 4.6.</b>	Pola Retak BTS 2	70
<b>Gambar 4.7.a.</b>	Pola Retak BTS 3	73
<b>Gambar 4.7.b.</b>	Pola Retak BTS 3	73
<b>Gambar 4.8.</b>	Pola Retak BTS 3	73
<b>Gambar 4.9.</b>	Pola Retak BS 1% 1	76
<b>Gambar 4.10.</b>	Pola Retak BS 1% 1	77
<b>Gambar 4.11.</b>	Pola Retak BS 1% 2	80
<b>Gambar 4.12.</b>	Pola Retak BS 1% 2	80
<b>Gambar 4.13.a.</b>	Pola Retak BS 1% 3	83
<b>Gambar 4.13.b.</b>	Pola Retak BS 1% 3	83
<b>Gambar 4.14.</b>	Pola Retak BS 1% 3	83
<b>Gambar 4.15.a</b>	Pola Retak BPTS 1	86
<b>Gambar 4.15.b</b>	Pola Retak BPTS 1	86
<b>Gambar 4.16.</b>	Pola Retak BPTS 1	87
<b>Gambar 4.17.a.</b>	Pola Retak BPTS 2	90
<b>Gambar 4.17.b.</b>	Pola Retak BPTS 2	90
<b>Gambar 4.18.</b>	Pola Retak BPTS 2	90
<b>Gambar 4.19.a.</b>	Pola Retak BPTS 3	93
<b>Gambar 4.19.b.</b>	Pola Retak BPTS 3	94
<b>Gambar 4.20.</b>	Pola Retak BPTS 3	94

<b>Gambar 4.21.a.</b>	Pola Retak BPS 1% 1	97
<b>Gambar 4.21.b.</b>	Pola Retak BPS 1% 1	97
<b>Gambar 4.22.</b>	Pola Retak BPS 1% 1	97
<b>Gambar 4.23.a</b>	Pola Retak BPS 1% 2	100
<b>Gambar 4.23.b</b>	Pola Retak BPS 1% 2	100
<b>Gambar 4.24.</b>	Pola Retak BPS 1% 2	101
<b>Gambar 4.25.a.</b>	Pola Retak BPS 1% 3	104
<b>Gambar 4.25.b.</b>	Pola Retak BPS 1% 3	104
<b>Gambar 4.26.</b>	Pola Retak BPS 1% 3	104



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1.</b> Total kehilangan pratarik yang diizinkan dalam desain	26
<b>Tabel 2.2.</b> Frekuensi balok	38
<b>Tabel 2.3.</b> Nilai Perbandingan Frekuensi	38
<b>Tabel 2.4.</b> Frekuensi Saat BTS 1 Retak dan Runtuh	39
<b>Tabel 2.5.</b> Frekuensi Saat BTS 2 Runtuh	39
<b>Tabel 2.6.</b> Frekuensi Saat BTS 3 Runtuh	40
<b>Tabel 2.7.</b> Frekuensi Saat BS 1 Retak dan Runtuh	41
<b>Tabel 2.8.</b> Frekuensi Saat BS 2 Retak dan Runtuh	41
<b>Tabel 2.9.</b> Frekuensi Saat BS 3 Retak dan Runtuh	42
<b>Tabel 2.10.</b> Frekuensi Saat BPTS 1 Retak dan Runtuh	43
<b>Tabel 2.11.</b> Frekuensi Saat BPTS 2 Retak dan Runtuh	43
<b>Tabel 2.12.</b> Frekuensi Saat BPTS 3 Retak dan Runtuh	44
<b>Tabel 2.13.</b> Frekuensi Saat BPS 1 Retak dan Runtuh	45
<b>Tabel 2.14.</b> Frekuensi Saat BPS 2 Retak dan Runtuh	45
<b>Tabel 2.15.</b> Frekuensi Saat BPS 3 Retak dan Runtuh	46
<b>Tabel 2.16.</b> Perbandingan Gaya Palu	46
<b>Tabel 4.1.</b> Nilai Kuat Tekan Kubus dan Silinder Untuk Benda Uji BTS	58
<b>Tabel 4.2.</b> Nilai Kuat Tekan Kubus dan Silinder Untuk Benda Uji BS	59
<b>Tabel 4.3.</b> Nilai Kuat Tekan Silinder	59
<b>Tabel 4.4.</b> Nilai Modulus dan Nilai Poisson	60
<b>Tabel 4.5.</b> Perhitungan momentum	61
<b>Tabel 4.6.</b> Gaya Impuls	62
<b>Tabel 4.7.</b> Frekuensi Natural 1 dari hasil Uji Laboratorium dan SAP 2000	64
<b>Tabel 4.8.a.</b> Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	65
<b>Tabel 4.8.b.</b> Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)	65
<b>Tabel 4.8.c.</b> Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	66
<b>Tabel 4.9.a.</b> Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	69
<b>Tabel 4.9.b.</b> Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)	69

<b>Tabel 4.9.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	69
<b>Tabel 4.10.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	72
<b>Tabel 4.10.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	72
<b>Tabel 4.10.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	72
<b>Tabel 4.11.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	75
<b>Tabel 4.11.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	75
<b>Tabel 4.11.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	75
<b>Tabel 4.12.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	78
<b>Tabel 4.12.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	78
<b>Tabel 4.12.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	79
<b>Tabel 4.13.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	81
<b>Tabel 4.13.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	81
<b>Tabel 4.13.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	82
<b>Tabel 4.14.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	85
<b>Tabel 4.14.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	85
<b>Tabel 4.14.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	85
<b>Tabel 4.15.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	88
<b>Tabel 4.15.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	88
<b>Tabel 4.15.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	89
<b>Tabel 4.16.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	92
<b>Tabel 4.16.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	92
<b>Tabel 4.16.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	92
<b>Tabel 4.17.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	95
<b>Tabel 4.17.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	95
<b>Tabel 4.17.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	96
<b>Tabel 4.18.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	99
<b>Tabel 4.18.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	99
<b>Tabel 4.18.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	99
<b>Tabel 4.19.a.</b>	Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan	102
<b>Tabel 4.19.b</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Bambang )	102
<b>Tabel 4.19.c</b>	Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )	103
<b>Tabel 4.20.</b>	Perbandingan Jumlah Pukulan dari Setiap Jenis Benda Uji	107



## DAFTAR GRAFIK

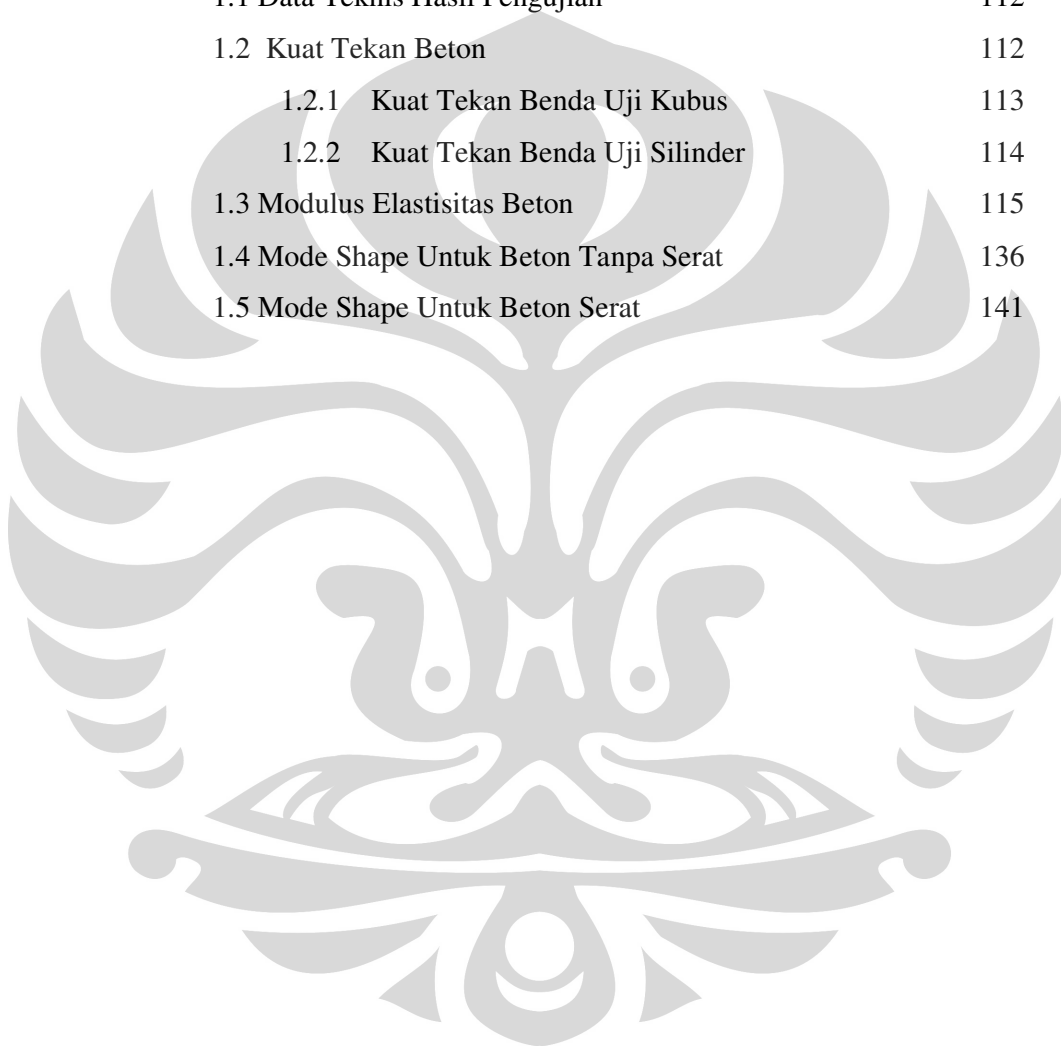
	Halaman
<b>Grafik 2.1.</b> Grafik hubungan keretakan dengan penambahan beban	32
<b>Grafik 4.1.</b> Hubungan Tinggi Jatuh dan Jumlah Pukulan komulatif	63
<b>Grafik 4.2.</b> Hubungan Nilai Impuls dan Jumlah Pukulan komulatif	63
<b>Grafik 4.3.</b> Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 1)	64
<b>Grafik 4.4.</b> Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 1)	65
<b>Grafik 4.5.</b> Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 2)	68
<b>Grafik 4.6.</b> Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 2)	68
<b>Grafik 4.7.</b> Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 3)	71
<b>Grafik 4.8.</b> Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 3)	71
<b>Grafik 4.9.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 1)	74
<b>Grafik 4.10.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 1)	74
<b>Grafik 4.11.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 2)	77
<b>Grafik 4.12.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 2)	78
<b>Grafik 4.13.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 3)	80
<b>Grafik 4.14.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 3)	81
<b>Grafik 4.15.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 1)	84
<b>Grafik 4.16.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 1)	84
<b>Grafik 4.17.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 2)	87
<b>Grafik 4.18.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 2)	88
<b>Grafik 4.19.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 3)	91
<b>Grafik 4.20.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 3)	91
<b>Grafik 4.21.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 1)	94
<b>Grafik 4.22.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 1)	95
<b>Grafik 4.23.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 2)	98
<b>Grafik 4.24.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 2)	98
<b>Grafik 4.25.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 3)	101
<b>Grafik 4.26.</b> Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 3)	102
<b>Grafik 4.27.</b> Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level (BTS)	105

<b>Grafik 4.28.</b>	Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level (BS)	105
<b>Grafik 4.29.</b>	Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level (BPTS)	106
<b>Grafik 4.30.</b>	Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level (BPS)	106
<b>Grafik 4.31.</b>	Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level keempat benda uji	106



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran.</b> Hasil Percobaan dan Perhitungan Ratna Restiana, 2007.	
1.1 Data Teknis Hasil Pengujian	112
1.2 Kuat Tekan Beton	112
1.2.1 Kuat Tekan Benda Uji Kubus	113
1.2.2 Kuat Tekan Benda Uji Silinder	114
1.3 Modulus Elastisitas Beton	115
1.4 Mode Shape Untuk Beton Tanpa Serat	136
1.5 Mode Shape Untuk Beton Serat	141



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Secara keseluruhan dalam bidang konstruksi di Indonesia, terlepas dari masalah ekonomi yang terjadi, kita melihat bahwa pertumbuhan atau perkembangan konstruksi cukup pesat. Sebagian material yang digunakan untuk membentuk pekerjaan hampir 60% menggunakan beton (*concrete*), yang pada kasus tertentu dipadukan dengan baja (*composite*) atau jenis lainnya. Konstruksi beton dapat dijumpai dalam pembuatan gedung-gedung, jalan, bendung, saluran, dan lainnya yang secara umum dibagi menjadi dua yakni untuk konstruksi bawah (*under structure*) maupun konstruksi atas (*upper structure*).

Agar kita dapat merancang kekuatannya dengan baik, artinya dapat memenuhi kriteria aspek ekonomi, rendah dalam biaya, dapat memenuhi aspek teknik yaitu memenuhi kekuatan struktur, maka seorang perencana beton harus mampu merancang campuran beton yang memenuhi kriteria tersebut.

Salah satu jenis beton adalah beton berserat (*fiber concrete*). Beton berserat (*fiber concrete*) adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat berupa batang-batang dengan diameter antara 5 sampai 5000 mikrometer dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Beton serat dapat berupa serat metal (kawat bindrad atau fibermesh), serat polymer (serat karbon, acrylic, *polypropylene*), serat mineral (*glass fiber*) dan serat-serat alamiah (serat jerami, bambu, ijuk) serat plastik (rotan, bambu, sabut kelapa).

Prilaku material dalam menerima getaran berbeda satu sama lainnya. Salah satu jenis dari getaran adalah getaran respons singkat akibat adanya beban berulang (*impact*) yang bekerja pada suatu struktur. Contoh beban berulang dapat berupa gaya yang dihasilkan hammer pada pemancangan tiang pancang atau gerakan dari sebuah truk bermuatan besar ketika melintasi sebuah jembatan.

Beton pratarik (*prestress concrete*) adalah beton yang diberikan tegangan pendahuluan/awal yang fungsinya untuk meningkatkan kekuatan struktur,

besarnya tegangan sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi akibat beban luar dilawan sampai ke suatu tingkat tertentu.

Coakan (*notch*) pada beton memiliki pengaruh cukup besar hingga dapat memberikan kelemahan pada struktur dan mempercepat terjadinya retak.

Untuk itu dalam skripsi ini akan diteliti perubahan frekuensi dari balok beton tanpa serat, beton berserat, beton pratarik tanpa serat dan beton pratarik serat dari pengaruh beban dinamik (tumbukan sederhana) dengan kasus studi balok yang diberikan coakan pada tengah bentang.

## 1.2. PERMASALAHAN

Penelitian tentang beban tumbukan atau *impact* 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 tumbukan.

Penelitian – penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan material yang cukup baik untuk menahan beban ini. Salah satu material yang telah berhasil dicoba adalah beton *fiber*. Respon beton *fiber* cukup baik terhadap *impact* dan *fatigue*. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah drop weight test. Namun dalam penelitian tersebut tidak diuraikan secara jelas bagaimana perubahan frekuensi dan faktor peluruhan atau *decay factor* beton *fiber* dari keadaan elastis sampai mengalami failure / keruntuhan.

Pada pengujian kali ini akan digunakan benda uji yang diberi coakan dibagian tengah pada sisi serat tarik dan kemudian dibebankan beban tumbukan (*impact*) dengan drop weight test, menggunakan sebuah impactor yang dijatuhkan pada ketinggian yang sama hingga benda uji failure atau runtuh. Selanjutnya dengan menggunakan perangkat lunak yang ada, hasil yang didapat dari percobaan diolah untuk mendapatkan frekuensi.

### **1.3. BATASAN MASALAH**

Untuk memperjelas permasalahan dan menghindari penyimpangan karena terlalu banyak masalah yang dibahas, maka skripsi ini membatasi hanya pada pengujian spesimen yang diberi coakan pada sisi tariknya dan kemudian dibebankan beban tumbuk pada ketinggian yang sama hingga balok tersebut mengalami failure/runtuh. Pengujian ini hanya dilakukan pada spesimen dengan ukuran 4cm lebar, 8 cm tinggi, dan 1m panjang. Adapun benda uji yang dimaksud adalah;

- a) Beton dengan 0% serat
- b) Beton dengan 1% serat
- c) Beton dengan 0% serat dan diberi pratarik
- d) Beton dengan 1% serat dan diberi pratarik.

### **1.4. TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan komposisi beton dalam menanggung pembebanan tumbukan sederhana dari beberapa komposisi benda uji dengan kasus studi balok beton yang telah diberikan coakan sedalam 1,6 cm dan lebar 3,2 mm. Hasil yang didapat merupakan hubungan beban terhadap fungsi waktu dengan frekuensi. Hasil dari data pengujian akan diolah sehingga akan didapatkan komposisi benda uji yang paling optimal dalam menahan beban tumbukan

### **1.5. METODE PENULISAN**

Tahap awal dari penulisan ini adalah dengan penelusuran literatur untuk memahami balok, material pembentuk benda uji yaitu beton dan material serat sebagai bahan tambah dalam benda uji, beton pratarik, mekanisme retak pada beton, beban tumbukan (*impuls*). Tahap selanjutnya adalah studi percobaan laboratorium, dimana dilakukan pembebanan dinamis dengan metode tumbukan

sederhana, sehingga didapat hubungan antara frekuensi dengan beban terhadap fungsi waktu pada setiap benda uji.

## **1.6. SISTEMATIKA PENULISAN**

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan penelitian, tujuan dari penelitian, metodologi dan sistematika yang dilakukan dalam menyusun penulisan penelitian.

### **BAB II : DASAR TEORI**

Bab ini membahas dasar teori tentang benda uji yakni balok, material pembentuk benda uji yakni beton, bahan tambah dalam benda uji yakni serat metal, beton pratarik, dan mekanisme retak pada beton. Pada bab ini juga dijelaskan mengenai pengaruh beban *impact* pada struktur.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini menguraikan mengenai metodologi penelitian antara lain metode yang akan digunakan dalam penelitian, penjelasan pengujian laboratorium, penjelasan tentang benda uji, serta jalannya pengujian laboratorium.

### **BAB IV : ANALISIS DATA**

Bab ini menguraikan tentang pengolahan data dan proses analisa dari data yang didapat dari pengujian berupa data pembebanan dan frekuensi.

### **BAB V : KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil pembahasan bab keempat serta saran-saran dari penulis mengenai penelitian yang dilakukan.

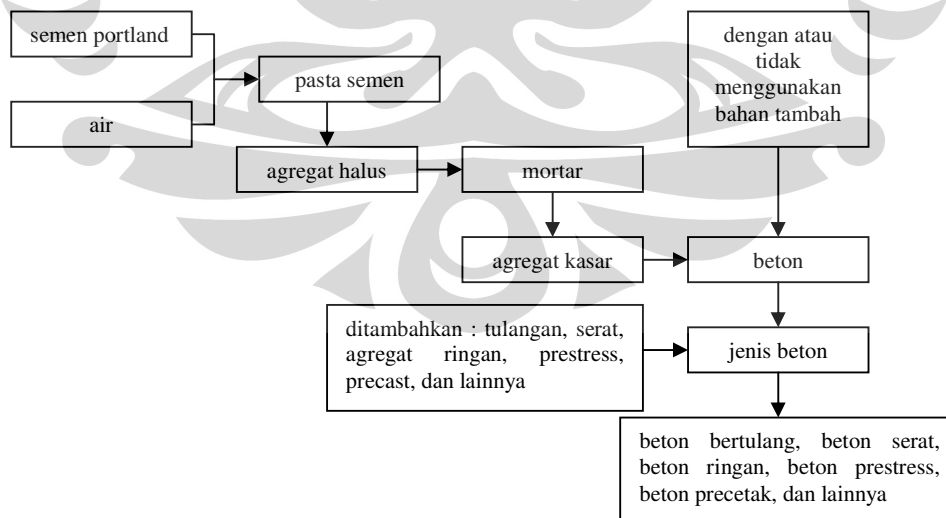
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. PENGERTIAN BETON

Pengertian beton menurut Pedoman Beton 1989, *Draft Konsesus (SKBI.1.4.53,1989:4-5)* beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau sembarang semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tidak menggunakan bahan tambahan. Macam dan jenis beton terdiri dari bahan pembentuknya, dapat berupa beton normal, bertulang, pracetak, beton ringan, beton tanpa tulangan, beton serat dan lainnya. [SKBI.1.4.53,1989. Draft Konsesus][1].

Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambahkan dengan agregat kasar menjadi beton dengan atau tidak menggunakan bahan tambah. Penambahan material lain akan membentuk beton menjadi jenisnya seperti beton bertulang jika ditambahkan dengan tulangan baja. Prosesnya dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.1. Proses pembuatan beton.**

( Sumber : Mulyono, Tri, " *Teknologi Beton*", Andi, Yogyakarta 2004.)



Beton dapat dicetak menurut bentuk yang dikehendaki. Beton dapat dicetak dalam lengkungan parabola, atau bentuk dam, pier, abutment. Keuntungan lain dari konstruksi beton adalah material yang digunakan seperti kerikil dan batu pecah yang mudah didapat dimana-mana sehingga harganya relative murah. Selain itu untuk struktur sederhana seperti rumah tinggal dapat dikerjakan dengan alat yang sederhana pula. Akan tetapi untuk struktur yang rumit seperti dam dan bangunan pencakar langit, membutuhkan alat-alat yang canggih seperti tower crane, concrete pump truck mixer dan masih banyak lagi. Sebaliknya kerugian beton adalah kemungkinan pengiriman material yang bervariasi sehingga mempengaruhi sifat beton, untuk pembuatan beton yang dilaksanakan di tempat kerja (*site*) harus diperhatikan kontrol kualitasnya. Secara umum keuntungan dan kerugian beton sebagai bahan bangunan dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Keuntungan beton

- Mudah untuk dicetak.
- Awet (tahan lama).
- Ekonomis.
- Dapat dicor ditempat.
- Tahan api.

b. Kerugian beton

- Tegangan tarik rendah.
- Daktilitas rendah.

## 2.2. KINERJA BETON

Sifat-sifat dan karakteristik dari material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang dibuat. ASTM membagi menjadi tiga kategori yaitu rumah tinggal, perumahan, dan teknologi tinggi atau struktur yang menggunakan beton mutu tinggi.

SNI T.15-1990-03 memberikan kriteria kinerja untuk beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa boleh menggunakan campuran 1 semen : 2 Pasir : 3 Batu pecah dengan slump untuk mengukur kemudahannya tidak lebih

dari 100 mm. Beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penakaran volume dan yang lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat. [SK SNI T.15-1990-03][2]

Tiga kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton yaitu;

- a. Memenuhi kriteria konstruksi yaitu dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk, mempunyai nilai ekonomis.
- b. Kekuatan merupakan kekuatan tekan
- c. Durabilitas yaitu memiliki keawetan tinggi.

Pengaruh penggunaan air terhadap pembentukan kinerja beton tidak begitu berpengaruh hal ini juga dijelaskan oleh (FAS/WCR) bahwa semakin tinggi penggunaan air dengan FAS atau *water cement ratio* lebih besar dari 0,6 kinerja kekuatan beton akan semakin turun begitu juga sebaliknya. Namun demikian mengingat biaya semen mahal maka untuk skala pekerjaan yang besar penggunaan semen ini pun diusahakan seminimal mungkin. Hal ini mendorong penggunaan bahan pengganti semen.

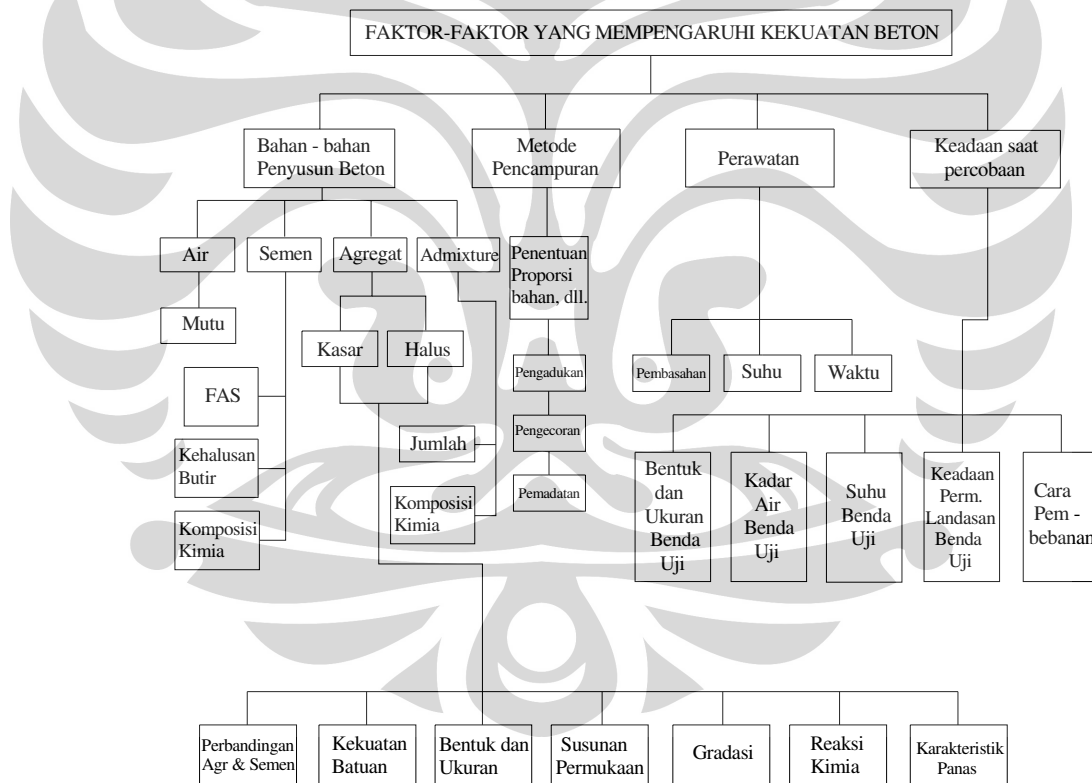
### 2.3. UMUR BETON

Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton, secara cepat kekuatan beton akan linier naiknya sampai umur 28 hari, setelah itu kenaikan kekuatan beton akan kecil. Kekuatan tekan beton pada kasus-kasus tertentu akan terus bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan tekan rencana beton di hitung pada umur 28 hari, untuk struktur yang menghendaki kekuatan awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus ataupun di tambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-I). laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya, yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja tekannya.

## 2.4. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KEKUATAN TEKAN BETON

Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton dapat dilihat di gambar 2.2. Ada empat bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton tersebut, yaitu;

- a. Proporsi bahan-bahan penyusunnya.
- b. Metode perancangan.
- c. Perawatan.
- d. Keadaan pada saat di laksanakan pengecoran, dimana hal ini terutama di pengaruhi oleh lingkungan setempat.



**Gambar 2.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton**

( Sumber : Mulyono, Tri, ” *Teknologi Beton*”, Andi, Yogyakarta 2004.)

## 2.5. FAKTOR AIR SEMEN (FAS)

Secara umum bahwa semakin besar nilai FAS maka semakin rendah mutu kekuatan beton, namun demikian tidak selalu mengakibatkan bahwa semakin rendah akan semakin tinggi kekuatan tekannya. Hal ini ditetapkan dalam batas-batasnya. Penyebabnya bahwa rendahnya FAS akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, artinya kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0.4 dan maksimum 0.65. Pada aktualnya untuk menaikkan sifat pengerjaan karena rendahnya nilai FAS ini umumnya ditambahkan bahan tambah "*Admixture Concrete*", yang bersifat menambah keenceran "*Plasticizer Admixture*" sehingga dapat dengan mudah dikerjakan.

Semen Portland akan terus bereaksi dengan air saat waktu pengikatan terjadi. Setelah 24 jam pada temperatur kamar, 30%-40% semen biasanya terjadi proses hidrasi, pembentukan lapisan penutup dengan bertambahnya kepadatan dan ketebalan yang melapisi partikelnya.

## 2.6. BETON SERAT

Merupakan campuran beton ditambah serat. Umumnya berupa batang-batang dengan ukuran 5-500  $\mu\text{m}$ , dengan panjang sekitar 25 mm. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja. Kelemahannya sulit dikerjakan. Namun kelebihanannya antara lain kemungkinan terjadi segregasi kecil, daktil, dan tahan benturan.

Kebutuhan akan bahan serat dalam pembuatan serat semen selama ini dipenuhi dengan menggunakan bahan serat asbes, sehingga dikenal dengan lembaran asbes semen rata. Sampai saat ini bahan serat asbes ini masih diimpor, sehingga harga jual produknya menjadi mahal. Jenis penutup langit-langit lain yang termasuk murah dan mudah pembuatannya serta sudah lama dikenal masyarakat secara luas adalah serat semen atau lazimnya dikenal dengan nama eternit. Bahan serat yang digunakan dalam pembuatannya adalah serat sisa benang. Serat ini lebih ekonomis walaupun secara kualitas masih dibawah serat

asbes. Untuk daerah pulau Jawa dimana industri pertekstilan telah berkembang dengan pesat, pemanfaatan sisa benang ini menjadi sangat berguna. Tetapi untuk daerah diluar pulau Jawa perlu dicoba penggunaan serat alam lain yang mudah dan banyak diperoleh. Serat alam ini antara lain adalah serat sabut kelapa dan ijuk yang mempunyai kuat tarik setara dengan serat *polypropylene* dan keawetannya sangat baik. Selain itu, penggunaan kedua serat tersebut karena kelapa merupakan tanaman tropis yang lahannya banyak terdapat di Indonesia, sedangkan ijuk merupakan hasil sampingan dari aren yang juga banyak tersebar di Indonesia.

Sabut kelapa dan ijuk merupakan serat yang dapat menyerap air sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran dengan semen. Sabut kelapa banyak digunakan sebagai bahan pembuat tali tambang dan dikenal mempunyai kemampuan kuat tarik yang baik. Ijuk mempunyai kemampuan menyerap air, sehingga banyak digunakan sebagai bahan untuk peresapan air seperti septictank. Dengan demikian penggunaan campuran serat alami ini diharapkan dapat memberikan kelebihan dari masing-masing bahan, sehingga menghasilkan serat semen yang memiliki mutu baik.

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, menunjukkan bahwa sifat - sifat beton yang dapat diperbaiki adalah:

- a. Kemampuan untuk menahan tarik dan momen lentur .
- b. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistant*).
- c. Daktilitas (*ductility*) yang berhubungan dengan kemampuan beton untuk menyerap energi.
- d. Ketahanan terhadap susut.
- e. Ketahanan terhadap aus (*abrasi*) dan lain - lainnya.

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

- a. Serat metal (*Metalics Fibers*)
- b. Serat polymer (*Polymer Fibers*)
- c. Serat mineral (*Mineral Fibers*)
- d. Serat-serat alamiah (*Naturally Occuring Fibers*)

### 2.6.1. SERAT METAL

Serat metal terbuat dari *carbon steel* atau *stainless steel*. Bentuk penampang serat metal dapat berupa lingkaran, setengah lingkaran, persegi atau tak beraturan. Serat metal mempunyai diameter antara 0.15 - 1.00 mm dan panjang 20 - 60 mm.

Serat metal sebagai bahan campur beton, ditambahkan pada saat pembuatan adukan beton berlangsung, yaitu dengan cara menaburkannya perlahan-lahan. Penaburan serat metal secara perlahan - lahan untuk menghindari terjadinya penggumpalan dan untuk memastikan bahwa serat metal terdistribusi dengan baik terdapat 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 terlepas setelah terkena air pada adukan dan menyebar secara merata keseluruhan campuran beton. Faktor - faktor yang harus diperhatikan pada saat kita menggunakan serat metal sebagai bahan campur pada adukan beton, yaitu:

- a. Bentuk serat metal
- b. Ukuran serat metal
- c. Kadar serat metal

#### 2.6.1.1. BENTUK SERAT METAL

Serat metal secara umum di produksi dalam dua bentuk, yaitu serat lurus dan serat yang bengkok pada ujungnya. Serat metal yang bengkok pada ujungnya, memberikan kekuatan penjangkaran yang lebih baik dibandingkan dengan serat metal yang lurus. Baiknya penjangkaran akan meningkatkan kemampuan dalam menahan retak, meningkatkan kekuatan serta keuletan beton. Berdasarkan bentuknya serat dapat dibagi atas tiga kelompok, yaitu:

- a. Serat metal yang bentuknya lurus dan lepas satu dengan yang lain (*loose straight steel fiber*)

- b. Serat metal dengan bagian ujung - ujungnya dibengkok dan lepas satu dengan yang lain (*loose fiber hooked end*)
- c. Serat metal dengan bagian ujung- ujungnya bengkok dan saling menempel (*glued fiber hooked end*)

Dengan meningkatnya kekuatan penjangkaran, jumlah serat metal yang diperlukan untuk mencapai tingkat deformasi yang sama akan lebih sedikit, dibandingkan dengan jumlah serat metal yang berbentuk lurus.

#### **2.6.1.2. UKURAN SERAT METAL**

Yang dimaksudkan dengan ukuran adalah panjang, diameter dan rasio perbandingan antara panjang / diameter (aspek rasio). Semakin panjang ukuran serat metal dengan rasio yang tinggi akan memberikan kinerja yang baik dalam peningkatan kekuatan dan absorpsi energi.

Serat metal yang baik untuk digunakan adalah serat metal dengan aspek rasio antara 60-100. Serat metal yang beraspek rasio diatas 100 akan menyulitkan pada saat pencampuran karena akan terjadi penggumpalan (*balling*) dan menurunnya kelecakan dalam adukan beton.

