

**PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI  
KABUPATEN KARANGASEM-BALI SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT HALUS TERHADAP BATAS RUNTUH PADA  
BALOK BETON BERTULANG**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**Disusun Oleh :**

**SYAIFULLAH  
0001063078 – 61**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2007**

**PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI  
KABUPATEN KARANGASEM-BALI SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT HALUS TERHADAP BATAS RUNTUH PADA  
BALOK BETON BERTULANG**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**SYAIFULLAH**  
0001063078 – 61

**DOSEN PEMBIMBING :**

**Ir. M. Taufik H, MT**  
NIP. 131 759 586

**Ari Wibowo, ST, MT**  
NIP. 132 283 204

**PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI  
KABUPATEN KARANGASEM-BALI SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT HALUS TERHADAP BATAS RUNTUH PADA  
BALOK BETON BERTULANG**

Disusun oleh :

**SYAIFULLAH**

**0001063078 – 61**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 29 Januari 2007

**DOSEN PENGUJI**

**Ir. M. Taufik H, MT**  
**NIP. 131 759 586**

**Ari Wibowo, ST, MT**  
**NIP. 132 283 204**

**Ir. Siti Nurlina, MT**  
**NIP. 131 879 036**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Sipil

**Ir. Achmad Wicaksono, M.Eng, Ph.D.**  
**NIP. 132 007 111**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Variasi Penggunaan Agregat Halus Dari Kabupaten Karangasem-Bali Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Batas Runtuh Pada Balok Beton Bertulang”** untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik, pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini tidak dapat terwujud dengan baik tanpa adanya petunjuk, bimbingan serta simpati dari berbagai pihak yang sangat besar artinya dalam penyelesaian skripsi ini. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. A. Wicaksono, M.Eng, Ph.D, Ketua Jurusan Teknik Sipil.
2. Ir. Wisnumurti, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil
3. Bapak Ir. M Taufik H, MT sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran dan dengan sabar memberikan bimbingan.
4. Bapak Ari Wibowo ST, MT sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, mencurahkan tenaga dan pikiran, memberikan pengarahan serta semangat.
5. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan-masukan yang sangat berguna.
6. Seluruh dosen Teknik Sipil Universitas Brawijaya atas ilmu-ilmu yang telah diberikan selama menjalani studi dikampus ini.
7. Teman-teman angkatan 2000 dan 2001 serta teman-teman dari berbagai angkatan atas semua kenangan dan persahabatan yang terjalin.

Semoga segala bantuan dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang sesuai dari Allah SWT. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini sangat diharapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Malang, Januari 2007

Penulis

## ABSTRAKSI

Syaifullah, 2007, **Pengaruh Variasi Penggunaan Agregat Halus Dari Kabupaten Karangasem-Bali Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Batas Runtuh Pada Balok Beton Bertulang**, Skripsi, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.  
Pembimbing : Ir. M Taufik H, MT dan Ari Wibowo ST, MT

---

Beton adalah bahan-bahan yang sangat luas digunakan untuk sistem-sistem konstruksi, seperti gedung-gedung bertingkat tinggi, jembatan dan pondasi. Hal ini dikarenakan sifatnya yang kuat dan tahan lama, sehingga menyebabkan pemakaian beton sebagai salah satu material konstruksi yaitu dari segi mutu beton itu sendiri dituntut peningkatannya.

Untuk mencapai kuat tekan beton yang tinggi maka perlu dipahami karakteristik dari bahan penyusunnya dimana salah satu bahan penyusunnya adalah agregat, dimana kandungan agregat beton berkisar 60-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting karena mempengaruhi nilai kuat tekan beton itu sendiri.

Melihat sifat beton diatas, bila suatu beton tersebut tidak mampu lagi menerima gaya yang diberikan maka akan terjadi retak-retak yang makin lama makin dalam, sampai pada suatu ketika elemen beton tersebut akan pecah atau runtuh.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan balok saat mencapai batas runtuh akibat dari variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali.

Benda uji balok yang digunakan adalah balok persegi dengan ukuran 12 x 18 x 140 cm. 3 balok tanpa campuran agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali sebagai balok kontrol, 12 balok dengan penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali yang bervariasi. Jumlah benda uji tiap variasi masing-masing 3 buah. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan penambahan beban secara bertahap. Adapun dalam pengujian ini pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil  $P_u$  akibat variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali sampai beton mengalami keruntuhan.

Secara teoritis penambahan pasir Karangasem sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% terjadi penurunan kapasitas dukung beban maksimum masing-masing sebesar 10,762% ; 9.77% ; 10,113% dan 9.413% dari pembebanan balok kontrol.

Dari hasil uji laboratorium, penambahan persentase pasir Karangasem pada umumnya mengalami penurunan dan peningkatan kapasitas dukung beban maksimum. Pada balok dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 25% mengalami penurunan kapasitas dukung beban maksimum sebesar -9.287 %. Kapasitas dukung beban maksimum dengan prosentase penggunaan pasir karangasem sebesar 50% mengalami penurunan -9.6832% dari balok kontrolnya. Sedangkan pada Balok dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 75% mengalami peningkatan 1.976%, pada balok dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 100% mengalami peningkatan 20.158 %.

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>ABSTRAKSI</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pembatasan Masalah.....	2
1.3 Perumusan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Umum .....	4
2.2 Agregat.....	5
2.2.1.Sifat-Sifat Agregat Dalam Campuran Beton .....	5
2.2.1.1 Gradasi .....	5
2.2.1.2 Berat Jenis dan Daya Serap .....	9
2.2.1.3 Berat Isi.....	9
2.2.1.4 Kadar Air .....	9
2.2.2.Agregat Halus .....	10
2.2.3.Agregat Kasar .....	11
2.3 Jenis Keruntuhan Berdasarkan Luas Tulangan.....	12
2.3.1 Penampang Balanced .....	12
2.3.2 Penampang Overreinforced .....	12
2.3.3 Penampang Underreinforced .....	12
2.4 Penggolongan Keruntuhan Balok Tanpa Tulsng Geser.....	14
2.4.1 Keruntuhan Lentur .....	15
2.4.2 Keruntuhan Tarik Diagonal .....	15
2.4.3 Keruntuhan Geser Tekan dan Tarik.....	16

2.5.	Analisa Kekuatan Batas .....	16
2.6	Keseimbangan Gaya-gaya Dalam.....	19
2.7	Analisa Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok.....	20
2.8	Hipotesis Penelitian .....	24

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.3	Analisa Bahan yang digunakan.....	26
3.3.1	Semen.....	26
3.3.2	Air .....	26
3.3.4	Pasir dan Kerikil .....	26
3.3.5	Baja Tulangan .....	26
3.4	Rancangan Penelitian.....	26
3.5	Cara Penelitian dan Pengujian .....	27
3.6	Metode Pengumpulan Data.....	28
3.7	Variabel Penelitian.....	28
3.8	Analisa Data.....	29
3.9	Diagram Alir Penelitian.....	30

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1	Hasil Pengujian Bahan-bahan Dasar .....	31
4.1.1	Agregat halus (pasir) .....	31
4.1.2	Agregat kasar (kerikil).....	31
4.1.3	Semen.....	32
4.1.4	Air .....	32
4.1.5	Baja Tulangan .....	32
4.2	Pengujian Beton Segar.....	32
4.3	Pengujian Beton Keras.....	33
4.4	Pengujian Kuat Lentur Balok .....	34
4.5	Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok.....	35
4.6	Pengujian Hipotesis .....	38
4.7	Pembahasan Kapasitas Dukung beban Maksimum .....	39



**BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....40  
5.2 Saran .....40

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**





## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Batas gradasi agregat halus.....	7
Tabel 2.2	Syarat mutu agregat halus.....	8
Tabel 2.3	Syarat mutu agregat kasar.....	9
Tabel 2.4	Pengaruh kelangsingan balok terhadap ragam keruntuhan.....	14
Tabel 3.1	Perancangan balok uji.....	26
Tabel 4.1	Pengujian agregat halus .....	31
Tabel 4.1	Pengujian agregat kasar .....	31
Tabel 4.3	Hasil pengujian tegangan leleh baja tulangan.....	32
Tabel 4.4	Hasil pengujian slump .....	33
Tabel 4.5	Hasil pengujian kuat tekan beton.....	33
Tabel 4.6	Pengujian kuat lentur beton .....	34
Tabel 4.5	Hasil pengujian kuat tekan beton.....	33
Tabel 4.7	Hasil pengujian beban pada balok .....	36
Tabel 4.8	Perbandingan hasil perhitungan teoritis kapasitas dukung beban maksimum dengan hasil pengujian.....	37
Tabel 4.9	Anova satu arah .....	38
Tabel 4.10	Porsentase peningkatan Pu uji .....	39

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	a. Daerah gradasi pasir kasar .....	7
	b. Daerah gradasi pasir agakkasar.....	7
	c. Daerah gradasi pasir halus .....	8
	d. Daerah gradasi pasir agak halus.....	8
Gambar 2.2	Distribusi regangan untuk berbagai ragam keruntuhan luntur.....	13
Gambar 2.3	Keruntuhan lentur .....	15
Gambar 2.4	Keruntuhan tarik diagonal .....	15
Gambar 2.5	Keruntuhan geser .....	16
Gambar 2.6	Prilaku lentur pada beban kecil.....	17
Gambar 2.7	Prilaku lentur pada beban sedang .....	18
Gambar 2.8	Prilaku lentur pada beban ultimit.....	19
Gambar 2.9	Balok menahan beban ultimit .....	20
Gambar 2.10	Analisa balok bertulang rangkap .....	22
Gambar 3.1	Skema pembebanan .....	27
Gambar 3.2	Diagram pengerjaan penelitian .....	30
Gambar 4.1	Grafik hubungan $f'c$ dengan variasi persentase pasir karangasem.....	34
Gambar 4.1	Grafik perbandingan hasil perhitungan teoritis kapasitas dukung beban maksimum dengan hasil pengujian.....	37

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
<b>Lampiran I Hasil Pengujian Agregat dan Mix Desain</b>		
Lampiran 1.1	Tabel hasil analisa saring pasir Brandong .....	41
Lampiran 1.2	Grafik gradasi pasir Brandong .....	41
Lampiran 1.3	Tabel hasil analisa saring pasir Karangasem.....	42
Lampiran 1.4	Grafik gradasi pasir Karangasem .....	42
Lampiran 1.5	Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pasir Brandong .....	43
Lampiran 1.6	Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pasir Karangasem...	43
Lampiran 1.7	Tabel hasil pengujian berat isi pasir Brandong .....	44
Lampiran 1.8	Tabel hasil pengujian berat isi pasir Karangasem.....	44
Lampiran 1.9	Tabel hasil pengujian kadar air pasir Brandong.....	45
Lampiran 1.10	Tabel hasil pengujian kadar air pasir Karangasem.....	45
Lampiran 1.11	Tabel hasil analisa saring kerikil .....	46
Lampiran 1.12	Grafik gradasi kerikil .....	46
Lampiran 1.13	Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.....	47
Lampiran 1.14	Tabel hasil pengujian berat isi agregat kasar .....	47
Lampiran 1.15	Tabel hasil pengujian kadar air agregat kasar .....	47
Lampiran 1.16	Analisa mix desain .....	48
<b>Lampiran II Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja Tulangan</b>		
Lampiran 2.1	Tabel hasil uji tegangan leleh baja tulangan .....	54
<b>Lampiran III Hasil Pengujian Slump</b>		
Lampiran 3.1	Tabel hasil uji slump .....	54
<b>Lampiran IV Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton</b>		
Lampiran 4.1	Tabel Pengujian kuat tekan beton .....	55
Lampiran 4.2	Grafik Pengujian kuat tekan beton .....	55
Lampiran 4.3	Perhitungan Regresi Hasil Uji Kuat Tekan .....	56
Lampiran 4.4	Grafik Regresi Hasil Uji Kuat Tekan.....	56
<b>Lampiran V Hasil Pengujian Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok</b>		
Lampiran 5.1	Tabel hasil pengujian kapasitas dukung beban maksimum balok uji ....	57
Lampiran 5.2	Grafik perbandingan Pu teoritis dengan Pu uji .....	58
Lampiran 5.3	Tabel prosentase peningkatan Pu uji terhadap balok kontrol.....	58

