

**PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS
DARI KABUPATEN KARANGASEM PROPINSI BALI
SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP
LEBAR RETAK PADA BALOK BETON BERTULANG**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ANDRI KURNIAWAN
0001063010 – 61**

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

**PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI
KABUPATEN KARANGASEM PROPINSI BALI SEBAGAI
PENGGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP LEBAR RETAK
PADA BALOK BETON BERTULANG**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ANDRI KURNIAWAN

0001063010 – 61

DOSEN PEMBIMBING :

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

Ir. Ristinah S, MT.
NIP. 130 531 843

**PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI
KABUPATEN KARANGASEM PROPINSI BALI SEBAGAI
PENGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP LEBAR RETAK
PADA BALOK BETON BERTULANG**

Disusun Oleh :

ANDRI KURNIAWAN

0001063010 – 61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 29 Januari 2007

DOSEN PENGUJI

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

Ir. Ristinah S, MT.
NIP. 130 531 843

Ir. Siti Nurlina, MT
NIP. 131 879 036

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam Naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

(UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70)

Malang, Januari 2007

Mahasiswa,

Nama : ANDRI KURNIAWAN

NIM : 0001063010 - 61

Jurusan : SIPIL

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah atas segala rahmat dan ridho Allah SWT yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, “PENGARUH VARIASI PENGGUNAAN AGREGAT HALUS DARI KABUPATEN KARANGASEM PROPINSI BALI SEBAGAI PENGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP LEBAR RETAK PADA BALOK BETON BERTULANG”.

Tidak lupa penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongannya baik berupa fisik maupun moril kepada penulis. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Ir. M Taufik H, MT selaku dosen pembimbing atas pengarahan, bimbingan, masukan dan kesabarannya selama membimbing.
2. Ibu Ir. Ristinah, MT selaku dosen pembimbing atas pengarahan, bimbingan, masukan dan kesabarannya selama membimbing.
3. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT selaku dosen penguji dan juga atas bimbingannya selama ini.
4. Kedua orang tua, keluarga dan teman – teman atas do’a dan dukungannya selama ini baik berupa moral maupun materi.
5. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini belum sempurna, karena kurangnya pengetahuan dan pengamatan pada ruang lingkup serta adanya keterbatasan waktu. Melalui skripsi ini penulis berharap dapat menimba pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat dan berguna bagi penulis, teman-teman maupun pihak lain.

Malang, Januari 2007

Penulis

ABSTRAKSI

Andri Kurniawan. Januari 2007. **Pengaruh Variasi Penggunaan Agregat Halus Dari Kabupaten Karangasem Propinsi Bali Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Lebar Retak Pada Balok Beton Bertulang.** Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, universitas Brawijaya. Dosen Pembimbing :
Ir. M. Taufik Hidayat, MT dan Ir. Ristinah, 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 $\pm 75\%$ 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.

Suatu struktur yang baik harus aman dan mempunyai kemampuan (serviceability) yang baik pula. Kontrol kemampuan dapat dilihat melalui kontrol terhadap lebar retak yang dapat terjadi pada beton bertulang. Pada perhitungan kemampuan ini akan digunakan variasi Pasir Karangasem guna mengetahui nilai beban pada saat balok mencapai lebar retak ijin. Pada umumnya kontrol kemampuan hanya meninjau pada ketebalan minimum dan perhitungan lendutan secara langsung akibat beban yang sudah ditentukan, sehingga ada faktor lain yang tidak ditinjau yaitu lebar retak dan beban yang sebenarnya dapat ditahan pada kondisi lebar retak ijin.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan balok saat mencapai lebar retak ijin sebesar 0.3 mm 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 saat mencapai lebar retak ijin akibat variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Bali. Untuk Pasir Karangasem digunakan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap Pasir Brandong.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban maksimum pada saat lebar retak 0,3 mm terjadi pada variasi 0%. Lebar retak maksimum terjadi pada variasi 25%.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAKSI	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR SIMBOL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Kegunaan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Beton Bertulang	5
2.3 Semen dan Air	5
2.4 Bahan Agregat	6
2.4.1 Pemeriksaan Sifat – Sifat Agregat Dalam Campuran Beton	6
2.4.1.1 Gradasi	6
2.4.1.2 Kadar Air	8
2.4.1.3 Berat Jenis dan Daya Serap	9
2.4.1.4 Berat Isi	9
2.4.2 Agregat Halus	9
2.4.3 Agregat Kasar	10
2.5 Balok Terlentur	11
2.6 Keseimbangan Gaya – Gaya Dalam	13
2.7 Balok Segiempat Ekuivalen	14
2.8 Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok	15
2.9 Analisis Kuat Lentur Balok Bertulang Rangkap	16

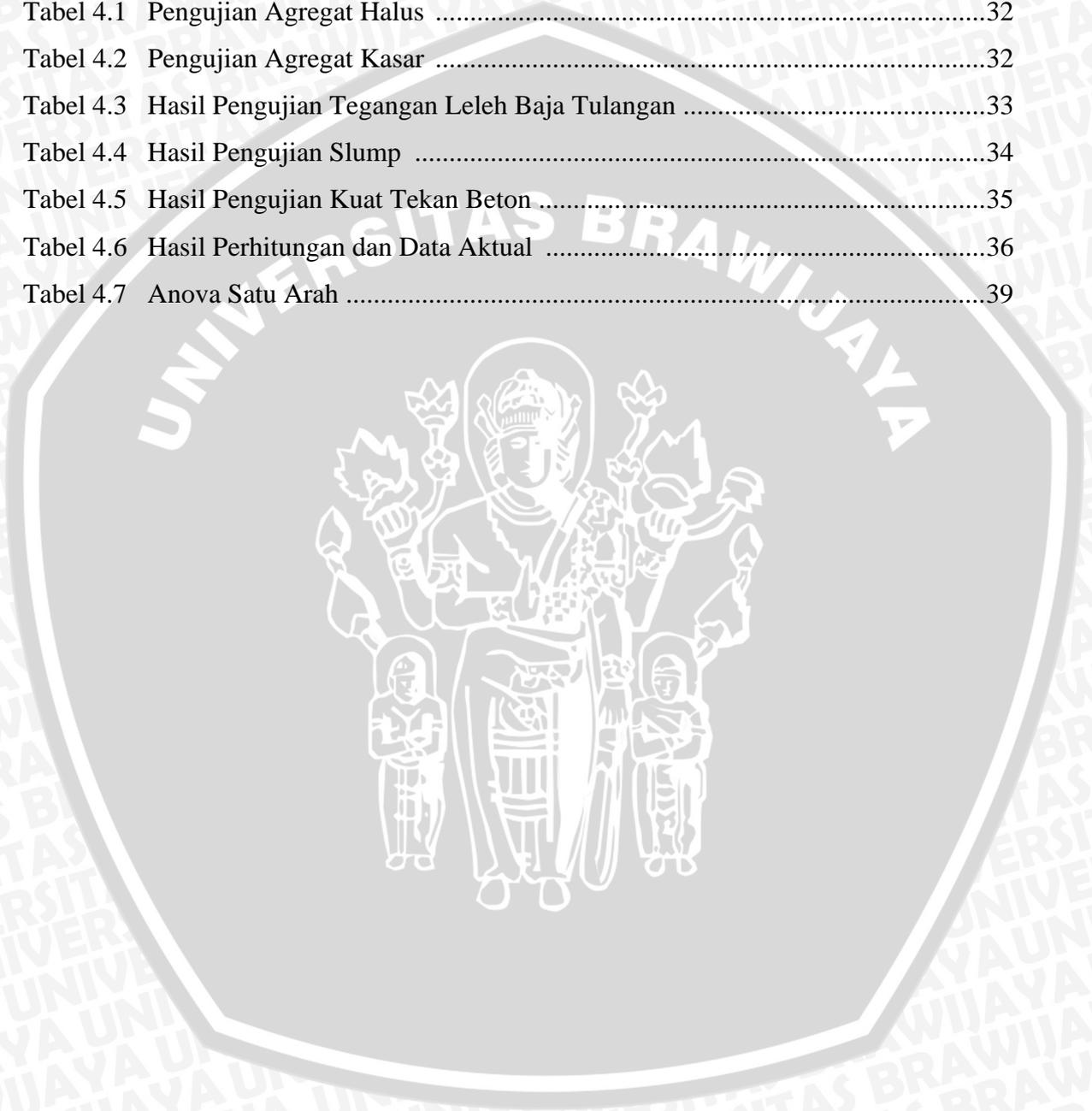
2.10 Perilaku Keruntuhan Balok	19
2.10.1 Taraf Praretak (Daerah I)	20
2.10.2 Taraf Pasca Retak (Daerah II)	20
2.10.3 Taraf Serviceability dan Keadaan Limit (Daerah III)	21
2.11 Perilaku Retak Beton	22
2.12 Pengendalian Lebar Retak	22
2.13 Tipe- Tipe Retak	23
2.14 Evaluasi Lebar Retak	25
2.15 Lebar Retak Ijin	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3 Prosedur Pembuatan Benda Uji	28
3.4 Prosedur Penelitian	29
3.5 Analisa Data	30
3.6 Metode Pengumpulan Data	30
3.7 Variabel Penelitian	30
3.8 Hipotesis Penelitian	30
3.9 Diagram Alir Penelitian	31
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Pengujian Bahan – Bahan Dasar	32
4.1.1 Agregat Halus	32
4.1.2 Agregat Kasar	32
4.1.3 Semen	33
4.1.4 Air	33
4.1.5 Baja Tulangan	33
4.2 Pengujian Beton Segar	34
4.3 Pengujian Beton Keras	34
4.4 Lebar Retak Balok	36
4.4.1 Hasil Analisa Lebar Retak pada Balok Beton Bertulang	36
4.4.2 Pembahasan	38
4.4.2.1 Pengujian Hipotesis	38
4.4.2.2 Hasil Pengamatan dan Perhitungan	39

BAB V PENUTUP	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	42



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Batas Gradasi Agregat Halus	6
Tabel 1.2	Syarat Agregat Kasar	8
Tabel 2.1	Nilai Lebar Retak Ijin	26
Tabel 4.1	Pengujian Agregat Halus	32
Tabel 4.2	Pengujian Agregat Kasar	32
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja Tulangan	33
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Slump	34
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	35
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan dan Data Aktual	36
Tabel 4.7	Anova Satu Arah	39