#### **2.6.1.3. KADAR SERAT METAL**

Sampai saat ini kadar maksimum yang pernah ditambahkan adalah 120 kg/in<sup>3</sup>. Pembatasan kadar serat ini ditentukan oleh beberapa hal, yaitu efektifitas pertambahan kinerja yang dihasilkan, kemudahan pencampuran serta faktor ekonomis. Semakin besar kadar serat metal yang ditambahkan tidak selalu menghasilkan persentase pertambahan kinerja beton yang lebih baik. Disisi lain, penambahan serat metal dengan kadar yang besar akan meningkatkan kesulitan dalam pencampuran.

Hasil penelitian yang pernah dilakukan yang menggunakan kawat bendrat dengan panjang 60mm, 80mm dan 100mm 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][3]

## 2.6.2. SERAT POLYMER

Serat *polypropylene* termasuk dalam serat polymer. Disamping serat *polypropylene* yang termasuk dalam serat polymer antara lain acrylic, aramid, karbon, nylon, rolyster dan poliethylene.

Serat *polypropylene* dihasilkan dari damar *polypropylene* yang dibentuk menjadi sebuah lembaran dan material yang dicairkan, lembaran ini dimasukkan dalam bak air sampai dingin sehingga menjadikannya material padat yang tipis, kemudian digambar atau ditandai sesuai dengan panjang yang asli. Proses penggambaran harus dikontrol secara hati – hati karena proses merupakan bagian yang mempengaruhi terhadap sifat - sifat fisik *polypropylene* seperti tebalnya serat, besarnya *elongation* dan kekuatan tariknya. Selama periode pembentukan lembaran - lembaran sambil dilakukan pemotongan- pemotongan menjadi bentuk kecil dan setelah itu dilakukan penggabungan bentuk - bentuk kecil menjadi kelompok serat.

Sifat - sifat fisik serat *polypropylene*:

- a. *Specific gravity* dari serat *polypropylene* adalah 0.91 ksi
- b. Kekuatan tarik dari serat *polypropylene* adalah 110 ksi
- c. Serat *polypropylene* adalah serat yang sangat lembab, tidak terpengaruh baik oleh alkali maupun asam
- d. Pemilihan panjang serat sangatlah rumit dan tergantung dari sifat - sifat serat dan kondisi lapangan yang akan digunakan.

Serat *polypropylene* ini membantu beton dalam:

- Keadaan masih plastis berupa:
  - Mereduksi segregasi.
  - Mereduksi plastic settlement crack.
  - Mereduksi retak - retak non struktural.
- Keadaan keras
  - Berkontribusi menahan gaya abrasi.
  - Berkontribusi menahan gaya *impact*.



- Berkontribusi menahan gaya berulang.
- Berkontribusi menahan *fatigue*.

### **2.6.3. SERAT MINERAL**

*Glass fiber* termasuk dalam serat mineral. Serat ini memiliki kuat tarik yang sangat tinggi antara 450 sampai 500 ksi ( 280 sampai 3500 MPa ) dan modulus elastisitas antara 9400 sampai 10.900 ksi (280 sampai 350 MPa)

### **2.6.4. SERAT ALAMI**

Dengan teknologi modern memungkinkan untuk menghasilkan serat yang ekonomis dari tumbuh - tumbuhan seperti dari jerami dan bambu untuk digunakan dalam beton komposit. Keunggulan dari serat - serat ini adalah sedikit energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan serat tersebut. Permasalahan utama yang timbul dari penggunaan serat ini dalam beton yakni kecenderungan hancur pada lingkungan bersifat alkali. Berbagai usaha sudah dilakukan untuk meningkatkan kemampuan serat tersebut dalam beton dengan menggunakan bahan tambah untuk mengurangi sifat alkali dalam beton. Serat - serat alami yang bisa digunakan dalam beton berserat antara lain bambu, sabut kelapa, ampas tebu, kayu dan lain-lain.

### **2.7. BETON PRATARIK**

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik. Kuat tariknya bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya. Karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan dalam arah longitudinal elemen struktural. Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik di bagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan

kapasitas lentur, geser, dan torsional penampang tersebut. Penampang dapat berperilaku elastis, dan hampir semua kapasitas beton dalam memikul tekan dapat secara efektif dimanfaatkan di seluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja di struktur tersebut.

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti di atas disebut gaya pratarik, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang di sepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horisontal transien. Jenis pemberian gaya prategang, bersama besarnya, ditentukan terutama berdasarkan panjang bentang dan kelangsingan yang dikehendaki. Karena gaya prategang diberikan secara longitudinal di sepanjang atau sejajar dengan sumbu komponen struktur, maka prinsip-prinsip prategang dikenal sebagai pemberian prategang linier.

### **2.7.1. KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN BETON PRATARIK**

Komponen struktur pratarik mempunyai tinggi lebih kecil dibandingkan beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya, tinggi komponen struktur beton pratarik berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian, komponen struktur pratarik membutuhkan lebih sedikit beton, dan sekitar 20 sampai 35 persen banyaknya tulangan. Sayangnya, penghematan pada berat material ini harus dibayar dengan tingginya harga material bermutu tinggi yang dibutuhkan dalam pemberian pratarik. Juga, bagaimanapun sistem yang digunakan, operasi pemberian pratarik itu sendiri menimbulkan tambahan harga. Cetakan untuk beton prategang menjadi lebih kompleks, karena geometri penampang pratarik biasanya terdiri atas penampang bersayap dengan beberapa badan yang tipis.

Tanpa memperhatikan tambahan harga tersebut, apabila komponen struktur yang cukup besar dari unit-unit pracetak dibuat, perbedaan harga awal sistem beton pratarik dan beton bertulang biasanya tidak terlalu besar. Selain itu, penghematan jangka panjang secara tidak langsung cukup besar, karena dibutuhkan perawatan yang lebih sedikit, yang berarti daya guna lebih lama sebagai akibat dari kontrol kualitas yang lebih baik pada betonnya, dan pondasi

yang lebih ringan dapat digunakan akibat berat kumulatif struktur atas yang lebih kecil.

Apabila bentang balok dari beton bertulang melebihi 70 sampai 90 ft, maka beban mati balok tersebut menjadi sangat berlebihan, yang menghasilkan komponen struktur yang lebih berat dan akibatnya retak dan defleksi jangka panjang yang lebih besar. Jadi, untuk bentang panjang, beton pratarik merupakan keharusan. Bentang yang sangat besar, seperti jembatan  *cable-stayed*  hanya dapat dilaksanakan dengan menggunakan beton pratarik.

Beberapa kerugian dari konstruksi pratarik adalah :

1. Bahan – bahan bermutu tinggi yang digunakan mempunyai harga satuan yang lebih tinggi.
2. Kemungkinan diperlukan acuan yang lebih rumit.
3. Pengangkeran ujung dan pelat landas lazimnya diperlukan.
4. Upah buruh lebih tinggi.
5. Kondisi – kondisi yang lebih banyak harus diperiksa di dalam perencanaan dan diperlukan pengendalian yang lebih ketat dari setiap fase dari pelaksanaan

### **2.7.2. PRILAKU BALOK PRATARIK**

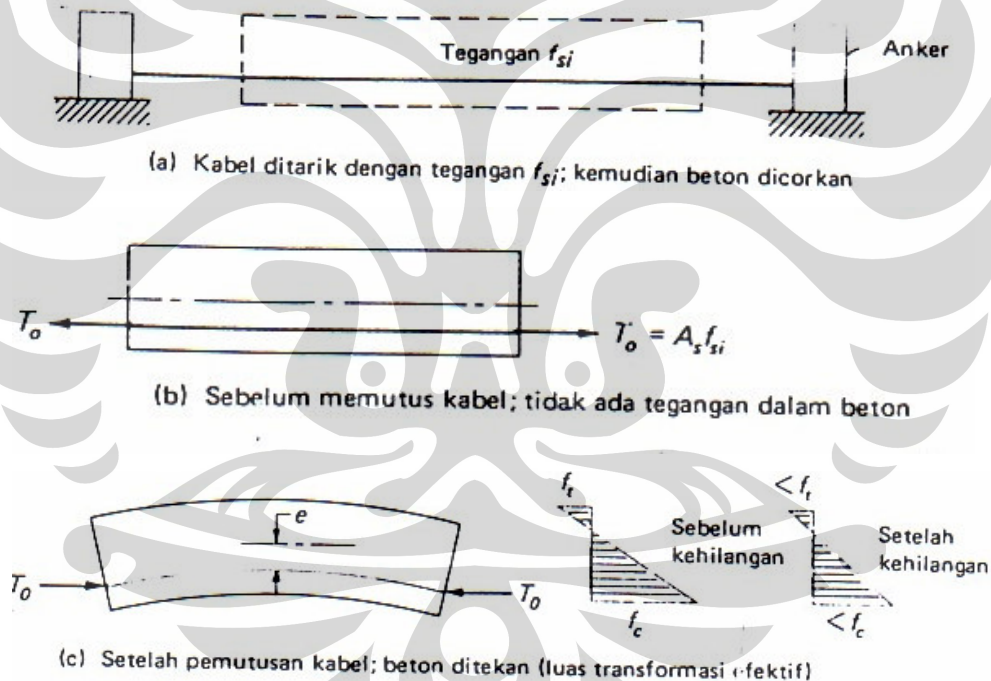
Prosedur yang paling umum adalah mengerjakan gaya tarik tertentu dalam kabel – kabel dengan menariknya di antara dua anker sebelum pengecoran beton. Beton kemudian dicorkan dan kabel – kabel menjadi melekat dengan beton dalam keseluruhan panjang. Setelah beton mengeras, kabel – kabel menjadi melekat dengan beton dalam keseluruhan panjang. Setelah beton mengeras, kabel – kabel diputus pada kedua anker. Pemendekan yang tiba – tiba dari kabel – kabel melalui lekatan memindahkan suatu tegangan tekan dalam beton. Proses yang demikian dinamakan pratarik ( *pretensioning* ).

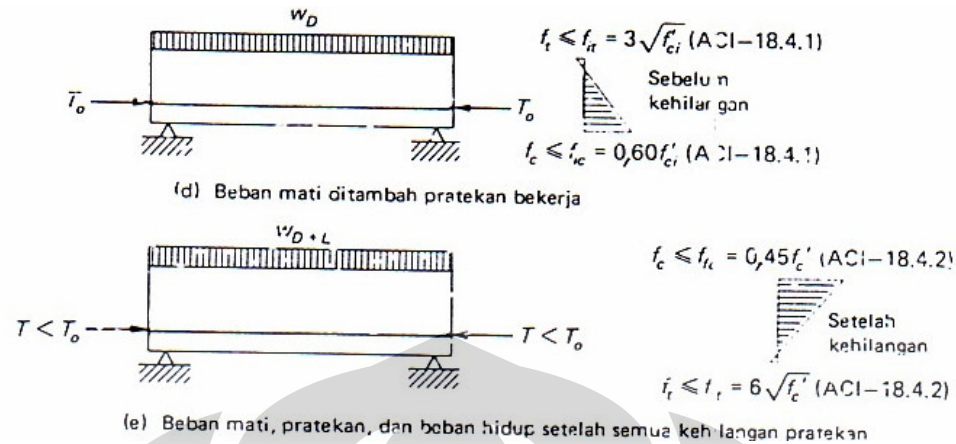
1. Langkah 1 :seperti yang ditunjukkan pada gambar adalah menarik kabel – kabel diantara dua anker dalam tempat pengecoran cukup untuk

menimbulkan suatu tegangan tarik  $f_{si}$  di dalam kabel – kabel. Menurut ACI-18.5.1 tidak boleh melebihi harga yang terkecil dari 85% dari kekuatan  $f_{pu}$  yang ditetapkan, dan 94 % dari kekuatan leleh  $f_{pu}$  yang ditentukan untuk baja. Beton yang mutunya dijaga dengan seksama kemudian dicorkan di dalam acuan dan dikeringkan dengan uap panas dengan sering. Kekuatan beton harus di capai sepenuhnya pada saat diberikannya penekanan; dengan demikian umumnya digunakan semen yang cepat memperoleh kekuatannya. Umumnya, kekuatan beton  $f'_{ci}$  pada saat pemindahan ditetapkan oleh perencana sekitar 4000 sampai 4500 lb/inci<sup>2</sup>.

2. Langkah 2, memutus kabel. Gaya  $T_0$  dalam kabel–kabel yang bekerja melalui lekatan, bekerja sebagai gaya tekan pada keseluruhan penampang efektif (transformasi). Tegangan di dalam beton naik mulai dari nol (gambar 2.3.b) sebelum pemutusan kabel, sampai kepada yang diperlihatkan dalam gambar setelah pemutusan. Sekali gaya pratarik diperkenalkan, kehilangan tertentu di dalam pratarik mulai terjadi. Kehilangan pratarik dapat timbul akibat selip dalam anker, perpendekan elastis dari unsur beton, rangkai dan susut beton, relaksasi dari tegangan baja. Sebagian kecil dari kehilangan yang demikian dapat terjadi sebelum pemindahan dari tegangan ke dalam beton, namun adalah praktis dan konservatif untuk menganggap bahwa keseluruhan kehilangan terjadi setelah pemindahan tegangan. Beban mati dari unsur lentur saja akan bekerja secara serentak dengan gaya pratarik di tunjukan di dalam gambar, dimana keadaan tegangan yang paling kritis terjadi segera setelah perpindahan dan sebelum kebanyakan kehilangan terjadi. Harga–harga batas (ACI 18.4.1) untuk keadaan sementara ini adalah tegangan tarik pada bagian atas balok sebesar  $3\sqrt{f'_{ci}}$  (sekitar 40% dari kekuatan tarik) dan tegangan tekan pada bagian bawah balok sebesar 60% dari kekuatan beton  $f'_{ci}$  yang telah dicapai pada saat pemindahan. Satu alasan untuk menjaga tegangan tarik sementara dengan harga serendah itu adalah demi mencegah kemungkinan suatu tekuk ke atas dari balok akibat dari retak yang tiba – tiba di atas balok. Seringkali tidak ada tulangan (buka prategang) yang tersedia untuk menahan retak yang demikian.

3. Langkah 3, adalah kondisi layan dari beban mati, beban hidup, dan prategang, dimana setelah kehilangan, ACI-18.4.2. mengizinkan suatu tegangan tarik netto pada bagian bawah yang tidak melebihi  $6\sqrt{f'c}$ , dengan tegangan tekan pada bagian atas yang tidak melebihi  $0,45f'c$ . Oleh karena tendon biasanya ditempatkan di dekat permukaan bawah, kemungkinan bahaya dari retak yang tiba-tiba dan tekuk hanya kecil. Untuk alasan ini tegangan tarik yang diizinkan diambil hanya sedikit di bawah  $7,5\sqrt{f'c}$ , yang umumnya merupakan harga yang diakui sebagai modulus runtuh dari beton berbobot normal.





Gambar 2.3. Tahap perilaku sampai dengan beban kerja – balok pratarik.

(Sumber : Wang, Chu – Kia, Charles G. Salmon, “Desain Beton Pratarik, Jilid I”, Erlangga)

Alternatif lain untuk pratarik adalah metoda pascatarik. Di dalam balok yang dipascatarik, beton pada mulanya dicorkan dengan pipa berlubang yang menyelubungi kabel, atau dengan tendon yang kendor dan dilumuri dengan gemuk atau mestik (aspal bercampur damar) untuk mencegah lekatan antara kabel dengan beton. Suatu plat ujung atau angker ditempatkan terhadap masing-masing ujung balok kemudian setelah balok mengeras secukupnya, kabel-kabel ditarik dengan dongkrak (*jacking*) terhadap pelat-pelat ujung. Selama proses penarikan, terjadi perpindahan elastis, kehilangan akibat gesekan, dan beban mati yang bekerja secara sebagian mengakibatkan lengkungan yang ditimbulkan. Dengan demikian gaya dongkrak harus memperhitungkan kehilangan ini. Dengan demikian dalam hal ini lebih kecil dari kehilangan dalam cara pratarik. Untuk pascatarik, tegangan-tegangan yang timbul dan harga-harga yang diizinkan dalam taraf yang berbeda-beda pada hakekatnya sama dengan yang diberikan untuk cara pratarik

## 2.7.3. TIGA KONSEP DASAR BETON PRATARIK

### 2.7.3.1. KONSEP BALOK HOMOGEN

Gaya pratarik yang memenuhi kondisi geometri dan pembebanan tertentu untuk elemen yang ditetapkan ditentukan dari prinsip-prinsip mekanika dan hubungan tegangan-regangan. Kadang-kadang penyederhanaan dibutuhkan seperti

pada balok prategang yang diasumsikan bersifat homogen dan elastis.

Tinjau balok persegi panjang yang ditumpu sederhana yang mengalami gaya pratarik  $P$  konsentris.

$$\sigma = \frac{P}{A_c} \quad (2.7.1)$$

dimana  $A_c = bh$  adalah luas penampang balok yang lebar  $b$  dan tinggi totalnya  $h$ . Tanda minus digunakan untuk tekan dan tanda plus digunakan untuk tarik.

Jika beban transversal bekerja di balok, yang menimbulkan momen  $M$  di tengah bentang, maka tegangannya menjadi.

$$\sigma_t = -\frac{P}{A} - \frac{Mc}{I_g} \quad (2.7.2)$$

dan

$$\sigma_b = -\frac{P}{A} + \frac{Mc}{I_g} \quad (2.7.3)$$

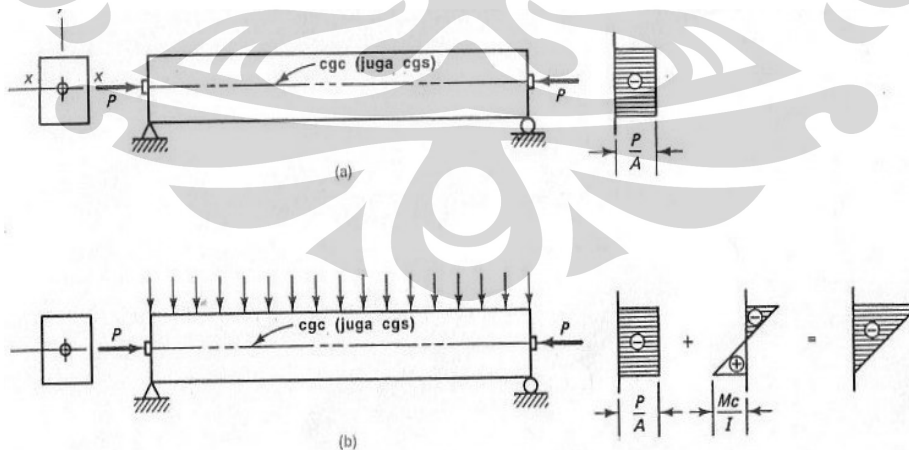
dimana :

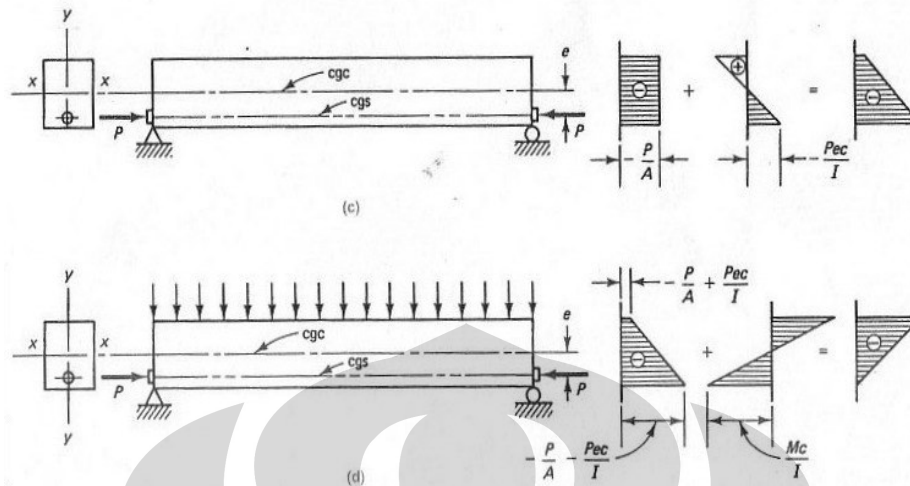
$\sigma_t$  = tegangan serat atas

$\sigma_b$  = tegangan serat bawah

$c$  =  $h/2$  untuk penampang persegi panjang

$I_g$  = momen inersia bruto penampang ( $bh^3/12$ )





Gambar 2.4. Perhitungan dengan konsep balok homogen

Persamaan 2.4.b menunjukkan bahwa adanya tegangan tekan pratarik  $-P/A$  mengurangi tegangan lentur tarik  $Mc/I$  sebesar yang dikehendaki didalam desain, mungkin hingga tarik hilang sama sekali (bahkan sampai menjadi tekan), atau tarik masih ada sampai yang diperkenankan dalam peraturan.

### 2.7.3.2. KONSEP GAYA DALAM

Cara ini menggunakan keseimbangan dari gaya-gaya dalam, baja memikul tarik dan beton tekan sebagai terlihat dalam gambar. Metoda ini adalah analogi dengan metode kopel yang digunakan dalam beton bertulang biasa. Pada beban layan, titik - titik tangkap dari gaya - gaya C dan T ( $C = T$ ) dalam beton bertulang adalah bebas dari besarnya momen lentur yang bekerja, dan tergantung hanya dari dimensi potongan dengan demikian besar gaya - gaya secara langsung sebanding dengan momen lentur yang bekerja. Di dalam beton pratarik, besar dari gaya - gaya dalam bebas dari momen lentur yang bekerja dan tergantung hanya pada pratarik dan presentase kehilangan. Di dalam hal ini letak gaya C harus bervariasi sesuai dengan beban yang bekerja. Cara ini dapat disimpulkan dalam langkah - langkah berikut :

1. Suatu gaya prategang yang diketahui dan yang dikerjakan terhadap baja, menentukan besarnya T
2. Momen M yang dikerjakan di atas balok.



3. Untuk keseimbangan, lengan momen = M/T dan C = T.
4. Dengan mengetahui besar dan letak titik tangkap dari gaya C, tegangan pada beton dapat dihitung sebagai

$$\sigma = \frac{C}{A} \pm \frac{Cey}{I} \quad (2.7.4)$$

### 2.7.3.3. KONSEP BEBAN BERIMBANG

Konsep ini memandang prategang terutama sebagai suatu proses pengimbangan beban pada unsur. Tendon pratarik diletakkan sedemikian hingga, sehingga eksentrisitas dari gaya prategang bervariasi dalam cara yang serupa seperti momen dari beban – beban luar, yang jika dikerjakan persis akan menghasilkan tegangan lentur yang nol dan hanya tegangan aksial P/A ( P adalah komponen horisontal dari gaya dalam tendon ) yang bekerja. Gambar 2.5.a menunjukkan tendon yang direntangkan secara parabolis. Gambar 2.5.b memberikan badan bebas dari gaya – gaya yang bekerja pada beton akibat prategang saja. Pengaruh dari prategang dapat dipandang sebagai suatu beban merata ke atas jika tendon direntangkan secara parabolis. Momen prategang maksimum sebesar  $T_e$  maks pada tengah bentang dapat disamakan dengan momen balok akibat beban merata ekivalen  $W_p L^2/8$ , sehingga

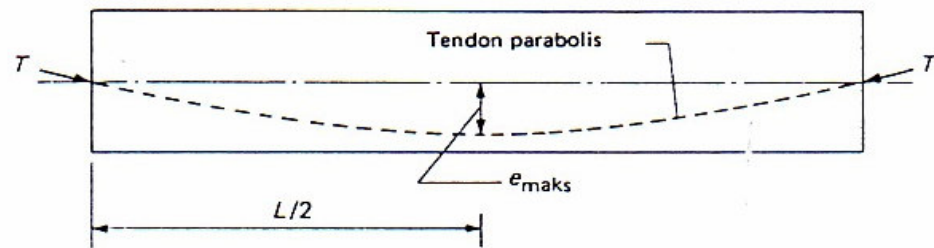
$$w_p = \frac{8T_{emaks}}{L^2} = \text{beban merata ekivalen ( keatas )} \quad (2.7.5)$$

Jika,  $W_{net} = W$  ( beban ke bawah ) -  $W_p$ , maka

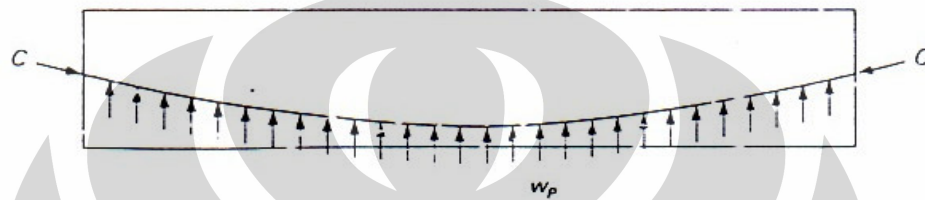
$$M_{net} = \frac{W_{net} L^2}{8} \quad (2.7.6)$$

$$\text{dan } \sigma = -\frac{C}{A} \pm \frac{M_{net} y}{I} \quad (2.7.7)$$

Bila tendon direntangkan tidak dengan bentuk parabolis, momen netto sebenarnya (momen beban kerja) minus momen prategang dapat digunakan untuk  $M_{net}$  dalam persamaan



(a) Balok dengan tendon yang direntangkan parabolis



(b) Gaya-gaya yang bekerja pada beton dari pratekan saja

Gambar 2.5. Konsep beban berimbang dari pratekan

#### 2.7.4 KEHILANGAN PRATARIK

Adalah suatu kenyataan yang jelas bahwa gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif selama waktu kurang lebih lima tahun. Dengan demikian, tahapan gaya pratarik perlu ditentukan pada setiap tahap pembebanan, dari tahap transfer gaya prategang ke beton, sampai ke berbagai tahap prategang yang terjadi pada kondisi beban kerja, hingga mencapai ultimate. Pada akhirnya, reduksi gaya pratarik dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori:

- Kehilangan elastis segera yang terjadi pada saat proses fabrikasi atau konstruksi, termasuk perpendekan beton secara elastis, kehilangan karena pengangkeran dan kehilangan karena gesekan.
- Kehilangan yang bergantung pada waktu, seperti rangkak, susut dan kehilangan yang diakibatkan karena efek temperatur dan relaksasi baja, yang kesemuanya dapat ditentukan pada kondisi limit tegangan akibat beban kerja di dalam elemen beton pratarik.

Penentuan secara tepat besarnya semua kehilangan tersebut, khususnya yang bergantung pada waktu sulit dilakukan karena kehilangan tersebut

bergantung pada berbagai faktor yang saling berkaitan. Metode-metode empiris untuk memperkirakan kehilangan berbeda-beda menurut peraturan atau rekomendasi.

#### 2.7.4.1. PERPENDEKAN ELASTIS

Kehilangan pratarik akibat perpendekan elastis dapat ditentukan dengan dengan mudah. Sebagai contoh, misalkan  $T_o$  sebagai gaya prategang yang diterapkan pada pusat penampang beton di dalam unsur pratarik. Jika  $T_f$  merupakan gaya tarik akhir dalam tendon tepat setelah terjadinya perpendekan elastis, maka regangan (satuan perpendekan) di dalam beton dapat dinyatakan sebagai

$$\epsilon_c = \frac{f_c}{E_c} = \frac{T_f}{A_c E_c} \quad (2.7.8)$$

di mana  $A_c = A_g - A_s$ , perubahan dalam regangan dalam tendon sebagai hasil dari kehilangan adalah

$$\Delta \epsilon_s = \frac{T_o - T_f}{A_s E_s} \quad (2.7.9)$$

Dengan menyamakan rumus untuk  $\epsilon_c$  dan  $\Delta \epsilon_s$  diperoleh

$$\frac{T_o}{T_f} = \frac{A_c + nA_s}{A_c} = \frac{A_T}{A_c} = \frac{A_T}{A_c} \quad (2.7.10)$$

kehilangan prategang  $\Delta f_s$  adalah

$$\Delta f_s = \frac{T_o - T_f}{A_s} = \frac{nT_f}{A_c} = \frac{nT_o}{A_T} \quad (2.7.11)$$

Sebagai masalah praktek, kehilangan di dalam prategang  $\Delta f_s$ , tanpa tergantung apakah gaya prategang diterapkan pada titik pusat penampang bruto atau tidak, dapat diambil secara pendekatan sebagai :

$$\Delta f_s = \frac{nT_o}{A_g} \quad (2.7.12)$$

Lebih tepatnya kehilangan di dalam kasus pasca tarik, umumnya tendon tidak ditarik secara bersamaan. Lebih lanjut perpendekan elastis terjadi secara bertahap operasi penarikan.

#### **2.7.4.2. RELAKSASI TEGANGAN BAJA**

Relaksasi diartikan sebagai kehilangan dari tegangan pada baja di bawah regangan yang hampir konstan dan suhu yang konstan. Kehilangan akibat relaksasi sangat bervariasi untuk baja yang berbeda – beda, dan kehilangan seperti ini harus diberikan sesuai dengan data percobaan yang diberikan oleh pabrik baja. Kehilangan ini umumnya dimisalkan berkisar antara 2 %- 3% dari tegangan baja awal. Presentase kehilangan pratarik yang berkaitan dengan relaksasi bervariasi sesuai dengan jenis tendon dan perbandingan dari pratarik awal terhadap kekuatan tarik dari tendon.

#### **2.7.4.3. TOTAL KEHILANGAN PRATARIK YANG DIJINKAN DALAM DESAIN**

Ini adalah praktek yang normal didalam perancangan beton pratarik untuk mengasumsikan total hilangnya tegangan dalam persen dan menyediakannya didalam perhitungan disain. Karena hilangnya prestress tergantung pada beberapa faktor, seperti kemampuan baja dan beton, metoda perawatan, derajat tingkat prestress dan metoda dalam prestressing, hal ini sukar untuk menyamaratakan jumlah tepat dari total hilangnya prestress. Bagaimanapun, nilai-nilai yang khas menyangkut total hilangnya tegangan yang bisa ditemui di bawah kondisi-kondisi yang normal sebagaimana direkomendasikan oleh Lin [5] diuraikan di bawah.

Tipe kehilangan	Pratarik (persen)	Pascatarik (persen)
Perpendekan elastis dan lentur elastis dari unsur beton	3	1
Rangkak beton	6	5

Susut beton	7	6
Relaksasi (rangkak) dalam baja	2	3
total	18	15

Tabel 2.1. Total kehilangan pratarik yang diizinkan dalam desain

## 2.8. HUBUNGAN MOMENTUM DAN IMPULS

Jika kita tinjau benda-benda di alam ini, sebenarnya selalu terjadi interaksi antara satu dengan yang lainnya yang menghasilkan transfer momentum dan pergeseran partikel lain. Fenomena ini bersamaan munculnya ketika dua benda bertumbukan. Konsep tumbukan memegang peranan penting dalam fisika baik yang menyangkut benda makro maupun mikro.

### 2.8.1. KONSEP MOMENTUM LINIER

Momentum linier suatu partikel didefinisikan sebagai hasil kali antara massa dan kecepatannya. Jika momentum dinotasikan dengan  $p$ , maka:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (2.8.1)$$

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

Konsep momentum adalah kuantitas dinamik yang lebih informatif daripada kecepatannya sendiri. Hal ini dapat dipahami dari beberapa contoh eksperimen. Sebagai contoh sebuah truk yang terisi penuh gerakannya lebih sukar dibandingkan dengan yang kosong, jika kecepatan kedua truk itu besarnya sama. Hal ini disebabkan karena momentum truk yang terisi penuh bernilai lebih besar dibandingkan dengan yang kosong.

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 itu dalam waktu tertentu adalah

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (2.8.2)$$

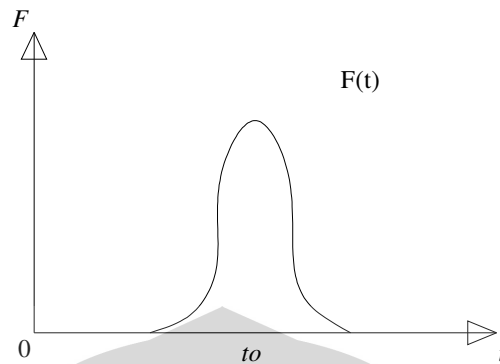
Untuk sistem yang terdiri dari lebih dari dua partikel, maka momentum sistem itu adalah

$$\vec{p} = \sum \vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n \quad (2.8.3)$$

Dengan  $n$  adalah indeks yang menyatakan jumlah partikel dan sistem tersebut.

### 2.8.2. IMPULS

Seperti yang telah diketahui bahwa jika suatu gaya bekerja pada sebuah 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 relatif cepat (dalam waktu yang relatif kecil). Dalam hal ini, tampaknya kita perlu menyatakan gaya sebagai fungsi waktu (gambar 2.6). Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa gaya hanya bekerja pada interval di luar selang waktu, gaya bernilai nol. Gaya seperti ini disebut impuls, yang bekerja hanya dalam selang waktu yang pendek. Gaya ini biasanya kita temukan dalam peristiwa tumbukan; misalnya bola menumbuk tembok, tendangan pada bola dan sebagainya.