<b>Lampiran VI Hasil Analisa Hipotesis</b>	
Lampiran 6.1 Hasil analisa hipotesis .....	59
<b>Lampiran VII Perhitungan nilai Pu Teoritis</b>	
Lampiran 7.1 Perhitungan nilai Pu Teoritis.....	60
<b>Lampiran VIII Data-data pendukung</b> .....	61
<b>Lampiran IX Dokumentasi Penelitian</b>	



## DAFTAR SIMBOL

$A_s$	= Luas tulangan tarik
$A_s'$	= Luas tulangan tekan
$a$	= Tinggi blok tekan persegi ekuivalen $a = \beta.c$
$b$	= Lebar penampang balok
$c$	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral
$d$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
$d'$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan
$E_c$	= Modulus elastisitas beton
$E_s$	= Modulus elastisitas baja
$f_c'$	= Kuat tekan beton
$f_y$	= Tegangan leleh tulangan tarik
$f_y'$	= Tegangan leleh tulangan tekan
$f_s$	= Tegangan tulangan baja tekan dalam tulangan pada beban kerja
$f_s'$	= Tegangan tulangan baja tarik dalam tulangan pada beban kerja
$h$	= Tinggi penampang balok
$M_n$	= Kapasitas lentur
$M_u$	= Momen terfaktor pada penampang
$P_n$	= Beban lentur luar
$P_u$	= Beban terfaktor
$z$	= Panjang lengan momen dalam
$\rho$	= Rasio penulangan tarik
$\emptyset$	= Diameter batang tulangan
$\epsilon_s$	= Regangan baja tarik
$\epsilon_s'$	= Regangan baja tekan
$\epsilon_c$	= Regangan beton tarik
$\epsilon_c'$	= Regangan beton tekan
$\epsilon_y$	= Regangan baja leleh tarik
$\epsilon_y'$	= Regangan baja leleh tekan
$\epsilon$	= Regangan
$\beta$	= Faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekuivalen beton

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton adalah bahan-bahan yang sangat luas digunakan untuk sistem-sistem konstruksi, seperti gedung-gedung bertingkat tinggi, jembatan dan pondasi. Hal ini dikarenakan sifatnya yang kuat dan tahan lama, sehingga menyebabkan pemakaian beton sebagai salah satu material konstruksi yaitu dari segi mutu beton itu sendiri dituntut peningkatannya.

Pada perencanaannya komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga struktur tersebut dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan tujuan diciptakannya dan akan dapat memikul dengan aman semua pengaruh yang bekerja padanya selama usia hidupnya. Pengaruh-pengaruh ini terutama sekali adalah beban-beban dan gaya-gaya lain yang bekerja padanya, termasuk pengaruh-pengaruh lain yang merugikan, seperti fluktuasi temperatur, penurunan pondasi dan pengaruh-pengaruh bahaya karat.

Nilai kuat tekan beton dengan nilai kuat tariknya tidak berbanding lurus, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya (*Istimawan Dipohusodo*). Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana batang tulangan baja bertugas menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya memperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerjasama itu disebut sebagai beton bertulang. Untuk mencapai kuat tekan beton yang tinggi maka perlu dipahami karakteristik dari bahan penyusunnya dimana salah satu bahan penyusunnya adalah agregat dimana kandungan agregat beton berkisar 60-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting karena mempengaruhi nilai kuat tekan beton itu sendiri.

Melihat sifat beton diatas, bila suatu beton tersebut tidak mampu lagi menerima gaya yang diberikan maka akan terjadi retak-retak yang makin lama makin dalam, sampai pada suatu ketika elemen beton tersebut akan pecah atau runtuh.



Sebagai penelitian akan diambil pengaruh agregat halus dari Karang asem, Bali terhadap kekuatan balok saat struktur berada pada keadaan batas runtuh. Sebagai salah satu sifat umum beton bertulang pada umumnya yang menahan beban sehingga perkuatan struktur balok yang ekonomis dan efisien dapat dicapai.

Pasir yang digunakan berasal dari letusan Gunung Agung tahun 1963 Desa Lebah, Kecamatan Selat Kabupaten Karang Asem. Pasir ini merupakan agregat alam yang berasal dari gunung.

### 1.2. Pembatasan Masalah

Supaya tercapai tujuan dan maksud yang diinginkan, maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah yang akan dibahas, meliputi:

1. Hanya membahas kekuatan balok saat mencapai batas runtuh.
2. Tidak menganalisa kekompositannya.
3. Tidak memperhitungkan susut dan rangkak.
4. Agregat halus yang digunakan adalah agregat halus dari kabupaten Karangasem, Bali dan pasir Brandong dari malang dengan variasi 100% pasir Brandong ; 75% Pasir Brandong dan 25% Pasir Karangasem; 50% Pasir Brandong dan 50% Pasir Karangasem; 25% Pasir Brandong dan 75% Pasir Karangasem; dan 100% Pasir Karangasem.
5. Perbandingan Mix Desain Beton yang dipakai adalah perbandingan Mix Desain variasi pasir Brandong 100% dari malang yang direncanakan Kuat Tekan Beton 20 Mpa.
6. Penampang balok dikondisikan pada keadaan *Underreinforced*.
7. Keruntuhan balok yang direncanakan adalah keruntuhan lentur.
8. Benda uji adalah balok beton bertulang dengan Jumlah benda uji tiap variasi adalah 3 buah.
9. Benda uji balok yang digunakan adalah balok persegi dengan penampang 18 cm x 12 cm dan bentang 120 cm.

### 1.3. Rumusan Masalah

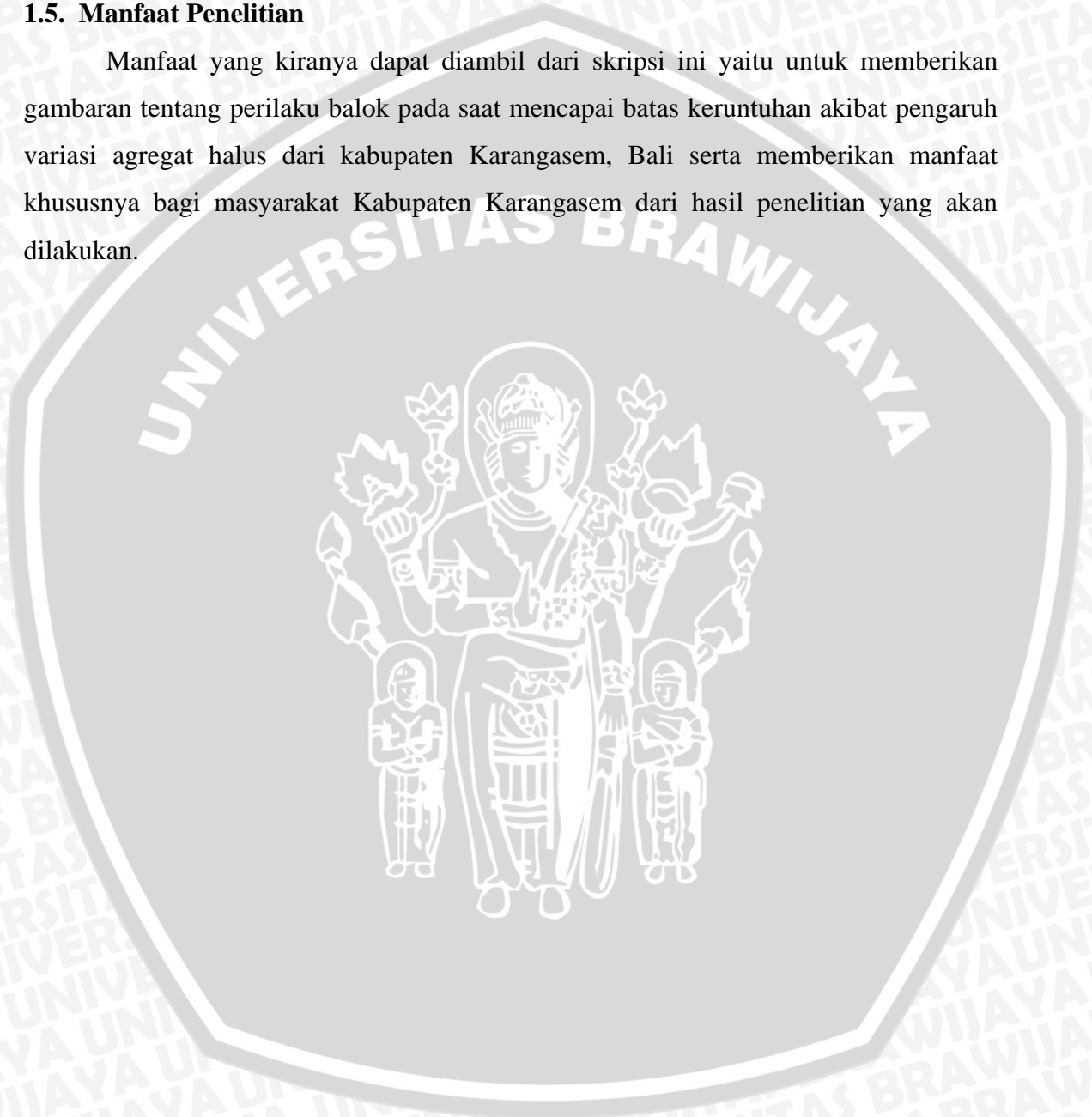
Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut: *“Bagaimanakah pengaruh variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali terhadap kekuatan balok pada keadaan batas runtuh”*.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan balok saat mencapai batas runtuh akibat dari variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang kiranya dapat diambil dari skripsi ini yaitu untuk memberikan gambaran tentang perilaku balok pada saat mencapai batas keruntuhan akibat pengaruh variasi agregat halus dari kabupaten Karangasem, Bali serta memberikan manfaat khususnya bagi masyarakat Kabupaten Karangasem dari hasil penelitian yang akan dilakukan.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Umum

Bilamana dua jenis bahan yang berbeda seperti baja dan beton bekerja sama, dapat dimengerti bahwa analisa kekuatan dan suatu unsur beton bertulang secara sebagian harus bersifat empiris, sekalipun kebanyakan rasional. Prinsip-prinsip dan metode-metode semi rasional ini secara terus-menerus diubah dan disempurnakan dengan meningkatnya hasil-hasil penelitian teoritis dan eksperiment.

Dua filsafat perencanaan selama ini telah tampil, yaitu Metode Tegangan Kerja (*Working Stress Method*) yang terpusat pada keadaan beban layan yaitu pada pemakaian struktur, dipakai sejak awal tahun 1900 sampai awal 1960. Kemudian terjadi peralihan pada Metode Rencana Kekuatan (*Strength Design Method*) yang terpusat pada keadaan pembebanan yang melampaui beban kerja pada saat struktur terancam keruntuhan.

Pembahasan kedua metode tersebut perlu didasari dengan pengetahuan perbedaan arti kekuatan dan kegunaan sebagai kriteria perencanaan. Istilah kekuatan berarti kapasitas pada saat menjelang terjadinya kehancuran akibat suatu beban, sedangkan kegunaan berarti kinerja yang memuaskan pada kondisi beban guna atau beban kerja (tegangan kerja).