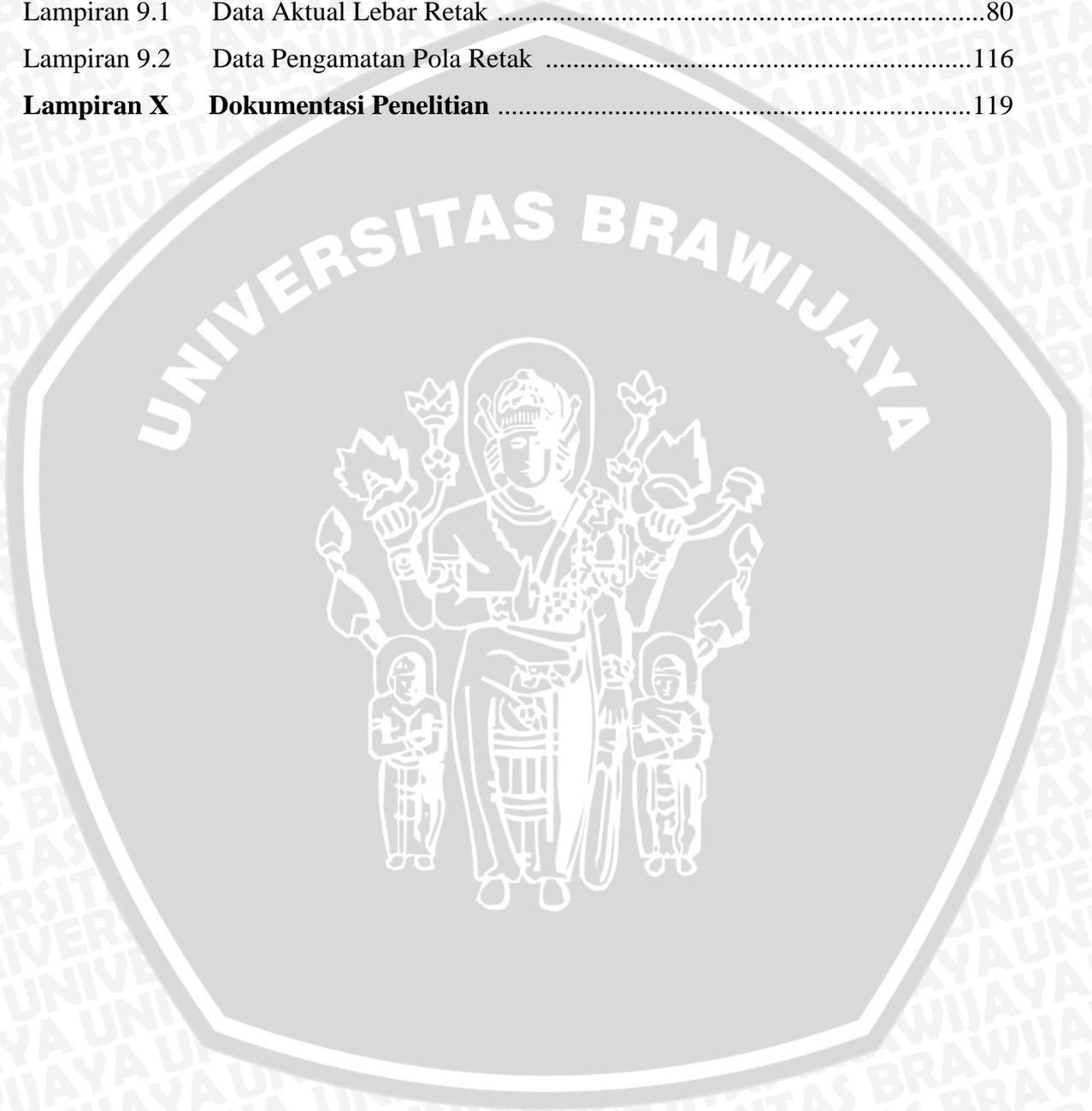
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok	13
Gambar 2.2	Balok Tegangan Ekuivalen Whitney	14
Gambar 2.3	Analisa Balok Bertulang Rangkap	17
Gambar 2.4	Grafik Hubungan Beban (P) dengan Lendutan (δ) Balok Beton Bertulang yang Didapat dari Hasil Pengamatan	19
Gambar 2.5	Diagram Tegangan dan Regangan pada Balok Taraf Praretak	20
Gambar 2.6	Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Pasca Retak	21
Gambar 2.7	Diagram Tegangan dan Regangan pada Taraf Balok Serviceability	21
Gambar 2.8	Retak Beton Akibat Gaya Tarik	23
Gambar 2.9	Retak Beton Akibat Momen	23
Gambar 2.10	Retak Beton Akibat Geser	24
Gambar 2.11	Retak Beton Akibat Torsi	24
Gambar 2.12	Retak Beton Akibat Tegangan Lekat	24
Gambar 2.13	Retak Beton Akibat Gaya Tekan	24
Gambar 3.1	Skema Pembebanan	29
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1	Grafik Hubungan $f'c$ rata-rata dengan Variasi Porsentase Pasir Karangasem	35
Gambar 4.2	Grafik Hubungan $P_{teoritis}$ dengan Variasi Porsentase Pasir Karangasem saat $w = 0,3$ mm	37
Gambar 4.3	Grafik Hubungan P_{aktual} dengan Variasi Porsentase Pasir Karangasem saat $w = 0,3$ mm	37
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan $P_{teoritis}$ dan P_{aktual} dengan Variasi Porsentase Pasir Karangasem saat $w = 0,3$ mm	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Hasil Pengujian Agregat dan Mix Desain	42
Lampiran 1.1	Tabel hasil analisa saring pasir Brandong	42
Lampiran 1.2	Grafik gradasi pasir Brandong	42
Lampiran 1.3	Tabel hasil analisa saring pasir Karangasem	43
Lampiran 1.4	Grafik gradasi pasir Karangasem	43
Lampiran 1.5	Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan p.Brandong	44
Lampiran 1.6	Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan p.Karangasem	44
Lampiran 1.7	Tabel hasil pengujian berat isi pasir Brandong	45
Lampiran 1.8	Tabel hasil pengujian berat isi pasir Karangasem	45
Lampiran 1.9	Tabel hasil pengujian kadar air pasir Brandong	46
Lampiran 1.10	Tabel hasil pengujian kadar air pasir Karangasem	46
Lampiran 1.11	Tabel hasil analisa saring kerikil	47
Lampiran 1.12	Grafik gradasi kerikil	47
Lampiran 1.13	Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar	48
Lampiran 1.14	Tabel hasil pengujian berat isi agregat kasar	48
Lampiran 1.15	Tabel hasil pengujian kadar air agregat kasar	48
Lampiran 1.16	Analisa mix desain	49
Lampiran II	Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja Tulangan	55
Lampiran 2.1	Tabel hasil uji tegangan leleh baja tulangan	55
Lampiran III	Hasil Pengujian Slump	56
Lampiran 3.1	Tabel hasil uji slump	56
Lampiran IV	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	57
Lampiran 4.1	Tabel Pengujian kuat tekan beton	57
Lampiran 4.2	Grafik Pengujian kuat tekan beton	57
Lampiran 4.3	Perhitungan Regresi Hasil Uji Kuat Tekan	58
Lampiran 4.4	Grafik Regresi Hasil Uji Kuat Tekan	58
Lampiran V	Perhitungan Mencari Nilai P saat Lebar Retak = 0,3 mm	59
Lampiran 5.1	Contoh Perhitungan Mencari Nilai P saat Lebar Retak (w) = 0,3 mm	59
Lampiran VI	Hasil Analisa Beban ($P_{teoritis}$) saat Lebar Retak = 0,3 mm	62
Lampiran 6.1	Hasil Analisis Beban ($P_{teoritis}$) saat Lebar Retak (w) = 0.3 mm	62

Lampiran VII Hasil Analisa Hipotesis	63
Lampiran 7.1 Perhitungan Statistik dengan Menggunakan Anova Satu Arah	63
Lampiran VIII Perhitungan nilai Pu Teoritis	65
Lampiran 8.1 Perhitungan nilai Pu Teoritis	65
Lampiran IX Data-data Penunjang	80
Lampiran 9.1 Data Aktual Lebar Retak	80
Lampiran 9.2 Data Pengamatan Pola Retak	116
Lampiran X Dokumentasi Penelitian	119



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
ρ	= Rasio penulangan tarik
\emptyset	= Diameter batang tulangan
ϵ_s	= Regangan baja tarik
ϵ_s'	= Regangan baja tekan
ϵ_c	= Regangan beton tarik
ϵ_c'	= Regangan beton tekan
ϵ_y	= Regangan baja leleh tarik
ϵ_y'	= Regangan baja leleh tekan
ϵ	= Regangan
β	= Faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekuivalen beton

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah suatu komposit dari bahan batu-batuan yang kuat sekali menerima tekanan tapi sangat lemah apabila menerima gaya tarik. Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat dengan menambahkan secukupnya bahan perekat yaitu semen serta air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. 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 mempehitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerjasama itu disebut sebagai beton bertulang.

Beton merupakan suatu jenis bahan struktur yang banyak digunakan diseluruh dunia. Hampir semua kehidupan sosial masyarakat pada jaman modern secara langsung maupun tidak langsung tergantung dari peranan beton sebagai material bangunan. Hal ini disebabkan bahan struktur beton mempunyai kuat tekan tinggi, mudah dibuat, dapat dibentuk sesuai cetakan, bisa diberi warna, bahan bakunya mudah didapatkan, perawatannya murah, tahan terhadap panas, dan mempunyai masa pelayanan yang cukup lama.

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. Bila suatu beton tidak mampu lagi menerima gaya tarik maka akan terjadi retak – retak yang makin lama makin dalam, sampai pada suatu ketika elemen beton tersebut akan pecah atau runtuh (collapse).

Agregat dalam campuran beton merupakan butiran alam alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi. Agregat biasanya menempati sekitar 75% dari isi total beton. Ada dua jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil).

Karena agregat menempati sekitar 75% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, akan tetapi juga

mempengaruhi ketahanan (durability). Besarnya prosentase agregat dalam campuran beton juga membuat kebutuhan agregat akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan untuk pembuatan struktur dari bahan beton. Pemakaian agregat yang terus – menerus dan semakin bertambah volumenya membuat persediaan bahan ini semakin berkurang dan akan menimbulkan dampak lingkungan terhadap daerah sekitarnya.

Sementara itu di Desa Lebih, Kecamatan Selat, Kabupaten Karangasem, Propinsi Bali terdapat pasir yang berasal dari letusan gunung Agung pada tahun 1963. Selama ini pasir tersebut hanya digunakan sebagai pasangan dinding dan plesteran oleh masyarakat sekitar dengan harga jual \pm Rp. 85.000,00 / colt dan Rp. 600.000,00 / truk.

Mencermati hal tersebut perlu dilakukan suatu penelitian tentang pasir tersebut agar dapat digunakan sebagai aplikasi dalam bidang teknik sipil. Sehingga diharapkan agar nantinya pasir tersebut memiliki nilai ekonomis yang tinggi bagi penduduk daerah Karangasem, Bali.

Sebagai penelitian akan diambil pengaruh agregat halus dari Karangasem, Bali terhadap lebar retak pada balok beton bertulang, sehingga perkuatan struktur yang ekonomis dan efisien dapat dicapai.

1.2 Perumusan 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 sebagai pengganti agregat halus terhadap lebar retak pada balok beton bertulang.”*

1.3 Pembatasan Masalah

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

1. Penelitian dan pengujian hanya dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya.
2. Semen yang digunakan adalah Semen Gresik tipe satu.
3. Air yang digunakan adalah air PDAM kotamadya Malang.
4. Agregat halus yang dipakai adalah pasir alami Brandong dari Malang yang dalam skripsi ini disebut Pasir Brandong dan pasir alami dari wilayah Karangasem, Bali (Pasir Karangasem).

5. Variasi campuran dilakukan dengan teknik penakaran volume campuran beton, dimana volume tersebut adalah hasil takaran berat pada rencana campuran.
6. Prosentase variasi agregat halus yang akan diteliti adalah : 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.
7. Pada variasi 100% Pasir Brandong akan direncanakan $f'c = 20$ MPa, dimana perbandingan campuran yang didapat akan digunakan untuk keempat variasi yang lain.
8. Penampang balok dikondisikan pada keadaan *Underreinforced*.
9. Benda uji balok yang digunakan adalah balok persegi dengan penampang 12 cm x 18 cm dan bentang 120 cm.
10. Hanya memakai tulangan $\varnothing 12$ mm dan $\varnothing 6$ mm.
11. Memakai luas tulangan tekan 20% dari luas tulangan tarik.
12. Pengujian dilakukan dengan dua beban terpusat yang simetris.
13. Hanya menguji lebar retak yang terjadi.
14. Tidak memperhitungkan pengaruh akibat susut dan rangkai.
15. Benda uji adalah balok beton bertulang.

1.4 Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan lebar retak pada balok beton bertulang akibat dari variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Propinsi Bali.

1.5 Kegunaan Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari skripsi ini yaitu untuk mengetahui perbedaan lebar retak pada balok beton bertulang akibat dari variasi penggunaan agregat halus dari Kabupaten Karangasem, Propinsi Bali, serta memberikan manfaat khususnya bagi masyarakat Kabupaten Karangasem dari hasil penelitian yang akan dilakukan.

BAB II

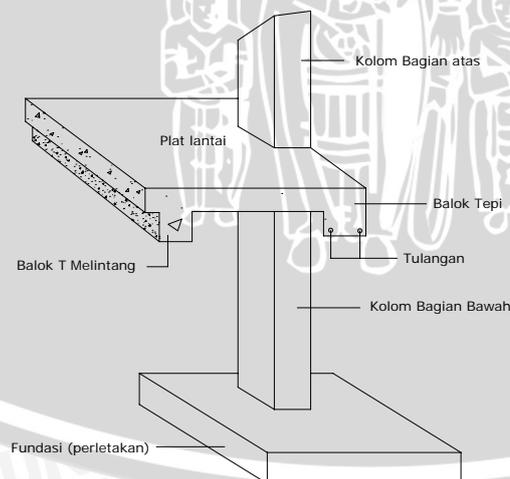
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Balok merupakan salah satu elemen penting dalam struktur, selain pelat dan kolom. Balok adalah elemen horizontal pada struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban, baik beban horisontal maupun vertikal, yang berupa beban mati maupun beban hidup ke rangka pendukung vertikal (kolom).