Gambar 2.6. Gaya sebagai fungsi waktu melukiskan impuls

Sekarang kita pandang peristiwa berikut. Sebuah bola dipukul dalam waktu yang relatif singkat, sehingga bola itu terpental. Kaitan antar gerak partikel dengan gaya pukulan yang bekerja pada partikel itu dapat ditinjau berdasarkan Hukum II Newton dengan  $m$  adalah massa benda dan  $a$  adalah percepatan yang dialami benda akibat resultan gaya yang bekerja padanya. Jika pada benda tersebut bekerja gaya tunggal, maka

$$F = m.a = m.\frac{dv}{dt} \quad (2.8.4)$$

Yang berarti berlaku pula hubungan berikut:

$$F.dt = m.dv \quad (2.8.5)$$

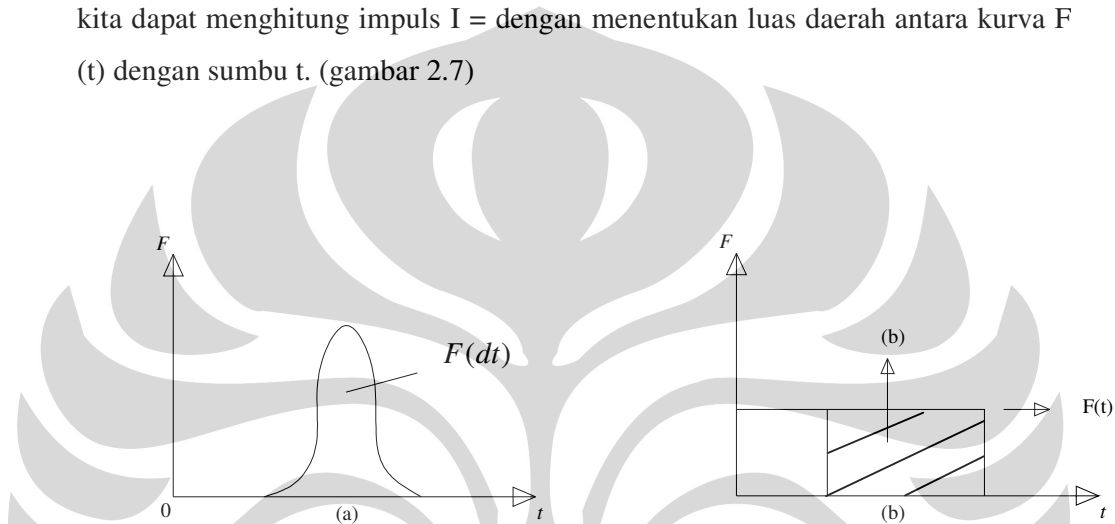
Kita misalkan massa partikel tidak berubah, sehingga hasil integral persamaan pada batas

$$\int_{t_0}^t F dt = mv - mv_0 \quad (2.8.6)$$

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

$$I = \int_{t_0}^t F dt \quad (2.8.7)$$

Yang dapat dipecahkan jika  $F$  konstan atau sebagai fungsi waktu  $F(t)$ . Jadi persamaan 5.4 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  $I =$  dengan menentukan luas daerah antara kurva  $F(t)$  dengan sumbu  $t$ . (gambar 2.7)



Gambar 2.7. Impuls  $I$  sama dengan luas bagian terarsir

(a) Usaha untuk gaya Impuls, (b) Usaha untuk gaya  $F$  yang tetap

Sekarang kita perhatikan kembali persamaan (2.8.6). berdasarkan persamaan (2.8.1), maka ruas kanan persamaan (2.8.6) tersebut terdiri dari momentum awal benda  $p_0 = mv_0$  dan momentum akhir  $p = mv$ . Jadi ruas kanan persamaan (2.8.6) menyatakan perubahan momentum benda, yaitu

$$\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 = m \cdot \vec{v} - m \cdot \vec{v}_0 \quad (2.8.8)$$

dengan  $\Delta \vec{p}$  menyatakan perubahan momentum benda. Dari persamaan (2.8.6), maka diperoleh

$$\vec{I} = \Delta \vec{p} \quad (2.8.9)$$



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

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  $t$ . Jika kita bandingkan antara konsep impuls dan usaha, terdapat pengertian yang analog. *Usaha dilakukan untuk mengubah energi suatu benda, dan impuls adalah untuk mengubah momentum benda tersebut.* Jadi energi dan momentum merupakan dua besaran yang sangat erat kaitannya.

## **2.9. KETEGARAN RETAK**

Retak pada struktur akan menyebabkan menurunnya kekuatan statis, makin panjang retak makin rendah kekuatan statik yang dapat diterima.

Ketegaran retak menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk memikul intensitas tegangan tertentu pada ujung retak dan menghambat perpanjangan retak yang dinyatakan sebagai faktor intensitas tegangan kritis ( $K_{IC}$ ). Jadi ketegaran retak merupakan harga kritis faktor intensitas tegangan yang menyebabkan kegagalan struktur.

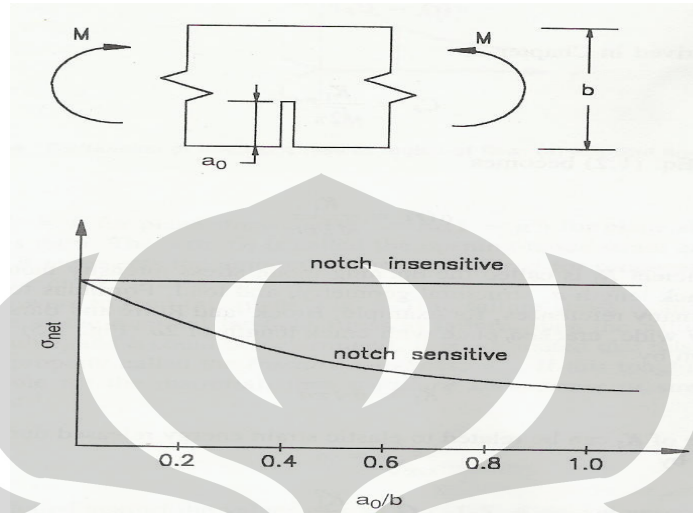
## **2.10. KONSEP DARI MEKANISME KERUNTUHAN ELASTIS LINEAR**

Mekanisme keruntuhan (*fracture mechanics*) adalah studi mengenai keruntuhan dan response dari struktur yang diakibatkan oleh perlemahan yang terjadi pada struktur, seperti retak (*crack*), coakan (*notch*), dan lain-lain.

Coakan (*notch*) pada struktur berfungsi memberikan perlemahan atau mempercepat terjadinya retak. Sebuah material mungkin dipertimbangkan sensitivitas coakan (*notch sensitivity*) jika dengan adanya coakan (*notch*) merubah daerah kekuatan (*net section strength*) ( $\sigma_{net}$ ) dari material. [McGarry dan Mindess, 1984][8].

Efek dari sensitivitas coakan (*sensitivity notch*) adalah untuk mengurangi

daerah kekuatan dari material elastis, untuk beberapa material daerah kekuatan sangat berhubungan dengan kedalaman coakan (*notch length*), seperti pada gambar 2.8.

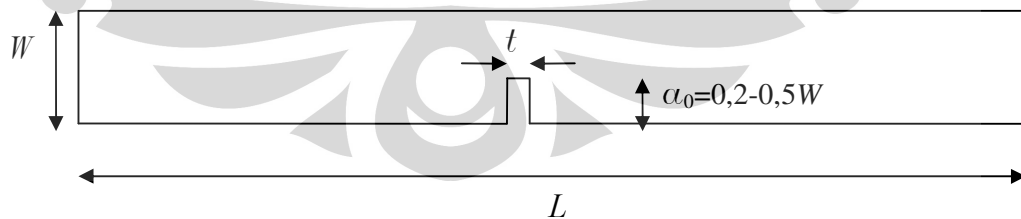


Gambar 2.8. Sensitivitas coakan (*notch*) pada material

### 2.11. UKURAN COAKAN (*NOTCH*)

Yang dimaksud ukuran dalam coakan (*notch*) adalah lebar coakan dan dalamnya coakan, karena semakin lebar dan dan semakin dalam coakan akan mengurangi kekuatan dari material dan mempercepat terjadinya retak.

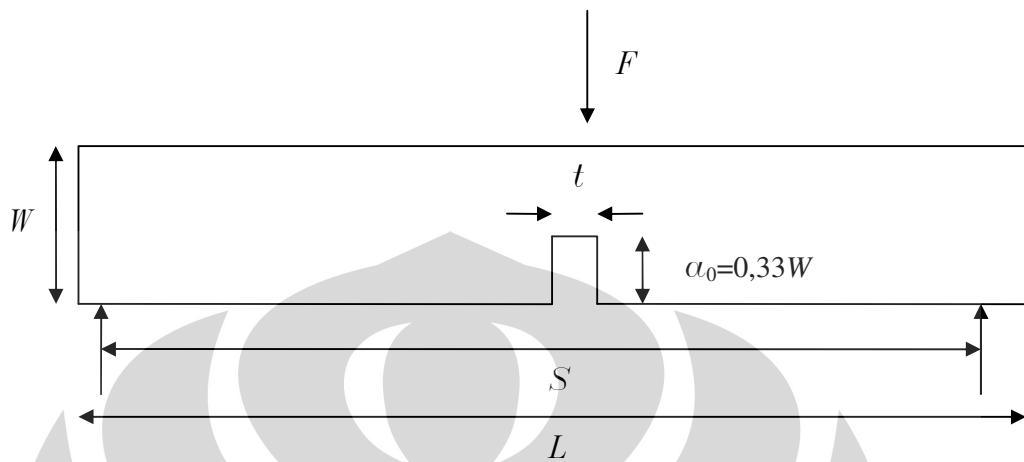
Tingginya coakan tergantung pada tinggi penampang balok ( $W$ ), tinggi coakan ( $a_0$ ) sedalam  $0,2-0,5W$ , seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Ukuran coakan (*notch*)

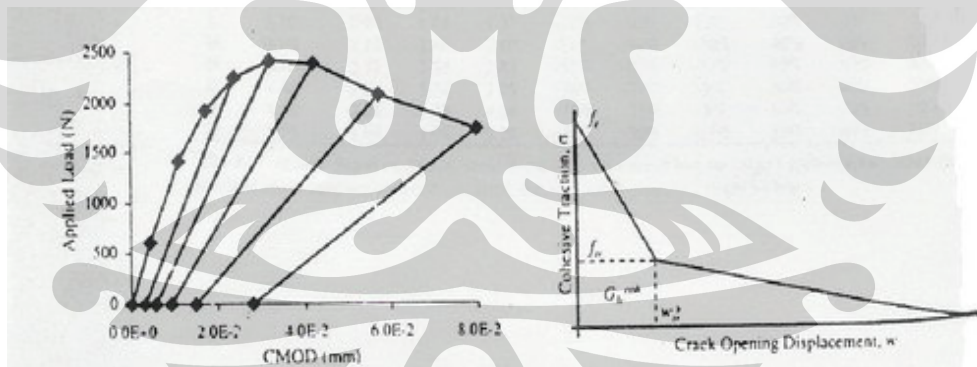
Dari hasil penelitian pernah dilakukan dengan dimensi balok yang berbeda-beda yaitu 79mm x 76mm, 79mm x 152mm dan 79mm x 305mm dengan ukuran coakan lebar coakan ( $t$ ) sebesar 3,2 mm dan dalam coakan ( $a_0$ ) sebesar

0,33W yang diberikan beban sebesar  $F$  dan diletakan pada 2 perletakan seperti gambar 2.10.



Gambar 2.10. Ukuran coakan

Dari hasil pengujian tersebut menunjukan bahwa semakin dalam coakan (*notch*) maka makin mempercepat terjadinya keretakan pada material [J.H. Hanson & A.R.Ingrafea, 2001][4] bisa dilihat pada grafik 2.1.



Grafik 2.1. Grafik hubungan keretakan dengan penambahan beban

## 2.12. SIFAT MEKANIK BETON

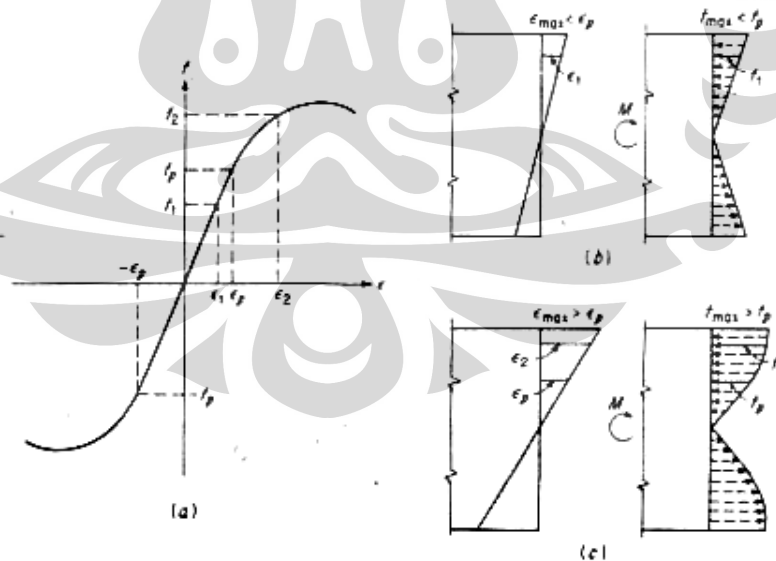
### 2.12.1. TEGANGAN LENTUR PADA BALOK BETON HOMOGEN

Beton tanpa tulangan disebut sebagai beton homogen, sedangkan beton bertulang adalah beton tidak homogen, karena terbuat dari 2 material yang berbeda yaitu beton dan tulangan. Prinsip dasar distribusi tegangan lentur pada

beton homogen secara umum sama seperti pada balok, baja, kayu atau material struktur lainnya, dimana apabila diberi beban dari atas, maka di setiap potongan balok akan mengalami tegangan tekan pada sisi atas garis normal sedangkan tegangan tarik pada sisi bawahnya.

Tegangan lentur  $f_y$  pada balok homogen di sembarang titik tergantung dari regangan pada titik tersebut, sesuai dengan diagram tegangan-regangan material beton (gambar 2.11.a). Pada saat balok dibebani, jika regangan maksimum yang terjadi pada serat terluar  $\epsilon_1$  lebih kecil dari  $\epsilon_p$  (regangan elastis maksimum) dimana hubungan tegangan-regangan sesuai dengan diagram masih linear, maka tegangan tekan dan tarik juga akan linear (*proportional*) terhadap sumbu x (gambar 2.11.b). Tetapi apabila saat dibebani tegangan maksimum pada serat terluar lebih besar dari  $\epsilon_p$  (regangan elastis maksimum) maka hubungan tegangan-regangan tidak lagi proporsional (gambar 2.11.c).

Jika balok tersebut terus dibebani, selama tegangan tarik pada penampang tidak melebihi kuat tarik beton  $f_c$  yaitu sebesar  $0.7 \sqrt{f'_c}$  (dengan  $f'_c$  adalah kuat tekan yang disyaratkan) penampang balok tersebut dianggap belum retak, sedangkan diagram distribusi tegangan tekan pada beton mendapatkan bentuk lengkung yang sesuai dengan diagram tegangan-regangan (gambar 2.11.a).



Gambar 2.11. Distribusi tegangan Elastis dan Inelastis pada balok homogen

(Sumber : Winter, G & H. N, Artur, " *Design Of Concrete Structures* " 9-th ed.

McGraw.Hill International, 1981, gambar 2.4, hal 47 )

Pada kondisi tersebut menyebabkan garis normal yang semula berada pada tengah balok bergeser menuju serat tekan karena beton didaerah tarik mulai berkurang fungsinya menahan tarik. Tegangan tekan yang bekerja pada setengah bagian atas balok pada dasarnya ekuivalen dengan satu gaya C, yang bekerja. Besar gaya ini merupakan tegangan tekan rata – rata  $f'_c$  dikalikan luas dimana tegangan tekan tersebut bekerja lokasinya dapat ditentukan berdasarkan distribusi tegangan yang ada, sedangkan pada daerah tegangan tarik bekerja gaya tarik. T yaitu sebesar  $0.7 \sqrt{f'_c}$ . (gambar 2.12).

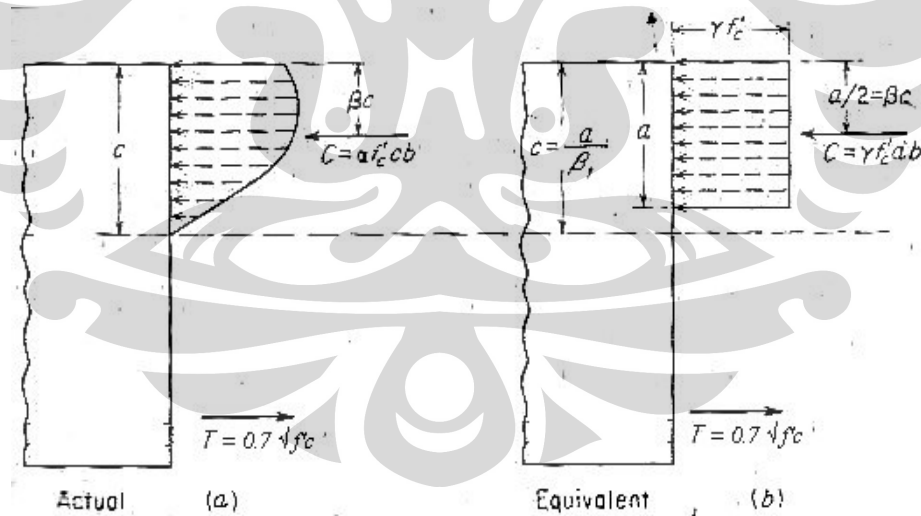
Untuk besarnya nilai  $\gamma$  yaitu sebesar 0.85 untuk mutu beton dengan  $f'_c < 30$  MPa ( 300 kg/cm<sup>2</sup>) tetapi untuk mutu beton yang lebih tinggi menurut rumus :

$$\gamma = 0.85 - 0.008 (f'_c - 30) \quad (2.13.1)$$

Maka nilai  $\gamma$  menjadi lebih kecil

Dari syarat keseimbangan  $\Sigma H = 0$  didapat :

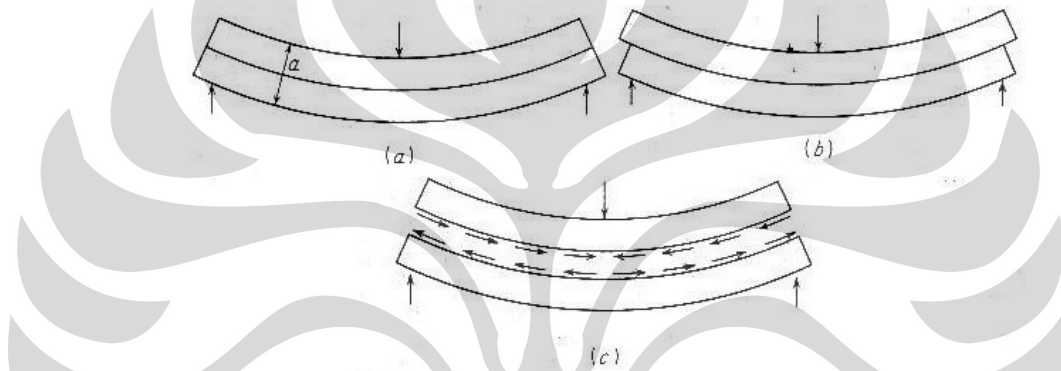
$$C_c = T \quad (2.13.2)$$



Gambar 2.12. Distribusi Tegangan aktual & ekuivalen pada saat beban maks

### 2.12.2. TEGANGAN GESER

Adanya tegangan geser horizontal di suatu balok dapat ditunjukkan dengan eksperimen sederhana. Letakkan dua balok persegi panjang yang identik pada tumpuan sederhana dan bebani dengan gaya, seperti terlihat pada gambar (gambar 2.13). Jika friksi antara balok kecil, maka balok akan melentur secara independen. Setiap balok akan mengalami tekan di atas dan tarik di bawah sumbu netralnya masing-masing. Dengan demikian, permukaan bawah balok atas akan bergeser terhadap permukaan atas balok bawah.



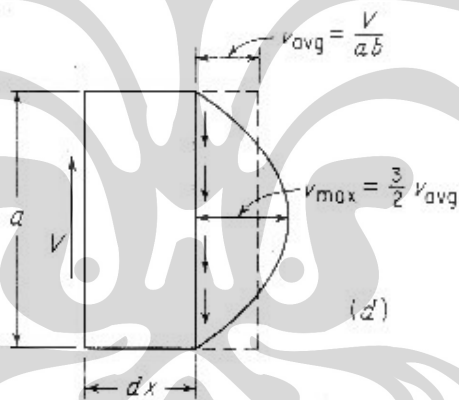
Gambar 2.13. Distribusi tegangan sepanjang bidang horizontal.

(Sumber : Winter, G & H. N, Artur, " *Design Of Concrete Structures* " 9-th ed. McGraw.Hill International, 1981, gambar 2.13, hal 64 )

Besar tegangan horizontal ini dapat diperoleh dengan meninjau keseimbangan horisontal bagian kiri atas balok (ingat bahwa setiap struktur harus berada dalam keadaan seimbang). Agar keseimbangan horisontal terpenuhi, jelaslah bahwa tegangan lentur pada muka kiri penampang yang mempunyai resultan ke kiri harus diimbangi oleh suatu gaya internal yang arahnya ke kanan. Gaya yang dimaksud ini merupakan resultan dari tegangan geser horisontal pada muka horisontal balok. Bidang - bidang horisontal lain pada balok itu juga mempunyai tegangan geser yang bermacam - macam. Gaya dan tegangan yang terjadi lebih kecil daripada potongan tengah balok , karena tegangan lentur yang bekerja pada luas yang lebih kecil sehingga menghasilkan gaya horisontal yang lebih kecil. Dengan demikian pada lapisan teratas balok tidak ada gaya atau tegangan geser sama sekali. Dapat dibuktikan bahwa distribusi tegangan geser ini

bervariasi secara parabolik diseluruh tinggi penampang, dari nilai maksimum pada sumbu berat balok ke nilai nol ditepi atas dan bawah balok. Tegangan geser horisontal ini juga bervariasi di sepanjang bentang balok (khususnya apabila tegangan lentur sepanjang bentang bervariasi).

Ekspresi eksak untuk tegangan geser horisontal balok, yang didasarkan atas konsep serupa dengan yang disebutkan terdahulu, dapat ditentukan. Tegangan geser horisontal pada lapisan sejauh  $y$  dari sumbu netral dapat dibuktikan mempunyai bentuk  $f_s = VS/Ib$  dimana  $V$  adalah gaya geser vertikal,  $s$  adalah statis momen,  $I$  adalah inersia dan  $b$  adalah lebar. Persamaan umum diatas dapat digunakan untuk berbagai jenis penampang. Untuk penampang segi empat, tegangan geser terjadi pada sumbu netral balok (setengah tinggi) dan diberikan oleh  $f_y = \frac{3}{2}(V/bh)$ , dimana  $b$  dan  $h$  adalah dimensi penampang melintang. Dengan demikian tegangan geser maksimum pada penampang balok adalah 1,5 kali tegangan geser rata - rata penampang balok segi empat. [Schodek,1980][7]



Gambar 2.14. Distribusi tegangan geser pada penampang balok segiempat.

(Sumber : Winter, G & H. N, Artur, " *Design Of Concrete Structures* " 9-th ed. McGraw.Hill International, 1981, gambar 2.15, hal 74 )

### 2.12.3 LENDUTAN BALOK

Defleksi  $\Delta$  disuatu titik pada balok tergantung pada beban  $P$  atau  $W$ , panjang bentang balok  $L$  dan berbanding terbalik dengan kekakuan. Telah kita ketahui bahwa kekakuan ini merupakan besaran yang tergantung pada jenis material yang digunakan (modulus elastisitas  $E$ ) dan besaran penampang melintang (momen inersia  $I$ ). Untuk balok diatas tumpuan sederhana yang

dibebani terbagi rata, lendutan maksimum dapat dibuktikan mempunyai hubungan  $\Delta = 5wl^4/384EI$  Jelas bahwa lendutan sangat peka terhadap perubahan tinggi balok. Menarik pula untuk mengingat bahwa untuk balok yang benar-benar sama dalam semua aspek dengan balok yang telah disebutkan diatas, kecuali kondisi tumpuannya adalah jepit, lendutan yang diperoleh adalah  $\Delta = wL^4/384EI$ . Dengan demikian menjadikan ujung balok terjepit (untuk beban terbagi rata) akan memperkecil lendutan maksimum hingga 1/5 nya. Perhatikan bahwa bentuk ekspresi kedua - duanya sama, hanya berbeda konstantanya. Bertambahnya kekakuan sehubungan dengan dijepitnya balok atau dengan membuatnya menerus diatas banyak tumpuan, merupakan hal yang sangat menguntungkan dalam mengurangi lendutan sehingga hal ini sangat sering dilakukan.

Pengontrolan lendutan selalu merupakan masalah pada desain balok. Penentuan lendutan izin balok juga merupakan masalah, biasanya digunakan kriteria tujuan. Apabila suatu balok melendut sedemikian rupa sehingga mengganggu fungsi gedung elemen lainnya, misalnya lendutan izin mungkin saja didasarkan atas toleransi yang diperkenankan, terjadi pada elemen lain itu. Akan tetapi penentuan lendutan ini seringkali bersifat subyektif sebagai contoh banyak orang yang lebih merasa tidak nyaman apabila berjalan diatas lantai yang melendut secara berlebihan. Yang menentukan besarnya lendutan izin merupakan masalah rumit. Untuk itu seringkali digunakan petunjuk empiris. Kriteria empiris yang digunakan untuk lantai adalah lendutan tidak boleh melebihi 1/360 kali bentangnya (kriteria ini sering ditulis  $\Delta_{ijin} = L/360$  dimana L adalah bentang lantai). Biasanya kriteria 1/360 untuk lantai berlaku pada lendutan akibat beban hidup saja. Lendutan akibat beban hidup dan beban mati biasanya dibatasi sampai L/240 bentang.

Balok baja sering diberi lawan lendutan yang besarnya sama dengan lendutan beban mati sehingga beban hidup menjadi terhadap balok horizontal. Pembatasan lendutan untuk atap juga adalah L/240 untuk beban hidup dan L/180 untuk beban mati dan hidup [Schodek,1980][7]



## 2.13. PERCOBAAN SEBELUMNYA

### 2.13.1. PERCOBAAN PALU ELEKTRIK

Berikut adalah pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya Damaiyanti. Sebelum melakukan pengujian tumbukan sederhana terhadap balok dengan menggunakan palu besi, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap balok tersebut dengan menggunakan palu elektrik, yang berfungsi untuk mendapatkan frekuensi awal dari balok-balok tersebut.

Jenis Beton	Hasil Percobaan		Hasil SAP 2000		Ragam Getar
	Frekuensi (Hz)	T (ms)	Frekuensi (Hz)	T (ms)	
BTS	78,125	12,8	79,012	12,656	1
	97,656	10,24	93,915	10,648	2
BS	68,359	14,629	76,874	13,008	1
	97,656	10,24	90,372	11,065	2
BPTS	78,125	12,8	79,012	12,656	1
	97,656	10,24	93,915	10,648	2
BPS	68,359	14,629	76,874	13,008	1
	97,656	10,24	90,372	11,065	2

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

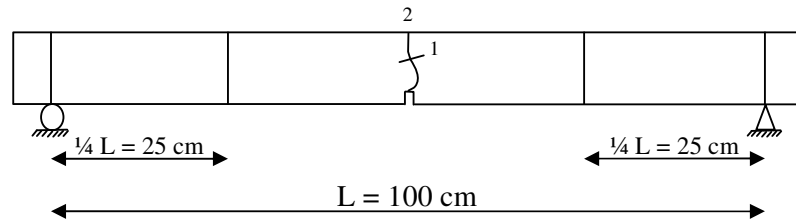
**Tabel 2.2. Frekuensi balok**

Jenis Beton	Frekuensi Percobaan (Hz)	Frekuensi SAP (Hz)	Perbandingan %	Ragam Getar
BTS	78,125	79,012	1,135	1
	97,656	93,915	3,983	2
BS	68,359	76,874	12,450	1
	97,656	90,372	8,060	2

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.3. Nilai Perbandingan Frekuensi**

### 2.13.2. BETON TANPA SERAT (BTS)



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

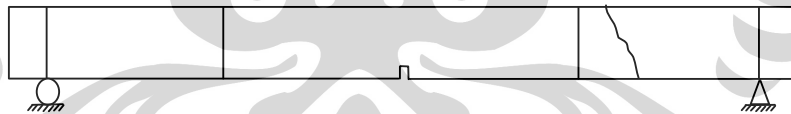
**Gambar 2.15. Pola Retak BTS 1**

Retak mulai terjadi siklus gaya 364, dimana retak terjadi di pertengahan bentang dan retak terlebih dahulu muncul di balok bagian belakang. Dan balok runtuh pada siklus pukulan ke 457.

No Retak	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
	Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
	A	B	A	B	A	B	
1	58,594	39,063	1035,156	996,094	2470,703	2441,406	6
2	39,063	39,063	986,328	986,328	2470,703	2441,406	7

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.4. Frekuensi Saat BTS 1 Retak dan Runtuh**



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

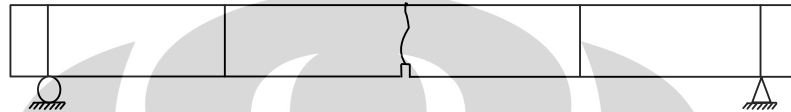
**Gambar 2.16. Pola Retak BTS 2**

Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
A	B	A	B	A	B	
39,063	39,063	996,094	996,094	2470,703	2441,406	7

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.5. Frekuensi Saat BTS 2 Runtuh**

Retak tidak kelihatan atau terdeteksi, dimana balok itu akan runtuh terdeteksi dari bunyi benturan antara balok dan palu yang tidak terdengar nyaring lagi. Balok ini runtuh pada siklus ke 437 di tinggi jatuh palu 7 cm. Retak yang terjadi disini adalah retak lentur. Balok tidak runtuh di pertengahan bentang, karena didaerah yang runtuh ini ternyata tidak kuat menahan beban yang ada atau dapat dikatakan pada bagian ini lebih lemah.



Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.17. Pola Retak BTS 3**

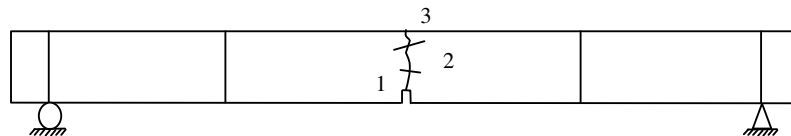
Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
A	B	A	B	A	B	
19,531	19,531	1044,922	1025,391	2470,703	2441,406	8

Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.6. Frekuensi Saat BTS 3 Runtuh**

BTS 3 ini tidak terdeteksi retaknya dan runtuh pada siklus gaya 538, tinggi jatuh palu 8 cm. Dari ke 3 benda uji BTS ini maka diketahui bahwa benda uji ke 3 yang mempunyai waktu runtuh yang lama yaitu pada tinggi jatuh palu 8 cm. Retak yang terjadi adalah retak getas, dimana balok langsung runtuh tanpa terjadinya retak terlebih dahulu.

### 2.13.3. Beton Serat (BS)



Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.18. Pola Retak BS 1**

Retak 1 terjadi pada siklus 302 pada tinggi jatuh 5 cm, retak 2 di siklus 455 dan runtuh pada siklus ke 669. Retak terjadi adalah retak lentur dan posisi retak berada di pertengahan bentang yaitu pada perlemahan.

No Retak	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
	Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
	A	B	A	B	A	B	
1	39,063	39,063	1015,625	1005,859	2548,828	2343,75	5
2	39,063	39,063	996,094	996,094	2382,813	2207,031	7
3	19,531	19,531	996,094	996,094	2324,219	2207,031	9

Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.7. Frekuensi Saat BS 1 Retak dan Runtuh**



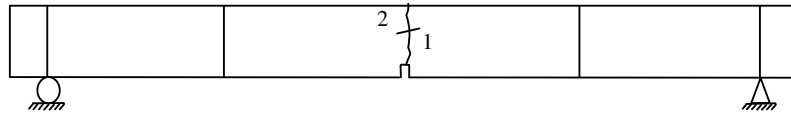
**Gambar 2.19. Pola Retak BS 2**

Terjadi retak di dekat  $\frac{1}{4} L$  dari perletakan A pada siklus ke 714 pada tinggi jatuh palu 10 cm dan runtuh pada siklus 851 dengan tinggi jatuh palu 11 cm.. Retak tidak terjadi di pertengahan bentang, bisa dikarenakan faktor kepadatan beton, dimana terdapat banyaknya pori-pori pada beton dan retak ini bersifat lentur.

No Retak	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
	Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
	A	B	A	B	A	B	
1	19,531	19,531	996,094	996,094	2109,375	2050,781	9
2	19,531	19,531	996,094	996,094	2109,375	2050,781	11

Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.8. Frekuensi Saat BS 2 Retak dan Runtuh**



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.20. Pola Retak BS 3**

Pada siklus ke 507 timbul retak di pertengahan bentang dan balok runtuh atau patah pada siklus pukulan palu yang ke 610. Retak yang terjadi adalah retak daktail, karena serat disini membuat ikatan antar agregat. Dan retak terjadi secara bertahap dari bawah yang semakin lama retaknya semakin lebar dan akhirnya retak dari belakang balok dan retak dari depan menyatu di atas balok, sehingga balok patah.

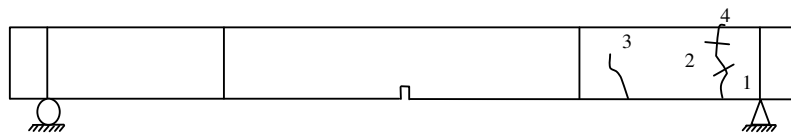
No Retak	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
	Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
	A	B	A	B	A	B	
1	19,531	19,531	996,094	996,094	2285,156	2187,5	9
2	19,531	19,531	996,094	996,094	2285,156	2050,781	11

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.9. Frekuensi Saat BS 3 Retak dan Runtuh**

Dari ke 3 balok BS ini dapat disimpulkan bahwa balok BS 2 yang paling kuat dikarenakan balok ini mempunyai waktu patah yang lama yaitu pada siklus pukulan yang ke 851 di tinggi palu 11 cm.