Pada perencanaan suatu konstruksi harus menjamin bahwa dibawah pembebanan terburuk konstruksi adalah aman dan selama kondisi kerja normal, deformasi dan bagian-bagian konstruksi tidak mengurangi bentuk, keawetan dan penampilan dan konstruksi. Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak berlebihan pada penampang sewaktu mendukung beban kerja dan masih mempunyai cukup keamanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh, serta untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur beton terlentur. Sifat utama bahwa bahan beton kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan.

## 2.2 Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Berdasarkan pengalaman, komposisi agregat tersebut berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting. Karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan.

Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu :

1. Agregat halus, agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33, 1990) atau 5,0 mm (BS.812, 1976)
2. Agregat kasar, agregat yang semua butirnya tertinggal diatas ayakan 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33, 1990) atau 5,0 mm (BS.812, 1976)

### 2.2.1 Sifat-sifat Agregat Dalam Campuran Beton

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan yang diinginkan, sifat-sifat ini harus diketahui dan dipelajari agar kita dapat mengambil tindakan yang positif dalam mengatasi masalah-masalah yang timbul. Agregat yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII 0052-80, "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton" dan dalam hal-hal yang tidak termuat dalam SII 0052-80 maka agregat tersebut harus memenuhi syarat dan kekuatan yang diberikan oleh ASTM C-33-90 "*standard Spesification for Concrete Agreggats*" (Ulasan PB, 1989:14).

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan penggunaan agregat dalam campuran beton yaitu (Landgren, 1994) :

#### 2.2.1.1 Gradasi

Gradasi agregat ialah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*continues grade*) dan gradasi seragam (*uniform grade*). Untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan melalui analisa ayak sesuai dengan standar dari BS 812, ASTM C-33, C136, ASHTO T.27 ataupun Standar Indonesia.

- Gradasi Sela

Jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada, maka gradasi ini akan menunjukkan satu garis horizontal dalam grafiknya. Keistimewaan dari gradasi ini antara lain :

1. Pada nilai Faktor Air Semen tertentu, kemudahan pengerjaan akan lebih tinggi bila kandungan pasir lebih sedikit.
2. Pada kondisi kelecakan yang tinggi, lebih cenderung mengalami segregasi, oleh karena itu gradasi sela disarankan dipakai pada tingkat kemudahan pekerjaan yang rendah, yang pemadatannya dengan penggetaran (vibrator).
3. Gradasi ini tidak berpengaruh buruk terhadap kekuatan beton.

- Gradasi Menerus

Didefinisikan jika agregat yang semua ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Agregat ini lebih sering dipakai dalam campuran beton. Untuk mendapatkan angka pori yang kecil dan kemampuan yang tinggi sehingga terjadi *interlocking* yang baik, campuran beton membutuhkan variasi ukuran butir agregat. Dibandingkan dengan gradasi sela atau seragam, gradasi menerus adalah yang paling baik.

- Gradasi Seragam

Agregat yang mempunyai ukuran yang sama didefinisikan sebagai agregat seragam. Agregat ini terdiri dari batas yang sempit dari ukuran fraksi, dalam diagram terlihat terlihat garis yang hampir tegak/vertical. Agregat dengan gradasi ini biasanya dipakai untuk beton ringan yaitu jenis beton tanpa pasir (nir-pasir), atau untuk mengisi agregat dengan gradasi sela, atau untuk campuran agregat yang kurang baik atau tidak memenuhi syarat.

SK. SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang diadopsi dari *British standar* di Inggris. Agregat halus dikelompokkan dalam empat zone (daerah) seperti dalam Tabel 2.1.

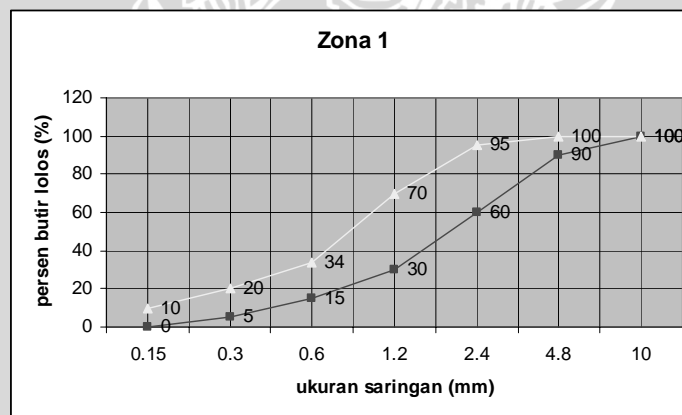
**Tabel 2.1** Batas Gradasi Agregat Halus (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

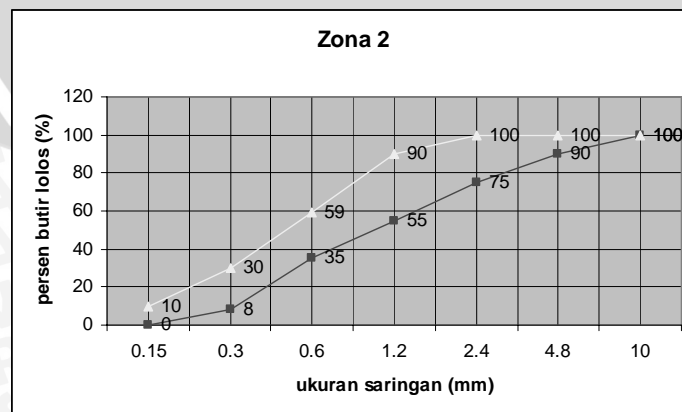
Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri mulyono MT

**Keterangan :**

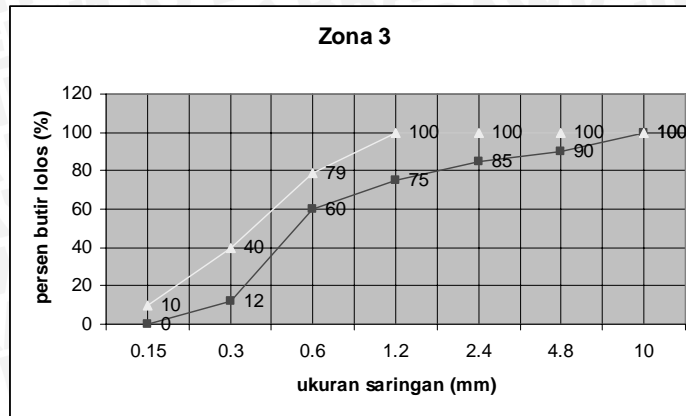
- Daerah Gradasi I : Pasir Kasar  
 Daerah Gradasi II : Pasir Agak Kasar  
 Daerah Gradasi III : Pasir Halus  
 Daerah Gradasi IV : Pasir Agak Halus



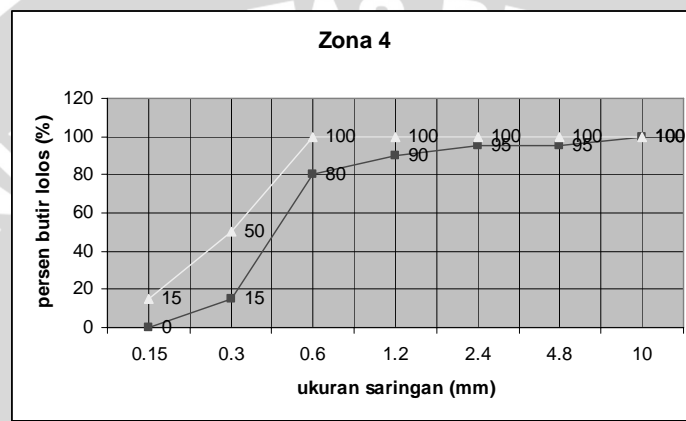
**Gambar 2.1.a** Daerah Gradasi Pasir Kasar



**Gambar 2.1.b** Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar



Gambar 2.1.c Daerah Gradasi Pasir Halus



Gambar 2.1.d Daerah Gradasi Pasir Agak Halus

ASTM C.33 dalam “Standar Spesifikasi for Concrete Aggregates” memberikan syarat gradasi agregat halus seperti yang tercantum dalam Tabel 2.2, dimana agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Tabel 2.2 Syarat Mutu Agregat Halus Menurut ASTM C-33-90

Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif
9.5	100
4.75	95-100
2.36	80-100
1.18	50-85
0.6	25-60
0.3	10-30
0.15	2-10

Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri mulyono MT

**Tabel 2.3 Syarat Mutu Agregat Kasar Menurut BS**

Lubang Ayakan	Persen Butir lewat ayakan, Besar butir maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri mulyono MT

### 2.2.1.2 Berat Jenis dan Daya Serap

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis dari agregat pada akhirnya akan menentukan berat jenis dari beton sehingga secara langsung menentukan banyaknya campuran agregat dalam campuran beton. Hubungan antara berat jenis dengan daya serap adalah jika semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap air agregat tersebut.

### 2.2.1.3 Berat Isi

Tujuan pengujian adalah untuk mendapatkan berat isi agregat (pasir dan kerikil). Berat satuan pasir adalah perbandingan antara berat pasir dengan volume alat ukur Unit weight diperoleh dengan memasukkan pasir kedalam alat ukur yang telah diketahui volumenya sehingga berat pasir diketahui, sedangkan berat satuan kerikil adalah perbandingan antara berat kerikil dengan volume alat ukur Unit weight diperoleh dengan memasukkan kerikil kedalam alat ukur yang telah diketahui volumenya sehingga berat kerikil diketahui.

Jika pasir yang dimasukkan kedalam ember ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan tongkat penusuk, maka cara ini disebut *rodding*. Jika pasir atau kerikil yang dimasukkan kedalam ember dengan cara biasa (tidak ditusuk-tusuk), maka cara ini dinamakan *shoveling*.

### 2.2.1.4 Kadar Air

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis yaitu :

- Kadar air kering tungku, yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair.
- Kadar air kering udara, yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air.

- c. Jenuh kering permukaan (JPK), yaitu keadaan dimana tidak ada air di permukaan agregat tetapi agregat tersebut masih mampu menyerap air. Pada kondisi ini, air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton.
- d. Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air pada campuran beton.

### 2.2.2 Agregat halus

Agregat halus untuk beton adalah berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm.

Agregat halus harus memenuhi persyaratan dibawah ini, antara lain :

- ◆ Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras, dengan indeks kekerasan  $\leq 2,2$ ;
- ◆ Butir-butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan;
- ◆ Agregat halus tidak boleh mengandung Lumpur lebih dari 5 % (ditentukan terhadap berat kering). Yang diartikan dengan Lumpur adalah bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,060 mm. Apabila kadar Lumpur melampaui 5 %, maka agregat harus dicuci;
- ◆ Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams-Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3 % NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Agregat halus yang tidak memenuhi percobaan warna ini dapat juga dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3 % NaOH yang kemudian dicuci hingga bersih dengan air, pada umur yang sama;
- ◆ Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 2,3-3,1 (ASTM C 35-37 ) dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut zone : 1,2,3, atau 4 dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- Sisa diatas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat;
  - Sisa diatas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat;
  - Sisa diatas ayakan 0,25 mm, berkisar antara 80%-95% berat
- ◆ Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

### 2.2.3 Agregat kasar

Agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu, dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Besar butir maksimum yang diijinkan tergantung pada maksud pemakaian.

Agregat kasar harus memenuhi persyaratan dibawah ini, antara lain :

- ◆ Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori
- ◆ Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan;
- ◆ Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 % (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar Lumpur melampaui 1 % maka agregat kasar harus dicuci;
- ◆ Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih dan panjang tersebut tidak melampaui 20 % dari berat agregat seluruhnya;

Kerikil yang butirnya pipih dan tajam mempunyai daya pengikatnya yang jelek, oleh karenanya pemakaiannya dibatasi maksimum 20 % saja. Sedangkan batu pecah atau kerikil biasanya mempunyai bentuk tajam dan kasar akan membuat beton tidak ekonomis lagi sebab pemakaian semen akan besar untuk tercapainya sifat workability.