Balok pada struktur dibedakan menjadi dua, yaitu balok induk dan balok anak. Balok induk yaitu balok yang konstruksinya langsung ditopang oleh kolom, sedangkan balok anak konstruksinya menumpu pada balok induk. Beban yang diterima oleh balok anak akan diteruskan oleh balok induk menuju kolom. Dengan demikian dimensi balok induk lebih besar dari balok anak.

Pada umumnya elemen balok dicor secara monolit dengan pelat lantai, dan secara structural ditulangi dibagian bawah, atau dibagian atas dan bawah.. Karena balok dicor secara monolit dengan pelat lantai, maka elemen tersebut membentuk penampang balok T untuk tumpuan dan balok L untuk tumpuan tepi.



(Beton Bertulang:Edward G. Nawy, 1990: 61)

2.2 Beton Bertulang

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik.

Kombinasi antara beton dan baja menghasilkan aksi komposit (*composite action*) antara beton dengan baja tulangan yaitu suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Manfaat dari keserbagunaannya dicapai dengan mengkombinasikan segi-segi yang terbaik dari beton dan baja.

2.3 Semen dan Air

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah semen Portland atau Semen Portland Pozzolan, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton. Sedangkan air yang dipergunakan sebaiknya memakai air yang tidak mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik atau bahan-bahan lain yang bersifat merusak beton dan baja tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar bersih yang dapat diminum.

Nilai banding berat air dan semen untuk suatu adukan beton dinamakan water cement ratio (w.c.r). Untuk menghasilkan campuran adukan beton yang baik dan mudah dikerjakan, pada umumnya dipakai nilai water cement ratio (w.c.r) 0,40-0,60 tergantung mutu beton yang hendak dicapai. Semakin tinggi mutu beton yang ingin dicapai umumnya menggunakan nilai w.c.r rendah, sedangkan dilain pihak, untuk menambah daya workability (kelecekan, sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai w.c.r yang lebih tinggi (Struktur Beton Bertulang: Istimawan Dipohusodo).

2.4 Bahan Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, atau kerak tungku besi, yang dapat dipakai bersama – sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolis atau adukan.

Agregat merupakan komponen yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Agregat yang baik harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen rapat dan agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar. Seperti yang telah dijelaskan, proporsi campuran agregat dalam beton adalah sekitar 75%, sehingga pengaruh agregat akan menjadi lebih besar, semakin baik mutu agregat yang digunakan, secara linier dan tidak langsung akan menyebabkan mutu beton menjadi baik. Dalam hubungannya dengan kapasitas lentur, semakin tinggi kuat tekan beton yang dicapai maka semakin tinggi kemampuan balok untuk menahan beban.

2.4.1 Pemeriksaan Sifat-sifat Agregat Dalam Campuran Beton

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton. Untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan seperti yang diinginkan. Sifat-sifat ini harus diketahui.

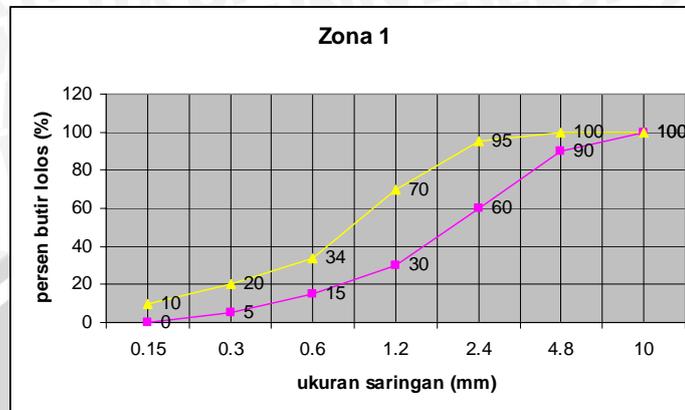
2.4.1.1 Gradasi

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus. SK.SNI T-15-1990-03 memberikan syarat-syarat untuk agregat halus yang dikelompokkan dalam empat zone (daerah) seperti dalam tabel 2.1. Tabel tersebut dijelaskan dalam gambar 2.2.a sampai 2.2.d untuk mempermudah pemahaman.

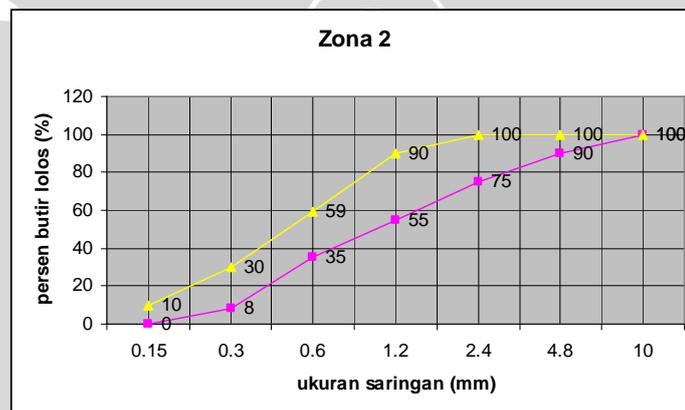
Tabel 1.1 Batas Gradasi Agregat Halus (BS)

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	Dec-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

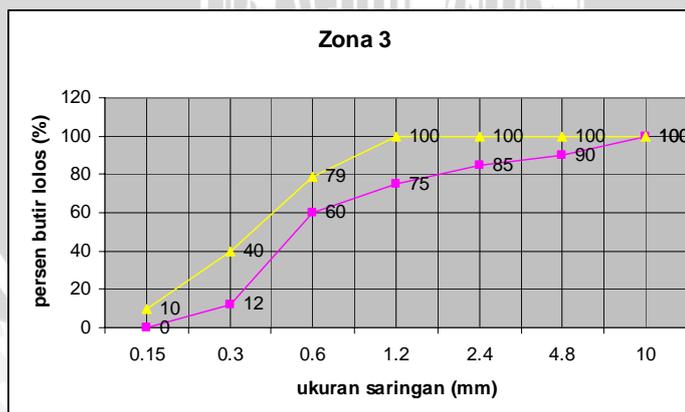
- Keterangan : - Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
 - Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
 - Daerah Gradasi III = Pasir Halus
 - Daerah Gradasi IV = Pasir Agak Halus



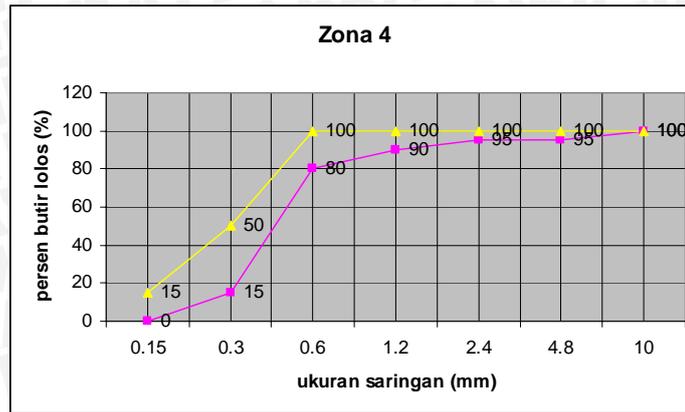
Daerah Gradasi Pasir Kasar



Daerah Gradasi Pasir Agak Kasar



Daerah Gradasi Pasir Halus



Daerah Gradasi Pasir Agak Halus

Menurut British Standard (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas-batas yang tercantum dalam tabel 2.3.

Tabel 1.2 Syarat Agregat Kasar (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan		
	40 mm	20 mm	12.5 mm
10	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

2.4.1.2 Kadar Air

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh angka prosentase kadar air yang dikandung agregat. Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis. (1). Kadar air kering oven, yaitu keadaan agregat yang dapat menyerap air dalam campuran beton secara maksimal (dengan kapasitas penuh). (2). Kadar air kering udara, yaitu keadaan agregat yang kering permukaan namun mengandung sedikit air di rongga-rongganya. Agregat ini juga dapat menyerap air walaupun tidak dengan kapasitas penuh. (3). Jenuh dengan kering permukaan, yaitu keadaan agregat yang permukaannya kering, namun semua rongga-rongganya terisi air. Didalam beton, agregat dengan kondisi seperti ini tidak akan menyerap ataupun menyumbangkan air kedalam campuran. (4). Basah, yaitu keadaan agregat dengan kandungan air yang berlebihan pada permukaannya. Agregat dengan kondisi ini akan menyumbangkan air kedalam campuran, sehingga bila tidak diperhitungkan akan merubah nilai rasio air semen didalam campuran. Dari keempat kondisi tersebut hanya dua kondisi yang sering dipakai yaitu kering oven dan keadaan



jenuh dengan permukaan kering. Kadar air biasanya dinyatakan dalam persen dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$KA = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100\%$$

Jika agregat basah ditimbang beratnya (W1), kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya konstan (biasanya selama 16-24 jam), kemudian ditimbang beratnya (W2), maka kadar airnya (KA) dapat diketahui.

2.4.1.3 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.

2.4.1.4 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**.

2.4.2. Agregat halus

Agregat halus untuk beton adalah berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5 mm (SK SNI S-04-1989-F).

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;

2.4.3 Agregat kasar

Agregat kasar untuk beton adalah agregat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi 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 (SK SNI S-04-1989-F).

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 (SK SNI S -04-1989-F) , antara lain :

- ◆ Sisa ayakan diatas 38 mm harus 0 % berat;
- ◆ Sisa ayakan diatas 4,8 mm harus berkisar antara 90 %–98% berat;
- ◆ Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.

2.5 Balok Terlentur

Lentur pada balok merupakan akibat adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban yang bekerja pada balok bertambah, maka tegangan dan regangan akan bertambah sebanding dengan kemampuan bahan berubah bentuk dan modulus elastisitas bahan sehingga melampaui kapasitasnya yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan balok, yaitu pada saat kekakuan batas balok sedemikian rupa sehingga tidak mempunyai kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur, kecuali untuk komponen struktur yang khusus seperti pondasi. Setelah itu faktor-faktor lain seperti kapasitas geser, defleksi, retak dan panjang penyaluran tulangan dianalisis sampai memenuhi persyaratan.

Pada desain ukuran penampangnya ditentukan terlebih dahulu untuk kemudian dianalisis untuk menentukan apakah penampang tersebut dapat dengan aman memikul beban luar yang diperlukan. Mendalami prinsip-prinsip dasar prosedur analisis akan sangat memudahkan penentuan desain penampang. Prinsip-prinsip mekanika dasar mengenai keseimbangan merupakan hal yang harus terpenuhi untuk setiap keadaan pembebanan.

Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linier, isotropis dan homogen maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus lentur balok, yaitu :

$$f = \frac{Mc}{I}$$

dimana ,

f = tegangan lentur

M = momen yang bekerja pada balok

c = jarak serat terluar terhadap garis netral, baik didaerah tekan maupun tarik

I = momen Inersia penampang balok terhadap garis netral

Pada keadaan batas balok beton bertulang bukan material yang homogen, dan tidak elastis sehingga rumus lentur balok tersebut tidak dapat digunakan untuk menghitung tegangannya. Tetapi prinsip-prinsip dasar mengenai teori lentur dapat digunakan pada analisis penampang.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut :

1. Distribusi regangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga

tulangan tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

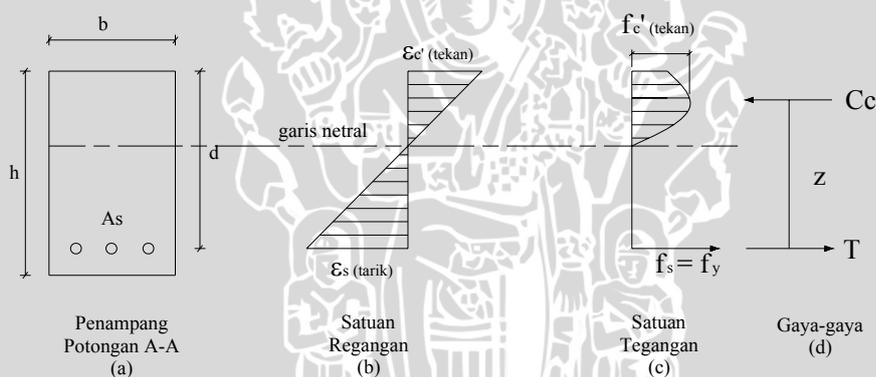
Agar keseimbangan gaya horizontal terpenuhi, gaya tekan C pada beton dan gaya tarik T pada tulangan harus saling mengimbangi, jadi :

$$C = T$$

(Beton Bertulang: Edward G. Nawi)

2.6 Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam

Berdasarkan pada anggapan-anggapan seperti yang telah dikemukakan diatas, 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 beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya-gaya dalam.