#### 2.13.4. Beton Pratarik Tanpa Serat (BPTS)



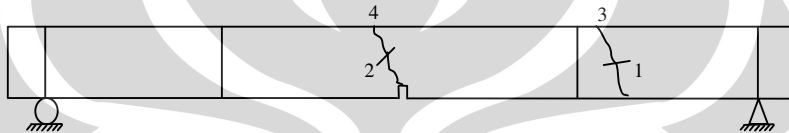
Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.21 Pola Retak BPTS 1**

No Retak	Siklus	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
		Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
		A	B	A	B	A	B	
1	542	39,063	39,063	996,094	996,094	2509,766	2236,328	8
2	714	39,063	39,063	996,094	996,094	2109,984	2119,141	9
3	892	19,531	19,531	996,094	996,094	2099,609	2001,953	11
4	1103	19,531	19,531	996,094	996,094	2001,953	2001,953	14

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.10. Frekuensi Saat BPTS 1 Retak dan Runtuh**



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

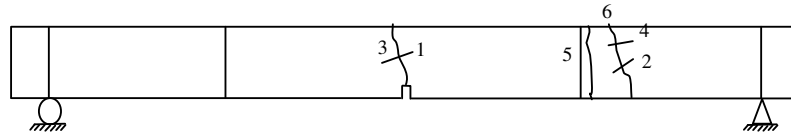
**Gambar 2.22. Pola Retak BPTS 2**

No Retak	Siklus	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
		Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
		A	B	A	B	A	B	
1	652	78,125	68,359	1015,625	996,094	2294,922	2500	9
2	808	58,594	39,063	1015,625	996,094	2294,922	2265,625	10
3	1126	39,063	19,531	1015,625	996,094	2294,922	2167,969	13
4	1569	39,063	19,531	1015,625	996,094	2294,922	2167,969	17

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.11. Frekuensi Saat BPTS 2 Retak dan Runtuh**

Balok patah pada pukulan ke 1569 di tinggi jatuh palu 17 cm. Retak yang terjadi pada balok ini adalah retak yang bersifat lentur



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.23. Pola Retak BPTS 3**

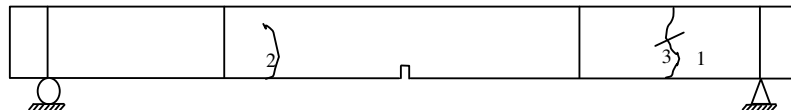
Retak	Siklus	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
		Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
		A	B	A	B	A	B	
1	1030	58,594	58,594	1005,859	1005,859	2294,922	2167,969	12
2	1201	39,063	39,063	1005,859	1005,859	2294,922	2167,969	14
3	1244	39,063	39,063	1005,859	1005,859	2294,922	2167,969	14
4	1298	39,063	39,063	1005,859	1005,859	2294,922	2167,969	15
5	1384	39,063	39,063	1005,859	1005,859	2294,922	2167,969	16
6	1493	19,531	19,531	996,094	996,094	2294,922	2167,969	17

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.12. Frekuensi Saat BPTS 3 Retak dan Runtuh**

Balok BPTS 3 ini runtuh pada ketinggian palu 17 cm, siklus pukulan ke 1493. Dari ke 3 benda uji beton BPTS diketahui bahwa BPTS 2 yang paling lama patah yaitu patah pada pukulan ke 1569 di tinggi palu 17 cm. Banyaknya retak yang terjadi pada beton BPTS ini karena kabel pratarik cukup kuat untuk menahan beban yang ada dan kabel di sini memberikan perlawanan terhadap pukulan.

### 2.13.5. Beton Pratarik Serat (BPS)



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

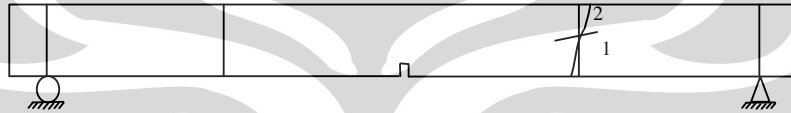
**Gambar 2.24. Pola Retak BPS 1**

No Retak	Siklus	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
		Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
		A	B	A	B	A	B	
1	1298	39,063	39,063	996,094	996,094	2216,766	2128,906	15
2	1624	39,063	19,531	996,094	996,094	2216,766	2128,906	18
3	1790	19,531	19,531	996,094	996,094	2216,766	2128,906	19

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.13. Frekuensi Saat BPS 1 Retak dan Runtuh**

Balok BPS 1 ini belum runtuh pada ketinggian palu 19 cm, siklus pukulan palu ke 1790, retak yang terjadi retak lentur.



Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.25. Pola Retak BPS 2**

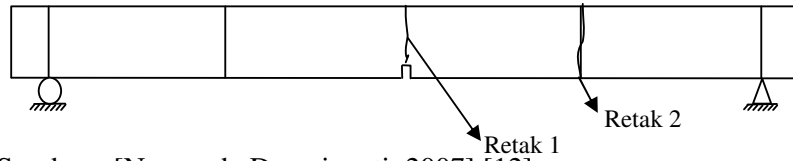
No Retak	Siklus	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
		Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
		A	B	A	B	A	B	
1	693	39,063	39,063	996,094	996,094	2294,922	2070,313	9
2	924	39,063	19,531	996,094	996,094	2001,953	2070,313	11

Sumber : [Noverya Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.14. Frekuensi Saat BPS 2 Retak dan Runtuh**

Retak terjadi tepat di bawah pukulan palu yaitu di  $\frac{1}{4}$  L dari perletakan B yang terjadi pada pukulan ke 693 pada tinggi pukulan palu 9 cm.. Balok runtuh di ketinggian palu 11 cm, siklus pukulan ke 924. Retak bersifat lentur.





Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Gambar 2.26. Pola Retak BPS 3**

No Retak	Siklus	Frekuensi (Hz)						H Palu (cm)
		Ragam Getar 1		Ragam Getar 19		Ragam Getar 43		
		A	B	A	B	A	B	
1	1083	58,594	58,594	996,094	996,094	2285,156	2011,719	13
2	1569	19,531	19,531	996,094	996,094	2119,141	2011,719	17

Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

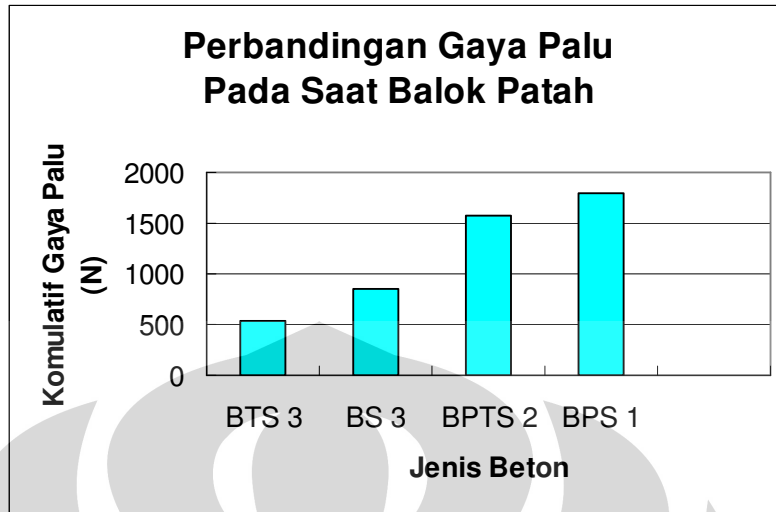
**Tabel 2.15. Frekuensi Saat BPS 3 Retak dan Runtuh**

Balok BPS 3 runtuh di ketinggian palu 17 cm, siklus pukulan 1569 dan retak yang terjadi adalah retak lentur. Balok BPS 1 yang paling kuat diantara balok BPS, dimana balok ini patah pada pukulan yang ke 1790 pada tinggi palu 19 cm.

NO	Jenis Beton	Tinggi Jatuh Palu ( cm)	Kumulatif Gaya Palu (x F) (N)
1	Beton Tanpa Serat 3 (BTS 3)	8	538
2	Beton Serat 2 (BS 2)	11	851
3	Beton Pratarik Tanpa Serat 2 (BPTS 2)	17	1569
4	Beton Pratarik Serat 1 (BPS 1)	19	1790

Sumber : [Noverda Damaiyanti, 2007] [12]

**Tabel 2.16. Perbandingan Gaya Palu**



Sumber : Noverda Damaiyanti

**Gambar 2.27. Perbandingan Gaya Palu**

Dari grafik dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan dalam hal menahan gaya yang terjadi pada balok. Dimana dengan diberi serat beton semakin lama patah, terlebih lagi bila balok diberi kabel pratarik maka waktu yang dibutuhkan balok untuk patah akan lebih lama jika dibandingkan dengan beton tanpa serat maupun beton berserat.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. PENDAHULUAN**

Dalam penelitian ini akan dibahas pengaruh penambahan serat – serat dari struktur balok dan sifat balok pratarik terhadap beban dinamik. Benda uji yang digunakan terbuat dari mortar mutu K- 300 dengan kandungan serat berbeda – beda dengan variasi kadar 0 % dan 1 % dari volume beton serta benda uji balok pratarik dengan  $B \leq 0,5 H$ . Dari ketiga jenis benda uji akan diteliti untuk mendapatkan kondisi paling optimum terhadap beban dinamis dengan parameter berupa frekuensi dan redaman.

#### **3.2. BAHAN DAN ALAT**

- a. Dry pack campuran agregat, pasir dan semen  
Campuran agregat, pasir, dan semen yang dapat digunakan untuk membuat beton instan yang komposisinya telah ditentukan oleh salah satu perusahaan mix design terkemuka di Indonesia, sehingga mutu beton yang didapat akan sesuai dengan yang diinginkan.
- b. Air  
Air yang digunakan harus bebas dari bahan – bahan kimia dan garam – garam yang berlebihan. Dalam campuran, proporsi air dihitung berdasarkan faktor air semen ( FAS ).
- c. Serat.  
Serat – serat yang digunakan dalam pengujian ini berupa ini staples merek max no.10. Serat ini termasuk dalam serat metal dengan panjang total  $\pm 20$  mm dan ketebalan  $\pm 0,5$  mm. Serat ini memiliki berat jenis  $\pm 6,3$  ton/m<sup>3</sup>, kuat tarik  $\pm 850$  Mpa dan modulus elastisitas  $\pm 160$  Gpa.
- d. Kabel prestress, dalam hal ini digunakan kawat seling wire rope.

e. Timbangan.

Timbangan digunakan untuk mengukur berat benda dengan ketelitian 0,01 gr

f. Cetakan kubus.

Cetakan terbuat dari besi dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm, untuk pengujian kuat tekan mortar.

g. Cetakan benda uji berupa balok.

Cetakan terbuat dari papan dengan ukuran panjang 100 cm, lebar 4 cm tinggi 8 cm dan diberikan coakan dengan lebar coakan 3,2 mm serta tinggi 1,6 cm

h. Mixer

Mixer yang digunakan adalah mixer kecil yang biasa digunakan untuk menguji sifat – sifat semen. Digunakannya mixer kecil karena volume setiap pencampuran relatif sedikit.

i. Sendok adukan, mistar perata cetakan dan minyak oli pelumas untuk melapisi permukaan cetakan.

### **3.2.1. PEMBUATAN FRAME UNTUK BALOK PRATARIK.**

Bahan dan alat :

1. Kubus Beton
2. Semen
3. Pasir
4. Papan

Proses pembuatan :

1. Mendirikan kolom-kolom pada titik dan dengan ketinggian yang telah ditentukan. Kolom-kolom ini terbuat dari kubus-kubus beton dan terdiri dari 2 jenis, kolom yang pertama untuk dudukan katrol, dan yang kedua untuk penyangga papan yang akan digunakan sebagai meja bagi balok-balok yang akan diberi beban tarik.
2. Meletakkan papan pada kolom-kolom yang telah tersedia.

3. Memasang katrol pada kolom-kolom yang tersedia.
4. Memasang keranjang beban pada katrol dengan menggunakan kabel seling dengan diameter 2mm yang dalam hal ini digunakan sebagai kabel pratrik



**Gambar 3.1. Frame balok pratarik.**



**Gambar 3.2. Kolom-kolom sebagai dudukan katrol dan keranjang beban**



**Gambar 3.3. Dudukan katrol**

### **3.3. PEMBUATAN BENDA UJI.**

Benda uji yang akan dibuat dengan panjang 100 cm, lebar 4 cm, tinggi 8 cm dan lebar coakan 3,2mm serta tinggi 1,6cm, dengan komposisi benda sebagai berikut :

1. Beton tanpa fiber tanpa pratarik.
2. Beton tanpa fiber dengan pratarik
3. Beton fiber 1% tanpa pratarik.
4. Beton fiber 1% dengan pratarik.

Masing – masing akan dibuat benda uji sebanyak 3 buah, serta kadar serat yang akan digunakan adalah 1% dari volume balok.

#### **3.3.1. PEMBUATAN ADUKAN.**

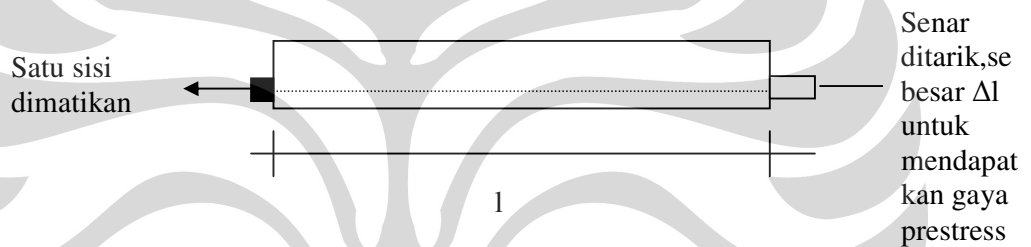
##### **3.3.1.1. PEMBUATAN ADUKAN BALOK BIASA.**

- a. Beton instan dicampur dengan air secukupnya, kemudian di aduk dalam mixer hingga merata.
- b. Kemudian dimasukkan agregat kasar lalu serat – serat dengan jumlah volume sesuai dengan variasi volume setiap pencampuran. Penambahan serat – serat setelah dilakukan penuangan air, dimaksudkan agar penyebaran serat – serat pada campuran lebih merata dan tidak terjadi penggumpalan adukan.

- c. Setelah campuran sudah rata kemudian mixer dimatikan dan campuran siap dituangkan dalam cetakan.

### 3.3.1.2. PEMBUATAN BALOK PRATARIK.

1. Dari pengujian modulus elastis ,maka kita akan mendapatkan  $\Delta l$  yang akan berikan pada kabel prestress sesuai dengan gaya prategang yang kita inginkan. Besarnya gaya prategang yang diberikan adalah untuk menanggung berat sendiri balok.
2. Penarikan senar dilakukan pada satu sisi, sedangkan sisi yang lainnya dimatikan.



3. Setelah itu beton yang berasal dari adukan tadi, dimasukkan kedalam cetakan dan setelah selesai, kabel prestress di putus setelah beton mencapai umur 28 hari.

### 3.3.2. PENCETAKAN ADUKAN

- a. Pada pencetakan berupa kubus untuk pengujian kuat tekan, tuangkan adukan pada tahap pertama kira – kira setengah, dan dipadatkan selama kira – kira 25 kali pukulan. Kemudian tuangkan sisa adukan kedalam cetakan dan dipadatkan kembali seperti tahap pertama. Permukaan adukan dihaluskan dengan pisau aduk sepanjang permukaan cetakan, sehingga permukaan adukan rata dengan cetakan.
- b. Pada pencetakan berupa pelat tipis, tuangkan adukan pada cetakan secara merata. Kemudian ratakan adukan pada cetakan dengan sedikit

ditekan. Setelah itu cetakan di getar – getarkan dengan cara mengguncang- guncang sehingga udara yang terperangkap dalam adukan dapat keluar. Ratakan cetakan dengan mistar agar permukaan adukan rata dengan cetakan.

### **3.3.3. PERAWATAN SPESIMEN/ BENDA UJI**

Segera setelah selesai melaksanakan pencetakan, letakkan benda uji yang masih dalam cetakan dalam ruangan lembab selama 20 sampai 24 jam. Setelah 24 jam benda uji dikeluarkan dari cetakan, kemudian di rendam dalam bak yang berisi air bersih, tidak berkarat dan selalu terjaga kebersihannya.

### **3.4. PENGUJIAN SPESIMEN**

- a. Tahap pertama dilakukan pengujian kuat tekan dari benda uji kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm pada umur beton 28 hari untuk mendapatkan mutu beton. Setelah itu dilakukan pengukuran massa jenis, dimensi dan modulus elastis dengan metode *destructive* menggunakan alat *compreso meter* dan *ekstensometer*.
- b. Tahap kedua adalah melakukan uji tumbukan sederhana dengan tinggi jatuh beban tertentu pada setiap benda uji.

#### **3.4.1. PENENTUAN KUAT TEKAN.**

Pengujian ini dilakukan setelah beton berumur 28 hari atau lebih. Peralatan yang digunakan antara lain compressive machine dan timbangan digital. Langkah – langkah pengujian :

- a. Ratakan permukaan benda uji dengan amplas halus atau cari sisi pada benda uji yang diperkirakan rata untuk posisi pada mesin tekan. Bersihkan permukaan pelat baja atas dan pelat baja bawah dengan kain bersih.
- b. Tempatkan benda uji pada pelat baja.



- c. Atur posisi pusat sumbu gravitasi benda uji tepat berada di pusat pelat baja bawah dan letakkan pelat baja perluasan bidang di pusat benda uji.
- d. Atur ketinggian benda uji dengan pemompaan secara perlahan hingga pelat baja perluasan menyentuh permukaan baja penahan atas.
- e. Berikan beban secara terus – menerus dengan kecepatan 1.3 mm/menit, pemberian beban dilakukan dengan kontrol tegangan.
- f. Baca beban maksimum yang terjadi.
- g. Untuk benda uji kubus, hasil yang diperoleh dikonversikan ke kuat tekan silinder dengan menggunakan rumus SNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

$$f'c = \left[ 0,76 + 0,2^{10} \log \left( \frac{f'ck}{15} \right) \right] f'ck \quad (3.4.1)$$

### 3.4.2. PENENTUAN MODULUS ELASTISITAS DAN NILAI POISSON.

Pada pengujian ini menggunakan metode *destructive*, Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Modulus Elastisitas yaitu perbandingan antara tegangan terhadap regangan dan angka perbandingan Poisson yaitu perbandingan antara regangan arah lateral terhadap regangan arah aksial.

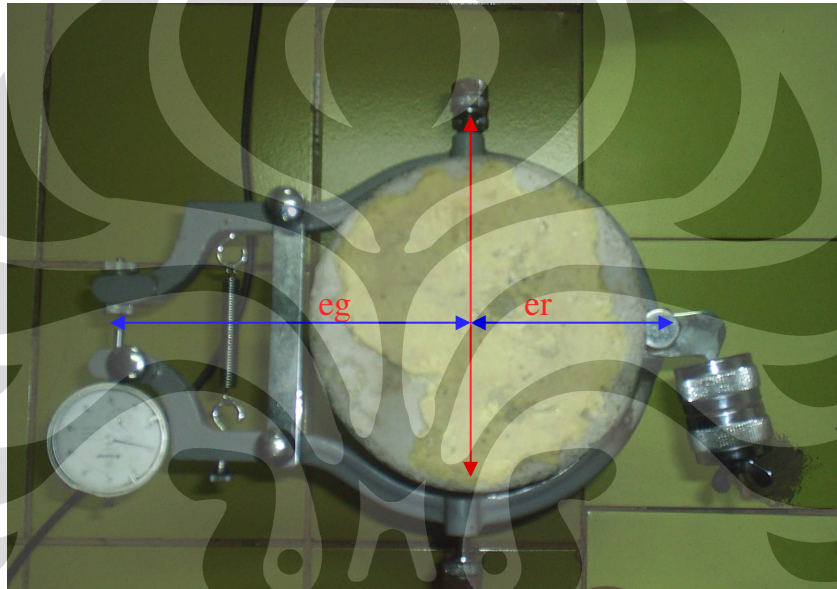
Pelaksanaan pengujian modulus elastisitas dan angka perbandingan poisson ini berdasarkan pada standar ASTM C.469, *Test Method Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete Specimens*.

Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat dial gage, yaitu :

- a. Benda uji ditimbang beratnya, kemudian permukaan yang kasar diberi belerang (*Capping*).
- b. Buat 3 garis yang mengelilingi benda uji pada posisi 5 cm dari ujung dan ditengah-tengahnya.
- c. Alat *kompresometer* dan *ekstensometer* dipasang pada silinder secara horizontal dengan menggunakan ketiga garis yang telah dibuat.
- d. Kemudian benda uji diletakkan pada mesin tekan dengan hati-hati agar alat uji yang telah terpasang tidak bergeser.

- e. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan tiap kenaikan 1 ton, deformasi yang terjadi dicatat. Pembebanan dilakukan sampai beban 40% dari kuat tekan benda uji. Kemudian diturunkan dengan selisih yang sama dan deformasi yang terjadi dicatat.
- f. Pembebanan diulangi lagi sampai 3 siklus.
- g. Setelah 3 siklus, pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan nilai kuat tekan yang terjadi dicatat.

Untuk pembacaan dial regangan lateral ada nilai koreksi dari posisi alat :



**Gambar 3.4. Koreksi Dial Lateral**

$$d = g \cdot er / (er + eg) \quad (3.4.2)$$

Dimana :

d = deformasi total benda uji.

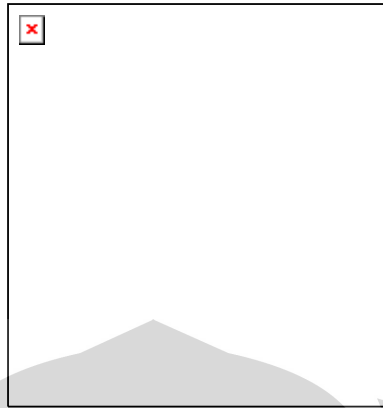
g = hasil yang terbaca pada alat ukur

er = eksentrisitas batang indikator

eg = eksentrisitas alat ukur deformasi dari sumbu benda uji.

### Nilai Poisson

Untuk menghitung angka perbandingan poisson digunakan rumus dasar, yaitu :



**Gambar 3.5. Posisi alat untuk uji modulus elastisitas**

$$\nu = \frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{aksial}}$$
$$\epsilon_{lateral} = \nu \times \epsilon_{aksial}$$

$\epsilon$  lateral = Deformasi total pada arah melintang dibagi diameter benda uji.

$\epsilon$  aksial = Deformasi pada arah memanjang dibagi panjang ukur benda uji.

### **3.4.3. PENGUJIAN TUMBUKAN SEDERHANA.**

Pengujian ini menggunakan metode pembebanan dinamik diatas perletakan sederhana. Beban yang diberikan adalah tumbukan sederhana (implus). Pada pengujian ini beban diberikan dengan tinggi jatuh bebas yang ditentukan. Benda uji diberikan beban (dengan fungsi terhadap waktu) sampai benda uji mengalami keruntuhan.

Langkah – langkah pengujian :

1. Persiapan perletakan sederhana berupa sendi dan rol.
2. Pemasangan *accelerometer* pertama pada seperempat bentang yang dihubungkan pada komputer.
3. Pemasangan *accelerometer* kedua pada tiga perdelapan bentang yang dihubungkan pada komputer.

4. Beban merupakan palu besi, yang dijatuhkan secara bebas dengan ketinggian yang ditentukan hingga terjadi momentum.
5. Pembebanan terus dilakukan hingga benda uji runtuh.
6. Mencatat percepatan pada setiap tumbukan sampai benda uji runtuh.

### **3.5. PENGOLAHAN DATA**

#### **3.5.1. DATA YANG DIDAPAT**

Beban tumbukan terus diberikan sampai benda uji runtuh dengan tinggi jatuh dan berat beban yang sama. Data yang didapat dari osiloskop merupakan percepatan dan gaya dari masing – masing tumbukan.



**Gambar 3.6. Percepatan (perkiraan)**

#### **3.5.2. PENGOLAHAN DATA**

Percepatan yang didapat ditransformasi menjadi kecepatan dan lendutan sedangkan waktu dirubah menjadi frekuensi dengan Fast Fourier Transform (FFT). Dari hasil ini akan didapat benda uji yang mempunyai penurunan frekuensi paling lambat terhadap beban yang diberikan.

Disamping itu dari percobaan ini akan didapat perbandingan perilaku dari ketiga benda uji terhadap beban dinamik.

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. NILAI SLUMP

Dari proses pencampuran beton, maka didapat nilai slump 7,8 cm untuk Beton Tanpa Serat (BTS) dan 7,6 cm untuk Beton Serat. Karena persyaratan nilai slump untuk balok berkisar antara 7,5 – 15 cm, maka dengan demikian beton tersebut dapat dikatakan memiliki tingkat *workability* atau tingkat kelecakan yang cukup baik.

#### 2.15.1 DATA KUAT TEKAN

Pengujian kuat tekan kubus untuk kedua jenis beton yaitu Beton Tanpa Serat (BTS) dan Beton Serat (BS) dilakukan pada umur beton 28 hari. Kemudian hasil yang diperoleh dikonversikan ke kuat tekan silinder dengan menggunakan rumus SNI T-15-1991-03, seperti pada persamaan (3.4.1).

Hasil pengujian dapat dilihat di tabel berikut :

No.	Beban (N)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Kubus (MPa)
1	800000	22500	35,556
2	750000	22500	33,333
3	590000	22500	26,222
Rata -rata			31,704
Dalam silinder			24,095

Keterangan lengkap lihat di tabel 1.2.1. lampiran

**Tabel 4.1. Nilai Kuat Tekan Kubus dan Silinder Untuk Benda Uji BTS**

No.	Beban (N)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Kubus (MPa)
1	740000	22500	32,889
2	690000	22500	30,667
3	700000	22500	31,111
Rata -rata			31,556
Dalam silinder			23,982

Keterangan lengkap lihat di tabel 1.2.3. lampiran

**Tabel 4.2. Nilai Kuat Tekan Kubus dan Silinder Untuk Benda Uji BS**

Dari tabel dapat dilihat semua hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan, bahwa nilai kuat tekan untuk benda uji kubus yang telah dikonversi ke silinder nilai kuat tekan beton tanpa serat (BTS) sebesar 24.095 MPa lebih tinggi dibanding dengan beton dengan serat 1% dari volume total (BS 1%) sebesar 23.983 Mpa. Hal ini disebabkan serat tidak dapat menambah kekuatan tekan beton, melainkan dapat menambah kuat tarik beton saja.

### 2.15.1 KUAT TEKAN SILINDER

No	Kuat Tekan beton silinder (MPa) 28 hari	
	Serat	Tanpa Serat
1	24,628	27,459
2	20,665	27,034
3	22,646	28,025
4	22,080	24,911
rata-rata	<b>22,505</b>	<b>26,857</b>

Keterangan lengkap lihat dilampiran tabel 1.2.5. & 1.2.6.

**Tabel 4.3. Nilai Kuat Tekan Silinder**

### 2.15.1 HASIL MODULUS ELASTISITAS DAN NILAI POISSON

No.	Beton Tanpa Serat		Beton Serat	
	Modulus Elastisitas ( MPa )	Nilai Poisson	Modulus Elastisitas ( MPa )	Nilai Poisson
1	26879,233	0,1222	25681,933	0,1622
2	27555,000	0,1585	26976,766	0,1654
3	27725,200	0,1537	30055,000	0,2284
Rata-rata	<b>27386,48</b>	<b>0,1448</b>	<b>27571,23</b>	<b>0,1853</b>

Keterangan lengkap lihat dilampiran tabel 1.3.1 – 1.3.4.

**Tabel 4.4. Nilai Modulus dan Nilai Poisson**

### 4.5. PERHITUNGAN MOMENTUM [Ratna Restiana,2007][16]

Momentum adalah massa dikalikan dengan kecepatan, untuk itu perlu dicari kecepatan palu saat menumbuk balok.



**Gambar 4.1. Waktu tempuh palu penumbuk ke benda uji**

Massa : : 0,66 Kg ( palu )  
g : : 9,81 m/det<sup>2</sup>

h (cm)	Tinggi m	Kecepatan (v) $(\sqrt{2gh})m/det$	Uji Waktu Jatuh det	Kecepatan (v) m/det	Momentun (p) kg.m/det
	a	b	c	d	massa x v
3	0,03	0,77	0,063	0,48	0,31
4	0,04	0,89	0,067	0,60	0,40
5	0,05	0,99	0,071	0,70	0,47
6	0,06	1,08	0,074	0,81	0,53
7	0,07	1,17	0,076	0,92	0,61

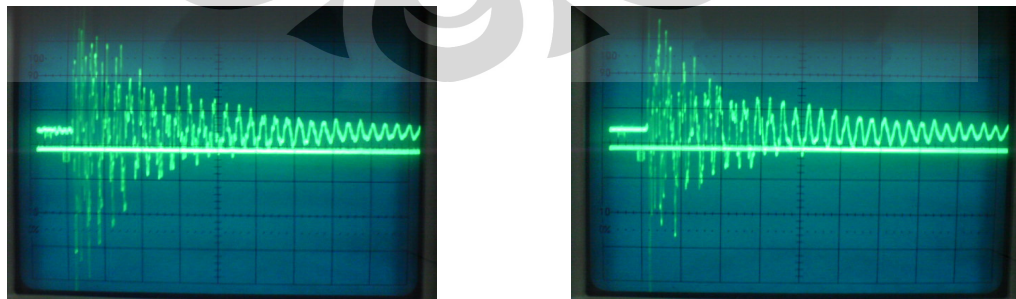
8	0,08	1,25	0,077	1,04	0,69
9	0,09	1,33	0,080	1,13	0,75
10	0,10	1,40	0,084	1,19	0,79
11	0,11	1,47	0,088	1,25	0,83
12	0,12	1,53	0,092	1,30	0,86
13	0,13	1,60	0,096	1,35	0,89
14	0,14	1,66	0,101	1,39	0,92
15	0,15	1,72	0,105	1,43	0,94
16	0,16	1,77	0,110	1,46	0,96
17	0,17	1,83	0,114	1,49	0,98
18	0,18	1,88	0,119	1,52	1,00
19	0,19	1,93	0,123	1,54	1,02
20	0,20	1,98	0,128	1,56	1,03

**Tabel 4.5. Perhitungan momentum**

Dari perhitungan momentum diatas bisa didapat *impuls* yang merupakan gaya yang bekerja dalam waktu singkat  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ , maka perlu dicari durasi pembebanannya.

#### 4.6. DURASI PEMBEBANAN

Karena pembebanan kali ini diberi penambahan karet setebal 0,5 mm maka lamanya waktu sentuh palu terhadap balok menjadi lebih kecil. Berikut adalah gambar osiloskop yang didapat dari hasil 2 pengujian dengan menggunakan pistol pegas:



**Gambar 4.2. Impuls dari tumbukan peluru Noverya (a) dan Bambang (b)**



Dari gambar 4.2.a skala 1 divisi adalah 1 mili detik, maka lamanya waktu gaya impuls yang bekerja adalah  $1,6 \text{ div} \times 1 \text{ mdet} = 0,0016 \text{ detik}$ . Sedangkan gambar 4.2.b lamanya waktu gaya impuls yang bekerja adalah  $1,3 \text{ div} \times 1 \text{ mdet} = 0,0013 \text{ detik}$ . Hal ini membuktikan bahwa gaya impuls yang terjadi pada palu yang tidak menggunakan karet adalah lebih lama bila dibandingkan dengan palu yang menggunakan karet.