Mempertahankan gradasi kerikil agar tetap konstan adalah sangat penting karena berpengaruh pada mutu beton. Maksudnya agar kerikil dan pasir (diameter 0,14 – 5 mm) dapat membentuk susunan agregat yang padat ( beton padat ) sehingga kekuatan beton menjadi besar.

Dalam proses pengayakan pada suatu ayakan dengan diameter tertentu harus menggunakan acuan PBI 1971 , antara lain :

- ◆ Sisa ayakan diatas 31,5 mm harus 0 % berat
- ◆ Sisa ayakan diatas 4 mm harus berkisar antara 90 %–98% berat;



Selisih antar sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.

### 2.3 Jenis Keruntuhan Balok Berdasarkan Luas Tulangan

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan, balok dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok sebagai berikut :

1. Penampang *balanced*
2. Penampang *overreinforced*
3. Penampang *underreinforced*

#### 2.3.1 Penampang *balanced*

Tulangan tarik mulai meleleh tepat pada saat beton mulai mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serta tepi yang tertekan adalah 0.003 in/in. Sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu  $\epsilon_y = f_y/E_c$ .

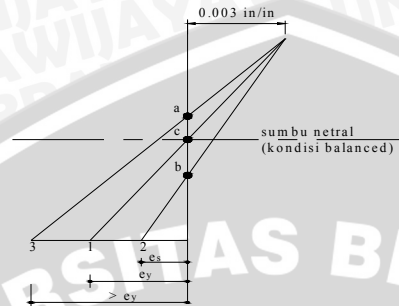
#### 2.3.2 Penampang *overreinforced*

Pada saat awal keruntuhan, regangan baja  $\epsilon_s$  yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya,  $\epsilon_y$ . Dengan demikian tegangan baja ( $f_s$ ) juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya,  $\epsilon_y$ . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Berlebihnya tulangan baja akan mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan secara mendadak tanpa diawali gejala peringatan terlebih dahulu.

#### 2.3.3 Penampang *underreinforced*

Apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan maka garis netral akan lebih naik sedikit dari keadaan seimbang. Tulangan baja terus bertambah panjang dengan bertambahnya tegangan di atas  $\epsilon_y$ , tetapi gaya tarik pada tulangan baja tidak bertambah besar. Berdasarkan keseimbangan gaya horizontal  $\Sigma H = 0$ , gaya tekan beton tidak mungkin bertambah sedangkan tegangan tekannya terus meningkat berusaha mengimbangi beban sehingga mengakibatkan luas daerah tekan beton pada penampang

berkurang yang berarti posisi garis netral bergerak naik. Proses tersebut berlanjut terus sampai beton pada daerah tekan tidak mampu lagi menahan gaya tekan. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja dan setelah baja mencapai titik luluh lendutan balok meningkat tajam. Meskipun tulangan baja berperilaku daktail, tidak akan tertarik lepas dari beton sekalipun terjadi kehancuran. (Istimawan, 1994 : 35)



**Gambar 2.2** Distribusi regangan untuk berbagai ragam keruntuhan lentur

Posisi garis netral c, b, a akan bergeser ke arah tepi yang tertekan untuk penampang balok yang undereinforced pada saat terjadinya keruntuhan. Perilaku ini sesuai percobaan bahwa retak lentur menjalar terus ke arah serat yang tertekan sampai beton hancur. Jarak vertikal antara titik-titik c, b, a ke tepi yang tertekan sangat bergantung pada angka tulangan  $\rho = A_s/bd$  dan tidak terlalu berbeda karena regangannya kecil. (Edward G. Nawy, 1990 : 88)

Untuk itu peraturan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat undereinforced untuk memberikan peringatan dan resiko akibatnya dapat diminimalisir. SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.3 menetapkan pembatasan tulangan baja tarik tidak boleh melebihi 0.75 dari jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan

$$A_s \leq 0.75 A_{sb}$$

Rasio penulangan sebesar

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

Rasio penulangan maksimum

$$\rho_{maks} \leq 0.75 \rho_b$$

## 2.4 Penggolongan Keruntuhan Balok Tanpa Tulangan Geser

Jenis keruntuhan balok beton bertulang tergantung pada kelangsingan suatu blok dengan ketinggian  $d$ , biasanya dinyatakan sebagai  $a/d$  yaitu rasio antara bentang geser dengan tinggi efektif balok untuk beban terpusat atau  $L/d$  untuk beban terbagi rata.

Menurut nawy, E.G (1990) keruntuhan suatu balok terjadi menurut salah satu atau kombinasi dari 3 ragam keruntuhan berikut :

1. Keruntuhan lentur (Flexure failure)
2. Keruntuhan tarik diagonal (Diagonal tension failure)
3. Keruntuhan geser tekan dan geser tarik (Shear compression failure and shear tension failure).

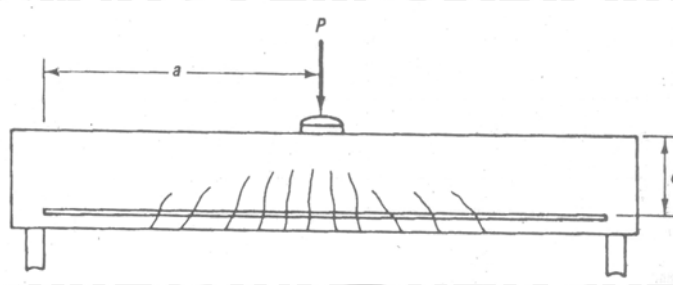
**Tabel 2.4** pengaruh Kelangsingan Balok Terhadap Ragam keruntuhan

Jenis Balok	Ragam Keruntuhan	Kelangsingan Balok	
		Beban terpusat $a/d$	Beban merata $L/d$
Langsing	Lentur	$> 6$	$> 16$
Sedang /Normal	Tarik diagonal	2,5 - 6	11 -16
Pendek	Geser tekan/tarik	1 – 2,5	1 - 5

Sumber : Beton Bertulang Suatu pendekatan Dasar, Nawy, E.G

### 2.4.1 Keruntuhan Lentur

Keruntuhan ini biasanya terjadi pada balok dengan harga  $a/d > 6$  untuk beban terpusat dan  $L/d > 16$  untuk beban merata. Pada keruntuhan jenis ini, terjadi retak dengan arah vertikal di daerah tengah bentang dengan panjang retak diperkirakan  $1/3$  bentang. Retak halus vertikal mulai terbentuk ditengah bentang pada tingkat beban kira-kira 50% dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban luar, retak mulai menyebar di daerah tengah bentang dan retak awal mulai melebar dan merambat ke garis netral serta ditandai dengan meningkatnya lendutan. Bila penulangan balok *under reinforced*, keruntuhan secara daktail dengan diawali lelehnya tulangan lentur. Keruntuhan ini akan menjadi peringatan yang cukup sebelum balok runtuh. Kekuatan balok sepenuhnya tergantung pada besarnya momen maksimum dan tidak berpengaruh pada gaya geser.

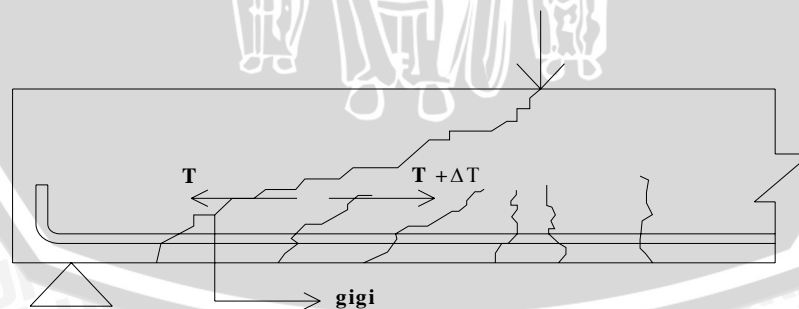


Gambar 2.3 Keruntuhan lentur

#### 2.4.2 Keruntuhan Tarik Diagonal

Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan panjang sedang yaitu  $2,5 \leq a/d \leq 6$ , retak lendut vertikal adalah retak pertama yang terbentuk, disusul dengan retak geser lentur miring. Pada mulanya beberapa retak lentur cenderung untuk melengkung dan membentuk segmen balok diantara retak, yang berupa gigi. Apabila pangkal dari gigi ini menciut sebagai akibat dari bertambahnya retak lentur, maka ukurannya akan sedemikian rupa sehingga tidak akan sanggup untuk memikul momen akibat  $\Delta T$ , akar gigi akan pecah dan membentuk retak lentur yang miring, dan terjadinya retak miring secara tiba-tiba.

Setelah terbentuk retak miring balok tidak sanggup lagi untuk mendistribusikan beban seperti pada keadaan  $a/d$  yang lebih kecil. Jadi pembentukan retak miring mencerminkan kekuatan geser balok, yang kemudian dinamakan keruntuhan tarik diagonal yang digunakan sebagai kategori umum dalam perencanaan balok.



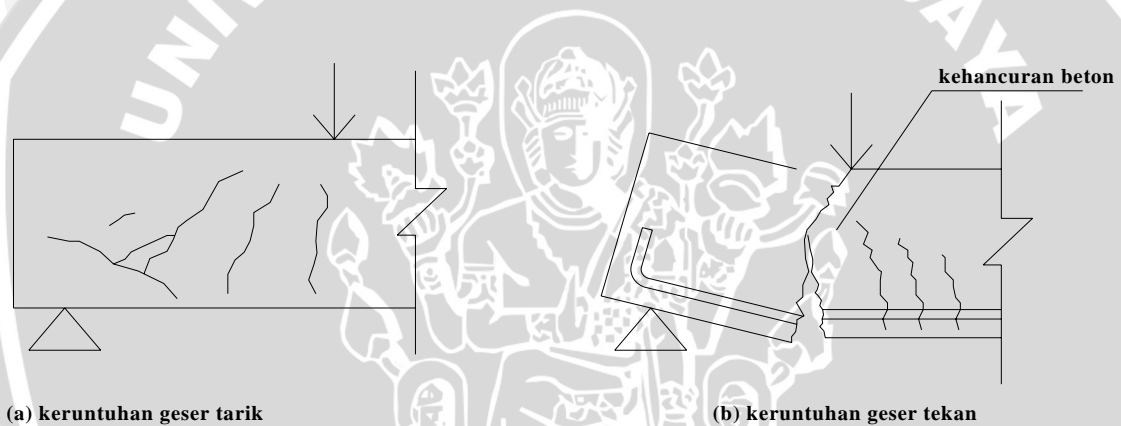
Gambar 2.4 Keruntuhan Tarik Diagonal

Sumber : Wang, C.K, 1994 : 129

### 2.4.3 Keruntuhan Geser Tekan dan Tarik

Keruntuhan ini terjadi untuk harga  $1 \leq a/d \leq 2,5$  atau  $1 \leq L/d \leq 2,5$ . Seperti pada balok tinggi, balok pendek memiliki kekuatan geser yang melebihi kekuatan retak miring.

Setelah terjadi retak geser lentur, retak merambat lebih jauh ke dalam daerah tekan dengan bertambahnya beban. Retak ini juga merambat sebagai suatu retak sekunder menuju tulangan tarik dan kemudian menerus secara horisontal sepanjang penulangan tersebut. Keruntuhan akhirnya terjadi sebagai akibat dari keruntuhan anker pada tulangan tarik, yang disebut sebagai suatu keruntuhan geser tarik (*shear tension*), atau keruntuhan akibat hancurnya beton disekitar daerah tekan yang dinamakan geser tekan (*shear compression*).