Gambar 2.1 Distribusi tegangan dan regangan pada balok
Sumber : Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

Seperti Tampak pada gambar 2.1 C_c adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan T adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah 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.

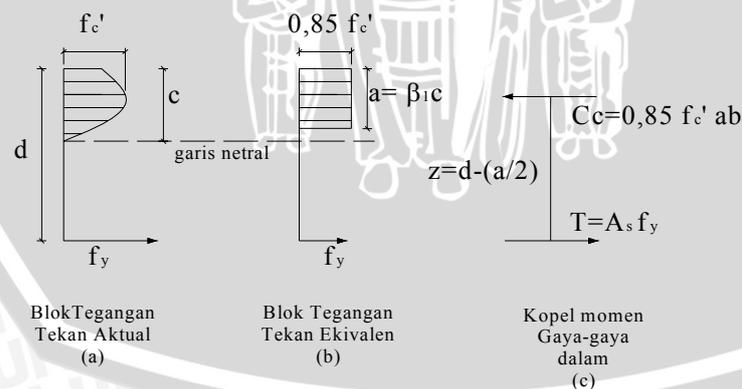
Momen tahanan dalam tersebut yang akan memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok pada

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 tekan C_c dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tekan terluar, sehingga jarak z dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi lengkung digantikan dengan bentuk ekuivalen yang sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

2.7 Balok Segiempat Ekuivalen

Untuk tujuan penyederhanaan Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan tekan beton ekuivalen. Standar SNI 03-2847-2002 pasal 10.2 ayat 7 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan, meskipun pada ayat 6 tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan bentuk-bentuk lain sepanjang hal tersebut merupakan pengujian. Dengan menggunakan distribusi tegangan bentuk persegi empat ekuivalen serta anggapan-anggapan kuat rencana yang diberlakukan, dapat ditentukan besarnya kuat lentur ideal M_n dari balok beton bertulang empat persegi bertulang tarik.



Gambar 2.2 Balok Tegangan Ekuivalen Whitney
Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

Berdasarkan bentuk empat persegi panjang, seperti tampak pada Gambar 2.2 intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar 0,85 dan dianggap bekerja

pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus :

$$a = \beta c \quad (2-1)$$

Dimana c = Jarak serat tekan terluar ke garis netral

β = Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat tekan beton.

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β diambil 0,85 untuk $f_c' < 30$ MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 MPa, harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65.

Dengan menggunakan anggapan bahwa baja tarik telah mencapai tegangan leleh (f_y), kemudian harus diperiksa sebagai berikut :

$$C_c = 0,85 f_c' ab \quad (2-2)$$

$$T = A_s f_y \quad (2-3)$$

$$\Sigma H = 0 \quad (2-4)$$

$$C_c = T \quad (2-5)$$

$$0,85 f_c' ab = A_s f_y \quad (2-6)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{(0,85 f_c') b} \quad (2-7)$$

$$M_n = T (d - a/2) \quad (2-8)$$

Dengan :

C_c = resultante gaya tekan

T = resultante gaya tarik

f_c' = tegangan tekan beton

f_y = tegangan luluh baja

M_n = momen nominal

2.8 Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok

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 momen tahanan (M_R) lebih kecil daripada momen rencana (M_U), balok direncanakan dengan menggunakan tulangan rangkap.

2. Apabila dalam perencanaan suatu balok didapat nilai rasio penulangan (ρ) lebih besar dari batas nilai rasio penulangan maksimum (ρ_{maks}) maka jika hal ini yang dihadapi, SNI 03-2847-2002 pasal 10.3 ayat 4 memperbolehkan penampang tulangan tarik lebih dari batas nilai ρ maksimum bersamaan dengan penambahan tulangan baja didaerah tekan penampang balok disertai penambahan tulangan tarik secara bersamaan. Atau tulangan baja tarik dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan dipasang didaerah tekan pada balok bertulangan rangkap.
3. Apabila suatu struktur menerima beban bolak-balik dari atas dan bawah maka struktur tersebut membutuhkan tulangan rangkap, hal ini didukung oleh SK SNI T-15-1990-03 pasal 3.14.3 ayat 2.1 dan ayat 2.2 yang memberikan batasan minimal pada pemakaian tulangan tarik maupun tekan pada penampang dengan penentuan tulangan tekan adalah $\frac{1}{2}$ dari tulangan tarik yang ada.
4. 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 dari penulangan tekan untuk mengendalikan lendutan adalah merupakan alasan yang umum dari penggunaan tulangan tekan bila digunakan metode kekuatan batas.

2.9 Analisis Kuat Lentur Balok Bertulang Rangkap

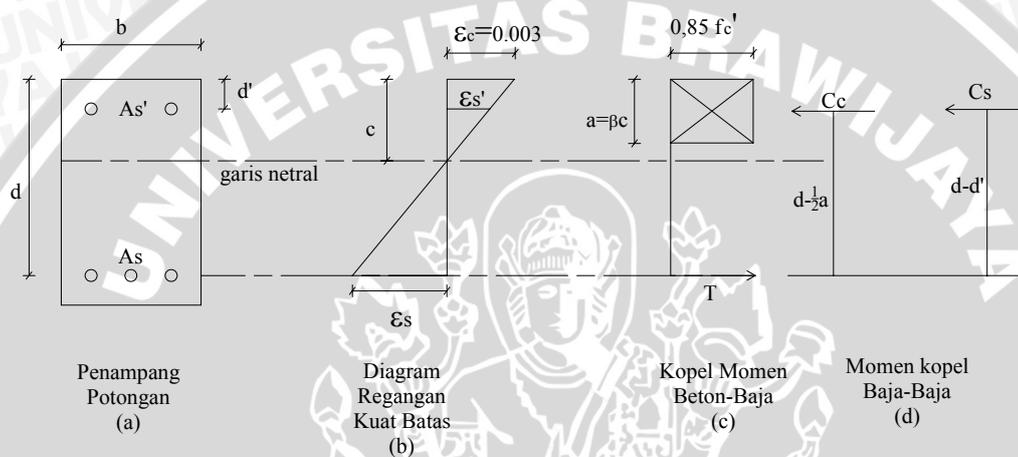
Pada analisis tulangan rangkap, anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk menganalisisnya pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja, hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan (f_s') merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan 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 (ϵ_y). Apabila regangan tekan baja (ϵ_s') sama atau lebih besar dari regangan lelehnya (ϵ_y) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja (f_s') diambil sama dengan tegangan lelehnya (f_y), sedangkan bila regangan tekan

baja yang terjadi kurang dan regangan lelehnya maka tegangan tekan baja $f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s$ ($E_s = \text{Modulus Elastisitas Baja } 2 \times 10^5$)

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

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 2.3 Analisa balok bertulang rangkap
Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

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

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-10)$$

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

$$T = C_c + C_s \quad (2-11)$$

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

Nilai a didapatkan dari persamaan berikut :

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 \cdot f_c') b} \quad (2-12)$$

Dengan menggunakan anggapan sama dengan yang dipakai pada balok bertulangan tarik saja tentang hubungan antara tinggi balok tegangan beton tekan

dengan garis netral penampang balok terhadap serat tepi tekan ($a=\beta.c$), maka letak garis netral dapat ditentukan dan selanjutnya digunakan untuk memeriksa regangan-regangan tulangan baja.

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2-13)$$

Pemeriksaan regangan-regangan untuk mengetahui apakah asumsi yang digunakan benar, yang berarti bahwa kedua penulangan baik tulangan tekan maupun tarik telah meleleh sebelum beton hancur seperti yang terlihat pada gambar 2.3. b.

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

$$\varepsilon_s' = \left(\frac{c - d'}{c} \right) 0,003 \quad (2-14)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d - c}{c} \right) 0,003 \quad (2-15)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2-16)$$

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

$$A_s f_y = (0,85 f'_c)ab + A_s' f_s' \quad (2-17)$$

$$f_s' = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) E_s \quad (2-18)$$

$$f_s' = 0,003 \left(1 - \frac{\beta.d'}{a} \right) E_s \quad (2-19)$$

$$A_s f_y = (0,85 f'_c)ab + A_s' 0,003 \left(1 - \frac{\beta.d'}{a} \right) E_s \quad (2-20)$$

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

$$M_n = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} a) + C_s \cdot (d - d') \quad (2-21)$$

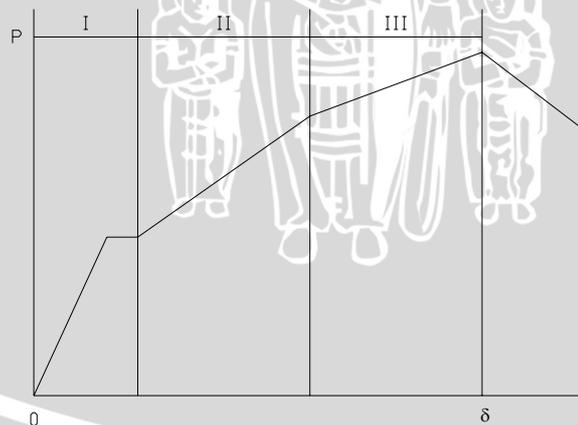
Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya kurang dari pada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan lemah. Keadaan batas penampang demikian

akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas $\varepsilon_c = 0,003$ dan regangan tarik baja tulangan ε_s yang melampaui regangan pada penulangan titik leleh ε_y . Penampang-penampang yang mengalami lentur harus direncanakan sedemikian rupa hingga tulangnya 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.

Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya lebih daripada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan kuat. Keadaan batas penampang demikian juga akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas $\varepsilon_c = 0,003$, tetapi dengan regangan tarik baja tulangan ε_s yang belum mencapai regangan pada permulaan titik leleh ε_y . Penampang-penampang kritis demikian tidak memiliki kemampuan rotasi yang besar, sehingga kemampuan konstruksi untuk mengadakan redistribusi momen dan gaya-gaya pada keadaan batas sangat terbatas, disertai dengan keruntuhan yang mendadak tanpa diawali oleh suatu peringatan.

2.10 Perilaku Keruntuhan Balok

Perilaku balok yang dibebani hingga runtuh dinyatakan dengan kurva hubungan antara beban dengan lendutan.



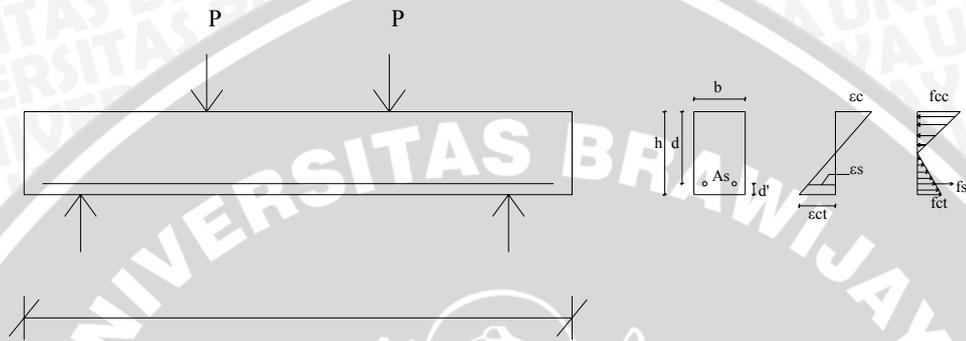
Gambar 2.4 Grafik Hubungan Beban (P) dengan Lendutan (δ) Balok Beton Bertulang yang Didapat dari Hasil Pengamatan.

Sumber : Nawy, E. G, 1990 : 256

Taraf keruntuhan menurut Grafik terbagi atas:

2.10.1 Taraf Praretak (Daerah I)

Pada daerah ini batang-batang struktural bebas retak. Kurva beban-lendutan pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil dari pada kekuatan tariknya akibat lentur dan besarnya berbanding lurus dengan regangan yang terjadi. Pada pembebanan yang terjadi, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan.