Berdasarkan percobaan sebelumnya, durasi pembebanan yang didapat dari percobaan Noveryda adalah 0,004 detik. Dengan interpolasi maka durasi pembebanan untuk percobaan ini adalah 0,00325 detik

h (cm)	Momentun (p)	Waktu Sentuh	Gaya	Gaya *
	kg.m/det	$\Delta t$	N	N
	a	b	a / b	
3	0,31	0,00325	95,384	77,500
4	0,40	0,00325	123,077	100,000
5	0,47	0,00325	144,615	117,500
6	0,53	0,00325	163,077	132,500
7	0,61	0,00325	187,692	152,500
8	0,69	0,00325	212,307	172,500
9	0,75	0,00325	230,769	187,500
10	0,79	0,00325	243,077	197,500
11	0,83	0,00325	255,384	207,500
12	0,86	0,00325	264,615	215,000
13	0,89	0,00325	273,846	222,500
14	0,92	0,00325	283,077	230,000
15	0,94	0,00325	289,231	235,000
16	0,96	0,00325	295,384	240,000
17	0,98	0,00325	301,538	245,000
18	1,00	0,00325	307,692	250,000
19	1,02	0,00325	313,846	255,000
20	1,03	0,00325	316,923	257,500

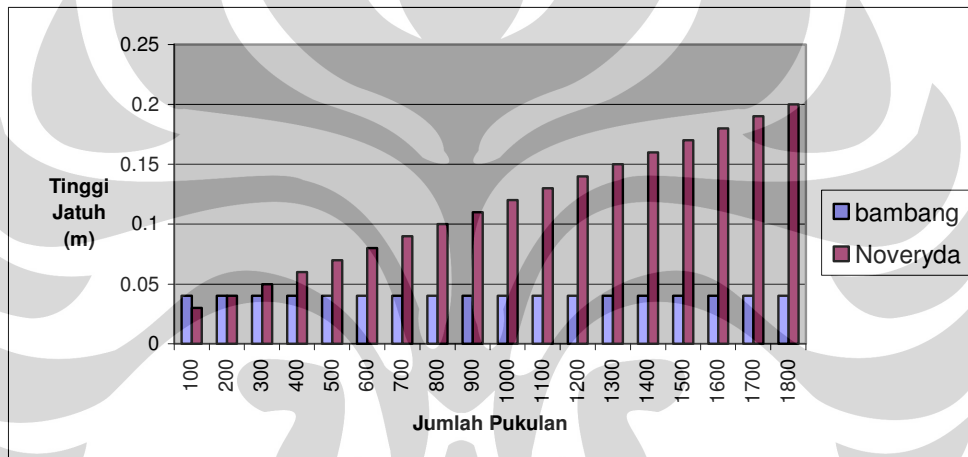
Ket : \* merupakan gaya hasil dari hitungan Noveryda dengan  $t = 0,004 \text{ detik}$

**Tabel 4.6 Gaya Impuls**

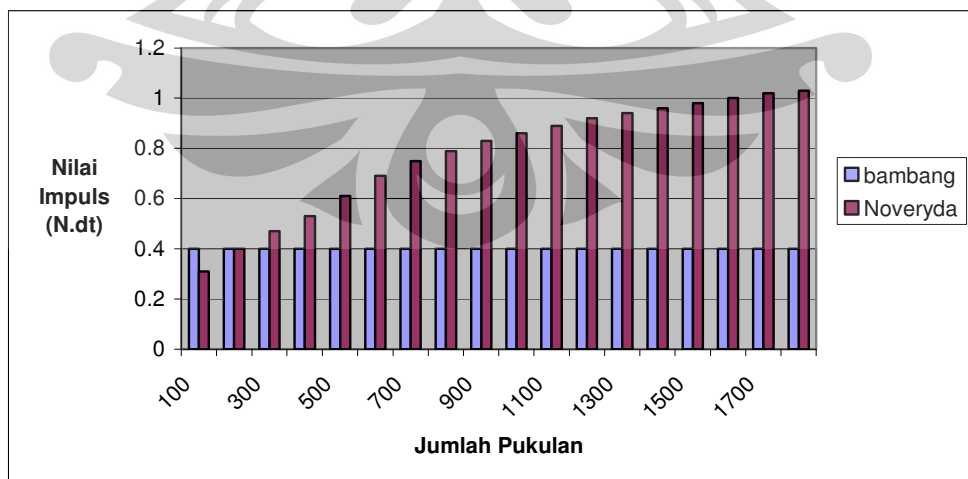
Dari tabel 4.6 terlihat bahwa karena durasi pembebanan pada pengujian oleh penulis adalah lebih kecil maka gaya aproksimatif  $F$  yang ada menjadi lebih besar.

#### 4.7. HUBUNGAN ANTARA TINGGI JATUH DENGAN IMPULS

Seperti yang kita ketahui, bahwa semakin tinggi palu dijatuhkan, maka akan semakin tinggi pula impuls yang diterima oleh benda uji. Hal ini dapat digambarkan dalam grafik berikut.



Grafik 4.1. Hubungan Tinggi Jatuh dan Jumlah Pukulan komulatif



Grafik 4.2. Hubungan Nilai Impuls dan Jumlah Pukulan komulatif

## 4.8. ANALISA FREKUENSI

### 4.8.1. Analisa Frekuensi Natural

Sebelum dilakukan uji tumbukan, dilakukan pengecekan struktur dengan menggunakan palu elektrik, untuk mengetahui frekuensi natural 1 dari struktur balok tersebut.

Jenis beton	UTUH				
	Bambang		Noveryda		
	Hasil Lab. (Hz)	SAP (Hz)	Hasil Lab. (Hz)	SAP (Hz)	SAP setelah perbaikan (Hz)
Beton tanpa serat	78.125	69,714	78,125	79,012	69,714
Beton serat	68,828	68,903	68,359	76,874	68,903

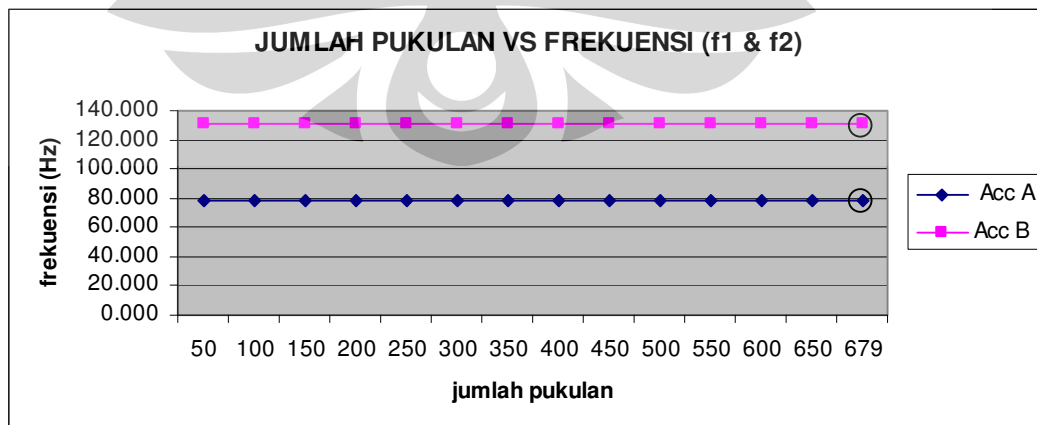
**Tabel 4.7. Frekuensi Natural 1 dari hasil Uji Laboratorium dan SAP 2000**

Dari data tabel diatas dapat kita lihat bahwa pada hasil perhitungan SAP antara pengujian Noveryda dengan penulis, terdapat perbedaan. Hal ini disebabkan perbedaan pada penentuan nilai modulus dan nilai Poisson.

### 4.8.2. Analisa Frekuensi Balok Tanpa Serat (BTS)

#### 4.8.2.1. Balok Tanpa Serat 1 (BTS 1)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton tanpa serat pertama (BTS1) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 4 cm dan direkam tiap 100 pukulan.



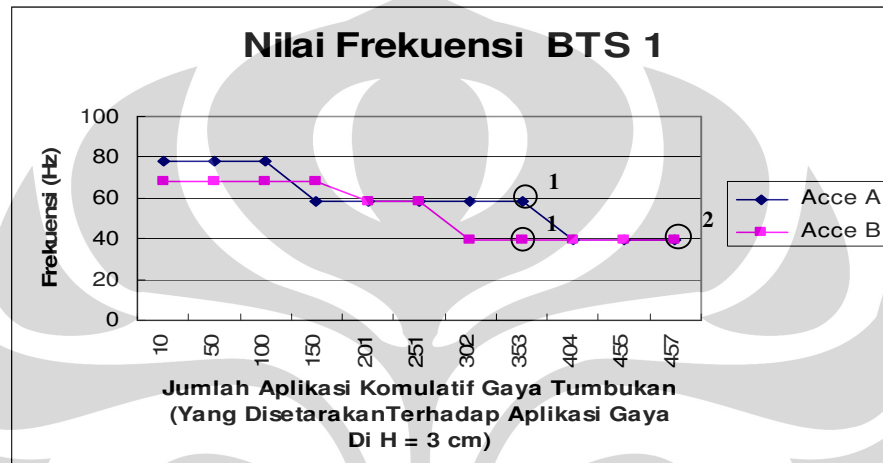
**Grafik 4.3. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 1)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti,2007] [12]

**Grafik 4.4. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 1)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverya	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Patah	679	78,125	457	39,063

**Tabel 4.8.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
679	4	0,66	0,60	0,4	123,077

**Tabel 4.8.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
52	7	0,66	0,92	0,61	152,500

**Tabel 4.8.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

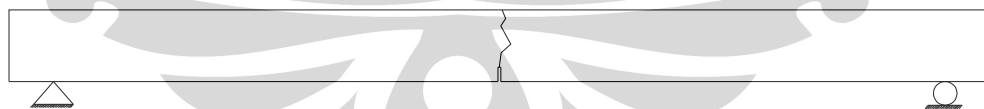
Berdasarkan data grafik tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BTS 1 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan besarnya tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat, balok tidak mengalami retak dan frekuensi pun cenderung tetap pada 78,125 Hz, kemudian keruntuhan terjadi secara tiba-tiba pada pukulan ke 679. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 150, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan balok runtuh pada pukulan ke 457 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Perbedaan ini disebabkan pula oleh perbedaan letak jatuh beban dan palu pada pengujian ini dilapisi karet yang dapat meredam pengaruh pukulan



**Gambar 4.3.a. Pola Retak BTS 1**



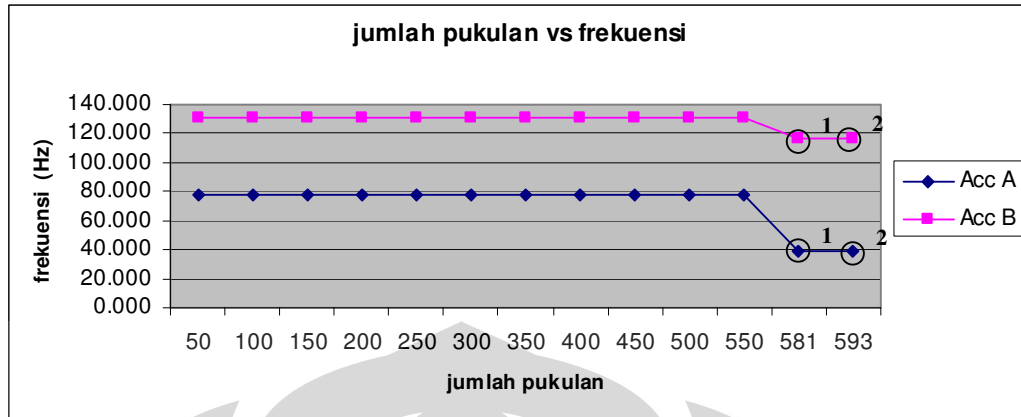
**Gambar 4.3.b. Pola Retak BTS 1**



**Gambar 4.4. Pola Retak BTS 1**

#### **4.8.2.2. Balok Tanpa Serat 2 (BTS 2)**

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton tanpa serat kedua (BTS 2) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 4 cm dan direkam tiap 100 pukulan.

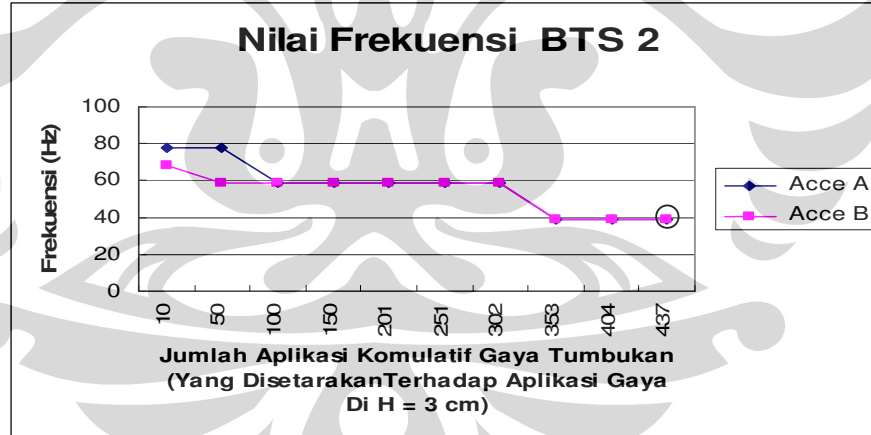


**Grafik 4.5. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 2)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti,2007] [12]

**Grafik 4.6. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 2)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noveryda	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak	581	39,062	-	-
Patah	593	39,062	437	39,063

**Tabel 4.9.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
593	4	0,66	0,6	0,4	123,077

**Tabel 4.9.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

*Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
32	7	0,66	0,92	0,61	152,500

**Tabel 4.9.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noveryda )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

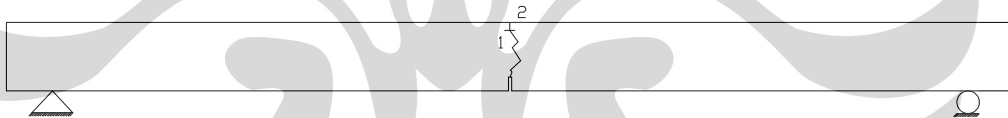
Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BTS 2 antara pengujian ini dengan pengujian Noveryda terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat, retak terdeteksi pada pukulan ke 581 dengan nilai frekuensi 39,062, kemudian runtuh pada pukulan ke 593 dan nilai frekuensi tetap pada 39,062. Sedangkan untuk



percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 100, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan balok runtuh pada pukulan ke 437 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



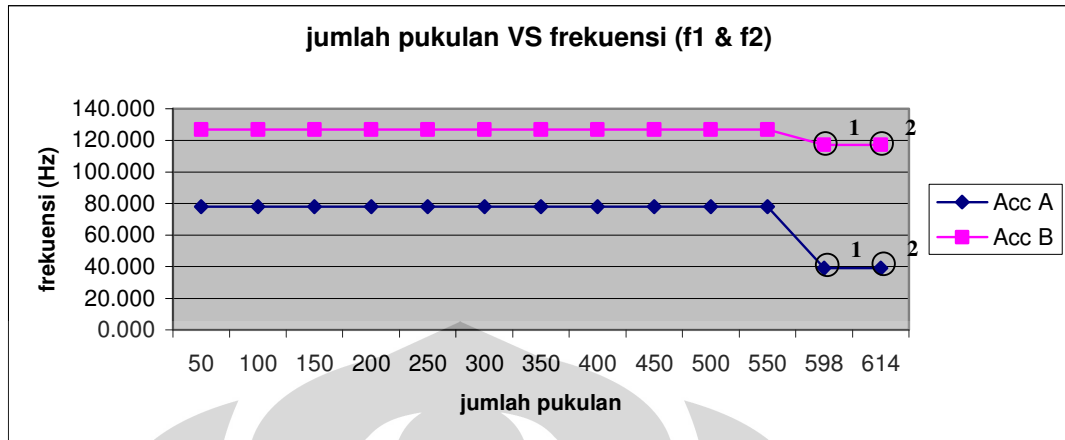
**Gambar 4.5. Pola Retak BTS 2**



**Gambar 4.6. Pola Retak BTS 2**

#### **4.8.2.3. Balok Tanpa Serat 3 (BTS 3)**

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton tanpa serat ketiga (BTS 3) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 4 cm dan direkam tiap 100 pukulan.

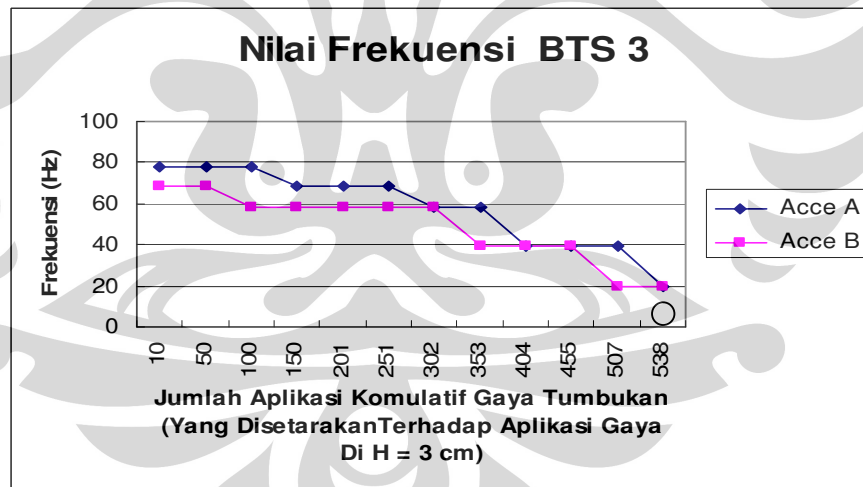


**Grafik 4.7. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 3)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.8. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BTS 3)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noveryda	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak	598	39,062	-	-
Patah	614	39,062	538	19,531

**Tabel 4.10.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
614	4	0,66	0,6	0,4	123,077

**Tabel 4.10.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

*Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
38	8	0,66	1,04	0,69	172,500

**Tabel 4.10.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Noveryda)**

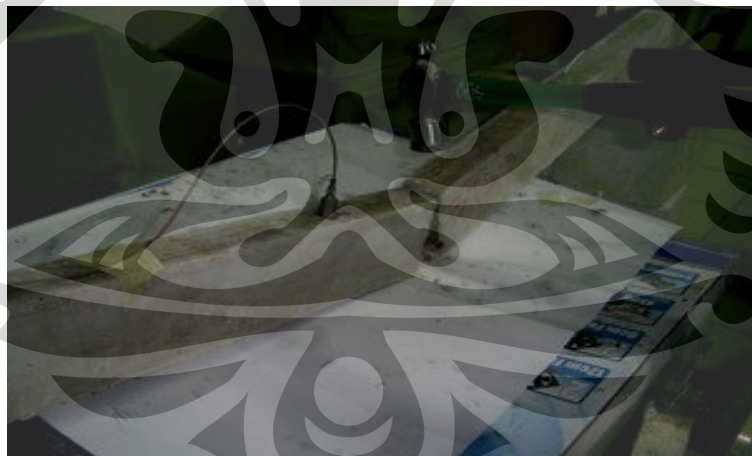
*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BTS 3 antara pengujian ini dengan pengujian Noveryda terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat, retak terdeteksi pada pukulan ke 598 dengan nilai frekuensi 39,062 Hz, kemudian runtuh pada pukulan ke 614 dan nilai frekuensi tetap pada 39,062 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noveryda, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 100, kemudian penambahan beban impuls yang

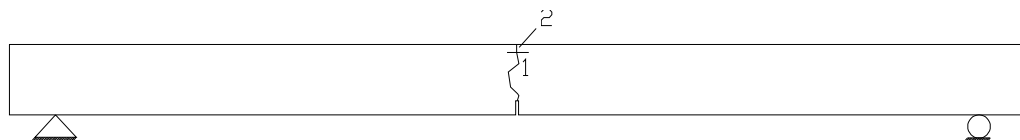
terus meningkat mengakibatkan balok runtuh pada pukulan ke 538 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



**Gambar 4.7.a. Pola Retak BTS 3**



**Gambar 4.7.b. Pola Retak BTS 3**

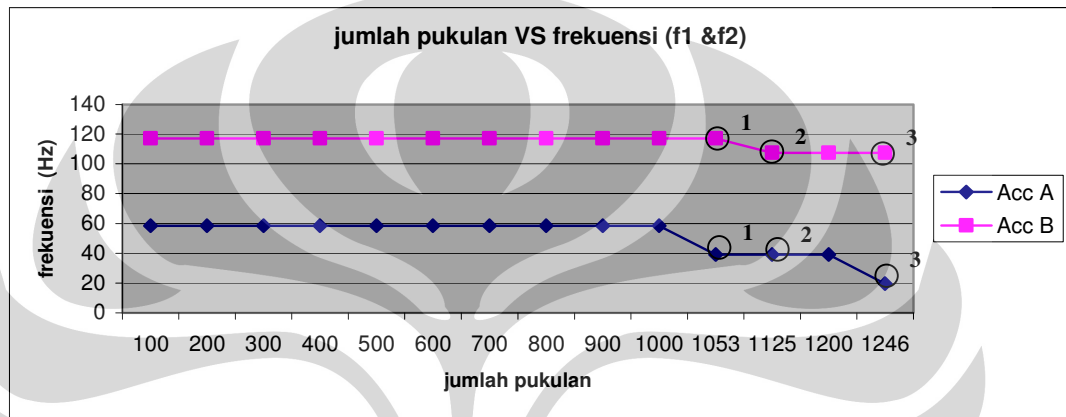


**Gambar 4.8. Pola Retak BTS 3**

### 4.8.3. Analisa Frekuensi Balok Dengan Serat Metal 1% (BS 1% 1)

#### 4.8.3.1. Beton Serat 1% pertama (BS 1% 1)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton dengan serat metal 1% (BS1% 1) tinggi jatuh beban yang diberikan untuk adalah 4 cm direkam tiap 100 pukulan.

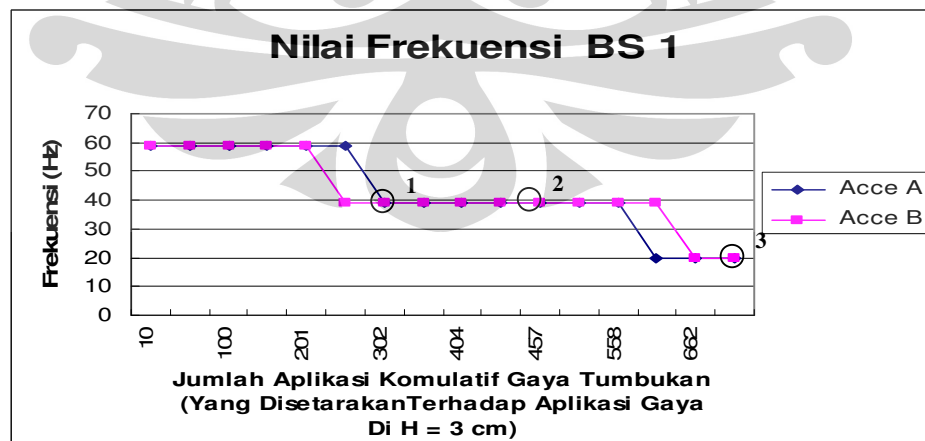


**Grafik. 4.9. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 1% 1)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.10. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BS 1% 1)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverya	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	1053	39,063	302	39,063
Retak 2	1125	39,063	455	39,063
Patah	1246	19.531	669	19,531

**Tabel 4.11.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
1246	4	0,66	0,6	0,4	123,077

**Tabel 4.11.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

*Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
57	9	0,66	1,13	0,75	187,500

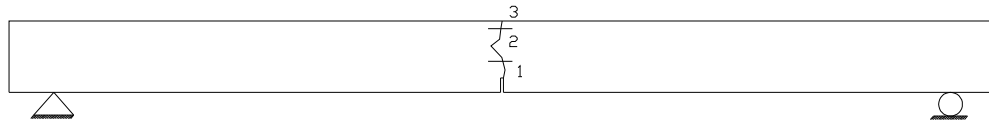
**Tabel 4.11.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BS 1 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Retak terdeteksi pada pukulan ke-1053 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke- 1125 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian runtuh pada pukulan ke-1246 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 275, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-302 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-455 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian runtuh pada pukulan ke-669 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



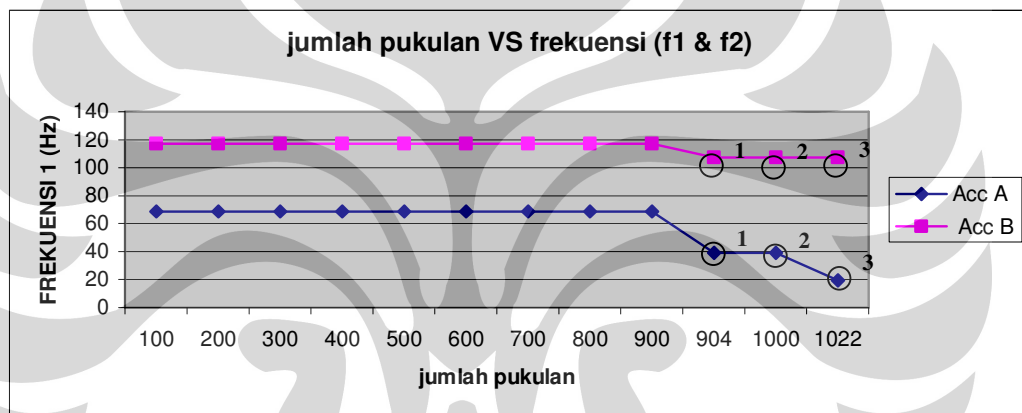
**Gambar 4.9.Pola Retak BS 1% 1**



Gambar 4.10. Pola Retak BS 1% 1

#### 4.8.3.2. Beton Serat 1% kedua (BS 1% 2)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton dengan serat metal 1 % kedua (BS1% 2) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 4 cm direkam tiap 100 pukulan.



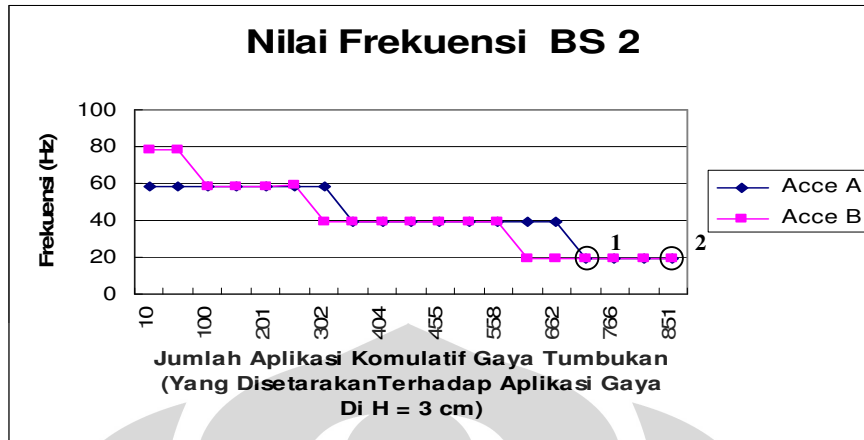
Grafik. 4.11. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 1%2)

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.





Sumber : [Noverda Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.12. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BS 1%2)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverda	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	904	39.063	714	19,531
Retak 2	1000	39.063	-	-
Patah	1022	19.531	851	19,531

**Tabel 4.12.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm)	Massa (m) (kg)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> )	Momentum (p) (kg m/s)	Gaya (F) (N)
	(a)	(b)	(c)	(d) = (b) × (c)	(e) = (d)/0,0325*
1022	4	0,66	0,60	0,4	123,077

**Tabel 4.12.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm)	Massa (m) (kg)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> )	Momentum (p) (kg m/s)	Gaya (F) (N)
	(a)	(b)	(c)	(d) = (b) × (c)	(e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000

100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
31	11	0,66	1,25	0,83	207,500

**Tabel 4.12.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

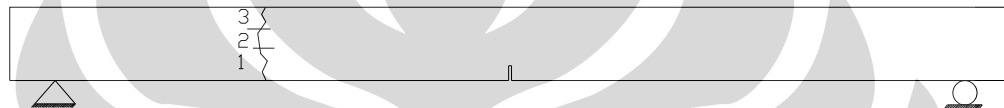
*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Pada pengujian BS 1% 2 keretakan sempat tidak diketahui karena retak terjadi pada  $\frac{1}{4}$  dari bentang balok. Hal ini dapat terjadi karena ada retak awal pada  $\frac{1}{4}$  dari bentang balok yang tidak diketahui, sehingga pengaruh beban tumbukan terdistribusi pada bagian yang retak tersebut dan mengakibatkan keruntuhan terjadi tidak pada sisi coakan.

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BS 2 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-904 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke- 1000 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian runtuh pada pukulan ke-1022 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 302, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-714 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian runtuh pada pukulan ke-851 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



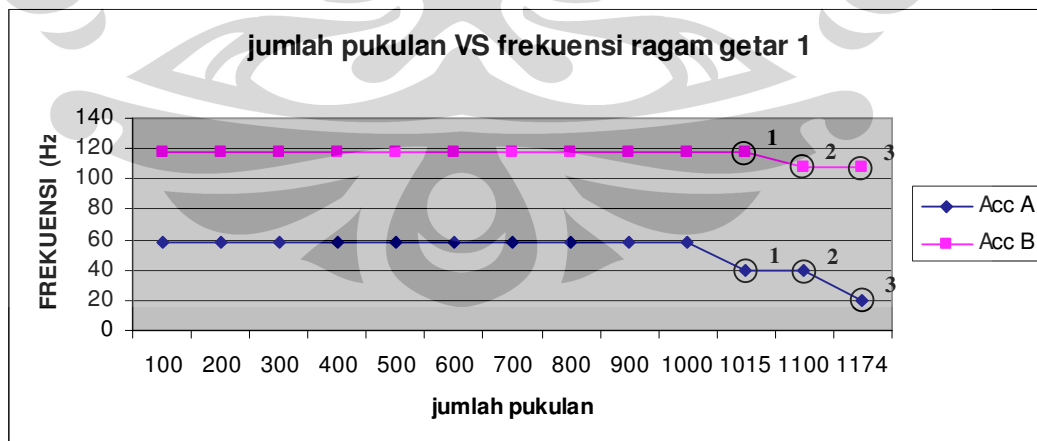
Gambar 4.11. Pola Retak BS 1% 2



Gambar 4.12. Pola Retak BS 1% 2

#### 4.8.3.3. Beton Serat 1% ketiga (BS 1% 3)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton dengan serat metal 1% kedua (BS1% 3) tinggi jatuh beban yang diberikan untuk adalah 4 cm direkam tiap 100 pukulan.

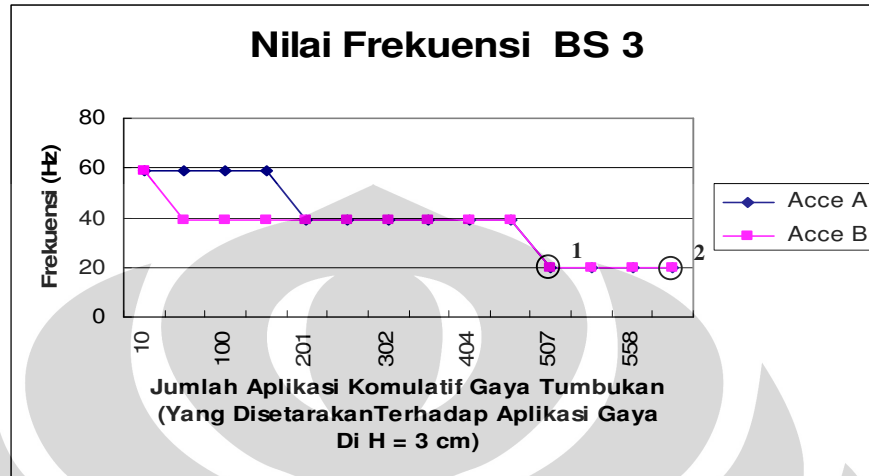


Grafik. 4.13. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BS 1% 3)

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.14. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BS 1%3)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverya	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	1015	39.063	507	19,531
Retak 2	1100	39.063	-	-
Patah	1174	19.531	610	19,531

**Tabel 4.13.a Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
1174	4	0,66	0,60	0,4	123,077

**Tabel 4.13.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
10	9	0,66	1,13	0,75	187,500

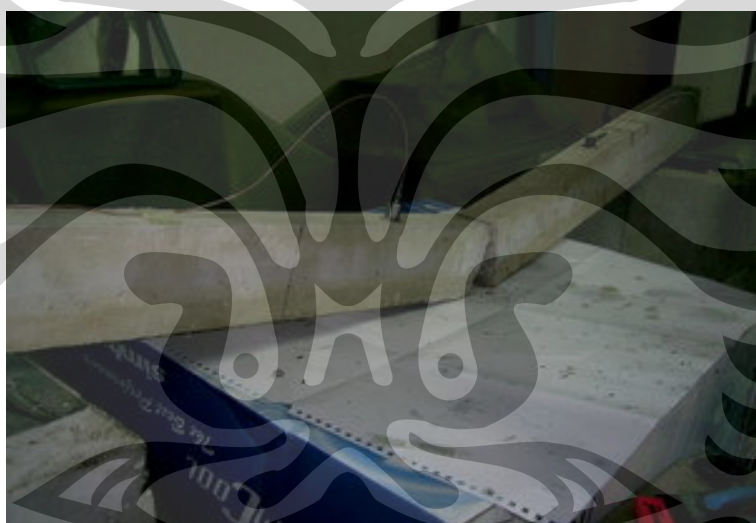
**Tabel 4.13.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

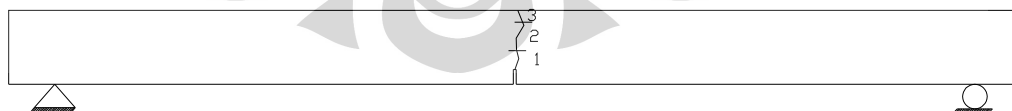
Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BS 3 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan terdeteksi pada pukulan ke-1015 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-1100 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian runtuh pada pukulan ke-1174 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 201, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-507 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian runtuh pada pukulan ke-610 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



**Gambar 4.13.a. Pola Retak BS 1% 3**



**Gambar 4.13.b. Pola Retak BS 1% 3**

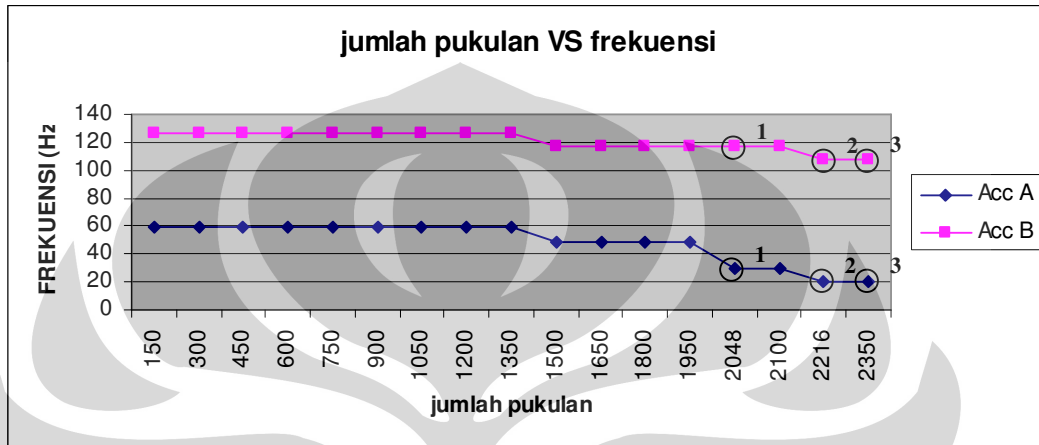


**Gambar 4.14. Pola Retak BS 1% 3**

#### 4.8.4. Analisa Frekuensi Balok Prestreess Tanpa Serat (BPTS)

##### 4.8.4.1. Beton Pratarik Tanpa Serat 1

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton prestress tanpa serat (BPTS 1) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 6 cm untuk 100 pukulan.