**Gambar 2.5** keruntuhan geser

**Sumber :** Wang, C.K, 1994 : 128

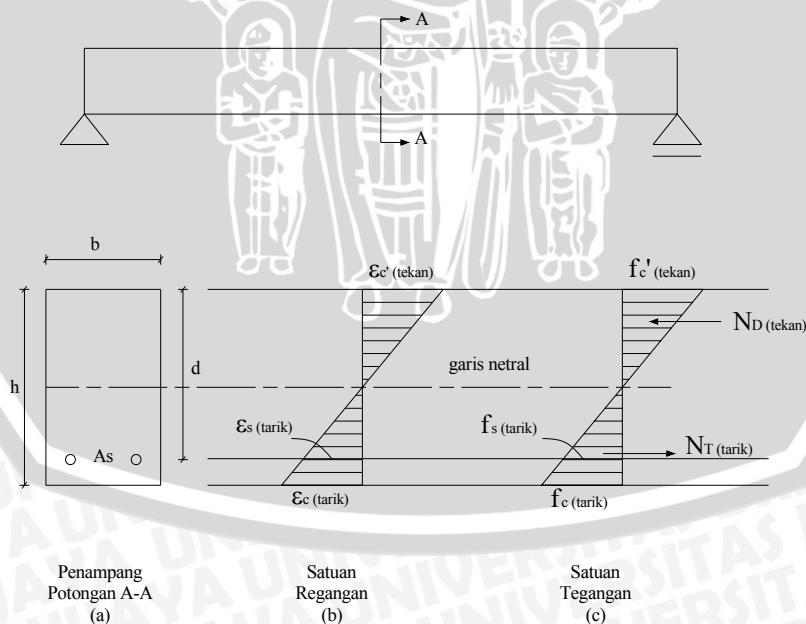
### 2.5 Analisa Kekuatan Batas

Pada metode kekuatan batas (*Ultimit*), beban kerja (*Service Loads*) diperbesar, dikalikan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan telah diambang pintu, kemudian dengan menggunakan beban kerja yang sudah diperbesar (beban terfaktor) tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saat runtuh yang besarnya kira-kira lebih kecil sedikit dan kuat batas runtuh sesungguhnya. Kekuatan pada saat runtuh tersebut dinamakan kuat ultimit dan beban yang bekerja pada atau saat runtuh dinamakan beban ultimit.

Untuk membahas metode kekuatan lebih lanjut, berikut ini diberikan tinjauan ulang perilaku balok beton bertulang bentangan sederhana untuk memikul beban yang berangsur meningkat dan mula-mula kecil sampai pada suatu tingkat pembebanan yang menyebabkan hancurnya struktur.

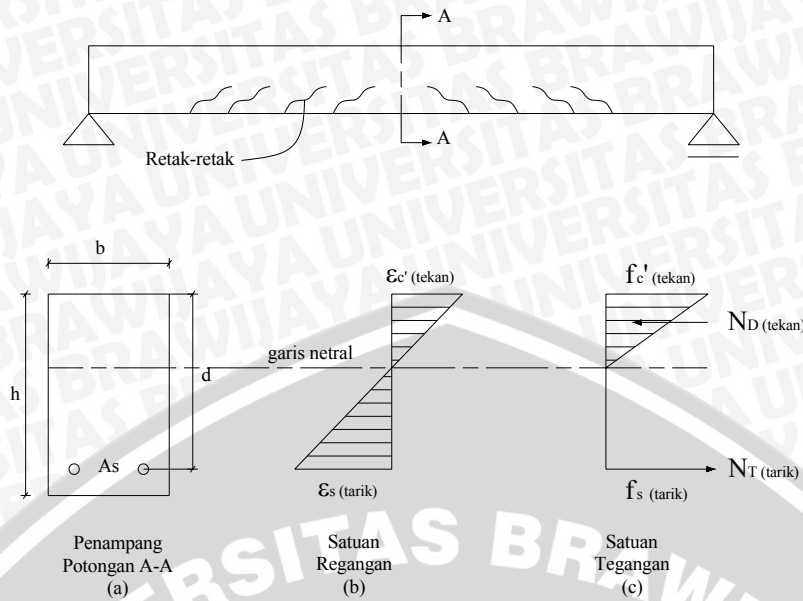
Pada beban kecil, dengan menganggap belum terjadi retak beton, secara bersama-sama beton dan baja tulangan bekerja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton saja. Distribusi tegangan akan tampak pada Gambar 2.5 dimana distribusi tegangannya linier, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Kasus demikian ditemui bila tegangan maksimum yang timbul pada serat tarik masih cukup rendah, nilainya masih dibawah *Modulus of Rupture*.

Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut seperti tampak pada Gambar 2.6, karena beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak, karena terputus-putus, baja tulangan akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Distribusi tegangan untuk penampang pada atau dekat bagian yang retak tampak seperti pada Gambar 2.6, dan hal yang demikian diperkirakan akan terjadi pada nilai tegangan beton sampai dengan  $\frac{1}{2} f_c'$ . Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap bernilai sebanding dengan nilai regangannya.



**Gambar 2.6** Prilaku Lentur pada beban Kecil

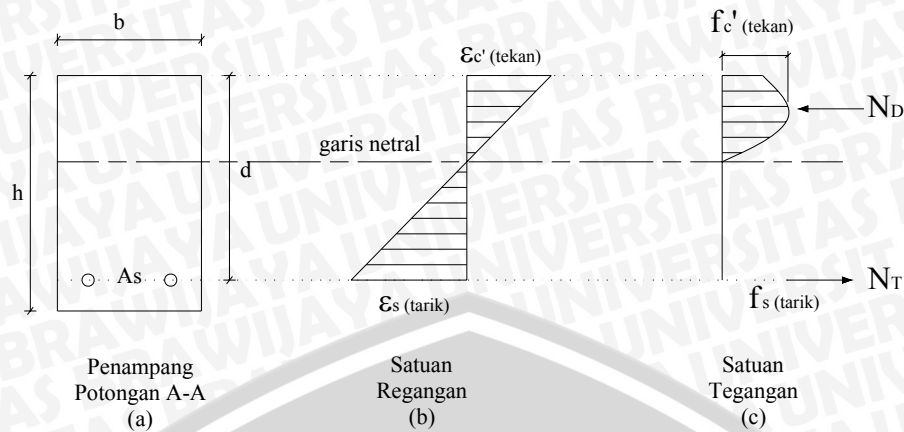
**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan



**Gambar 2.7** Perilaku Lentur pada Beban Sedang

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding antara keduanya, dimana tegangan beton tekan akan membentuk kurva non Linier. Kurva tegangan diatas garis netral (daerah tekan) berbentuk sama dengan kurva tegangan-regangan beton seperti yang tergambar pada Gambar 2.7, dapat dilihat distribusi tegangan dan regangan yang timbul pada atau dekat keadaan pembebanan ultimit, dimana apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai leleh, balok mengalami hancur. Sampai dengan tahap ini, tampak bahwa tercapainya kapasitas ultimit mencapai proses yang tidak dapat berulang. Komponen struktur telah retak dan tulangan baja meleleh, mulur, terjadi lendutan besar dan tidak akan dapat kembali ke panjang semula. Bila komponen lain dan sistem mengalami hal yang sama, mencapai kapasitas ultimitnya, struktur secara keseluruhan akan remuk dalam strata runtuh atau setengah runtuh meskipun belum hancur secara keseluruhan. Walaupun tidak dapat dijamin sepenuhnya, namun dengan menggunakan beberapa faktor aman maka tercapainya keadaan ultimit dapat diperhitungkan serta dikendalikan.



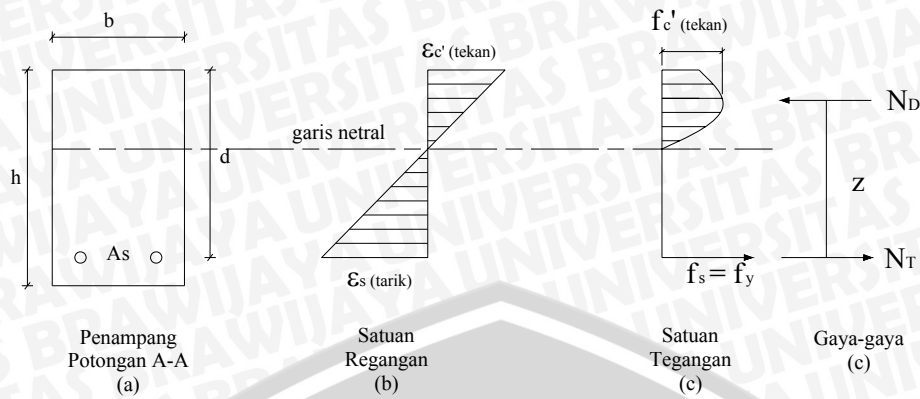
**Gambar 2.8** Perilaku Lentur Dekat Beban Ultimit

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

## 2.6 Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam

Berdasarkan pada anggapan-anggapan seperti yang telah dikemukakan diatas, dapat melakukan pengujian regangan, tegangan dan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok yang bekerja menahan momen batas yaitu momen akibat beban luar yang timbul tepat pada saat terjadi hancur. Momen ini mencerminkan kekuatan dan dimasa lalu disebut sebagai kuat lentur ultimit balok. Kuat lentur suatu balok tersedia karena berlangsungnya mekanisme *tegangan-tegangan dalam* yang timbul didalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh *gaya-gaya dalam*. Seperti tampak pada Gambar 2.8,  $N_D$  adalah suatu resultante *gaya tekan dalam*, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah diatas garis netral. Sedangkan  $N_T$  adalah resultante *gaya tarik dalam*, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah dibawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel *momen tahanan dalam* dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.





**Gambar 2.9** Balok Menahan Beban Ultimit

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

*Momen Tahanan Dalam* tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan *momen tahanan dalam* paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban.

Untuk menentukan *momen tahanan dalam*, yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan  $N_D$  dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak  $z$  dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung digantikan dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

## 2.7 Analisa Kebutuhan Tulangan Rangkap untuk Balok.

Suatu balok, apapun bentuknya dalam perencanaannya dapat memakai tulangan tunggal maupun tulangan rangkap. Pada tulangan tunggal, suatu balok hanya memakai tulangan tarik saja, sedangkan pada tulangan rangkap suatu balok memakai tulangan tarik dan tulangan tekan. Oleh karena kekuatan beton relatif tinggi, maka kebutuhan akan penulangan tekan untuk mendapatkan kekuatan yang cukup tidak terlalu besar.

Tidak semua balok membutuhkan tulangan tekan didalam perencanaannya, oleh karena itu digunakan beberapa analisa yang dapat digunakan sehingga kita dapat mengetahui kapan tulangan tekan tersebut dibutuhkan, beberapa analisa tersebut adalah:

1. Pada saat perencanaan suatu balok, apabila suatu penampang dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan dilain pihak seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka apabila terjadi kuat momen tahanan ( $M_R$ ) lebih kecil daripada momen rencana ( $M_U$ ), balok direncanakan dengan menggunakan tulangan rangkap.
2. Apabila pada saat perencanaan suatu balok didapat nilai rasio penulangan ( $\rho$ ) penampang balok lebih besar dari pada batas nilai rasio penulangan *maksimum* ( $\rho_{maks}$ ) maka jika hal demikian yang dihadapi, SNI 03-2847-2002 pasal 10.3 ayat 4 memperbolehkan penampang tulangan baja tarik lebih dari batas nilai  $\rho_{maksimum}$  bersamaan dengan penambahan tulangan baja didaerah tekan penampang balok disertai penambahan tulangan tarik secara bersamaan. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan dipasang didaerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.
3. Apabila tulangan rangkap dibutuhkan untuk mengurangi lendutan.