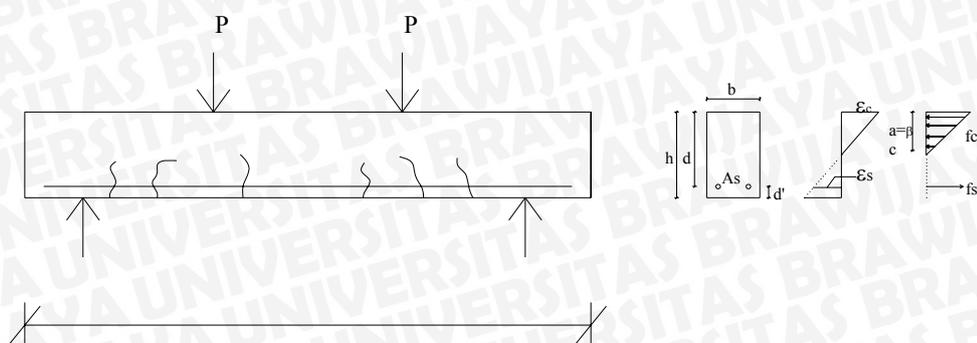


Gambar 2.5 Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Praretak.

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

2.10.2 Taraf Pasca retak (Daerah II)

Apabila beban ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai dan mulai terjadi retak-retak akibat tarik yang menjalar keatas sampai mendekati garis netral. Garis netral tersebut kemudian bergeser keatas diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi kekuatan tarik beton dikatakan sudah tidak ada lagi. Ini berarti kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban-penurunan didaerah ini semakin landai dibandingkan dengan taraf praretak. Pada taraf ini tegangan beton tidak mencapai kurang lebih sebesar $0.5 f'c$, maka hubungan antara tegangan dan regangan akan terus berlangsung mendekati hubungan yang berbanding lurus.

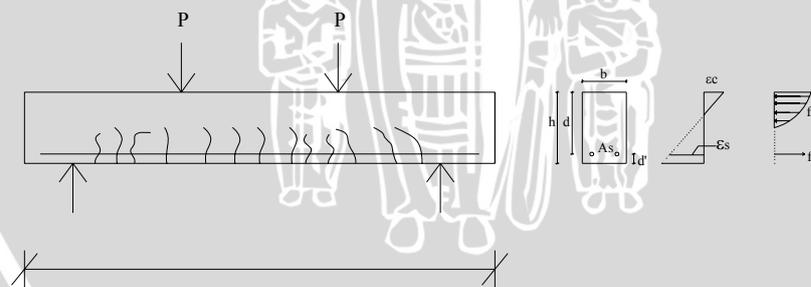


Gambar 2.6 Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Pasca Retak.

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

2.10.3 Taraf Serviceability dan Keadaan Limit (Daerah III)

Diagram beban-penurunan pada daerah III jauh lebih datar dari pada daerah I dan II yang diakibatkan oleh hilangnya kekakuan penampang karena retak yang sudah cukup banyak dan lebar disepanjang bentang. Apabila beban terus bertambah tegangan dan regangan juga akan naik dan hubungan antara keduanya tidak lagi berbanding lurus. Regangan tulangan baja ϵ_s , pada sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ϵ_y . Balok yang tulangan tariknya mulai leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini terus menerus mengalami defleksi, retaknya semakin terbuka sehingga garis netralnya mendekati serat tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan yang dapat mengakibatkan kehancuran total beton pada daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya kehancuran.



Gambar 2.7 Diagram Tegangan dan Regangan Pada Taraf Balok Serviceability.

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

2.11 Perilaku Retak Beton

Pada struktur bangunan, dewasa ini sering digunakan bahan-bahan kuat tinggi, termasuk penggunaan bahan beton dan baja tulangan. Apabila komponen struktur

terlentur penulangannya menggunakan baja kuat tinggi, agar mencapai tegangan tinggi diperlukan kemampuan regangan yang lebih besar pula baik bagi baja maupun beton. Bagian struktur beton pada daerah yang mengalami tarik umumnya memperlihatkan suatu fenomena retak pada permukaannya. Retak-retak ini tidak merugikan kecuali bila lebar retaknya menjadi melebihi batas, dalam hal ini keawetan beton terganggu karena kondisi tulangnya menjadi terbuka terhadap korosi.

Retak pada beton merupakan kontribusi dan awal dari kesan yang lebih parah lagi yaitu berlangsungnya proses korosi tulangan baja, rusaknya permukaan beton dan dampak kerusakan jangka panjang lainnya. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak merupakan hal penting dalam memperhitungkan kemampulayanan komponen struktur pembebanan jangka panjang.

2.12 Pengendalian Lebar Retak

Pada pengendalian suatu retak pada struktur beton bertulang, hal utama yang menjadi persoalan disini adalah bukan dari jumlah retak yang terbentuk melainkan lebar retak tersebut. Disini sangat diharapkan untuk membuat lebar retak sekecil mungkin dari sudut penampakan struktur, karena dapat menjadikan karat yang merugikan tulangan apabila tulangan berhubungan dengan udara karena besarnya lebar retak.

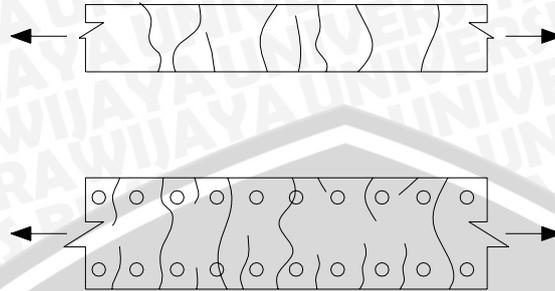
Dengan demikian prakiraan lebar retak dan lentur retak merupakan hal yang paling utama dalam *serviceability* untuk pembebanan jangka panjang. Metode-metode yang ada dewasa ini mengenai retak, sebagian besar didasarkan atas studi percobaan yang telah menunjukkan hal-hal berikut:

1. Lebar retak dapat dibuat menjadi sekecil mungkin melalui penggunaan tulangan ulir.
2. Lebar maksimum retak yang disebabkan oleh bekerjanya beban kurang lebih berbanding lurus dengan besar tegangan yang terjadi pada tulangan.
3. Lebar retak lentur dapat dibuat sekecil mungkin apabila tulangan tersusun dengan baik pada daerah tarik beton.
4. Lebar retak pada permukaan beton berbanding lurus dengan jumlah penutup beton yang disediakan untuk melindungi tulangan.

2.13 Tipe-tipe Retak

Tegangan yang disebabkan oleh beban, momen dan geser menyebabkan bermacam model kenampakan pola retak pada beton.

Beton yang mengalami gaya tarik akan mengalami retak sepanjang penampang melintang dengan jarak retak bervariasi antara 0,75 sampai 2 kali ketebalan beton.



Gambar 2.8 Retak Beton Akibat Gaya Tarik

Suatu beton yang mempunyai ketebalan yang besar dengan perkuatan tulangan di setiap permukaannya akan mempunyai lebar retak permukaan yang kecil pada lapisan yang terdapat perkuatan. Pertemuan retak masing-masing sisi terjadi ditengah-tengah.

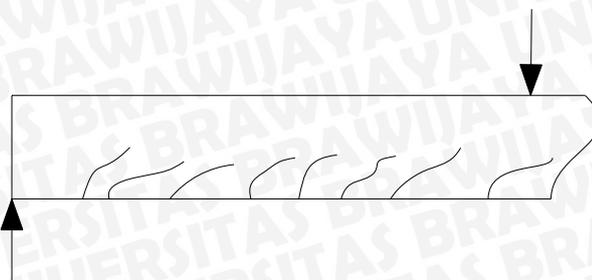
Beton bertulang yang mengalami momen akan mengalami retak seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.9 Retak Beton Akibat Momen

Dalam hal ini terjadi retak vertikal yang arahnya menuju pada titik beban. Pada balok yang tinggi (3 – 4 ft) jarak retak relatif lebih dekat dengan sebagian retak akan bergabung. Retak-retak yang terjadi pada 1/3 tinggi balok adalah retak lentur.

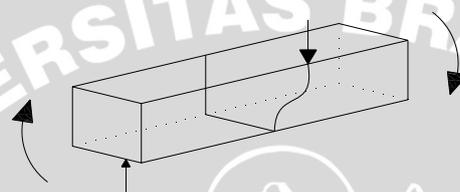
Retak yang disebabkan oleh geser mempunyai karakteristik kenampakan yang miring.



Gambar 2.10 Retak Beton Akibat Geser

Retak-retak ini naik setinggi garis netral beton dan kadang-kadang juga sampai pada daerah tekan.

Retak akibat torsi murni akan mengelilingi beton. Pada beton normal yang juga mengalami momen dan geser keretakan cenderung kelihatan pada permukaan dimana terjadi tegangan geser yang menyebabkan penambahan torsi.



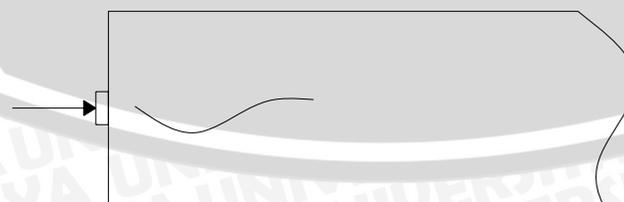
Gambar 2.11 Retak Beton Akibat Torsi

Retak juga bisa terjadi disepanjang tulangan karena pada daerah ini terjadi tegangan yang disebabkan interaksi beton pengikat dengan baja tulangan.



Gambar 2.12 Retak Beton Akibat Tegangan Lekat

Beban terpusat juga dapat mengakibatkan retak belah atau “retak pecah”



Gambar 2.13 Retak Beton Akibat Gaya Tekan

2.14 Evaluasi Lebar Retak

Lebar retak yang sesungguhnya di dalam struktur beton bertulang akan bervariasi diantara batas-batas yang tidak dapat ditaksir secara tepat, jadi syarat

pembatasan yang harus dipenuhi adalah bahwa kemungkinan lebar maksimum melampaui suatu harga yang memuaskan adalah kecil. Harga maksimum yang dapat diterima dianjurkan sebesar 0,3 mm pada setiap posisi pada permukaan beton dalam keadaan keliling yang normal dan dianjurkan harga yang lebih rendah untuk bagian konstruksi yang penting seperti pada konstruksi penahan air.

Pada evaluasi lebar retak ini, untuk meramalkan besar lebar maximum dan retak yang terjadi pada permukaan tarik suatu gelagar, dipakai rumus:

$$w = 11 \times 10^{-6} \beta f_s (d_c \cdot A)^{1/3} \quad (2-36)$$

(SK SNI 03-284-2002 pasal 10.6 ayat 4)

dimana:

w = Lebar retak maximum dan retak yang diberi satuan dalam seperseribu inch. (0.001 inch / 0.0254 mm)

f_s = Tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beban kerja yg apabila tidak dihitung dapat digunakan $0.6f_y$

β = Perbandingan jarak dan permukaan tarik dari pusat tulangan terhadap sumbu netral

$$\beta = \frac{h - c}{d - c} (h - c) \text{ dengan } \beta = 1.2$$

d_c = Tebal selimut beton sampai pusat tulangan

A = Luas penampang beton yang mengelilingi suatu tulangan.

Apabila kuat leleh rencana baja f_y lebih dari 300 MPa, harus diperhatikan dan dilakukan pemeriksaan secara khusus dalam rangka menjamin bahwa letak atau susunan batang tulangan didaerah tarik telah tersebar secara merata. Untuk balok atau plat dengan penulangan satu arah, pemeriksaan penyebaran letak batang tulangan baja dilakukan dengan menghitung bilangan z , sebagai berikut:

$$z = f_s (d_c \cdot A)^{1/3} \quad (2-37)$$

SK SNI 03-284-2002 pasal 10.6 ayat 4

dimana:

z = bilangan sebagai batas penyebaran penulangan lentur dengan batas maksimum 30 MN/m bagi struktir terlindung dan 25 MN/m untuk struktur terbuka yang terpengaruh oleh cuaca luar.

Pedoman ACI menentukan bahwa z tidak melampaui 175 untuk permukaan yang berada di dalam ruangan dan 145 untuk permukaan yang berada diluar ruangan. Harga batas ini masing-masing berhubungan dengan lebar retak maksimum sebesar 0.016 dan 0.813 inch.