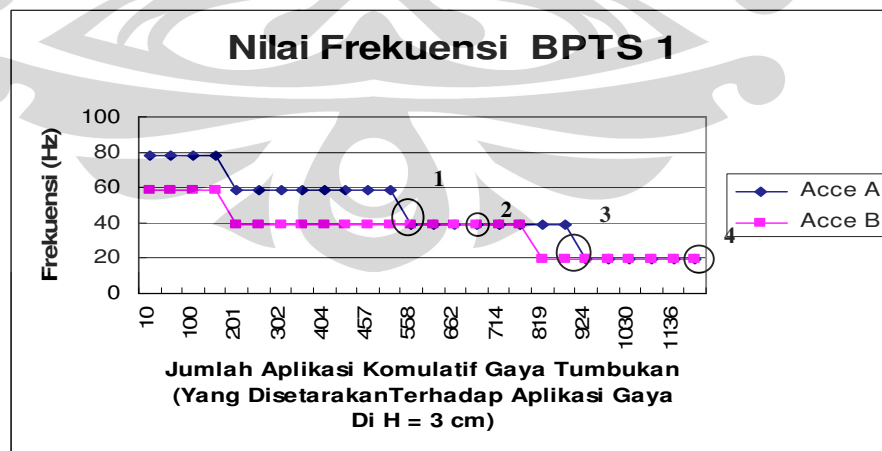
**Grafik. 4.15. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 1)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.16. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BPTS 1)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noveryda	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	2048	29.296	714	39,063
Retak 2	2216	19.531	892	19,531
Retak 3	2350	19.531	1103	19,531

**Tabel 4.14.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
2350	6	0,66	0,81	0,53	163,077

**Tabel 4.14.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
100	11	0,66	1,25	0,83	207,500
100	12	0,66	1,30	0,86	215,000
100	13	0,66	1,35	0,89	222,500
3	14	0,66	1,39	0,92	230,000

**Tabel 4.14.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Noveryda)**

Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan



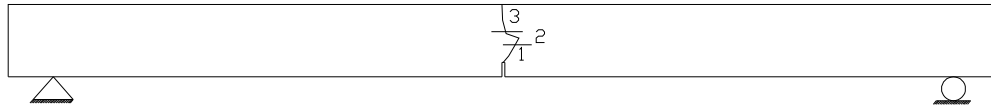
Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BPTS 1 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-2048 dengan nilai frekuensi 29,296 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-2216 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-2350 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 201, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-714 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-892 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-1103 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



**Gambar 4.15.a. Pola Retak BPTS 1**



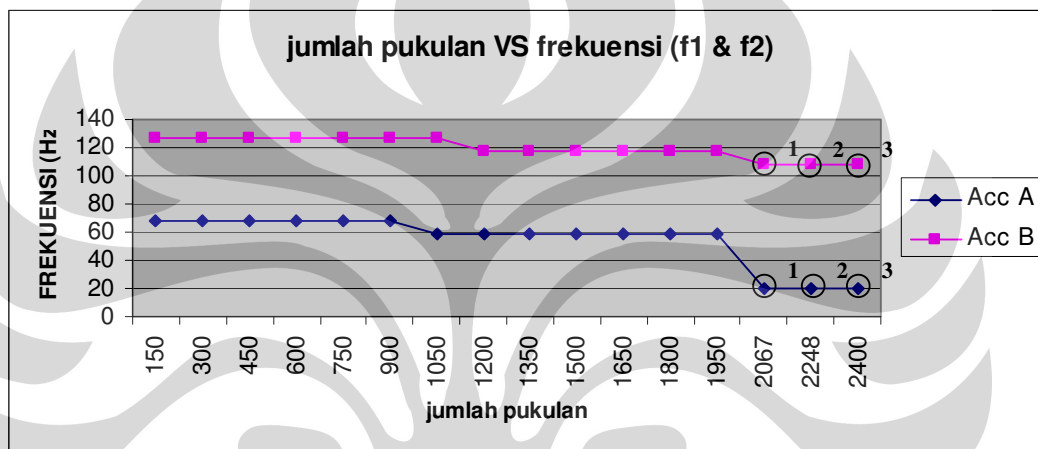
**Gambar 4.15.b. Pola Retak BPTS 1**



**Gambar 4.16. Pola Retak BPTS 1**

#### 4.8.4.2. Beton Pratarik Tanpa Serat 2

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton prestress tanpa serat (BPTS 2) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 6 cm untuk 100 pukulan.

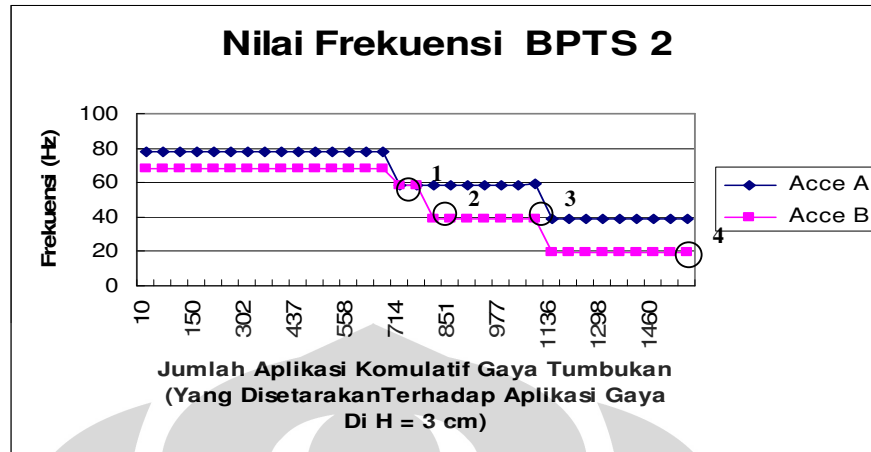


**Grafik. 4.17. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 2)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverda Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.18. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BPTS 2)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverda	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	2067	19.531	808	58,594
Retak 2	2248	19.531	1126	39,063
Retak 3	2400	19.531	1569	39,063

**Tabel 4.15.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
2400	6	0,66	0,81	0,53	163,077

**Tabel 4.15.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
100	11	0,66	1,25	0,83	207,500
100	12	0,66	1,30	0,86	215,000
100	13	0,66	1,35	0,89	222,500
100	14	0,66	1,39	0,92	230,000
100	15	0,66	1,43	0,94	235,000
100	16	0,66	1,46	0,96	240,000
100	17	0,66	1,49	0,98	245,000
69	18	0,66	1,52	1,00	250,000

**Tabel 4.15.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BPTS 2 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-2067 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-2248 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-2400 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang

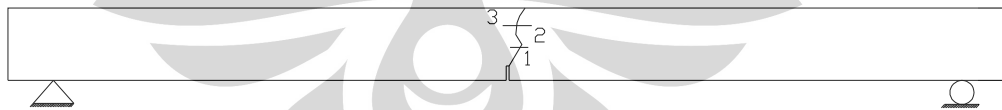
mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 714, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-808 dengan nilai frekuensi 58,594 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-1126 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-1569 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



**Gambar 4.17.a. Pola Retak BPTS 2**



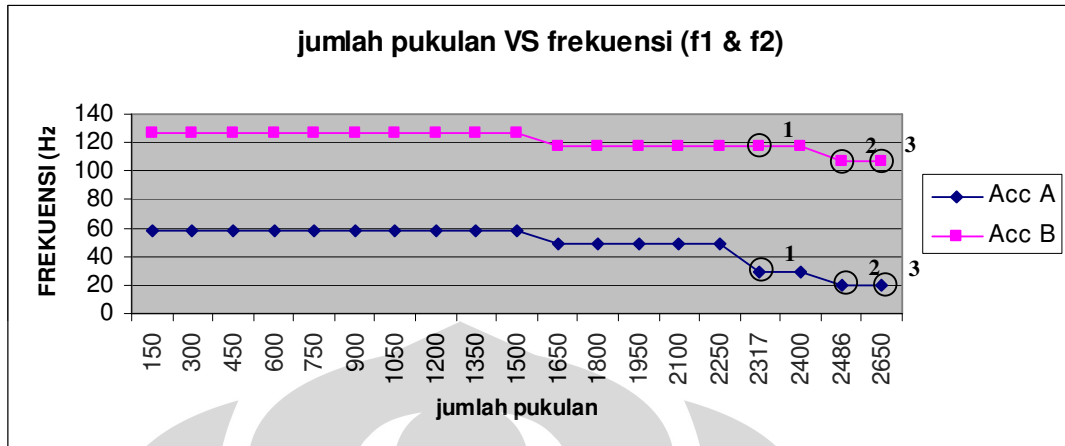
**Gambar 4.17.b. Pola Retak BPTS 2**



**Gambar 4.18. Pola Retak BPTS 2**

#### **4.8.4.3. Beton Pratarik Tanpa Serat 3**

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton prestress tanpa serat (BPTS) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 6 cm untuk 100 pukulan.



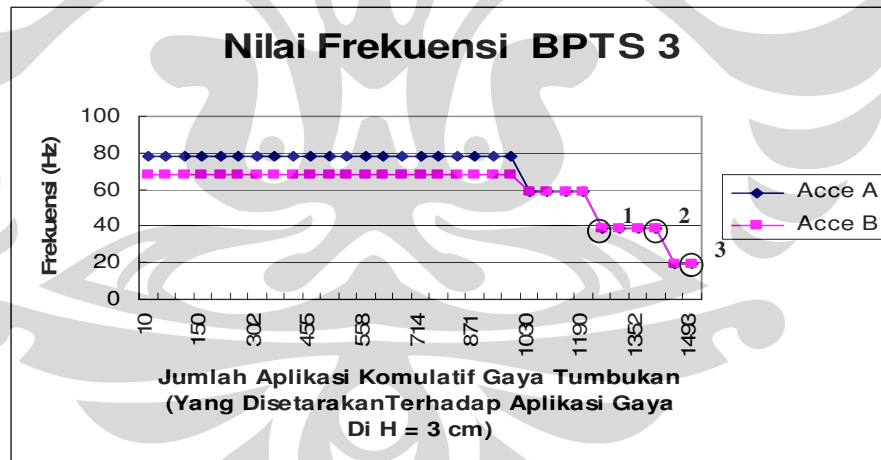
**Grafik. 4.19. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPTS 3)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.20. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BPTS 3)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverya	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	2317	29.296	1298	39,063
Retak 2	2486	19.531	1384	39,063
Retak 3	2650	19.531	1493	19,531

**Tabel 4.16.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,0325*
2650	6	0,66	0,81	0,53	163,077

**Tabel 4.16.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

*Keterangan : 0,0325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
100	11	0,66	1,25	0,83	207,500
100	12	0,66	1,30	0,86	215,000
100	13	0,66	1,35	0,89	222,500
100	14	0,66	1,39	0,92	230,000
100	15	0,66	1,43	0,94	235,000
100	16	0,66	1,46	0,96	240,000
30	17	0,66	1,49	0,98	245,000

**Tabel 4.16.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BPTS 3 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-2317 dengan nilai frekuensi 29,296 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-2486 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-2650 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 1030, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-1298 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-1384 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-1493 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.

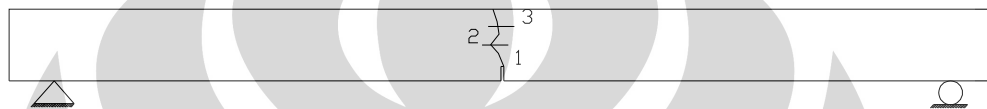


**Gambar 4.19.a. Pola Retak BPTS 3**





**Gambar 4.19.b. Pola Retak BPTS 3**

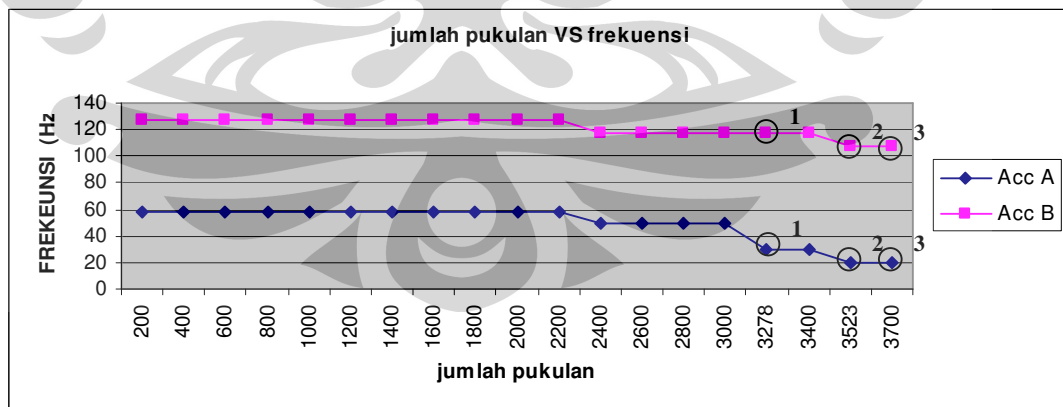


**Gambar 4.20. Pola Retak BTPS 3**

#### 4.8.5. Analisa Frekuensi Balok Prestress Dengan Serat 1 % (BPS 1%)

##### 4.8.5.1. Beton Pratarik Serat 1% 1 (BPS 1% 1)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton prestress dengan serat metal 1% (BPS1%) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 6 cm dan direkam tiap 100 pukulan.

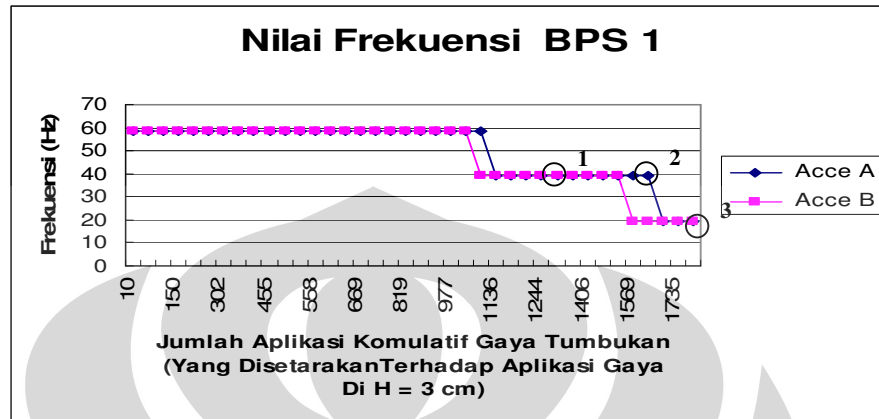


**Grafik. 4.21. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 1% 1)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti,2007] [12]

**Grafik 4.22. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BPS 1%1)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverya	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	3278	29.296	1298	39,063
Retak 2	3523	19.531	1624	39,063
Retak 3	3700	19.531	1790	19,531

**Tabel 4.17.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,021*
3700	6	0,66	0,81	0,53	163,077

**Tabel 4.17.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

*Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
100	11	0,66	1,25	0,83	207,500
100	12	0,66	1,30	0,86	215,000
100	13	0,66	1,35	0,89	222,500
100	14	0,66	1,39	0,92	230,000
100	15	0,66	1,43	0,94	235,000
100	16	0,66	1,46	0,96	240,000
100	17	0,66	1,49	0,98	245,000
100	18	0,66	1,52	1,00	250,000
100	19	0,66	1,54	1,02	255,000
90	20	0,66	1,56	1,03	257,500

**Tabel 4.17.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BPS 1 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-2067 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-2248 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian

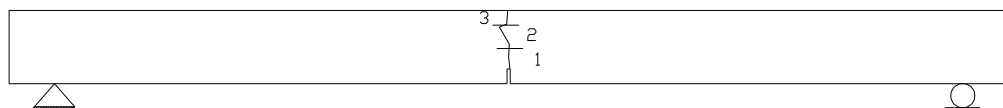
pengujian dihentikan pada pukulan ke-2400 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 1136, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-1298 dengan nilai frekuensi 58,594 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-1624 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-1790 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



**Gambar 4.21.a. Pola Retak BPS 1% 1**



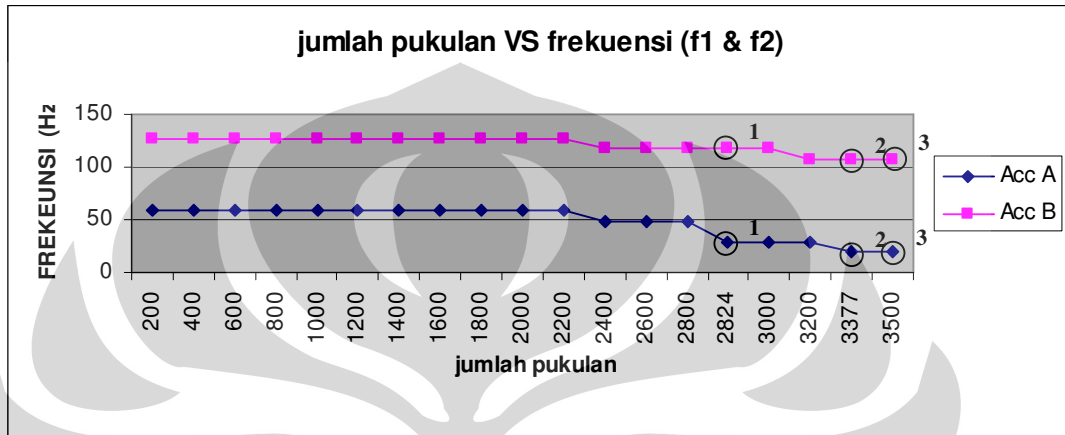
**Gambar 4.21.b. Pola Retak BPS 1% 1**



**Gambar 4.22. Pola Retak BPS 1% 1**

#### 4.8.5.2. Beton Pratarik Serat 1% 2 (BPS 1% 2)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton prestress dengan serat metal 1% kedua (BPS1%2) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 6 cm dan direkam tiap 100 pukulan.

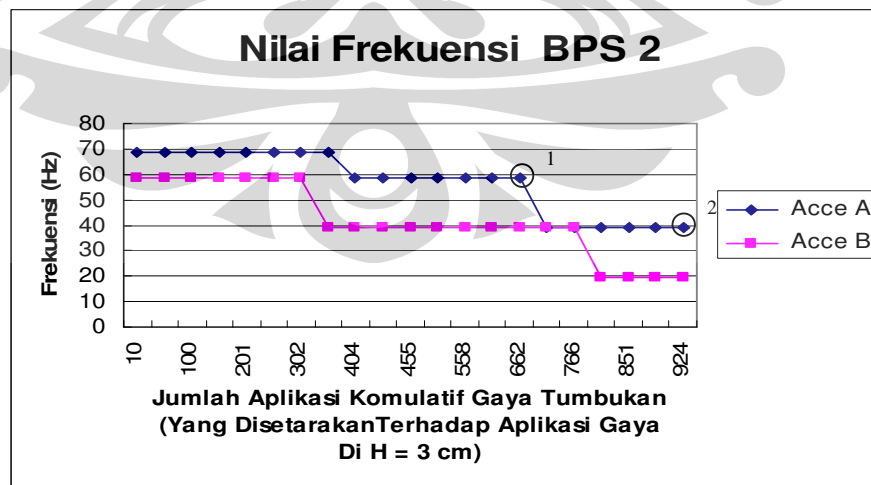


**Grafik. 4.23. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 1%2)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.



Sumber : [Noverya Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.24. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BPS 1%2)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang

- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noveryda	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	2824	29.296	693	39,063
Retak 2	3377	19.531	924	39,063
Retak 3	3500	19.531	-	-

**Tabel 4.18.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
3500	6	0,66	0,81	0,53	163,077

**Tabel 4.18.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

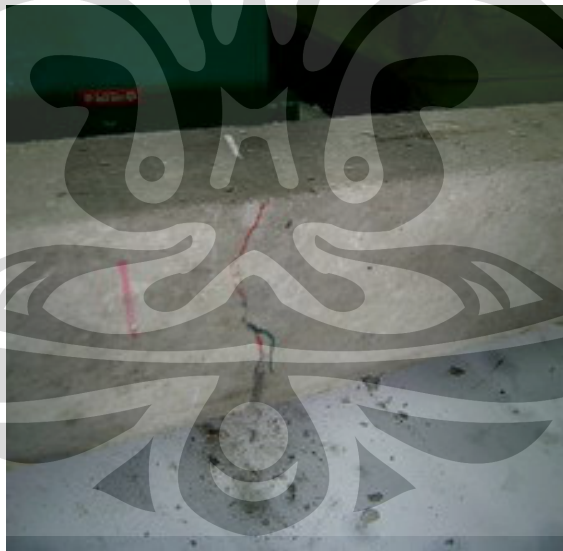
*Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
100	11	0,66	1,25	0,83	207,500
24	12	0,66	1,30	0,86	215,000

**Tabel 4.18.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noveryda )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

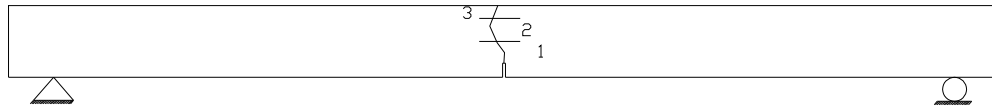
Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BPS 2 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-2824 dengan nilai frekuensi 29,296 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-3377 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-3500 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 404, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-693 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-924 dengan nilai frekuensi 39,063 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan



**Gambar 4.23.a. Pola Retak BPS 1% 2**



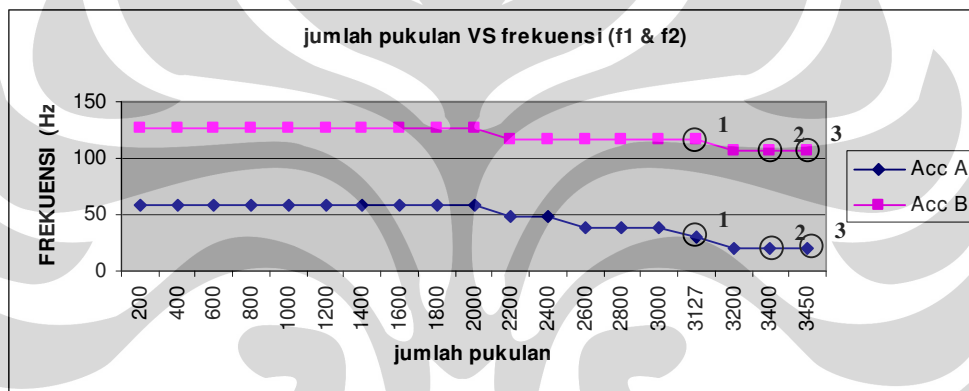
**Gambar 4.23.b. Pola Retak BPS 1% 2**



**Gambar 4.24. Pola Retak BPS 1% 2**

#### 4.8.5.3. Beton Pratarik Serat 1% 3 (BPS 1% 3)

Untuk pengujian beban tumbukan pada balok beton prestress dengan serat metal 1% (BPS1% 3) tinggi jatuh beban yang diberikan adalah 6 cm dan direkam tiap 100 pukulan.



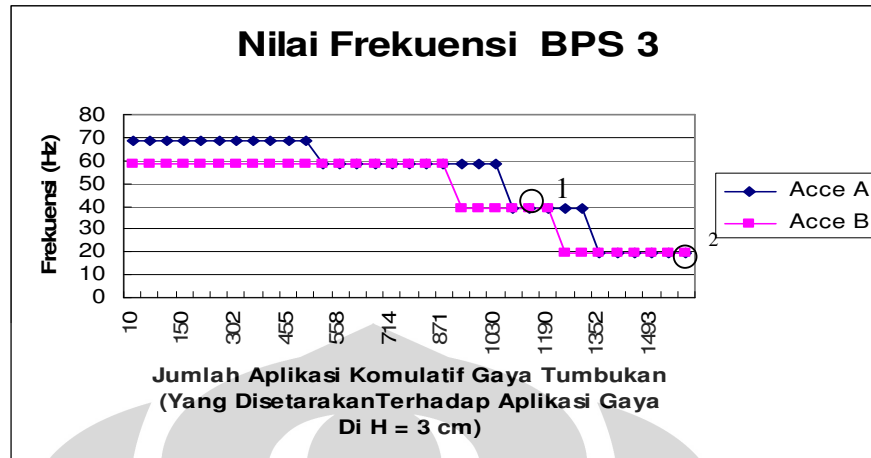
**Grafik 4.25. Hubungan frekuensi dan jumlah pukulan komulatif (BPS 1% 3)**

*Keterangan :*

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Berikut adalah data nilai frekuensi yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan oleh Noverya.





Sumber : [Noverida Damaiyanti] [12]

**Grafik 4.26. Hubungan frekuensi dan Jumlah Pukulan komulatif (BPS 1% 3)**

Keterangan :

- Acc A = Accelerometer A terletak pada jarak 6/8 bentang
- Acc B = Accelerometer B terletak pada jarak 3/8 bentang

Retak	Hasil uji Laboratorium			
	Bambang		Noverida	
	jumlah pukulan	Frekuensi (Hz)	jumlah pukulan	frekuensi (Hz)
Retak 1	3127	29.296	1083	58,594
Retak 2	3400	19.531	-	-
Retak 3	3450	19.531	1569	19,531

**Tabel 4.19.a. Nilai Frekuensi dan Jumlah Pukulan**

Jumlah pukulan	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,00325*
3450	6	0,66	0,81	0,53	163,077

**Tabel 4.19.b. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan (Bambang)**

Keterangan : 0,00325 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan

Jumlah pukulan (z)	Tinggi (h) (cm) (a)	Massa (m) (kg) (b)	Kecepatan (v) (m/s <sup>2</sup> ) (c)	Momentum (p) (kg m/s) (d) = (b) × (c)	Gaya (F) (N) (e) = (d)/0,004*
100	3	0,66	0,48	0,31	77,500
100	4	0,66	0,60	0,40	100,000
100	5	0,66	0,70	0,47	117,500
100	6	0,66	0,81	0,53	132,500
100	7	0,66	0,92	0,61	152,500
100	8	0,66	1,04	0,69	172,500
100	9	0,66	1,13	0,75	187,500
100	10	0,66	1,19	0,79	197,500
100	11	0,66	1,25	0,83	207,500
100	12	0,66	1,30	0,86	215,000
100	13	0,66	1,35	0,89	222,500
100	14	0,66	1,39	0,92	230,000
100	15	0,66	1,43	0,94	235,000
100	16	0,66	1,46	0,96	240,000
100	17	0,66	1,49	0,98	245,000
69	18	0,66	1,52	1,00	250,000

**Tabel 4.19.c. Nilai Gaya yang dihasilkan dari percobaan ( Noverya )**

*Keterangan : 0,004 adalah waktu lamanya palu menyentuh benda uji dalam 1 pukulan*

Berdasarkan data grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa tahap keretakan BPS 3 antara pengujian ini dengan pengujian Noverya terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada jumlah pukulan yang menyebabkan keruntuhan pada balok. Pada pengujian ini beban impuls yang diberikan cenderung tetap, sehingga penurunan frekuensi terjadi sangat lambat. Keretakan balok terdeteksi pada pukulan ke-3127 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Retak kedua terjadi pada pukulan ke-3400 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-3450 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Sedangkan untuk percobaan Noverya, penurunan frekuensi yang

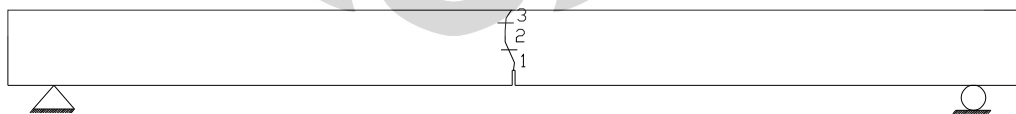
mengindikasikan keretakan telah terjadi sejak pukulan ke 568, kemudian penambahan beban impuls yang terus meningkat mengakibatkan retak terdeteksi pada pukulan ke-1083 dengan nilai frekuensi 58,594 Hz. Kemudian pengujian dihentikan pada pukulan ke-1569 dengan nilai frekuensi 19,531 Hz. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan letak jatuh beban dan metode pemukulan serta penambahan karet yang dapat meredam pengaruh pukulan.



**Gambar 4.25.a. Pola Retak BPS 1% 3**



**Gambar 4.25.b. Pola Retak BPS 1% 3**

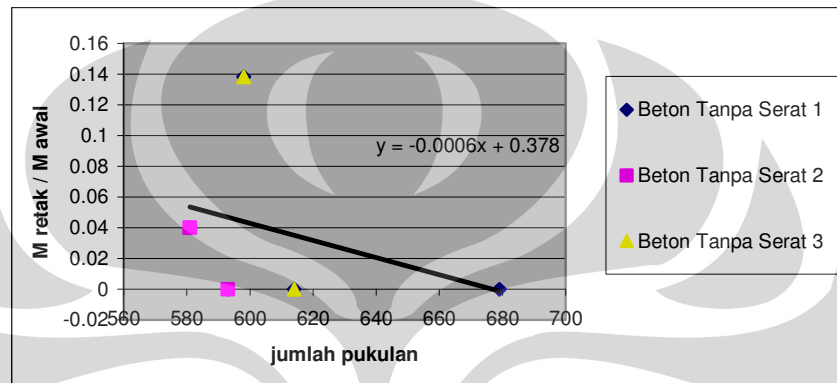


**Gambar 4.26. Pola Retak BPS 1% 3**

Berdasarkan pengujian beban tumbukan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa Beton Tanpa Serat (BTS) memiliki waktu paling cepat

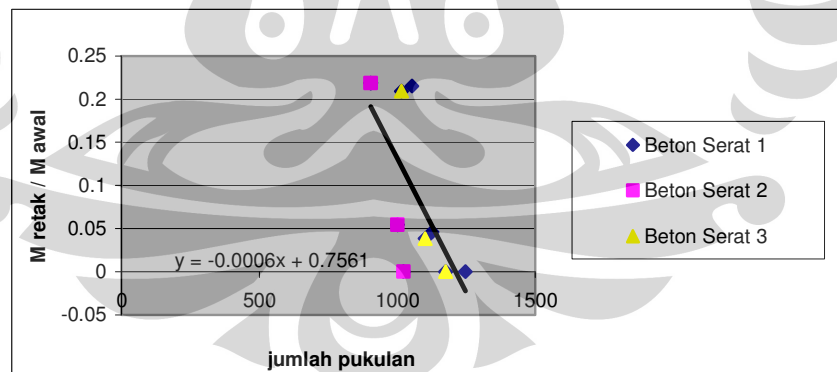
mengalami retak/runtuh, hal ini disebabkan gaya tarik hanya dipikul oleh beton. Sedangkan untuk balok yang paling lama mengalami retak /runtuh adalah Beton Pratarik Serat (BPS), karena gaya tarik balok dipikul oleh serat dan kabel pratarik.

Grafik berikut ini adalah nilai perbandingan jumlah pukulan dengan internal force level ( $M_{\text{retak}} / M_{\text{awal}}$ ) pada masing-masing jenis benda uji dari setiap jenis benda uji.