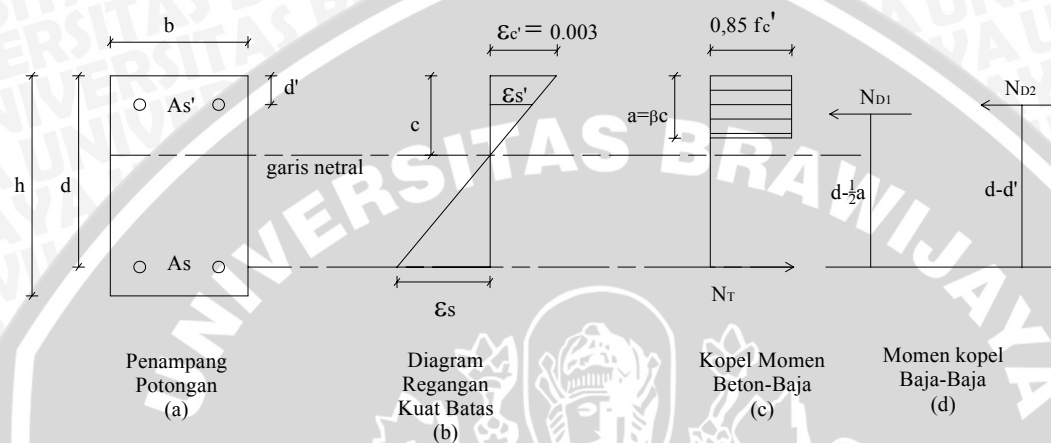
Didalam balok yang menggunakan penulangan tekan untuk mengurangi ukuran penampang, lendutan boleh jadi akan berlebihan, dan barangkali akan timbul kesulitan didalam menempatkan semua tulangan tarik diarah lebar balok, sekalipun tulangan diatur didalam lebih dari dua lapis. Penggunaan dan penulangan tekan untuk mengendalikan lendutan adalah merupakan alasan yang umum dari penggunaan tulangan tekan bila digunakan metode kekuatan batas ini.

Pada analisis tulangan rangkap, anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk menganalisisnya pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja, hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan ( $f_s'$ ) merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan. Terdapat dua kondisi umum yang dapat digunakan dalam menganalisa keberadaan tulangan rangkap ini, yaitu:

1. Tulangan baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat dimana regangannya luluh ( $\epsilon_y$ ). Apabila regangan tekan baja ( $\epsilon_s'$ ) sama atau lebih besar dari regangan luluhnya ( $\epsilon_y$ ) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja ( $f_s'$ ) diambil sama dengan tegangan luluhnya ( $f_y$ ), sedangkan bila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya maka tegangan tekan baja  $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$

2. Apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan  $\epsilon_s' < \epsilon_y$  (belum mencapai luluh).

Untuk tercapainya masing-masing kondisi (keadaan) tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang yang terjadi. Kuat momen total balok bertulangan rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dalam dengan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan.



**Gambar 2.10** Analisa balok bertulangan rangkap

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

Dengan menganggap tulangan baja tarik dan tekan telah meluluh, sehingga :

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-1)$$

Keseimbangan gaya-gaya :  $\Sigma(H) = 0$ , sehingga  $f_s' = f_y$  :

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \quad (2-2)$$

$$A_s f_y = 0,85 f_c' ab + A_s' f_y$$

Nilai a didapatkan dari persamaan berikut :

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 \cdot f_c') b} \quad (2-3)$$

Dengan menggunakan anggapan sama dengan yang dipakai pada balok bertulangan tarik saja tentang hubungan antara tinggi blok tegangan beton tekan dengan garis netral penampang balok terhadap serat tepi tekan ( $a = \beta \cdot c$ ), maka letak garis netral dapat ditentukan dan selanjutnya digunakan untuk memeriksa regangan-regangan tulangan baja.

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2-4)$$

Pemeriksaan regangan-regangan untuk mengetahui apakah asumsi yang digunakan benar, yang berarti bahwa kedua penulangan baik tulangan tekan maupun tarik telah meluluh sebelum beton hancur.

Regangan yang diperhitungkan terjadi pada saat dicapai momen ultimit, adalah :

$$\varepsilon_s' = \left( \frac{c - d'}{c} \right) 0,003 \quad (2-5)$$

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d - c}{c} \right) 0,003 \quad (2-6)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2-7)$$

Apabila  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$  dan  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$  untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_s f_y = (0,85 f'_c) ab + A_s' f_s' \quad (2-8)$$

$$f_s' = 0,003 \left( \frac{c - d'}{c} \right) E_s \quad (2-9)$$

$$f_s = 0,003 \left( 1 - \frac{\beta \cdot d'}{a} \right) E_s \quad (2-10)$$

$$A_s f_y = (0,85 f'_c) ab + A_s' 0,003 \left( 1 - \frac{\beta \cdot d'}{a} \right) E_s \quad (2-11)$$

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

$$M_n = N_{D1} \cdot (d - \frac{1}{2} a) + N_{D2} \cdot (d - d') \quad (2-12)$$

Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya kurang dari pada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan lemah. Keadaan batas penampang demikian akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas  $\varepsilon'_{cu} = 0,003$  dan regangan tarik baja tulangan  $\varepsilon_s$  yang melampaui regangan pada penulangan titik leleh  $\varepsilon_y$ . Penampang-penampang yang mengalami lentur harus direncanakan sedemikian rupa hingga tulangannya berupa tulangan lemah karena keadaan ini menjamin kemampuan rotasi yang besar pada penampang-penampang kritis, dimana keruntuhan balok diawali oleh peringatan berupa lendutan yang semakin besar.

## 2.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

- Variasi penambahan persentase penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem Bali mempunyai pengaruh terhadap kekuatan balok pada keadaan batas runtuh.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Satu set ayakan dengan *motorized dynamic sieve shaker*.
2. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu dengan kapasitas  $(100\pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
3. Timbangan sentisimal kekuatan 150 kg.
4. Sendok semen
5. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm tinggi 30 cm
6. Cetakan balok dengan lebar 12 cm, tinggi 18 cm, panjang 140 cm.
7. Tongkat pemadat, diameter 16 mm, panjang 600 mm.
8. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
9. Alat penguji slump (*kerucut Abrams*).
10. Alat penggetar (*vibrator*).
11. Mesin uji tekan beton.
12. Rangka pembebanan (*loading frame*).
13. Dongkrak hidrolik (*Hydraulic Jack*).
14. Proving ring pembaca beban.

Bahan-bahan yang digunakan adalah :

1. Semen Gresik tipe I (satu)
2. Agregat halus (pasir) dari Karangasem, Bali dan agregat halus (pasir) Brandong dari Malang dan agregat kasar (batu pecah/kerikil) yang didapat di pasaran.
3. Air bersih dari PDAM kota Malang
4. Tulangan baja  $\varnothing 12$  dan  $\varnothing 6$



### 3.3 Analisa Bahan Yang Digunakan

#### 3.3.1 Semen

Semen yang digunakan semen gresik Tipe I (satu) dan tidak dilakukan pengujian khusus pada bahan ini.

#### 3.3.2 Air

Air yang digunakan tidak diuji secara khusus (berasal dari air bersih PDAM kota Malang yang tersedia di laboratorium).

#### 3.3.3 Pasir dan Kerikil

Agar kondisinya mendekati keadaan yang sebenarnya dilapangan, maka diusahakan tidak dicuci akan tetapi dijaga dari adanya kotoran organik, lumpur, maupun sampah.

#### 3.3.4 Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan adalah baja yang ada dipasaran yang diuji tarik terlebih dahulu. Untuk tulangan utama digunakan 2-Ø12, tulangan tekan digunakan 2-Ø6 dan sengkang Ø6-100 yang didapat dari perhitungan teoritis.

### 3.4 Rancangan Penelitian

Pembuatan benda uji pada masing-masing perlakuan seperti pada tabel berikut :

Benda uji	Balok ukuran 12 x 18 x 140 cm									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Variasi penggunaan agregat halus terhadap campuran beton	100%	0%	75%	25%	50%	50%	25%	75%	0%	100%
Jumlah benda uji	3		3		3		3		3	

**Keterangan :**

1 = Agregat halus dari kabupaten malang

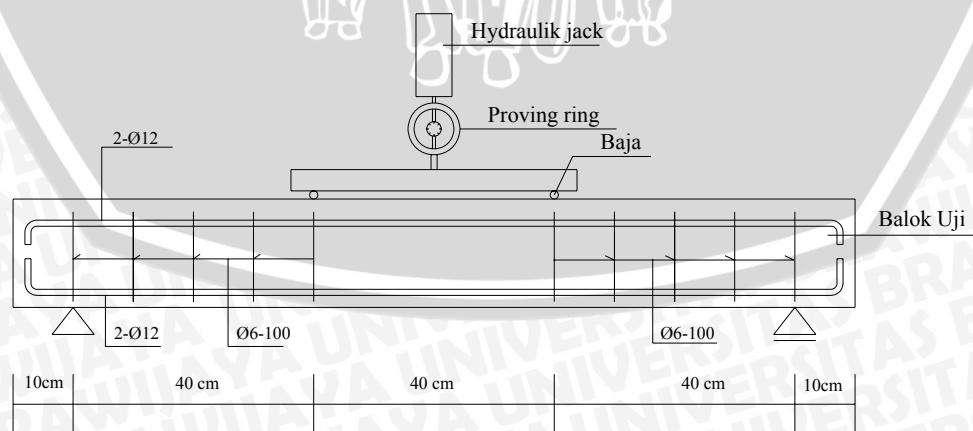
2 = Agregat halus dari kabupaten Karangasem, Bali.

Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji adalah :

1. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.
2. Analisa bahan meliputi pemeriksaan gradasi, berat jenis dan penyerapan, berat isi, dan kadar air agregat halus dan kasar.
3. Menghitung Perbandingan Mix Desain Beton menggunakan pasir Brandong dari malang yang dijadikan acuan yang direncanakan Kuat Tekan Beton 20 Mpa.
4. Pembuatan cetakan beton (bekisting).
5. Pemasangan tulangan.
6. Pencampuran bahan beton dengan menggunakan mesin pencampur beton (*Concreting Mixer*).
7. Pengujian Slump.
8. Memasukkan campuran adukan beton ke dalam bekisting.
9. Perawatan (*curing*).
10. Pelepasan bekisting.

### 3.5 Cara Penelitian dan Pengujian

Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari sejak pengecoran. Balok uji ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan ditumpu sendi-roll pada kedua ujungnya. Balok uji diberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar.



**Gambar 3.1** Skema pembebanan



Beban terpusat vertikal yang dikerjakan pada balok dikerjakan oleh pompa hidrolik. Penambahan beban dibaca pada alat *Proving ring*. Setelah peralatan benda uji siap pada rangka pengujian, pembebanan segera dilakukan secara berangsur-angsur dari beban nol sampai dengan mencapai beban maksimum, saat balok uji mengalami keruntuhan. ( tulangan tarik sudah mencapai leleh) dan retak menjalar sampai pada daerah beton tertekan.

Langkah-langkah pengujian :

1. Balok uji ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan ditumpu sendi-roll pada kedua ujungnya. Balok uji diberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar.
2. Benda uji 1 (jumlah=3) dibebani secara bertahap sampai mengalami keruntuhan, didapat P maksimum.
3. Benda uji 2, 3, dan 4 dengan variasi penggunaan agregat halus dibebani sampai mengalami keruntuhan, didapat P maksimum.
4. Pembacaan beban pada alat *Proving ring*.

### 3.6 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data benda uji dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 3 balok tanpa campuran agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali sebagai balok kontrol, 12 balok dengan penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali yang bervariasi. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan penambahan beban secara bertahap. Adapun dalam pengujian ini pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil  $P_u$  akibat variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali sampai beton mengalami keruntuhan.