2.15 Lebar Retak Ijin

Lebar retak maksimum yang diizinkan pada suatu elemen struktur bergantung pada fungsi khusus elemen tersebut dan kondisi lingkungan elemen struktur tersebut. *ACI Commitee 224* memberikan petunjuk mengenai lebar retak maksimum yang diizinkan untuk berbagai kondisi lingkungan.

Tabel 2.1 Nilai Lebar Retak Ijin

No	Kondisi lingkungan	Lebar retak	
		Inch	mm
1	Udara kering/membran terlindung	0,016	0,41
2	Udara lembab tanah	0,012	0,3
3	Senyawa kimia	0,007	0,18
4	Air laut basah/kering	0,006	0,15
5	Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan)	0,004	0,10

Sumber : Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, G. Nawy, Edward

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dimulai bulan September tahun 2006.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Satu set ayakan
2. Timbangan sentesimal kekuatan 150 kg
3. Sendok semen
4. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*)
5. Satu set alat uji slump
6. Cetakan balok dengan ukuran 12 cm x 18 cm x 140 cm
7. Cetakan Silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
8. Portal pengujian
9. Mesin uji tekan beton
10. Proving ring pembaca beban
11. Alat pengukur besarnya lendutan yang terjadi (*dial gauge*)
12. Mikroskop Crack Detector untuk mengamati lebar retak

Bahan-bahan yang digunakan adalah :

1. Semen gresik tipe I
2. Agregat halus (Pasir Brandong) dan Pasir Karangasem
3. Agregat kasar (batu pecah/kerikil) yang didapat di pasaran
4. Air bersih dari PDAM kota Malang
5. Tulangan baja diameter 12 mm dan 6 mm (nilai f_y didapat dari uji tarik baja)

3.3 Prosedur Pembuatan Benda Uji

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

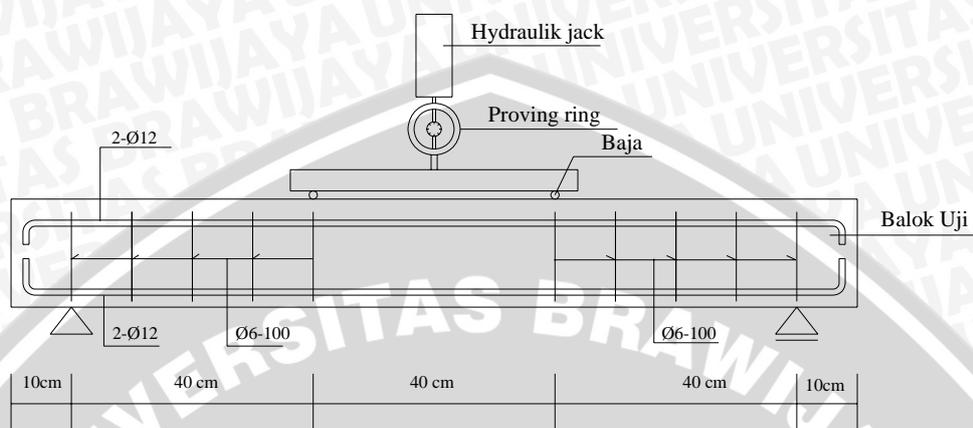
Benda uji	Balok ukuran 12 x 18 x 140 cm				
	0%	25%	50%	75%	100%
% Pasir Karangasem terhadap Pasir Brandong	0%	25%	50%	75%	100%
Jumlah benda uji (buah)	3	3	3	3	3
Total benda uji (buah)	15				

Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji adalah :

1. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.
2. Analisa bahan meliputi agregat halus dan kasar.
 - Semen yang digunakan semen gresik Tipe I (satu) dan tidak dilakukan pengujian khusus pada bahan ini.
 - Air yang digunakan tidak diuji secara khusus (berasal dari air bersih PDAM kota Malang yang tersedia di laboratorium).
 - 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. 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 (Ø 12 mm dan Ø 6 mm).
6. Pencampuran bahan beton dengan menggunakan mesin pencampur beton (*Concreting Mixer*).
7. Pengujian Slump.
8. Memasukkan campuran adukan beton (*mix design*) ke dalam bekisting.
9. Perawatan (*curing*).
10. Pelepasan bekisting.

3.4 Prosedur Penelitian

Pengujian dilakukan setelah beton berumur 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 bekerja 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 maksimum, saat balok uji mengalami keruntuhan.

Adapun tahapan-tahapan pengujian sebagai berikut :

1. Pengujian dan pengamatan beton dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari.
2. Pengujian kuat tekan beton (silinder) dan berat volume campuran.
3. Pengujian tegangan baja tulangan.
4. 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.
5. Benda uji 1 (jumlah=3) dibebani secara bertahap sampai mengalami keruntuhan, (retak menjalar ke daerah tekan) didapat beban maksimum dari pembacaan *Proving ring*.
6. Pembacaan pada alat *dial gauge* untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi pada balok yang dibebani secara bertahap sampai mengalami keruntuhan.
7. Pengamatan dan pengukuran lebar retak.
8. Analisis hasil pengujian.

3.5 Analisa Data

Pada Penelitian ini dicoba dibandingkan antara beban w teoritis dengan hasil penelitian. Beban w secara teoritis didapat dari perhitungan berikut.

1. Benda uji dibebani sampai retak ijin maksimum sehingga didapatkan P_{kerja} maksimum untuk lebar retak.
2. Berdasarkan hasil perhitungan teoritis didapatkan :

$$w = 11 \times 10^{-6} \beta_f (d.A)^{1/3}$$

3.6 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data benda uji dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 15 balok dengan prosentase penggunaan Pasir Karangasem yang bervariasi terhadap Pasir Brandong. Pengambilan data dilakukan dengan mencari besarnya beban yang mampu ditahan masing-masing benda uji. Besarnya beban yang mampu ditahan adalah pada saat benda uji tersebut runtuh. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil pengukuran beban P dan lebar retak yang terjadi akibat variasi penggunaan Pasir Karangasem tersebut.

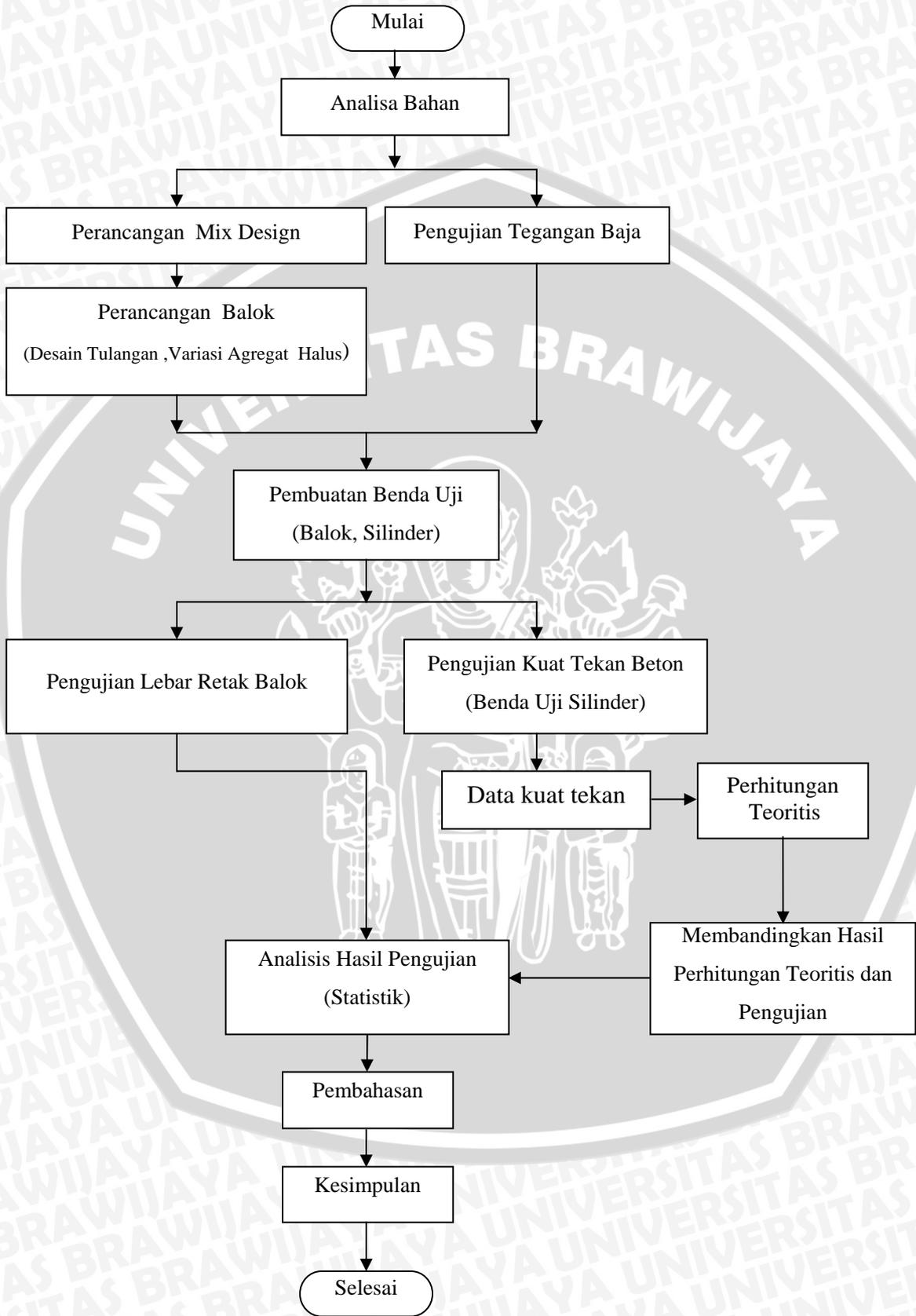
3.7 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas (*independent variable*) : variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebas adalah prosentase penggunaan Pasir Karangasem terhadap Pasir Brandong.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah P dan lebar retak.

3.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesa awal yang digunakan adalah variasi penggunaan Pasir Karangasem terhadap Pasir Biasa (Pasir Brandong) akan mempengaruhi lebar retak yang terjadi pada balok beton bertulang.

3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir 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 ³)	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	7,7569
Berat Jenis SSD	2.6882
Berat Isi (gr/cm ³)	1.54575
Absorpsi (%)	3.0291

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)
Variasi I 100 % Brandong	I	0.48	10.5
	II	0.48	11
Variasi II 75 % Brandong 25 % Karangasem	I	0.48	10.5
	II	0.48	9.5
Variasi III 50 % Brandong 50 % Karangasem	I	0.48	12
	II	0.48	10.5
Variasi IV 25 % Brandong 75 % Karangasem	I	0.48	10
	II	0.48	11
Variasi V 100 % Karangasem	I	0.48	10.5
	II	0.48	12

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

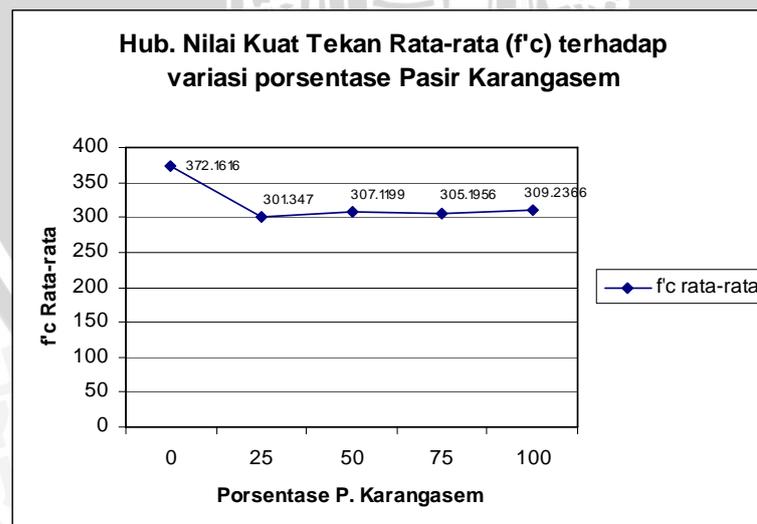
4.3 Pengujian Beton Keras

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 ²)
Variasi I 100 % Brandong	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	
Variasi II 75 % Brandong 25 % karangasem	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	
Variasi III 50 % Brandong 50 % karangasem	I	12	546	55672.5515	315.202	307.1199
	II	12	512	52205.7626	295.574	
	III	11.9	538	54856.8364	310.5836	
Variasi IV 25 % Brandong 75 % Karangasem	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	
Variasi V 100 % Karangasem	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 Karangasem

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.4 Lebar Retak Balok

Dalam menganalisa lebar retak, akan dicari nilai P (beban) pada saat lebar retak ijin (0,3 mm) dengan menggunakan metode elastis. Nilai yang telah didapat akan dibandingkan dengan data aktual.