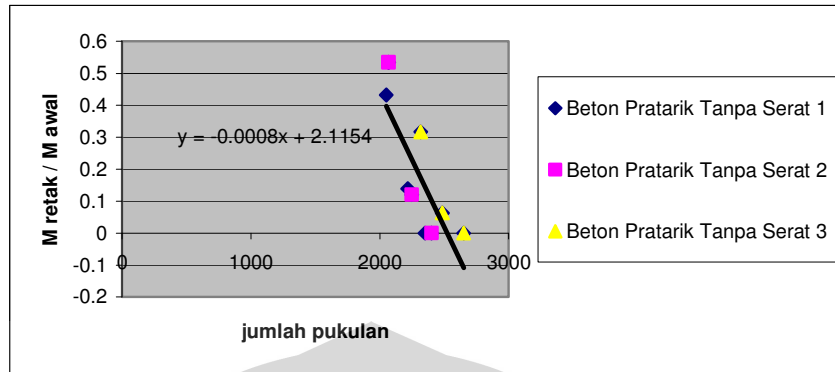
**Grafik 4.27. Hubungan Jumlah Pukulan kumulatif dan Stress level (BTS)**

*Keterangan : internal force level adalah nilai perbandingan tinggi efektif akibat retak dengan tinggi utuh balok*



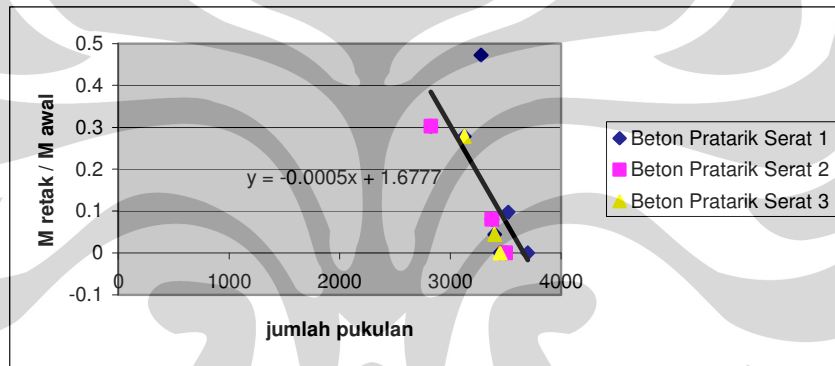
**Grafik 4.28. Hubungan Jumlah Pukulan kumulatif dan Stress level (BS)**

*Keterangan : internal force level adalah nilai perbandingan tinggi efektif akibat retak dengan tinggi utuh balok*



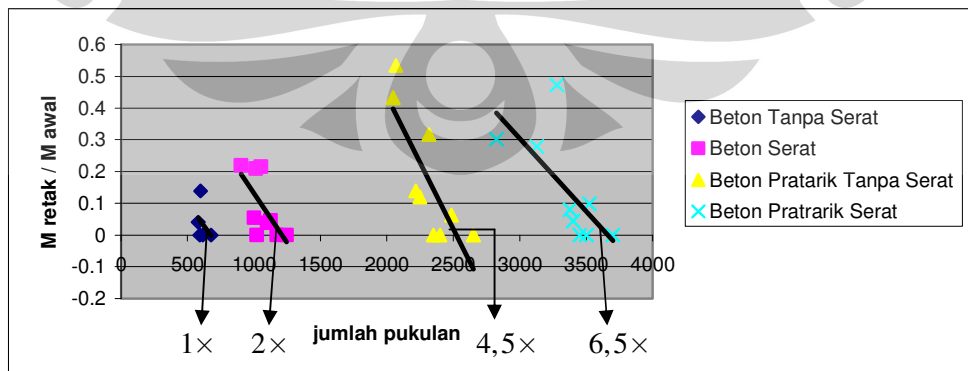
**Grafik 4.29. Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level (BPTS)**

*Keterangan : internal force level adalah nilai perbandingan tinggi efektif akibat retak dengan tinggi utuh balok*



**Grafik 4.30. Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level (BPS)**

*Keterangan : internal force level adalah nilai perbandingan tinggi efektif akibat retak dengan tinggi utuh balok*



**Grafik 4.31. Hubungan Jumlah Pukulan komulatif dan Stress level keempat benda uji**

Keterangan : - internal force level adalah nilai perbandingan tinggi efektif akibat retak dengan tinggi utuh balok

Dari Grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan balok dalam menahan beban tumbukan hingga 2 kali lipat. Untuk penambahan kabel pratarik dapat meningkatkan kekuatan balok hingga 4,5 kali lipat, dan penambahan serat ditambah dengan kabel pratarik dapat meningkatkan kekuatan balok hingga 6,5 kali lipat

Tabel berikut ini adalah nilai perbandingan jumlah pukulan dari setiap jenis benda uji, dimana data yang diambil adalah perwakilan dari setiap jenisnya.

Jenis Benda Uji	Jumlah Pukulan		
	Retak I	Retak II	Retak III / Runtuh
BTS	679	-	-
BS	1053	1125	1246
BPTS	2317	2486	2650
BPS	3278	3523	3700

**Tabel 4.20. Perbandingan Jumlah Pukulan dari Setiap Jenis Benda Uji**

#### 4.9. Menentukan Tinggi Jatuh Maksimum Beban Tumbukan

Untuk menentukan tinggi jatuh Maksimum beban tumbukan dapat digunakan persamaan berikut [R.Kinososhvili][15]:

$$\sigma_d = \sigma_{st} \frac{\int_d}{\int_{st}} = \frac{PL}{4Z} \left( \frac{\int_{st} + \sqrt{\int_{st}^2 + 2 \int_{st} h}}{\int_{st}} \right)$$

Dimana :

$$\sigma_d = \text{tegangan maksimum dinamik(MPa)} = 0,5 f_c'$$

$$\sigma_{st} = \text{tegangan maksimum statik pada tengah bentang(MPa)} = \frac{PL}{4Z}$$

$$\rightarrow Z = \frac{1}{6} bh^2$$

$$\int_{st} = \text{lendutan statik maksimum tengah bentang (mm)} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\int_d = \text{lendutan dinamik maksimum (mm)} = \int_{st} + \sqrt{\int_{st}^2 + 2\int_{st} h}$$

$h$  = tinggi jatuh beban (cm)

#### 4.9.1. Beton Tanpa Serat (BTS)

$$f_c' = 24,095 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = 0,5 f_c' = 12,048 \text{ MPa}$$

$$E = 17942,87 \text{ MPa}$$

$$A_{balok} = 40 \times 64 \text{ mm}^2$$

$$\int_{st} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\int_{st} = \frac{6,6 \times 1000^3}{48 \times 17942,87 \times \left( \frac{1}{12} \times 40 \times 64^3 \right)} = 0,00877$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \frac{\int_d}{\int_{st}} = \frac{FL}{4Z} \left( \frac{\int_{st} + \sqrt{\int_{st}^2 + 2\int_{st} h}}{\int_{st}} \right)$$

$$12,048 = \frac{6,6 \times 1000}{4 \times \frac{1}{6} \times 40 \times 64^2} \left( \frac{0,00877 + \sqrt{0,00877^2 + 2 \times 0,00877 \times h}}{0,00877} \right)$$

$$h = 172,5627 \text{ mm} = 17,256 \text{ cm}$$

Jadi tinggi jatuh palu maksimum yang dapat ditahan oleh beton tanpa serat adalah 17,256 cm.

#### 4.9.2. Beton Serat (BS)

$$f_c' = 23,983 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = 0,5 f_c' = 11,991 \text{ MPa}$$

$$E = 18063,91 \text{ MPa}$$

$$A_{balok} = 40 \times 64 \text{ mm}^2$$

$$\int_{st} = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\int_{st} = \frac{6,6 \times 1000^3}{48 \times 18063,91 \times \left( \frac{1}{12} \times 40 \times 64^3 \right)} = 0,008711$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \frac{\int_d}{\int_{st}} = \frac{FL}{4Z} \left( \frac{\int_{st} + \sqrt{\int_{st}^2 + 2 \int_{st} h}}{\int_{st}} \right)$$

$$11,991 = \frac{6,6 \times 1000}{4 \times \frac{1}{6} \times 40 \times 80^2} \left( \frac{0,008711 + \sqrt{0,008711^2 + 2 \times 0,008711 \times h}}{0,008711} \right)$$

$$h = 169,8086 \text{ mm} = 16,980 \text{ cm}$$

Jadi tinggi jatuh palu maksimum yang dapat ditahan oleh beton serat adalah 16,980 cm.

#### 4.10. Analisa Balok Pratarik

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dalam pengujian sebelumnya, didapat nilai perhitungan balok pratarik sebagai berikut.

- Hasil perhitungan menggunakan metode elastis didapat gaya yang diberikan pada kabel sebesar 719,9 N
- Hasil perhitungan *Loss of Prestress*:

Akibat perpendekan elastis = 0,985 N

Akibat rangkai = 1,983 N

Akibat susut = 23,764 N

Akibat relaksasi baja = 47,641 N

Total Penambahan Beban :

$$0,985N + 1,983N + 23,764N + 47,641N = 74,9N$$

Total beban yang diberikan pada kabel

$$719,9N + 74,373N = 794,23N = 79,423kg \approx 80kg$$



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. KESIMPULAN**

1. Dari keempat jenis benda uji, Beton Prestress Serat (BPS) dapat menerima jumlah pukulan paling besar. Sedangkan Beton Tanpa Serat (BTS) dapat menerima jumlah pukulan paling kecil.
2. Penambahan serat sebesar 1% dari volume total beton sangat berpengaruh terhadap lamanya beton itu mengalami keruntuhan. Pada pembebanan berulang serat disini bersifat mengikat antara campuran beton yang ada sehingga membuat beton cukup lama untuk runtuh bila dibandingkan dengan beton tanpa serat.
3. Pada pengujian BS 1% 2 keretakan sempat tidak diketahui karena retak terjadi pada  $\frac{1}{4}$  dari bentang balok. Hal ini dapat terjadi karena ada retak awal pada  $\frac{1}{4}$  dari bentang balok yang tidak diketahui, sehingga pengaruh beban tumbukan terdistribusi pada bagian yang retak tersebut dan mengakibatkan keruntuhan terjadi tidak pada sisi coakan.
4. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan terhadap besarnya frekuensi dan jumlah pukulan dari pengujian sebelumnya. Hal ini dikarenakan pada pengujian kali ini palu yang ada dilapisi karet setebal 5mm dan perbedaan cara pemukulan terhadap benda uji, dimana pada pengujian sebelumnya tinggi jatuh beban terus naik tiap seratus pukulan, sedangkan pada pengujian kali ini tinggi jatuh beban tidak berubah hingga benda uji runtuh.
5. Dalam percobaan ini diketahui bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan balok dalam menahan beban tumbukan hingga 2 kali lipat. Untuk penambahan kabel pratarik dapat meningkatkan kekuatan balok hingga 4,5 kali lipat, dan penambahan serat ditambah dengan kabel pratarik dapat meningkatkan kekuatan balok hingga 6,5 kali lipat

## 5.2. SARAN

1. Pengujian perilaku balok terhadap beban tumbukan yang dilakukan secara terus – menerus hingga fatik, sebaiknya hal ini dilakukan dengan alat, agar besarnya gaya yang dihasilkan lebih stabil / konstan.
2. Pada saat pemadatan harus dilakukan dengan benar, agar tidak terdapat rongga-rongga yang nantinya dapat mengurangi kekuatan dari beton yang kita rencanakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Damaiyanti, Noveryda, "*Studi Prilaku Balok Beton Dan Balok Pratarik Berserat Metal 0 % Dan 1 % Dari Volume Balok Berdasarkan Pembebanan Berulang Kasus Studi : Balok Dengan Coakan Yang Berukuran Lebar 3,2mm Dan Tinggi 1,6cm Yang dibebani Pembebanan Sejauh  $\frac{1}{4}$  Bentang L Dari Tumpuan*", Skripsi Sarjana Teknik Sipil UI, Depok 2008.
- Departemen Pekerjaan Umum. Badan Penelitian dan Pengembangan PU, "*Pedoman Beton 1989*". SKBI.1.4.53.1989. Draft Konsensus. Jakarta, DPU, 1989.
- Departemen Pekerjaan Umum. LPMB. "*Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*". SK SNI T-15-1990-03. Cetakan Pertama, Bandung: DPU-Yayasan LPMB,1991.
- Irawan D, "*Studi Prilaku Mekanik Akibat Tegangan Geser dengan Penambahan Serat Baja*", Skripsi Sarjana Teknik Sipil UI, Depok 1995.
- I Wayan Santyasa, "*Fisika Dasar Mekanika*", Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, 2001.
- J.H.Hanson & A.R.Ingrafea, "*Fracture Mechanics of Concrete Structure*". Swets and Zetlinger Lisse ISBN 90 2651 825 0,2001.
- Lin, T.Y., "*Prestressed Concrete Structures*", Asia Publishing House, 1962, p. 103.
- Nurzaman, Indra, "*Pembebanan Di Tengah Bentang Dengan Komposisi Balok Beton Tanpa Serat, Balok Beton Dengan Serat Metal 1 % Dari Volume, Balok Beton Prategang Tanpa Serat, Balok Beton Prategang Dengan Kadar Serat Metal 1% Dari Volume*", Skripsi Sarjana Teknik Sipil UI, Depok 2008.
- Paz, Mario, "*Dinamika Struktur*", Erlangga, Jakarta 1993.

Restiana, Ratna “ *Studi perilaku balok beton berserat metal 1 % dari volume total balok dan balok pratarik berserat metal 1 % dari volume berdasarkan uji pembebanan berulang*” Skripsi Sarjana Teknik Sipil UI, Depok 2007.

R, Kinasoshvili,” *Strength Of Material*”, M. Konyaeva, Moscow 1972.

Schodek, Daniel L, ”*Structures*”, New Jersey : Prentice- Hall, Inc, Englewood Cliffs, 1980.

Surendra P. Shah, Stuart E. Swartz, Chengseng Ouyang, ”*Fracture Mechanics of Concrete*”, Jhon Willy and Sons Incorporate, 1995.

Wang, Chu – Kia, Charles G. Salmon, “*Desain Beton Bertulang, Jilid I*”, Erlangga, Jakarta 1986.

Winter, G & H. N, Artur. ” *Design Of Concrete Structures* “ 9-th ed. McGraw.Hill International, 1981.

Zukas,” *Dynamic Impact*”, McGraw Hill Inter Edition, 1979.

## LAMPIRAN

(Ket : merupakan hasil studi dari Ratna, 2007 )

### 1.1. Data Teknis Hasil Pengujian

Untuk pengecoran benda uji sebanyak 12 benda uji, dilakukan 4 kali pengecoran dengan data sebagai berikut :

No	Tanggal Cor	Jenis Benda Uji	Slump
1	21 November 2006	Beton Tanpa Serat	7,8 cm
2	5 Januari 2007	Beton Serat 1%	7,6 cm
3	16 Februari 2007	Beton Prategang Tanpa Serat	7,7 cm
4	21 Maret 2007	Beton Prategang Berserat 1%	7,6 cm

**Tabel 1.1.1. Tanggal pengecoran dan nilai slump benda uji untuk kuat tekan**

Benda uji untuk pengetestan modulus elastisitas

No	Tanggal Cor	Jenis Benda Uji	Slump
1	24 Januari 2007	Silinder Tanpa Serat	7,8 cm
2	1 Februari 2007	Silinder Berserat 1%	8 cm

**Tabel 1.1.2. Tanggal pengecoran dan nilai slump benda uji untuk modulus elastisitas**

### 1.2. Kuat tekan beton

Benda uji yang diuji kuat tekannya adalah benda uji dengan jenis beton tanpa serat dan beton dengan serat. Masing – masing jenis diuji pada hari ke 28 dan hari ke 56. Masing- masing pengujian menggunakan 3 buah sampel. Sampel yang diuji adalah benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm.

### 1.2.1. Kuat Tekan Benda Uji Kubus

Data kuat tekan kubus dikonversi ke silinder dengan menggunakan rumus

$$\text{berasal dari SNI T-15-1991-03 dimana } f_c' = \left[ 0.76 + 0.2^{10} \log \frac{f_{ck}'}{15} \right] f_{ck}'$$

$f_{ck}'$  merupakan kuat tekan benda uji kubus

1. Jenis Beton : Tanpa serat metal (BTS)

Mutu Beton : K-300

Umur Beton : 28 hari

No	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Berat(N)	Volume (m <sup>3</sup> )	Pu ( N )	Kuat Tekan (MPa )	Berat Isi (N/m <sup>3</sup> )
1	22500	76.92	0.003375	800000	35.556	22791.111
2	22500	77.65	0.003375	750000	33.333	23007.407
3	22500	78.76	0.003375	590000	26.222	23336.296
rata-rata					31.704	23044.938
Dalam silinder					24.095	

**Tabel 1.2.1. Kuat tekan benda uji kubus tanpa serat usia 28 hari**

2. Jenis Beton : Tanpa serat metal (BTS)

Mutu Beton : K-300

Umur Beton : 56 hari

No	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Berat(N)	Volume (m <sup>3</sup> )	Pu ( N )	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (N/m <sup>3</sup> )
1	22500	75.750	0.003375	1010000	44.889	22444.44
2	22500	77.290	0.003375	1150000	51.111	22900.74
3	22500	77.130	0.003375	1225000	54.444	22853.33
rata-rata					50.148	22732.84
Dalam silinder					38.112	

**Tabel 1.2.2. Kuat tekan benda uji kubus tanpa serat usia 56 hari**

3. Jenis Beton : Beton dengan serat metal 1% dari volume total (BS 1%)

Mutu Beton : K-300

Umur Beton : 28 hari

No	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Berat(N)	Volume (m <sup>3</sup> )	Pu ( N )	Kuat Tekan (MPa )	Berat Isi (N/m <sup>3</sup> )
1	22500	78.150	0.003375	740000	32.889	23155.55
2	22500	78.990	0.003375	690000	30.667	23404.44
3	22500	79.140	0.003375	700000	31.111	23448.88
rata-rata					31.556	23336.29
Dalam silinder					23.982	

**Tabel 1.2.3. Kuat tekan benda uji kubus dengan serat usia 28 hari**

4. Jenis Beton : Beton dengan serat metal 1% dari volume total (BS 1%)

Mutu Beton : K-300

Umur Beton : 56 hari

No	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Berat(N)	Volume (m <sup>3</sup> )	Pu ( N )	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (N/m <sup>3</sup> )
1	22500	76.980	0.003375	690000	30.667	22808.88
2	22500	76.020	0.003375	865000	38.444	22524.44
3	22500	76.250	0.003375	832500	37.000	22592.59
rata-rata					35.370	22641.97
Dalam silinder					22.311	

**Tabel 1.2.4. Kuat tekan benda uji kubus dengan serat usia 56 hari**

### 1.2.2. Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Ukuran silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm

A. Data Kuat Tekan Silinder Tanpa Serat Usia 28 hari

No	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Berat(N)	Volume (m <sup>3</sup> )	Pu (N)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (N/m <sup>3</sup> )
1	17662.5	118	0.0053	485000	27.4593	22269.4
2	17662.5	120.42	0.0053	477500	27.0347	22726.1
3	17662.5	118.46	0.0053	495000	28.0255	22356.2
4	17662.5	119.02	0.0053	440000	24.9115	22461.9
				rata-rata	26.8577	22450.6

**Tabel 1.2.5. Kuat tekan benda uji silinder tanpa serat usia 28 hari**

B. Data Kuat Tekan Silinder Dengan Serat Usia 28 hari

No	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Berat(N)	Volume (m <sup>3</sup> )	Pu (N)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (N/m <sup>3</sup> )
1	17662.5	119.12	0.0053	435000	24.6285	22480.8
2	17662.5	118.56	0.0053	365000	20.6653	22375.1
3	17662.5	119.52	0.0053	400000	22.6469	22556.3
4	17662.5	120.51	0.0053	390000	22.0807	22743.1
				rata-rata	22.5053	22470.7

**Tabel 1.2.6. Kuat tekan benda uji silinder dengan serat usia 28 hari**

### 1.3. Modulus Elastisitas Beton

Untuk pengujian modulus elastisitas benda uji berbentuk kubus dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Adapun komposisi benda uji antara lain :

1. Beton tanpa serat sebanyak 4 buah benda uji.
2. Beton dengan serat 1% sebanyak 4 buah benda uji.

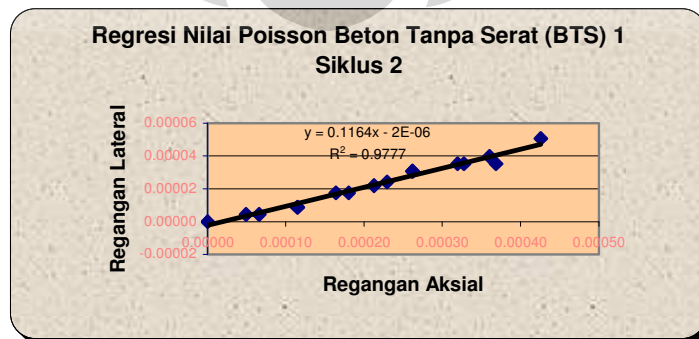
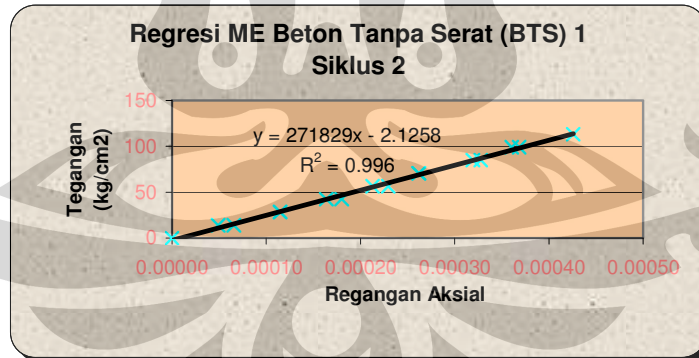




### Uji Modulus Elastis BTS 1 siklus 2

Tgl Cor 1/24/2007 Tgl Tes 3/3/2007 Sampel 1  
 Beban 48500 Panjang sampel (mm) 200 Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71  
 Diameter sampel (mm) 150

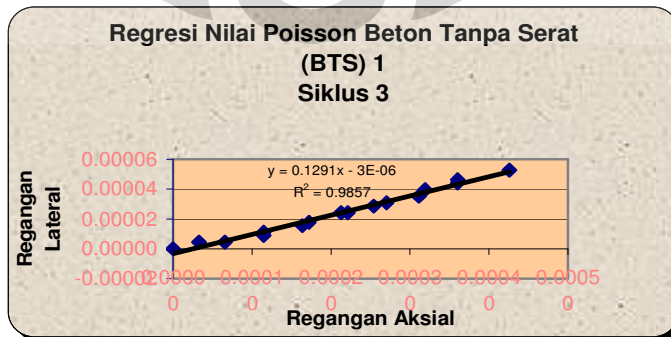
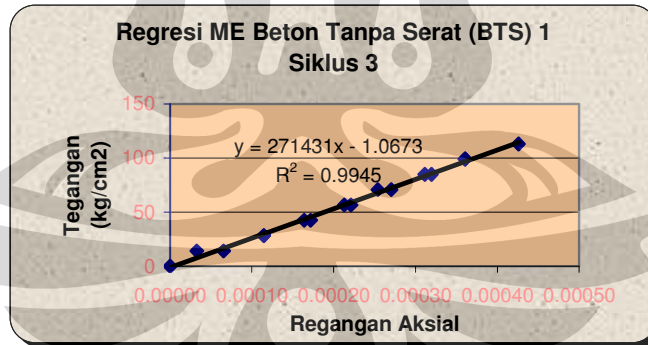
Beban	Tegangan	Δ aksial	Δ lateral	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub>	μ
(kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	( 0.01 mm)	( 0.01 mm)			(kg/cm <sup>2</sup> )	
<b>Siklus 2</b>							
0	0	0.000	0	0.00000	0.00000	0.0000	0.00000
2500	14.147	1.310	0.2	0.00007	0.00000	215935.118	0.06716
5000	28.295	2.293	0.4	0.00011	0.00001	246782.992	0.07675
7500	42.442	3.276	0.8	0.00016	0.00002	259122.142	0.10745
10000	56.590	4.259	1.0	0.00021	0.00002	265766.299	0.10332
12500	70.737	5.241	1.4	0.00026	0.00003	269918.898	0.11753
15000	84.885	6.388	1.6	0.00032	0.00004	265766.299	0.11021
17500	99.032	7.207	1.8	0.00036	0.00004	274826.514	0.10989
20000	113.180	8.517	2.3	0.00043	0.00005	265766.299	0.11882
17500	99.032	7.371	1.6	0.00037	0.00004	268719.258	0.09551
15000	84.885	6.552	1.6	0.00033	0.00004	259122.142	0.10745
12500	70.737	5.241	1.4	0.00026	0.00003	269918.898	0.11753
10000	56.590	4.586	1.1	0.00023	0.00002	246782.992	0.10553
7500	42.442	3.603	0.8	0.00018	0.00002	235565.583	0.09768
5000	28.295	2.293	0.4	0.00011	0.00001	246782.992	0.07675
2500	14.147	0.983	0.2	0.00005	0.00000	287913.491	0.08954



### Uji Modulus Elastis BTS 1 siklus 3

Tgl Cor 1/24/2007      Tgl Tes 3/3/2007      Sampel 1  
 Beban 48500      Panjang sampel (mm) 200      Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71  
 Diameter sampel (mm) 150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 3</b>							
0	0	0.000	0	0.00000	0.00000	0.0000	0.00000
2500	14.147	1.310	0.2	0.00007	0.00000	215935.118	0.06716
5000	28.295	2.293	0.4	0.00011	0.00001	246782.992	0.07675
7500	42.442	3.276	0.7	0.00016	0.00002	259122.142	0.09402
10000	56.590	4.422	1.1	0.00022	0.00002	255923.103	0.10944
12500	70.737	5.405	1.4	0.00027	0.00003	261739.537	0.11396
15000	84.885	6.224	1.6	0.00031	0.00004	272760.149	0.11311
17500	99.032	7.207	2.0	0.00036	0.00004	274826.514	0.12211
20000	113.180	8.517	2.4	0.00043	0.00005	265766.299	0.12398
17500	99.032	7.207	2.1	0.00036	0.00005	274826.514	0.12821
15000	84.885	6.388	1.8	0.00032	0.00004	265766.299	0.12398
12500	70.737	5.078	1.3	0.00025	0.00003	278625.959	0.11265
10000	56.590	4.259	1.1	0.00021	0.00002	265766.299	0.11365
7500	42.442	3.440	0.8	0.00017	0.00002	246782.992	0.10234
5000	28.295	2.293	0.5	0.00011	0.00001	246782.992	0.09594
2500	14.147	0.655	0.2	0.00003	0.00000	431870.236	0.13432



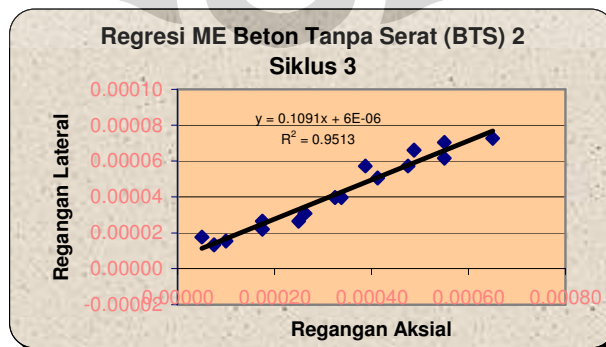
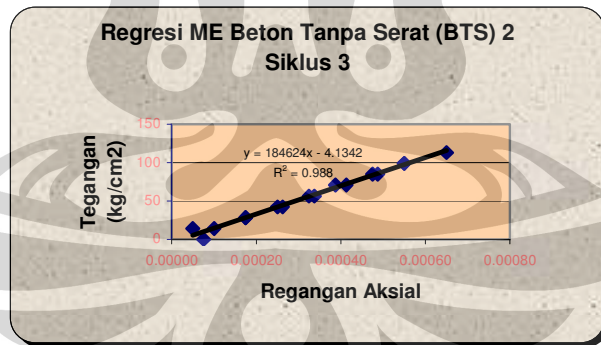




### Uji Modulus Elastis BTS 2 siklus 3

Tgl Cor 1/24/2007 Tgl Tes 3/3/2007 Sampel 2  
 Beban 47750 Panjang sampel (mm) 200 Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71  
 Diameter sampel (mm) 150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial ( 0.01 mm)	Δ lateral ( 0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 3</b>							
0	0	0.983	0.6	0.00005	0.00001	0.0000	0.61053
2500	14.147	1.310	0.7	0.00007	0.00002	215935.118	0.23505
5000	28.295	2.293	1.0	0.00011	0.00002	246782.992	0.19188
7500	42.442	3.276	1.2	0.00016	0.00003	259122.142	0.16118
10000	56.590	4.422	1.8	0.00022	0.00004	255923.103	0.17909
12500	70.737	5.405	2.3	0.00027	0.00005	261739.537	0.18723
15000	84.885	6.224	2.6	0.00031	0.00006	272760.149	0.18380
17500	99.032	7.207	2.8	0.00036	0.00006	274826.514	0.17095
20000	113.180	8.517	3.3	0.00043	0.00007	265766.299	0.17048
17500	99.032	7.207	3.2	0.00036	0.00007	274826.514	0.19537
15000	84.885	6.388	3.0	0.00032	0.00007	265766.299	0.20664
12500	70.737	5.078	2.6	0.00025	0.00006	278625.959	0.22530
10000	56.590	4.259	1.8	0.00021	0.00004	265766.299	0.18598
7500	42.442	3.440	1.4	0.00017	0.00003	246782.992	0.17909
5000	28.295	2.293	1.2	0.00011	0.00003	246782.992	0.23026
2500	14.147	0.655	0.8	0.00003	0.00002	431870.236	0.53726





### Uji Modulus Elastis BTS 3 siklus 1

Tgl Cor 1/24/2007

Tgl Tes 3/3/2007

Sampel

3

Beban 49500

Panjang sampel (mm)

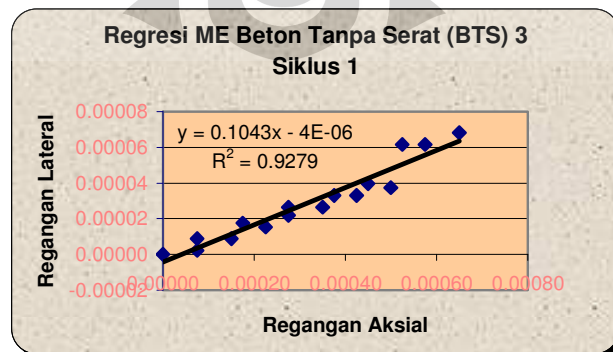
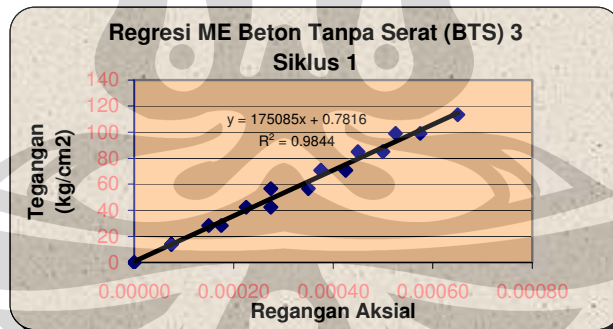
200

Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71

Diameter sampel (mm)

150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial ( 0.01 mm)	Δ lateral ( 0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 1</b>							
0	0	0.000	0	0.00000	0.00000	0.0000	0.00000
2500	14.147	0.983	0.1	0.00005	0.00000	287913.491	0.04477
5000	28.295	1.966	0.4	0.00010	0.00001	287913.491	0.08954
7500	42.442	2.948	0.7	0.00015	0.00002	287913.491	0.10447
10000	56.590	3.603	1.2	0.00018	0.00003	314087.445	0.14653
12500	70.737	4.914	1.5	0.00025	0.00003	287913.491	0.13432
15000	84.885	5.897	1.8	0.00029	0.00004	287913.491	0.13432
17500	99.032	6.879	2.8	0.00034	0.00006	287913.491	0.17909
20000	113.180	8.517	3.1	0.00043	0.00007	265766.299	0.16015
17500	99.032	7.534	2.8	0.00038	0.00006	262877.535	0.16351
15000	84.885	6.552	1.7	0.00033	0.00004	259122.142	0.11417
12500	70.737	5.569	1.5	0.00028	0.00003	254041.316	0.11851
10000	56.590	4.586	1.2	0.00023	0.00003	246782.992	0.11513
7500	42.442	3.603	1.0	0.00018	0.00002	235565.583	0.12211
5000	28.295	2.293	0.8	0.00011	0.00002	246782.992	0.15350
2500	14.147	0.983	0.4	0.00005	0.00001	287913.491	0.17909



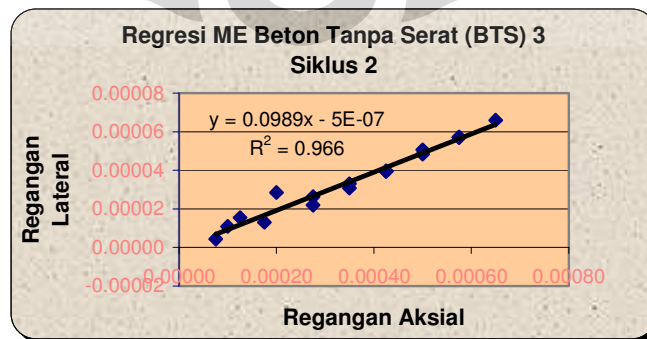
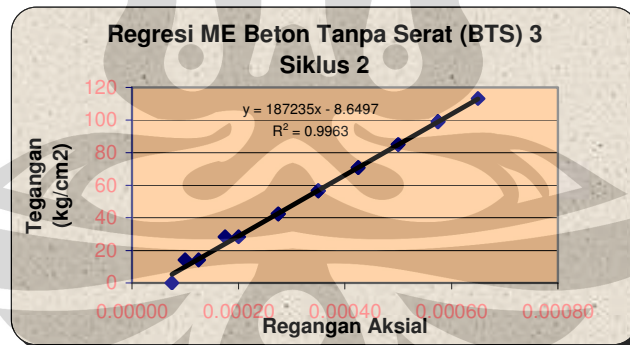
## Uji Modulus Elastis BTS 3 siklus 2

Tgl Cor 1/24/2007  
Beban 49500

Tgl Tes 3/3/2007  
Panjang sampel (mm) 200  
Diameter sampel (mm) 150

Sampel 3  
Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 2</b>							
0	0	0.983	0.2	0.00005	0.00000	0.0000	0.20351
2500	14.147	1.638	0.7	0.00008	0.00002	172748.095	0.18804
5000	28.295	2.293	0.6	0.00011	0.00001	246782.992	0.11513
7500	42.442	3.603	1.0	0.00018	0.00002	235565.583	0.12211
10000	56.590	4.586	1.4	0.00023	0.00003	246782.992	0.13432
12500	70.737	5.569	1.8	0.00028	0.00004	254041.316	0.14222
15000	84.885	6.552	2.2	0.00033	0.00005	259122.142	0.14775
17500	99.032	7.534	2.6	0.00038	0.00006	262877.535	0.15184
20000	113.180	8.517	3.0	0.00043	0.00007	265766.299	0.15498
17500	99.032	7.534	2.6	0.00038	0.00006	262877.535	0.15184
15000	84.885	6.552	2.3	0.00033	0.00005	259122.142	0.15446
12500	70.737	5.569	1.8	0.00028	0.00004	254041.316	0.14222
10000	56.590	4.586	1.5	0.00023	0.00003	246782.992	0.14391
7500	42.442	3.603	1.2	0.00018	0.00003	235565.583	0.14653
5000	28.295	2.621	1.3	0.00013	0.00003	215935.118	0.21826
2500	14.147	1.310	0.5	0.00007	0.00001	215935.118	0.16789