### 3.7 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang perubahnya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah variasi agregat halus dalam campuran beton
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah  $P_u$ .

### 3.8 Analisa Data

Dari hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian benda uji, kemudian diolah dan dianalisis menurut prosedur analisis statistik. Untuk mengetahui pengaruh variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, digunakan analisa varian 1 arah. Pernyataan ada tidaknya pengaruh variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem terhadap batas runtuh, akan dinyatakan secara statistik sebagai berikut :

1. Menentukan hipotesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$$

Dengan :

$H_0$  : Hipotesa awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari variasi prosentase penggunaan Pasir Karangasem terhadap batas runtuh balok.

$H_1$  : Hipotesa alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variasi prosentase penggunaan Pasir Karangasem terhadap batas runtuh balok.

2. Menentukan tingkat signifikansi ( $\alpha$ )

3. Statistik Uji :

$$F_h = \frac{RKP}{RKS}$$

4. Daerah penolakan, bila  $F_h > F_{\text{tabel}}$

5. Hitungan :

- $JKT = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$

- $JKP = \sum_{i=1}^5 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$

- $JKS = JKT - JKP$

- $RKP = \frac{JKP}{p-1}$

- $RKS = \frac{JKS}{n-p}$

- Dituangkan dalam tabel Anova:

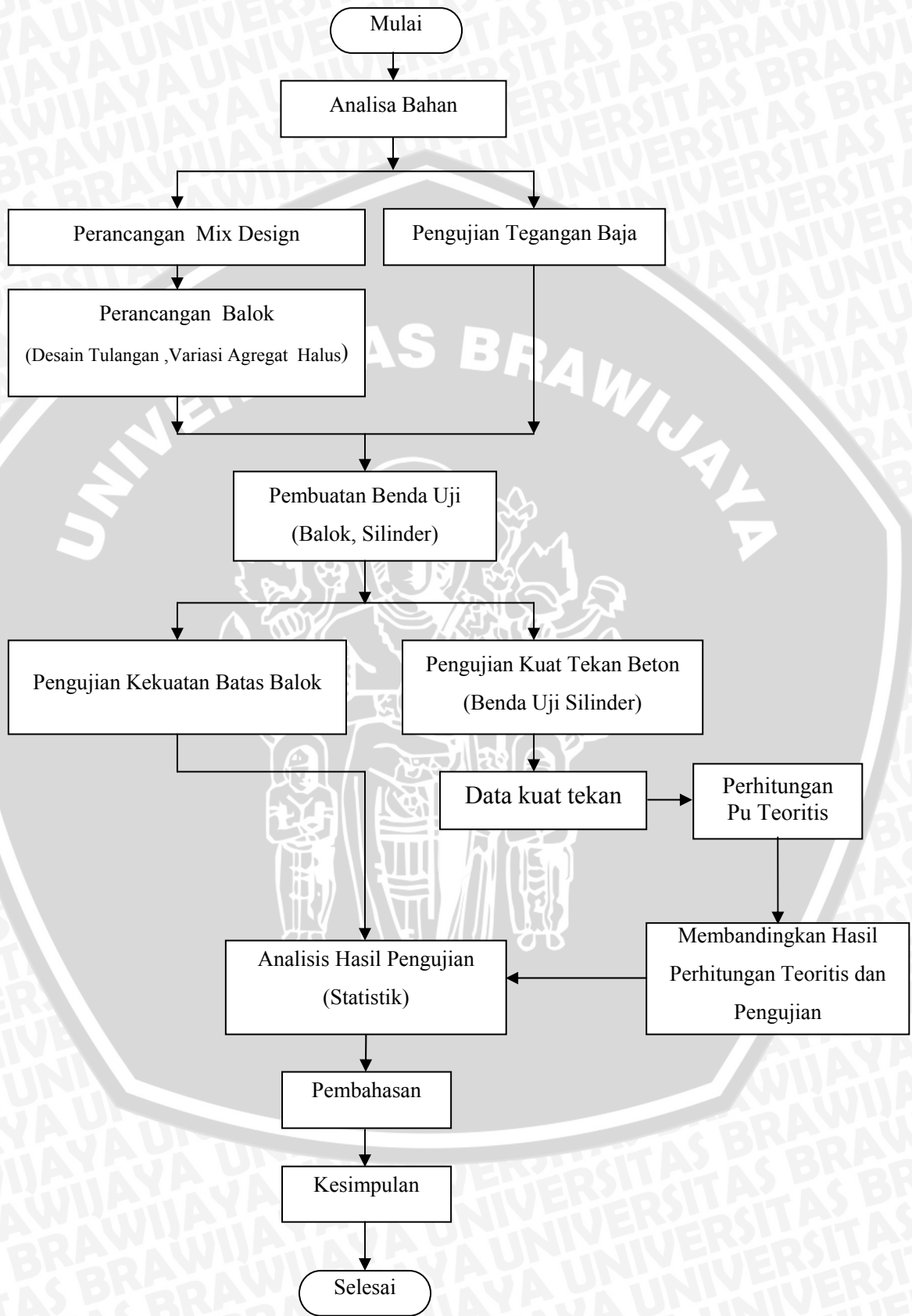
6. Kesimpulan :

Ho akan diterima bila  $F_h < F_{\text{tabel}}$

Ho akan ditolak bila  $F_h > F_{\text{tabel}}$

Dari analisis data secara statistik didapat harga  $F_h$  yang akan dibandingkan dengan  $F_{\text{tabel}}$ . Apabila  $F_h > F_{\text{tabel}}$  berarti Ho ditolak dan  $H_1$  diterima. Hal ini dapat dikatakan bahwa ada pengaruh dari variasi prosentase penggunaan Pasir Karangasem terhadap batas runtuh balok. Dan begitu pula sebaliknya.

### 3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Pengerjaan Penelitian



**BAB IV**

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Hasil Pengujian Bahan-bahan Dasar**

**4.1.1 Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan adalah Pasir Brandong dari kabupaten Malang dan Pasir Karangasem dari kabupaten Karangasem, Bali. Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah uji analisa saring dan uji sifat fisis. Uji analisa saring digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus. Sedangkan uji sifat fisis dilakukan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapannya. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Pengujian Agregat Halus

Keterangan	Hasil Penelitian	
	Pasir Brandong	Pasir Karangasem
Modulus Kehalusan	2.953	2.919
Berat Jenis SSD	2.698	2.662
Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1.7305	1.5240
Absorpsi (%)	1.010	1.112
Zona Gradasi	2	2

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1.1 s.d. lampiran 1.10

**4.1.2 Agregat Kasar**

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan ukuran 20 mm dari Malang. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Pengujian Agregat Kasar

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Kehalusan	6,35315
Berat Jenis SSD	2.6882
Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1.5458
Absorpsi (%)	3.029

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1.11 s.d. lampiran 1.14

#### 4.1.3 Semen

Dalam penelitian ini semen yang digunakan adalah *portland cement* type I produksi PT. Semen Gresik yang umum digunakan sehingga tidak dilakukan pengujian khusus terhadap semen.

#### 4.1.4 Air

Dalam penelitian ini air yang digunakan adalah air PDAM Kodya Malang yang tersedia di laboratorium dan tidak dilakukan pengujian terhadap air.

#### 4.1.5 Baja Tulangan

Pemeriksaan tegangan leleh rata-rata baja tulangan dilakukan di laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil UNIBRAW. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja Tulangan

Diameter Baja (cm)	Diameter (cm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Rata-Rata (Mpa)
0.6	0.55	494.949	471.3805
	0.55	450.758	
	0.55	468.434	
1.2	1.15	394.929	402.956
	1.15	409.378	
	1.15	404.561	

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

#### 4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan pengerjaan campuran adukan beton. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Slump

Variasi	Pengecoran	Faktor Air Semen	Slump (cm)
<b>Variasi I</b> <b>100 % Brandong</b>	I	0.48	10.5
	II	0.48	11
<b>Variasi II</b> <b>75 % Brandong</b> <b>25 % Karangasem</b>	I	0.48	10.5
	II	0.48	9.5
<b>Variasi III</b> <b>50 % Brandong</b> <b>50 % Karangasem</b>	I	0.48	12
	II	0.48	10.5
<b>Variasi IV</b> <b>25 % Brandong</b> <b>75 % Karangasem</b>	I	0.48	10
	II	0.48	11
<b>Variasi V</b> <b>100 % Karangasem</b>	I	0.48	10.5
	II	0.48	12

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

### 4.3 Pengujian Beton Keras

Pada beton keras dilakukan pengujian kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari dengan benda uji berupa silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.5.

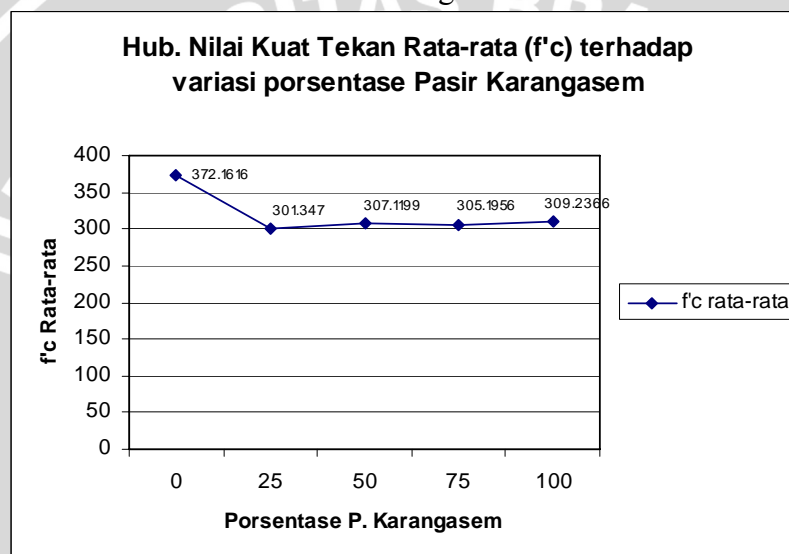
**Tabel 4.5** Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi	Benda Uji	Berat (kg)	Pu (kN)	Pu (kg)	$f_c'$	Rata-rata $f_c'$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Variasi I</b> <b>100 % Brandong</b>	I	12.4	638	65053.2744	368.3129	372.1616
	II	12.25	659	67194.5264	380.4361	
	III	12.25	637	64951.3101	367.7357	
<b>Variasi II</b> <b>75 % Brandong</b> <b>25 % karangasem</b>	I	12.6	506	51593.9763	292.1103	301.347
	II	12.4	578	58935.4116	333.6754	
	III	12.6	482	49146.8312	278.2552	
<b>Variasi III</b> <b>50 % Brandong</b> <b>50 % karangasem</b>	I	12	546	55672.5515	315.202	307.1199
	II	12	512	52205.7626	295.574	
	III	11.9	538	54856.8364	310.5836	

<b>Variasi IV</b> <b>25 % Brandong</b> <b>75 % Karangasem</b>	I	12.1	525	53531.2995	303.0788	305.1956
	II	11.9	565	57609.8747	326.1706	
	III	12	496	50574.3325	286.3373	
<b>Variasi V</b> <b>100 % Karangasem</b>	I	12.2	487	49656.6531	281.1417	309.2366
	II	11.9	589	60057.0198	340.0256	
	III	12.3	531	54143.0858	306.5426	

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

**Gambar 4.1** Grafik Hubungan Nilai  $f'c$  rata-rata dengan Variasi persentase Pasir Karang asem



Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

#### 4.4 Pengujian Kuat Lentur Balok

Uji pembebanan dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik. Balok yang berdimensi sama yaitu 12 x 18 x 140 cm, dikelompokkan kedalam 5 golongan dengan variasi penggunaan agregat halus terhadap campuran beton sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut :

**Tabel 4.6** Pengujian Kuat Lentur Balok

<b>Benda uji</b>	<b>Balok ukuran 12 x 18 x 140 cm</b>				
% variasi penggunaan pasir Karangasem terhadap pasir Brandong	0%	25%	50%	75%	100%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3

#### 4.5 Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok

- Perhitungan kuat lentur teoritis pada balok dengan variasi I ( 100% Pasir Brandong, 0 % Pasir Karangasem)

Dari data kuat tekan beton dan  $f_y$  baja pada pengujian didapatkan :

$$f'_c = 372,1616 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4029,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 128648.645 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi M_n$$

$$= 0.85 \cdot 128648.645 = 109351.348 \text{ kg cm}$$

$$M_u = \frac{1}{6} PL \quad \longrightarrow \quad P_u = \frac{(109351.348) \cdot (6)}{(120)} = 5476.5674 \text{ kg}$$

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran VII hal. 63-64

- Perhitungan kuat lentur teoritis pada balok dengan variasi II ( 75% Pasir Brandong, 25 % Pasir Karangasem)

Dari data kuat tekan beton dan  $f_y$  baja pada pengujian didapatkan :

$$f'_c = 301,1347 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4029,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 112082.5305 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi M_n$$

$$= 0.85 \cdot 112082.5305 = 95270.151 \text{ kg cm}$$

$$M_u = \frac{1}{6} PL \quad \longrightarrow \quad P_u = \frac{(95270.151) \cdot (6)}{(120)} = 4763.51 \text{ kg}$$

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran VII hal. 65-66

- Perhitungan kuat lentur teoritis pada balok dengan variasi III ( 50% Pasir Brandong, 50 % Pasir Karangasem)

Dari data kuat tekan beton dan  $f_y$  baja pada pengujian didapatkan :

$$f'_c = 307,1199 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4029,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 113150.3376 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi M_n$$

$$= 0.85 \cdot 113150.3376 = 96177.787 \text{ kg cm}$$

$$M_u = \frac{1}{6} PL \quad \longrightarrow \quad P_u = \frac{(96177.787) \cdot (6)}{(120)} = 4808.89 \text{ kg}$$

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran VII hal. 67-68



- ☑ Perhitungan kuat lentur teoritis pada balok dengan variasi IV ( 25% Pasir Brandong, 75 % Pasir Karangasem)

Dari data kuat tekan beton dan fy baja pada pengujian didapatkan :

$$f'c = 305,1956 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4029,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 112441.431 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi M_n$$

$$= 0.85 \cdot 112441.431 = 95575.22 \text{ kg cm}$$

$$M_u = \frac{1}{6} PL \quad \longrightarrow \quad P_u = \frac{(95575.22) \cdot (6)}{(120)} = 4778.76 \text{ kg}$$

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran VII hal. 69-70

- ☑ Perhitungan kuat lentur teoritis pada balok dengan variasi V ( 0% Pasir Brandong, 100 % Pasir Karangasem)

Dari data kuat tekan beton dan fy baja pada pengujian didapatkan :

$$f'c = 309,2366 \text{ kg/cm}^2 ; \quad f_y = 4029,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_n = 113930.1813 \text{ kg.cm}$$

$$M_u = \phi M_n$$

$$= 0.85 \cdot 113930.1813 = 96840.654 \text{ kg cm}$$

$$M_u = \frac{1}{6} PL \quad \longrightarrow \quad P_u = \frac{(96840.654) \cdot (6)}{(120)} = 4842.03 \text{ kg}$$

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran VII hal. 71-72

**Tabel 4.7** Hasil pengujian beban pada balok

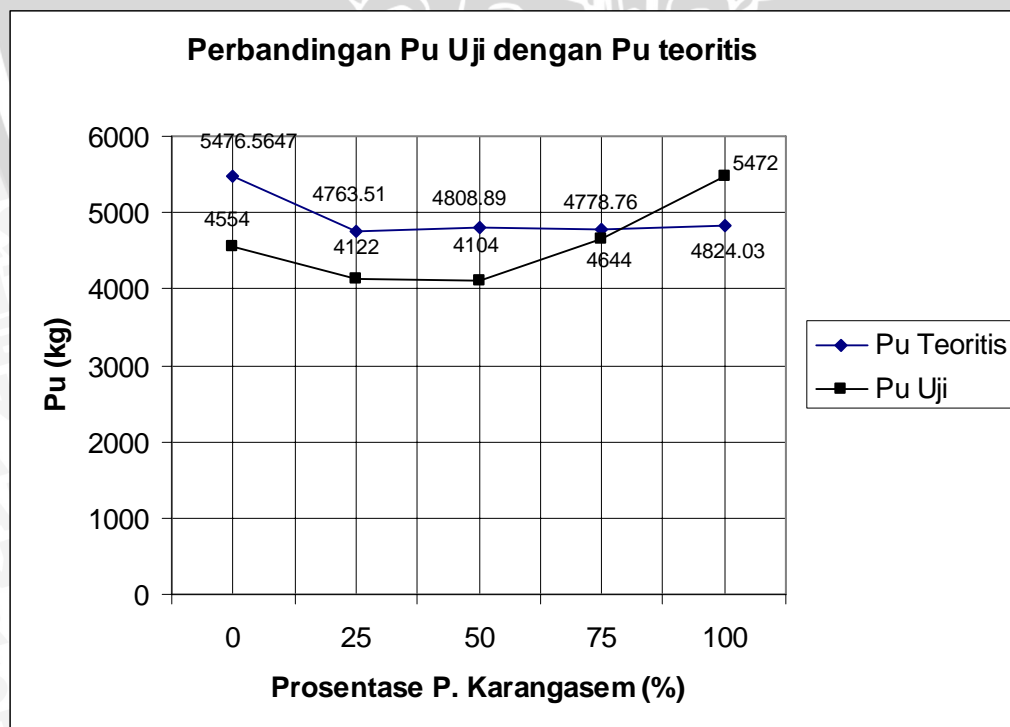
No	% penambahan P. karangasem terhadap P.Brandong	Pu Uji (kg)	Pu uji rata-rata (kg)
1	0%	4158	4554
2		4482	
3		5022	
1	25%	3888	4122
2		4212	
3		4266	
1	50%	4158	4104
2		3780	
3		4374	
1	75%	4428	4644
2		4644	
3		4860	
1	100%	5238	5472
2		5778	
3		5400	

**Tabel 4.8** Perbandingan hasil perhitungan teoritis kapasitas dukung beban maksimum dengan hasil pengujian

No	% penambahan P. Karangasem terhadap P. Brandong	Pu uji (kg)	Pu teoritis (kg)
1	0%	4554	5476.5674
2			
3			
1	25%	4122	4763.51
2			
3			
1	50%	4104	4808.89
2			
3			
1	75%	4644	4778.76
2			
3			
1	100%	5472	4824.03
2			
3			

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

**Gambar 4.2** Grafik Perbandingan hasil perhitungan teoritis kapasitas dukung beban maksimum dengan hasil pengujian



Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

#### 4.6 Pengujian Hipotesis

Dari data yang diperoleh, selanjutnya untuk kuat lentur dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase pembebanan runtuh terhadap batas runtuh balok beton. Pengujian hipotesis ini menggunakan analisis Varian satu arah.

Pernyataan ada tidaknya pengaruh tersebut secara statistik dinyatakan dengan :

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$$

Dengan :

$H_0$  : Hipotesa awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari variasi penggunaan agregat halus Karangasem terhadap batas runtuh balok.

$H_1$  : Hipotesa alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variasi penggunaan agregat halus Karangasem terhadap batas runtuh balok.

Dari analisis didapat hasil sebagai berikut :

**Tabel 4.9** ANOVA Satu Arah

Sumber	d.b	JK	RK	F <sub>hitung</sub>	F <sub>tabel</sub>
Faktor	4	3710318.4	927579.6	10.395	3.478
Error	10	892296	89229.6		
Total	14	4602614.4			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan analisa statistik diatas didapatkan bahwa  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , ini menunjukkan bahwa  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh dari variasi penggunaan agregat halus karangasem.

Seperti yang terlampir pada lampiran 4 analisis data yang telah dilakukan menunjukkan bahwa ada pengaruh batas runtuh antara level faktor dengan level kontrol (prosentase pasir karangasem 0%).

#### 4.7 Pembahasan Kapasitas Dukung Beban Maksimum

Grafik beban teoritis (gambar 4.2), menunjukkan penambahan pasir Karangasem sebesar 25% dan 50%, terjadi penurunan kapasitas dukung beban maksimum sebesar 10,762% dan 9.77% dari pembebanan balok kontrol. Pada penambahan pasir Karangasem sebesar 75% dan 100% masing-masing penurunan kapasitas dukung beban maksimum sebesar 10,113% dan 9.413% dari pembebanan balok kontrol.

Dari hasil uji laboratorium, penambahan persentase pasir Karangasem pada umumnya mengalami penurunan dan peningkatan kapasitas dukung beban maksimum seperti yang terlihat pada gambar 4.2. Pada balok dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 25% mengalami penurunan kapasitas dukung beban maksimum sebesar -9.287 %.

Kapasitas dukung beban maksimum dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 50% mengalami penurunan -9.6832% dari balok kontrolnya dan lebih kecil dari balok dengan persentase 25%. Sedangkan pada Balok dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 75% mengalami peningkatan 1.976%, pada balok dengan persentase penggunaan pasir karangasem sebesar 100% mengalami peningkatan 20.158 %.

**Tabel 4.10.** Prosentase Peningkatan Pu Uji

Balok Uji	Peningkatan Pu (%)
25% P. Karangasem	-9.287
50% P. Karangasem	-9.683
75% P. Karangasem	1.976
100% P. Karangasem	20.158

*Sumber : Hasil Perhitungan*

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya penambahan agregat halus Karangasem mempunyai pengaruh pada kapasitas dukung beban maksimum. Penambahan pasir Karangasem sebesar 25% menurunkan kapasitas dukung beban maksimum sebesar 9.287%, sedangkan pada penambahan prosentase 50%, maka menurunkan kapasitas dukung beban maksimum sebesar 9.683%. Pada prosentase 75% meningkatkan kapasitas dukung beban maksimum sebesar 1.976%, sedangkan pada penambahan prosentase 100% meningkatkan kapasitas dukung beban maksimum sebesar 20.158%.
2. Perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan dapat mempengaruhi kekuatan beton pada struktur aktual dengan kekuatan silinder menjadi tidak sama.

### 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, peneliti memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk variasi yang lebih mengarah pada penggunaan pasir Karangasem terhadap pasir Brandong, sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih meningkatkan kapasitas dukung beban maksimum pada balok beton bertulang.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu diperhatikan pada proses pencampuran semen, pasir, kerikil, dan air kedalam molen guna mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Proses pemadatan perlu diperhatikan guna menghindari adanya rongga – rongga pada beton yang dapat mengurangi kekuatan dari benda uji.
4. Alat pengujian perlu dipersiapkan dengan baik guna menghindari kesalahan alat pada saat pengujian berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- DPU. 1991. SK-SNI T-15-1991-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB
- Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon. 1986, *Desain Beton Bertulang Jilid I*, Jakarta. Erlangga.
- Dipohusodo, Istimawan. 1990, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama
- G. Nawy, Edward, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung, Eresco.
- Mosley, W. H dan Bunglely, J. H. 1989, *Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta. Erlangga.
- Phil M. Ferguson, 1986, *Dasar-dasar Beton Bertulang*. Jakarta. Erlangga.
- Mulyono, Tri. 2003, *Teknologi Beton*. Jakarta. Andi Yogyakarta