4.4.1 Hasil Analisa Lebar retak pada Balok Beton Bertulang

Untuk mendapatkan nilai lebar retak pada balok beton bertulang digunakan alat *Microskop Crack Detector*.

Hasil perhitungan dari hubungan antara variasi tulangan tekan dengan besarnya lebar retak pada saat 0.03 cm dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan dan Data Aktual Nilai P Pada Saat $w = 0,3$ mm

% penambahan pasir karangasem terhadap Pasir Brandong	BALOK	$P_{Teoritis}$ Kg	P_{Aktual} Kg	P_{Aktual} Rata-Rata Kg	Keterangan
0%	I	3851.857	2970	3186	Lebar Retak Tercapai
	II		3618		Lebar Retak Tercapai
	III		2970		Lebar Retak Tercapai
25%	I	3264.016	2754	2646	Lebar Retak Tercapai
	II		2430		Lebar Retak Tercapai
	III		2754		Lebar Retak Tercapai
50%	I	3313.043	2970	3114	Lebar Retak Tercapai
	II		2592		Lebar Retak Tercapai
	III		3780		Lebar Retak Tercapai
75%	I	3296.362	3024	2880	Lebar Retak Tercapai
	II		3132		Lebar Retak Tercapai
	III		2484		Lebar Retak Tercapai
100%	I	3330.443	2376	2808	Lebar Retak Tercapai
	II		3186		Lebar Retak Tercapai
	III		2862		Lebar Retak Tercapai

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Jika hasil diatas digrafikkan akan menghasilkan grafik sebagai berikut :



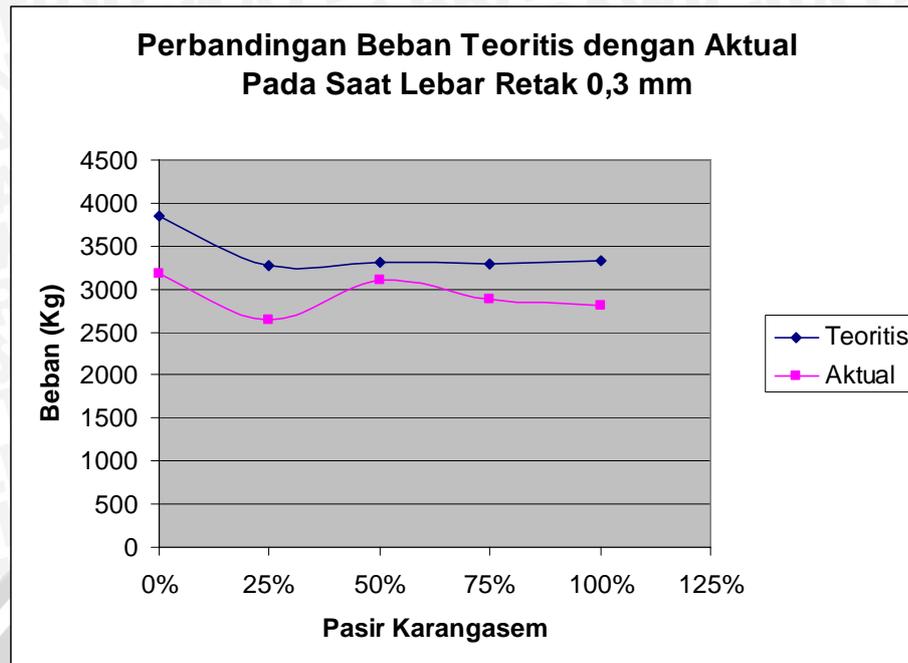
Gambar 4.2 Grafik Hubungan P_{teoritis} dengan % Pasir Karangasem saat $w = 0.3$ mm

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.3 Grafik Hubungan P_{Aktual} dengan % Pasir Karangasem saat $w = 0.3$ mm

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan P_{Teoritis} dan P_{Aktual} dengan % Pasir Karangasem saat $w = 0.3$ mm

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.4.2. Pembahasan

4.4.2.1. Pengujian Hipotesis

Dari data yang diperoleh, selanjutnya untuk nilai beban (P) saat lebar retak (0,3 mm) dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase tulangan terhadap kuat lebar retak 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 persentase pasir Karangasem terhadap lebar retak pada balok beton bertulang.

H_1 : Hipotesa alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variasi persentase pasir Karangasem terhadap lebar retak pada balok beton bertulang.

Dari analisis didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.7 Anova Satu Arah

Sumber	d.b	JK	RK	F _{hitung}	F _{tabel}
Factor	5	592142.4	148035.6	0.892	3.478
Error	10	1660176	166017.6		
Total	15	2252318.4			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan analisa statistik diatas didapatkan bahwa $F_{hitung} < F_{tabel}$, ini menunjukkan bahwa H_0 diterima dan H_1 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan dari variasi penggunaan pasir Karangasem terhadap lebar retak pada balok beton bertulang.

4.4.2.2. Hasil Pengamatan dan Perhitungan

Dari grafik 4.3 teoritis dapat dilihat bahwa pada penambahan pasir Karangasem sebesar 25% pada saat lebar retak (w) 0,3 mm terjadi penurunan beban (P) dari 3851.857 kg menjadi 3264.016 kg. Selanjutnya pada variasi 50%,75% dan 100% beban yang didapat relatif tidak ada perbedaan (linier) yaitu sebesar 3313.043 kg, 3296.362 kg,dan 3330.443 kg.

Dari hasil uji laboratorium (aktual), didapat hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan (teoritis). Hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan $P_{teoritis}$ dan P_{aktual} saat $w = 0,3$ mm. Saat penambahan pasir Karangasem sebesar 50% terjadi peningkatan P sebesar 468 kg (dari 2646 kg menjadi 3114 kg). Selanjutnya pada penambahan pasir Karangasem sebesar 75% dan 100% terjadi penurunan P , beban (P) yang didapat saat $w = 0,3$ mm masing-masing sebesar 2880 kg dan 2808 kg.

Pada perbandingan perhitungan teoritis dan data aktual dapat dilihat kemiripan bahwa pada saat variasi 25% terjadi penurunan beban. Selanjutnya pada saat variasi 50 %, 75% dan 100% beban yang didapat tidak berbeda jauh.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan perhitungan yang telah diuraikan di bab sebelumnya, maka untuk nilai beban pada saat lebar retak 0,3 mm pada balok tumpuan sederhana sendi-roll dengan variasi penggunaan pasir Karangasem sebagai pengganti pasir Brandong terhadap lebar retak dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Balok beton bertulang yang mampu menahan beban terbesar pada saat lebar retak 0,3 mm adalah balok variasi I (0% pasir Karangasem, 100% pasir Brandong).
2. Dilihat dari hasil analisa varian satu arah, tidak ada pengaruh dari variasi penggunaan pasir Karangasem terhadap lebar retak.
3. Lebar retak maksimum terjadi pada balok variasi II (25% pasir Karangasem, 75% pasir Brandong).

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 baik.
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, demikian juga dengan kondisi perawatan.
4. Pengendalian mutu beton perlu diperhatikan guna mendapatkan balok yang memiliki perlakuan sama.
5. 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



LAMPIRAN I

Hasil Pengujian Agregat Dan Mix Desain

Lampiran 1.1 Tabel hasil analisa saring pasir Brandong

Lubang ayakan		Berat tertahan (gr)	Prosentase tertahan (%)	Kumulatif tertahan (%)	Kumulatif lolos (%)
no	mm				
3/8"	9.5	0	0,00	0,00	100,00
4	4,75	30.5	3.05	3.05	96.95
8	2,36	72.5	7.25	10,3	89.7
16	1,18	211.5	21.15	31.45	68.55
30	0,6	332.5	33.25	64.7	35.3
50	0,25	238,5	23.85	88.55	11.45
100	0,15	87	0.87	97.25	2.75
200	0.075	24.5	2.45	99.7	0.3
PAN		3	0.3	100,00	0,00
Jumlah		1000	100	295.3	

Catatan : Standar ASTM C33 -92 . Modulus kehalusan agrgat halus : 2.3 – 3.1

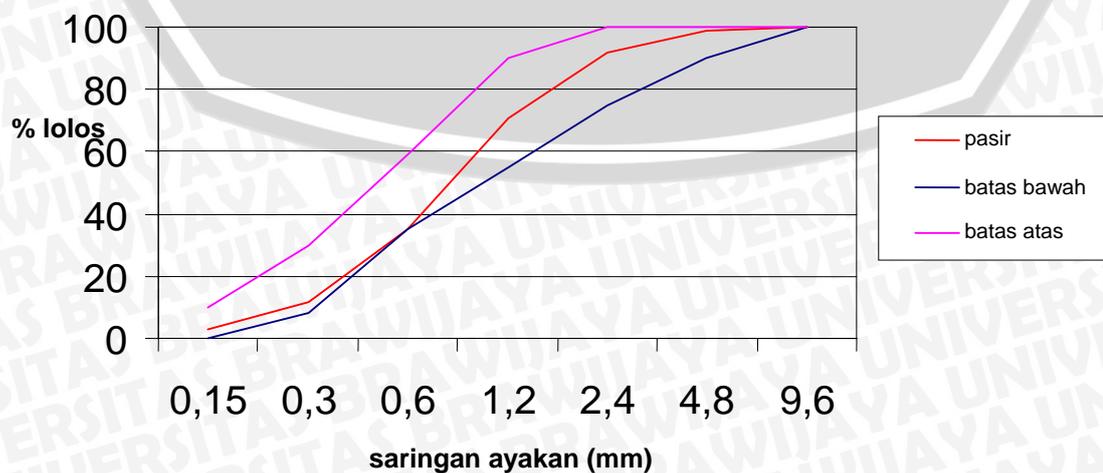
Modulus kehalusan = $295,3/100 = 2,953$

Berarti agregat halus memenuhi standart ASTM

- Kadar lempung (berat butiran pasir lebih dari 0.075 mm)
= $(3/1000) = 0.3 \% < 5\%$, OK
- Agregat halus masuk ke dalam zona 2

Lampiran 1.2 Grafik gradasi pasir Brandong

Grafik Lengkung Ayakan Pasir Zona II



Lampiran 1.3 Tabel hasil analisa saring pasir Karangasem

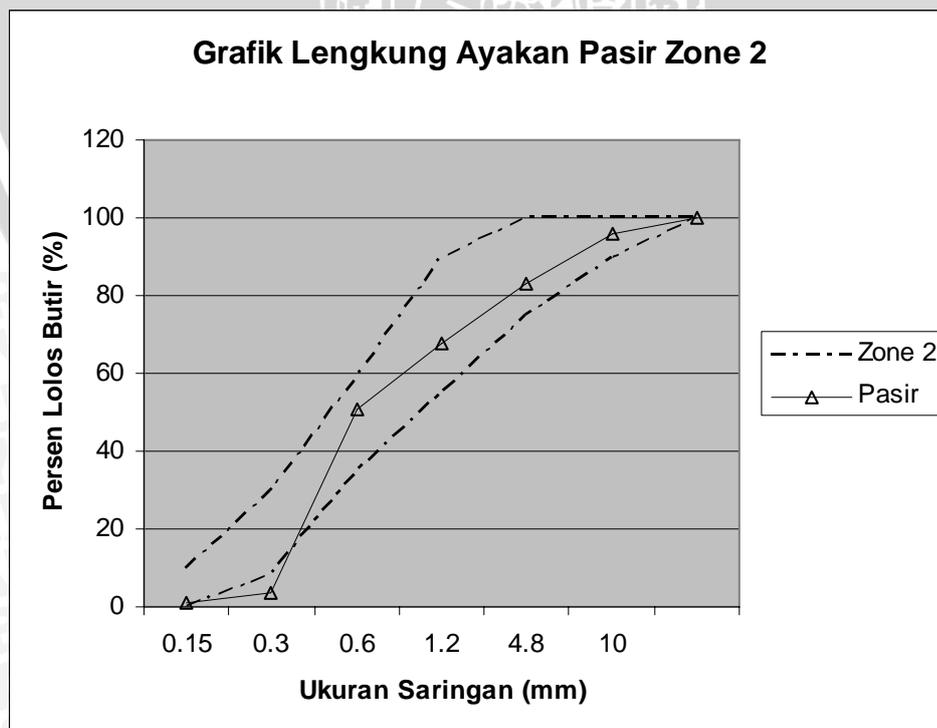
Lubang ayakan		Berat tertahan (gr)	Prosentase tertahan (%)	Kumulatif tertahan (%)	Kumulatif lolos (%)
No	mm				
3/8"	9.5	0	0.00	0.00	100.00
4	4,75	29.4	3.02	3.02	96.98
8	2,36	124.9	12.82	15.84	84.16
16	1,18	150.9	15.49	31.33	68.67
30	0,6	166.9	17.13	48.46	51.54
50	0,25	457.1	46.92	95.38	4.62
100	0,15	24.3	2.49	97.88	2.12
200	0.075	16.5	1.69	99.57	0.43
PAN		4.2	0.43	100.00	
Jumlah		974.2	97.88	291.90	