### Uji Modulus Elastis BS 2 siklus 2

Tgl Cor 1/24/2007

Tgl Tes 3/3/2007

Sampel

2

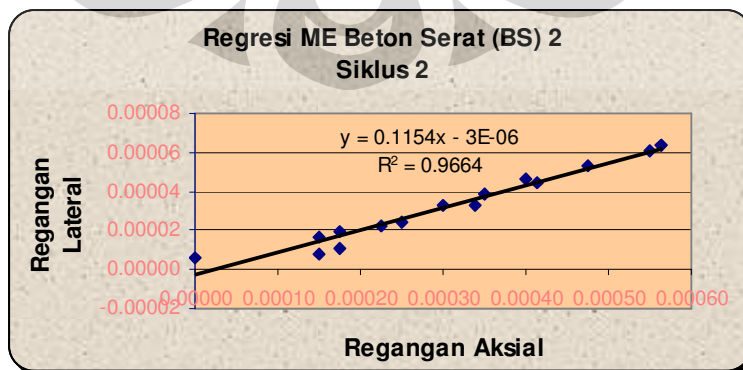
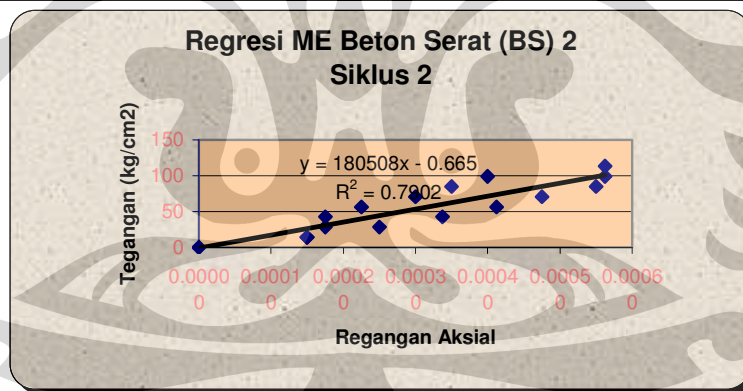
Beban 40000

Panjang sampel (mm) 200

Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 76.71

Diameter sampel (mm) 150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial ( 0.01 mm)	Δ lateral ( 0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 2</b>							
0	0	0.000	0.25	0.00000	0.00001	0.0000	#DIV/0!
2500	14.147	1.966	0.4	0.00010	0.00001	143956.745	0.07835
5000	28.295	2.293	0.5	0.00011	0.00001	246782.992	0.09594
7500	42.442	2.293	0.9	0.00011	0.00002	370174.488	0.17269
10000	56.590	2.948	1.0	0.00015	0.00002	383884.655	0.14924
12500	70.737	3.931	1.5	0.00020	0.00003	359891.864	0.16789
15000	84.885	4.586	1.8	0.00023	0.00004	370174.488	0.16789
17500	99.032	5.241	2.1	0.00026	0.00005	377886.457	0.17629
20000	113.180	7.371	2.9	0.00037	0.00006	307107.724	0.17312
17500	99.032	7.371	2.9	0.00037	0.00006	268719.258	0.17312
15000	84.885	7.207	2.8	0.00036	0.00006	235565.583	0.16789
12500	70.737	6.224	2.4	0.00031	0.00005	227300.124	0.16966
10000	56.590	5.405	2.0	0.00027	0.00004	209391.630	0.16281
7500	42.442	4.422	1.5	0.00022	0.00003	191942.327	0.14924
5000	28.295	3.276	1.1	0.00016	0.00002	172748.095	0.14775
2500	14.147	1.966	0.8	0.00010	0.00002	143956.745	0.16789

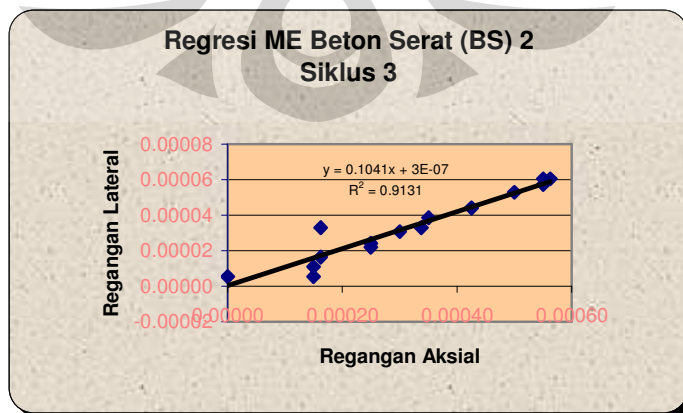
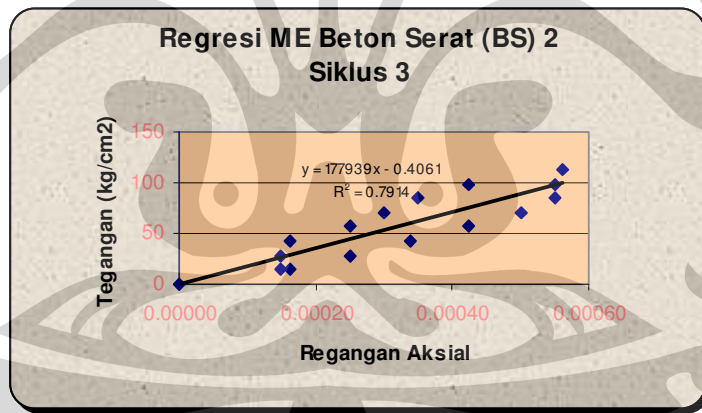




### Uji Modulus Elastis BS 2 siklus 3

Tgl Cor 1/24/2007                      Tgl Tes 3/3/2007                      Sampel 2  
 Beban 40000                      Panjang sampel (mm) 200                      Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71  
     Diameter sampel (mm) 150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 3</b>							
0	0	0.000	0.25	0.00000	0.00001	0.0000	#DIV/0!
2500	14.147	1.966	0.3	0.00010	0.00001	143956.745	0.05596
5000	28.295	1.966	0.5	0.00010	0.00001	287913.491	0.11193
7500	42.442	2.129	0.8	0.00011	0.00002	398649.449	0.15498
10000	56.590	3.276	1.0	0.00016	0.00002	345496.189	0.13432
12500	70.737	3.931	1.4	0.00020	0.00003	359891.864	0.15670
15000	84.885	4.586	1.8	0.00023	0.00004	370174.488	0.16789
17500	99.032	5.569	2.0	0.00028	0.00004	355657.842	0.15802
20000	113.180	7.371	2.8	0.00037	0.00006	307107.724	0.16416
17500	99.032	7.207	2.8	0.00036	0.00006	274826.514	0.16789
15000	84.885	7.207	2.6	0.00036	0.00006	235565.583	0.15874
12500	70.737	6.552	2.4	0.00033	0.00005	215935.118	0.16118
10000	56.590	5.569	2.0	0.00028	0.00004	203233.052	0.15802
7500	42.442	4.422	1.5	0.00022	0.00003	191942.327	0.14924
5000	28.295	3.276	1.1	0.00016	0.00002	172748.095	0.14775
2500	14.147	2.129	1.5	0.00011	0.00003	132883.150	0.30996



### Uji Modulus Elastis BS 3 siklus 1

Tgl Cor 1/24/2007  
Tgl Tes 3/3/2007

Sampel

3

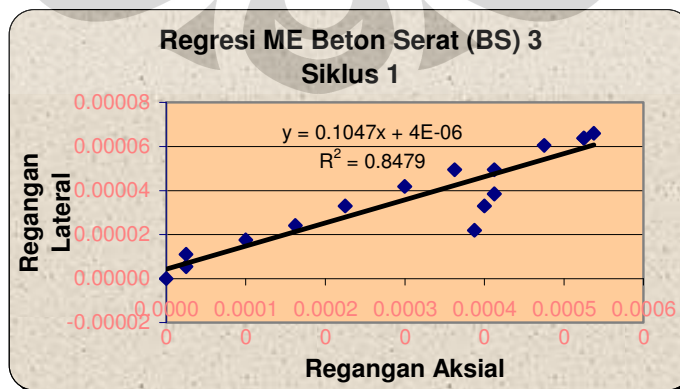
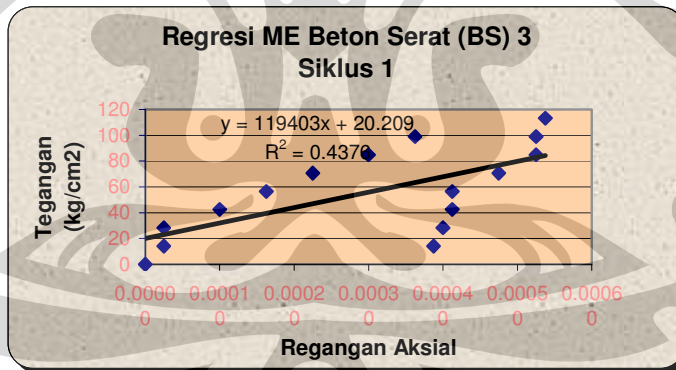
Beban 39000

Panjang sampel (mm) 200

Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71

Diameter sampel (mm) 150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 1</b>							
0	0	0.000	0	0.00000	0.00000	0.0000	0.00000
2500	14.147	0.328	0.3	0.00002	0.00001	863740.473	0.33579
5000	28.295	0.328	0.5	0.00002	0.00001	1727480.946	0.67158
7500	42.442	1.310	0.8	0.00007	0.00002	647805.355	0.26863
10000	56.590	2.129	1.1	0.00011	0.00002	531532.599	0.22730
12500	70.737	2.948	1.5	0.00015	0.00003	479855.818	0.22386
15000	84.885	3.931	1.9	0.00020	0.00004	431870.236	0.21267
17500	99.032	4.750	2.3	0.00024	0.00005	416978.159	0.20842
20000	113.180	7.043	3.0	0.00035	0.00007	321391.804	0.18742
17500	99.032	6.879	2.9	0.00034	0.00006	287913.491	0.18548
15000	84.885	6.879	2.9	0.00034	0.00006	246782.992	0.18548
12500	70.737	6.224	2.8	0.00031	0.00006	227300.124	0.19440
10000	56.590	5.405	2.3	0.00027	0.00005	209391.630	0.18316
7500	42.442	5.405	1.8	0.00027	0.00004	157043.722	0.14246
5000	28.295	5.241	1.5	0.00026	0.00003	107967.559	0.12592
2500	14.147	5.078	1.0	0.00025	0.00002	55725.192	0.08666







### Uji Modulus Elastis BS 3 siklus 3

Tgl Cor 1/24/2007

Tgl Tes 3/3/2007

Sampel

3

Beban 39000

Panjang sampel (mm)

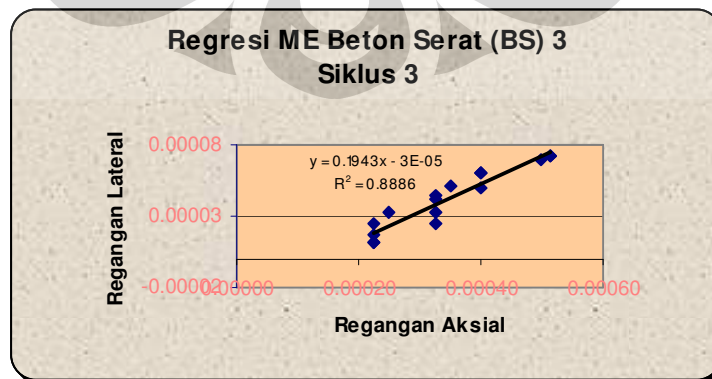
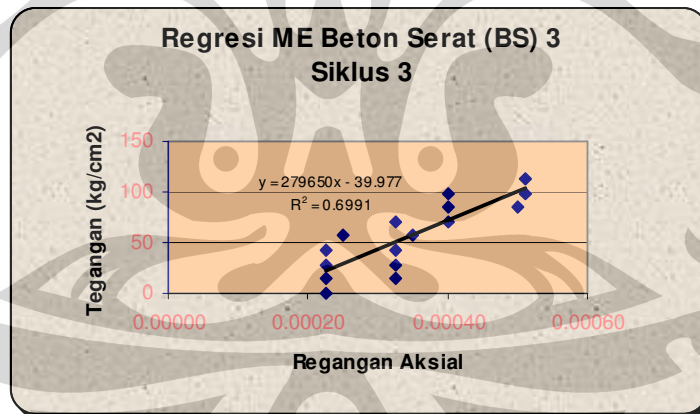
200

Luas sampel (cm<sup>2</sup>) 176.71

Diameter sampel (mm)

150

Beban (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )	Δ aksial (0.01 mm)	Δ lateral (0.01 mm)	ε aksial	ε lateral	E <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	μ
<b>Siklus 3</b>							
0	0	2.948	0.5	0.00015	0.00001	0.0000	0.16959
2500	14.147	2.948	0.5	0.00015	0.00001	95971.164	0.07462
5000	28.295	2.948	0.8	0.00015	0.00002	191942.327	0.11193
7500	42.442	2.948	1.1	0.00015	0.00002	287913.491	0.16416
10000	56.590	3.276	1.5	0.00016	0.00003	345496.189	0.20147
12500	70.737	4.259	1.9	0.00021	0.00004	332207.874	0.19631
15000	84.885	5.241	2.3	0.00026	0.00005	323902.677	0.18888
17500	99.032	5.241	2.8	0.00026	0.00006	377886.457	0.23086
20000	113.180	6.716	3.3	0.00034	0.00007	337069.453	0.21294
17500	99.032	6.716	3.3	0.00034	0.00007	294935.771	0.21294
15000	84.885	6.552	3.2	0.00033	0.00007	259122.142	0.21155
12500	70.737	5.241	2.8	0.00026	0.00006	269918.898	0.23086
10000	56.590	4.586	2.4	0.00023	0.00005	246782.992	0.22546
7500	42.442	4.259	2.0	0.00021	0.00004	199324.724	0.20664
5000	28.295	4.259	1.5	0.00021	0.00003	132883.150	0.15498
2500	14.147	4.259	1.1	0.00021	0.00002	66441.575	0.11365



No	Jenis Sampel	Modulus elastisitas (MPa)
1	Beton Tanpa Serat 1	26879,233
2	Beton Tanpa Serat 2	27555,000
3	Beton Tanpa Serat 3	27725,200
	ME rata- rata	27386,480

**Tabel 1.3.1. Modulus elastisitas beton tanpa serat**

No	Jenis Sampel	Modulus Elastisitas (MPa)
1	Beton Serat 1	25681,933
2	Beton Serat 2	26976,766
3	Beton Serat 3	30055,000
	ME rata-rata	27571,230

**Tabel 1.3.2. Modulus elastisitas beton dengan serat**

No	Jenis Sampel	Nilai Poisson
1	Beton Tanpa Serat 1	0,1222
2	Beton Tanpa Serat 2	0,1585
3	Beton Tanpa Serat 3	0,1537
	Rata –rata	0,1448

**Tabel 1.3.3. Nisbah poisson beton tanpa serat**

No	Jenis Sampel	Nilai Poisson
1	Beton Serat 1	0,1622
2	Beton Serat 2	0,1654

3	Beton Serat 3	0,2284
		0,1853

**Tabel 1.3.4. Nisbah poisson beton dengan serat**

Benda Uji	$4700\sqrt{f'_c} (MPa)$	Modulus Elastisitas Pengukuran (MPa)
Beton tanpa serat	24109.8181	27386,48
Beton dengan serat	24053.478	27571,23

**Tabel 1.3.5. Perbandingan modulus elastisitas dari pengukuran dan perhitungan kuat tekan**

Nilai koreksi untuk pembacaan dial deformasi horizontal : ( pada gambar 3.4.1)

$e_r = 8,6 \text{ cm}$

$e_g = 17 \text{ cm}$

maka nilai koreksi  $= 8,6 \text{ cm} / (8,6 \text{ cm} + 17 \text{ cm}) = 0,33$

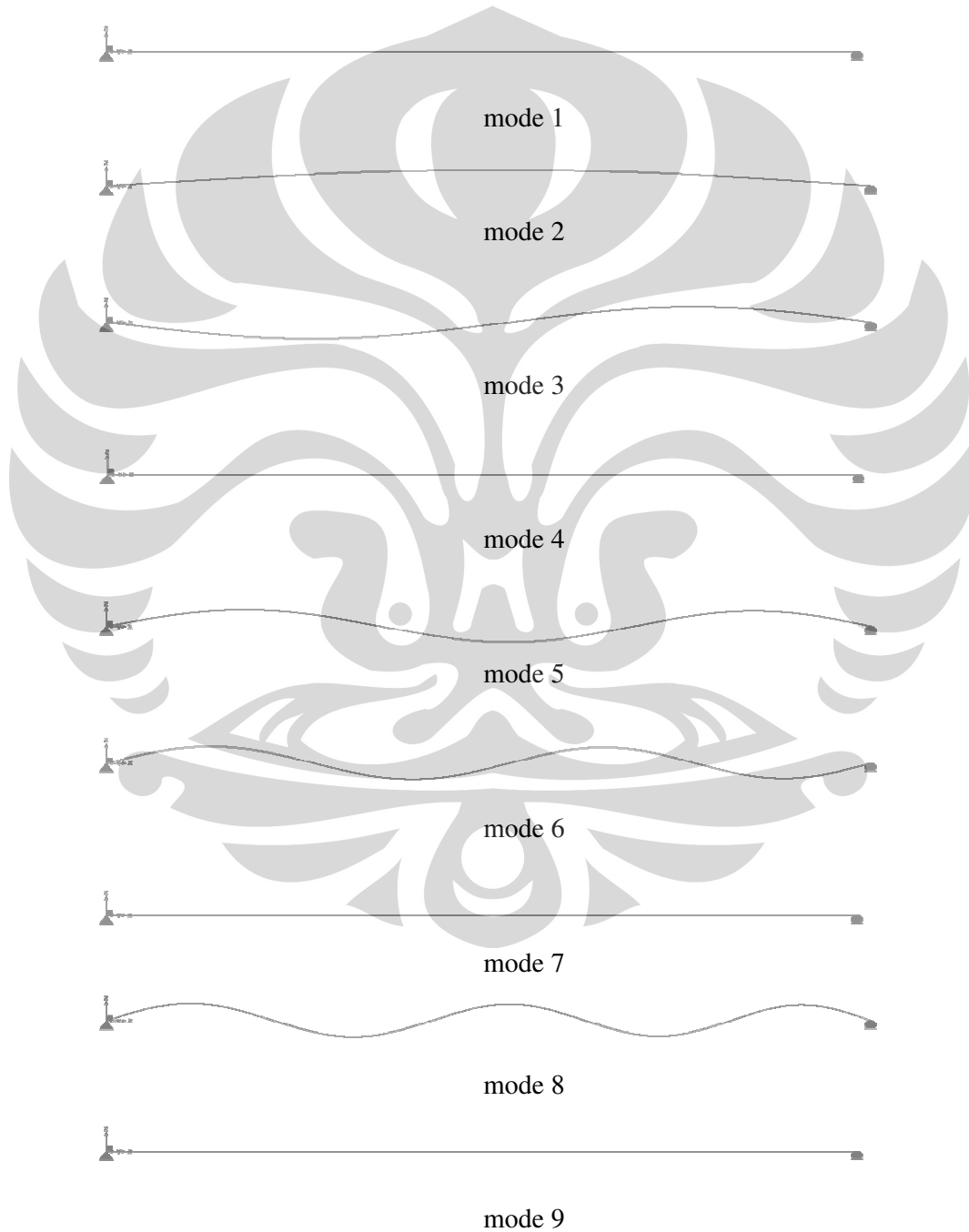
#### 1.4. Mode Shape untuk Beton Tanpa Serat (BTS)

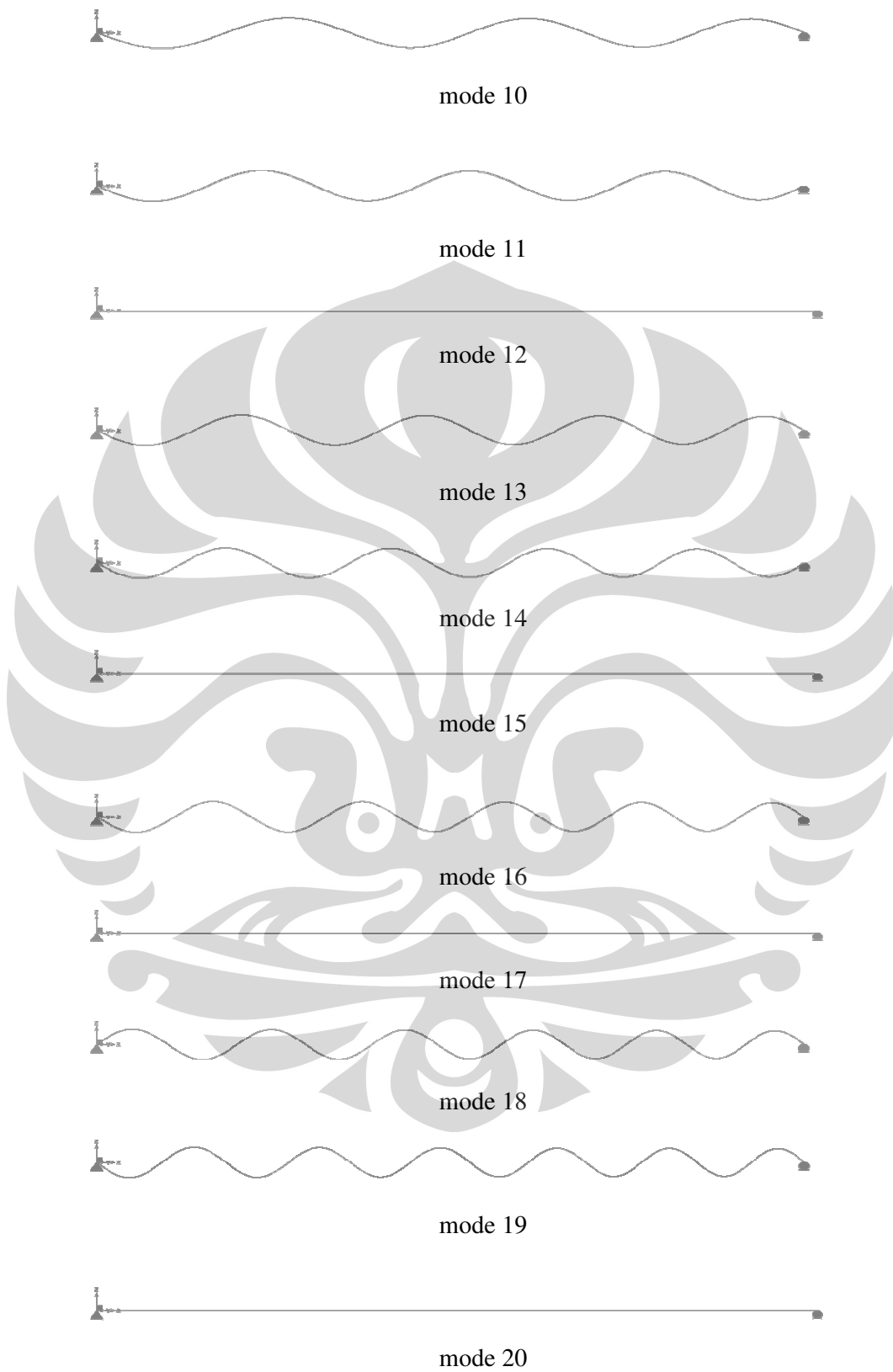
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	0.014393	69.48
MODAL	Mode	2	0.01188	84.173
MODAL	Mode	3	0.00594	168.35
MODAL	Mode	4	0.004798	208.44
MODAL	Mode	5	0.00396	252.51
MODAL	Mode	6	0.00297	336.68
MODAL	Mode	7	0.002879	347.4
MODAL	Mode	8	0.002376	420.84
MODAL	Mode	9	0.002056	486.35
MODAL	Mode	10	0.00198	504.99
MODAL	Mode	11	0.001697	589.14
MODAL	Mode	12	0.001599	625.29
MODAL	Mode	13	0.001485	673.28
MODAL	Mode	14	0.00132	757.4
MODAL	Mode	15	0.001309	764.22
MODAL	Mode	16	0.001188	841.52
MODAL	Mode	17	0.001107	903.15
MODAL	Mode	18	0.00108	925.62
MODAL	Mode	19	0.00099	1009.7
MODAL	Mode	20	0.00096	1042.1
MODAL	Mode	21	0.000914	1093.8
MODAL	Mode	22	0.000849	1177.8
MODAL	Mode	23	0.000847	1180.9
MODAL	Mode	24	0.000792	1261.9
MODAL	Mode	25	0.000758	1319.8
MODAL	Mode	26	0.000743	1345.9
MODAL	Mode	27	0.000699	1429.9
MODAL	Mode	28	0.000686	1458.7
MODAL	Mode	29	0.000661	1513.9
MODAL	Mode	30	0.000626	1597.5
MODAL	Mode	31	0.000626	1597.8
MODAL	Mode	32	0.000595	1681.7
MODAL	Mode	33	0.000576	1736.3
MODAL	Mode	34	0.000566	1765.6
MODAL	Mode	35	0.000541	1849.5
MODAL	Mode	36	0.000533	1875.1
MODAL	Mode	37	0.000517	1933.4
MODAL	Mode	38	0.000497	2013.8
MODAL	Mode	39	0.000496	2017.2
MODAL	Mode	40	0.000476	2101
MODAL	Mode	41	0.000465	2152.6
MODAL	Mode	42	0.000458	2184.7
MODAL	Mode	43	0.000441	2268.4
MODAL	Mode	44	0.000436	2291.2
MODAL	Mode	45	0.000425	2352.1

MODAL	Mode	46	0.000412	2429.9
MODAL	Mode	47	0.000411	2435.8
MODAL	Mode	48	0.000397	2519.4
MODAL	Mode	49	0.000389	2568.5
MODAL	Mode	50	0.000384	2602.9
MODAL	Mode	51	0.000372	2686.5
MODAL	Mode	52	0.000369	2707.1
MODAL	Mode	53	0.000361	2770
MODAL	Mode	54	0.000351	2845.6
MODAL	Mode	55	0.00035	2853.4
MODAL	Mode	56	0.000341	2936.8
MODAL	Mode	57	0.000335	2984.1
MODAL	Mode	58	0.000331	3020.2
MODAL	Mode	59	0.000322	3103.5
MODAL	Mode	60	0.00032	3122.5
MODAL	Mode	61	0.000314	3186.7
MODAL	Mode	62	0.000307	3260.9
MODAL	Mode	63	0.000306	3269.9
MODAL	Mode	64	0.000298	3353.1
MODAL	Mode	65	0.000294	3399.3
MODAL	Mode	66	0.000291	3436.2
MODAL	Mode	67	0.000284	3519.3
MODAL	Mode	68	0.000283	3537.6
MODAL	Mode	69	0.000278	3602.3
MODAL	Mode	70	0.000272	3675.8
MODAL	Mode	71	0.000271	3685.2
MODAL	Mode	72	0.000265	3768.1
MODAL	Mode	73	0.000262	3814
MODAL	Mode	74	0.00026	3851
MODAL	Mode	75	0.000254	3933.7
MODAL	Mode	76	0.000253	3952.1
MODAL	Mode	77	0.000249	4016.4
MODAL	Mode	78	0.000244	4090.2
MODAL	Mode	79	0.000244	4099.1
MODAL	Mode	80	0.000239	4181.7
MODAL	Mode	81	0.000237	4228.2
MODAL	Mode	82	0.000235	4264.2
MODAL	Mode	83	0.00023	4346.7
MODAL	Mode	84	0.000229	4366.1
MODAL	Mode	85	0.000226	4429.1
MODAL	Mode	86	0.000222	4504
MODAL	Mode	87	0.000222	4511.4
MODAL	Mode	88	0.000218	4593.6
MODAL	Mode	89	0.000215	4641.8
MODAL	Mode	90	0.000214	4675.8
MODAL	Mode	91	0.00021	4757.9
MODAL	Mode	92	0.000209	4779.5
MODAL	Mode	93	0.000207	4840
MODAL	Mode	94	0.000203	4917.1

MODAL	Mode	95	0.000203	4921.9
MODAL	Mode	96	0.0002	5003.8
MODAL	Mode	97	0.000198	5054.7
MODAL	Mode	98	0.000197	5085.6
MODAL	Mode	99	0.000194	5167.3
MODAL	Mode	100	0.000193	5192.2

**Gambar mode 1-30 untuk Beton Tanpa Serat**









mode 21



mode 22



mode 23



mode 24



mode 25



mode 26



mode 27



mode 28



mode 29



mode 30

### 1.5. Mode Shape untuk Beton Serat (BS)

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec
MODAL	Mode	1	0.014513	68.903
MODAL	Mode	2	0.012119	82.517
MODAL	Mode	3	0.006059	165.03
MODAL	Mode	4	0.004838	206.71
MODAL	Mode	5	0.00404	247.55
MODAL	Mode	6	0.00303	330.06
MODAL	Mode	7	0.002903	344.51
MODAL	Mode	8	0.002424	412.56
MODAL	Mode	9	0.002073	482.31
MODAL	Mode	10	0.00202	495.06
MODAL	Mode	11	0.001731	577.55
MODAL	Mode	12	0.001613	620.1
MODAL	Mode	13	0.001515	660.03
MODAL	Mode	14	0.001347	742.5
MODAL	Mode	15	0.001319	757.88
MODAL	Mode	16	0.001212	824.96
MODAL	Mode	17	0.001117	895.65
MODAL	Mode	18	0.001102	907.41
MODAL	Mode	19	0.00101	989.84
MODAL	Mode	20	0.000968	1033.4
MODAL	Mode	21	0.000933	1072.3
MODAL	Mode	22	0.000866	1154.7
MODAL	Mode	23	0.000854	1171.1
MODAL	Mode	24	0.000808	1237
MODAL	Mode	25	0.000764	1308.9
MODAL	Mode	26	0.000758	1319.4
MODAL	Mode	27	0.000713	1401.8
MODAL	Mode	28	0.000691	1446.6
MODAL	Mode	29	0.000674	1484.1
MODAL	Mode	30	0.000638	1566.4
MODAL	Mode	31	0.000631	1584.2
MODAL	Mode	32	0.000607	1648.6
MODAL	Mode	33	0.000581	1721.9
MODAL	Mode	34	0.000578	1730.9
MODAL	Mode	35	0.000552	1813.1
MODAL	Mode	36	0.000538	1859.5
MODAL	Mode	37	0.000528	1895.3
MODAL	Mode	38	0.000506	1977.5
MODAL	Mode	39	0.000501	1997.1
MODAL	Mode	40	0.000486	2059.6
MODAL	Mode	41	0.000468	2134.7
MODAL	Mode	42	0.000467	2141.7
MODAL	Mode	43	0.00045	2223.8
MODAL	Mode	44	0.00044	2272.2
MODAL	Mode	45	0.000434	2305.8

MODAL	Mode	46	0.000419	2387.8
MODAL	Mode	47	0.000415	2409.7
MODAL	Mode	48	0.000405	2469.8
MODAL	Mode	49	0.000393	2547.2
MODAL	Mode	50	0.000392	2551.7
MODAL	Mode	51	0.00038	2633.6
MODAL	Mode	52	0.000372	2684.6
MODAL	Mode	53	0.000368	2715.5
MODAL	Mode	54	0.000357	2797.3
MODAL	Mode	55	0.000354	2822
MODAL	Mode	56	0.000347	2879
MODAL	Mode	57	0.000338	2959.3
MODAL	Mode	58	0.000338	2960.7
MODAL	Mode	59	0.000329	3042.4
MODAL	Mode	60	0.000323	3096.6
MODAL	Mode	61	0.00032	3124
MODAL	Mode	62	0.000312	3205.6
MODAL	Mode	63	0.000309	3233.9
MODAL	Mode	64	0.000304	3287.1
MODAL	Mode	65	0.000297	3368.6
MODAL	Mode	66	0.000297	3371.1
MODAL	Mode	67	0.00029	3450
MODAL	Mode	68	0.000285	3508.2
MODAL	Mode	69	0.000283	3531.4
MODAL	Mode	70	0.000277	3612.7
MODAL	Mode	71	0.000274	3645.3
MODAL	Mode	72	0.000271	3694
MODAL	Mode	73	0.000265	3775.2
MODAL	Mode	74	0.000264	3782.3
MODAL	Mode	75	0.000259	3856.3
MODAL	Mode	76	0.000255	3919.3
MODAL	Mode	77	0.000254	3937.4
MODAL	Mode	78	0.000249	4018.4
MODAL	Mode	79	0.000247	4056.2
MODAL	Mode	80	0.000244	4099.4
MODAL	Mode	81	0.000239	4180.3
MODAL	Mode	82	0.000238	4193.1
MODAL	Mode	83	0.000235	4261.1
MODAL	Mode	84	0.000231	4329.8
MODAL	Mode	85	0.00023	4341.9
MODAL	Mode	86	0.000226	4422.6
MODAL	Mode	87	0.000224	4466.6
MODAL	Mode	88	0.000222	4503.2
MODAL	Mode	89	0.000218	4583.8
MODAL	Mode	90	0.000217	4603.2
MODAL	Mode	91	0.000214	4664.3
MODAL	Mode	92	0.000211	4739.8
MODAL	Mode	93	0.000211	4744.7
MODAL	Mode	94	0.000207	4825.1

MODAL	Mode	95	0.000205	4876.3
MODAL	Mode	96	0.000204	4905.3
MODAL	Mode	97	0.000201	4985.5
MODAL	Mode	98	0.000199	5012.7
MODAL	Mode	99	0.000197	5065.7
MODAL	Mode	100	0.000194	5145.7

**Gambar mode 1-30 untuk Beton Serat**