Catatan : Standar ASTM C33 –92 . Modulus kehalusan agrgat halus : 2.3 – 3.1

Modulus halus agregat halus : $291.9/100 = 2.919$

Berarti agregat halus memenuhi standart ASTM

- Kadar lempung (berat butiran pasir lebih dari 0.075 mm)
= $(4,2/974.2) * 100\% = 0.431\% < 5\%$, OK
- Agregat halus masuk ke dalam zona 2

Lampiran 1.4 Grafik gradasi pasir Karangasem

Lampiran 1.5 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pasir Brandong

Keterangan	Nilai
Berat batu pasir jenuh kering permukaan (<i>SSD</i>) B_j (gr)	500
Berat pasir kering oven B_k (gr)	495
Berat picnometer + air B (gr)	676.5
Berat picnometer + air + pasir (<i>ssd</i>) B_t (gr)	991.2
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Grafity</i>) $B_k / (B+500-B_t)$	2.671
Berat pasir jenuh kering permukaan (<i>Bulk Specific Grafity Saturated</i>) $500 / (B+500-B_t)$	2.698
Berat jenis semu (Apparent spesific Grafity) $B_k / (B+B_k-B_t)$	2.745
Penyerapan (%) Absorption $(500 - B_k)/B_k \times 100\%$	1.010

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Lampiran 1.6 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pasir Karangasem

Keterangan	Nilai
Berat batu pasir jenuh kering permukaan (<i>SSD</i>) B_j (gr)	500
Berat pasir kering oven B_k (gr)	494.5
Berat picnometer + air B (gr)	676.5
Berat picnometer + air + pasir (<i>ssd</i>) B_t (gr)	988.7
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Grafity</i>) $B_k / (B+500-B_t)$	2.633
Berat pasir jenuh kering permukaan (<i>Bulk Specific Grafity Saturated</i>) $500 / (B+500-B_t)$	2.662
Berat jenis semu (Apparent spesific Grafity) $B_k / (B+B_k-B_t)$	2.713
Penyerapan (%) Absorption $(500 - B_k)/B_k \times 100\%$	1.112

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Agregat memenuhi syarat **A.M Neville** “properties of Concrete” karena berat jenis permukaan agregat sebesar 2,698 dan 2,66 berada diantara 2,60 – 3,0. Agregat juga memenuhi persyaratan SKSNI T-15-1990-03 pada Bab IV Pengerjaan Campuran Beton, karena persentase penyerapan agregat sebesar $1.010 < 3,10 \%$ dan $1,112 \% < 3,10\%$.

Lampiran 1.7 Tabel hasil pengujian berat isi pasir Brandong

No	Keterangan	Satuan	A	B
1	Berat takaran	gram	1067.5	1067.5
2	Berat takaran + air	gram	3067.5	3067.5
3	Berat air = 2 – 1	gram	2000	2000
4	Volume air = (3) / 1	cm ³	2000	2000
Cara			Rodded	Shoveled
5	Berat takaran	gram	1067.5	1067.5
6	Berat takaran + pasir	gram	4512.5	4512.5
7	Berat pasir = 6 – 5	gram	3445	3477
8	Berat isi pasir = 7 / 4	gr/ cm ³	1,7223	1,739
9	Berat isi pasir rata-rata	gr/ cm ³	1,7305	

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Catatan : ASTM standar C29 – C78 berat isi agregat halus > 1,5 gr/cc

Lampiran 1.8 Tabel hasil pengujian berat isi pasir Karangasem

No	Keterangan	Satuan	A	B
1	Berat takaran	gram	1067.5	1067.5
2	Berat takaran + air	gram	3067.5	3067.5
3	Berat air = 2 – 1	gram	2000	2000
4	Volume air = (3) / 1	cc	2000	2000
Cara			Rodded	Shoveled
5	Berat takaran	gram	1067.5	1067.5
6	Berat takaran + pasir	gram	4187	4044
7	Berat pasir = 6 – 5	gram	3119.5	2976.5
8	Berat isi pasir = 7 / 4	gr/ cm ³	1.559	1.488
9	Berat isi pasir rata-rata	gr/ cm ³	1.5240	

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Catatan : ASTM standar C29 – C78 berat isi agregat halus > 1,5 gr/cm³

Lampiran 1.9 Tabel hasil pengujian kadar air pasir Brandong

NOMOR CONTOH			No. 7	No. 12
NOMOR TALAM			A	B
1	Berat talam + contoh basah	(gr)	113.300	134.000
2	Berat talam + contoh kering	(gr)	112.167	132.660
3	Berat air = (1) - (2)	(gr)	1.133	1.340
4	Berat talam	(gr)	13.300	34.000
5	Berat contoh kering = (2) - (4)	(gr)	98.867	98.660
6	Kadar air = (3) / (5)	(%)	1.146	1.358
7	Kadar air rata-rata	(%)	1.252	

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Pasir memenuhi PBI 1971, karena mempunyai kadar air yang kurang dari 5 %

Lampiran 1.10 Tabel hasil pengujian kadar air pasir Karangasem

NOMOR CONTOH			No. 7	No. 12
NOMOR TALAM			A	B
1	Berat talam + contoh basah	(gr)	88.0	93.0
2	Berat talam + contoh kering	(gr)	85.1	90.4
3	Berat air = (1) - (2)	(gr)	2.9	2.6
4	Berat talam	(gr)	32.6	37.7
5	Berat contoh kering = (2) - (4)	(gr)	52.5	52.7
6	Kadar air = (3) / (5)	(%)	5.524	4.934
7	Kadar air rata-rata	(%)	5.229	

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Pasir kurang memenuhi PBI 1971, karena mempunyai kadar air yang lebih dari dari 5 %

Lampiran 1.11 Tabel hasil analisa saring kerikil

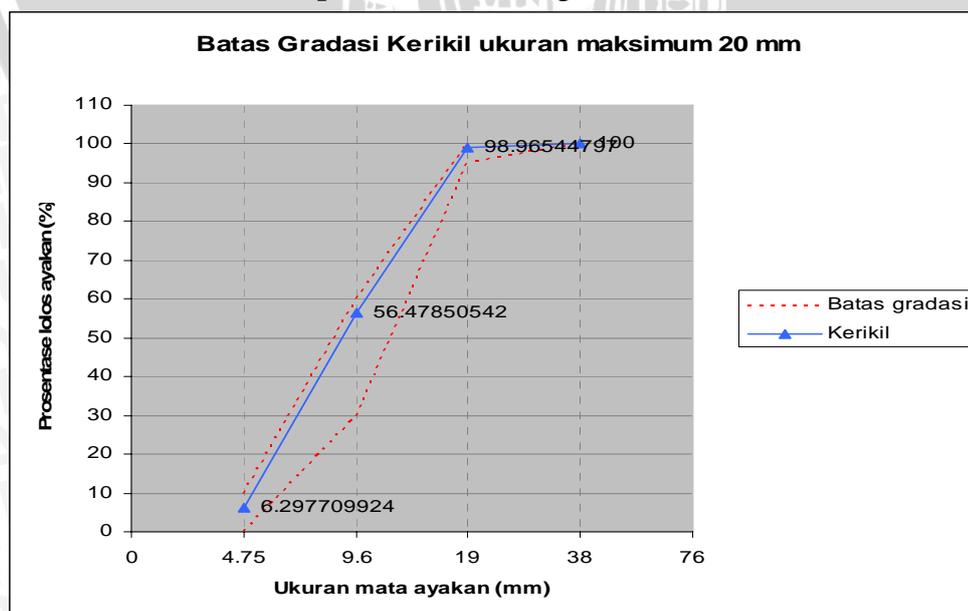
Lubang ayakan		berat tertahan (gr)	Prosentase tertahan (%)	Kumulatif tertahan (%)	Kumulatif lolos (%)
no	mm				
1,5"	37.5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	103	1.034552029	1.034552029	98.96545
3/8"	9.5	4230	42.48694255	43.52149458	56.47851
4	4.75	4996	50.1807955	93.70229008	6.29771
8	2.36	554	5.564483728	99.2667738	0.733226
16	1.18	18	0.1807955	99.4475693	0.552431
30	0.6	0	0	99.4475693	0.552431
50	0.25	0	0	99.4475693	0.552431
100	0.15	0	0	99.4475693	0.552431
200	0.075	0	0	99.4475693	0.552431
PAN		55	0.552430695	100	0
Jumlah		9956	100	635.3153877	

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Catatan : Standar ASTM C33 -92 . modulus kehalusan agrgat kasar : 7,49 – 9,55

Modulus kehalusan = $635.3154/100 = 6,35315$ berarti kerikil tidak memenuhi standart ASTM

- Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,075 mm atau no. 200) dalam persen berat maksimum. ASTM C33-92
 $= (55/ 10000) * 100\% = 0,005\% < 1\%$,OK

Lampiran 1.12 Grafik gradasi kerikil

Lampiran 1.13 Tabel hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Keterangan	Nilai
Berat batu pecah jenuh kering permukaan (<i>SSD</i>) B_j (gr)	5000
Berat batu pecah kering oven B_k (gr)	4853
Berat batu pecah dalam air B_a (gr)	3140
Berat jenis curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>) $B_k / (B_j - B_a)$	2,6091
Berat jenuh kering permukaan (<i>Bulk Specific Gravity Saturated</i>) $B_j / (B_j - B_a)$	2,6882
Berat jenis semu (<i>Apparent specific Gravity</i>) $B_k / (B_k - B_a)$	2,8330
Penyerapan (%) Absorption $(B_j - B_k) / B_k \times 100\%$	3,0291

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Lampiran 1.14 Tabel hasil pengujian berat isi agregat kasar

No	Keterangan	Satuan	B	
			A	B
1	Berat takaran	gram	1058	1058
2	Berat takaran + air	gram	3058	3058
3	Berat air = (2) – (1)	gram	2000	2000
4	Volume air = (3) / 1	cc	2000	2000
Cara			Rodded	Shoveled
5	Berat takaran	gram	1058	1058
6	Berat takaran + batu pecah	gram	4113	4186
7	Berat batu pecah = (6) – (5)	gram	3055	3128
8	Berat isi batu pecah = (7) / (4)	gr/cc	1.5275	1.564
9	Berat isi batu pecah rata-rata		1.54575	

Sumber : Hasil Pemeriksaan

Kesimpulan : Berat isi cara Rodded > dari cara Shoveled. Pemeriksaan dengan cara Shoveled lebih cocok digunakan dilapangan

Catatan : ASTM standar C29 – C78 berat isi agregat halus > 1,5 gr/cc

Lampiran 1.15 Tabel hasil pengujian kadar air agregat kasar

NOMOR CONTOH		No. 7	No. 12
NOMOR TALAM		A	B
1	Berat talam + contoh basah (gr)	221.300	168.200
2	Berat talam + contoh kering (gr)	215.500	164.250
3	Berat air = (1) - (2) (gr)	5.800	3.950
4	Berat talam (gr)	31.000	32.500
5	Berat contoh kering = (2) - (4) (gr)	184.500	131.750
6	Kadar air = (3) / (5) (%)	3.144	2.998
7	Kadar air rata-rata (%)	3.071	

Kesimpulan : kerikil memenuhi PBI 1971, karena mempunyai kadar air yang kurang dari 5 %

Lampiran 1.16 Analisa mix desain

Beton untuk kolom bangunan gedung

Kuat tekan beton yang disyaratkan $f_c' = 20$ MPa

Jenis semen = tipe I (biasa)

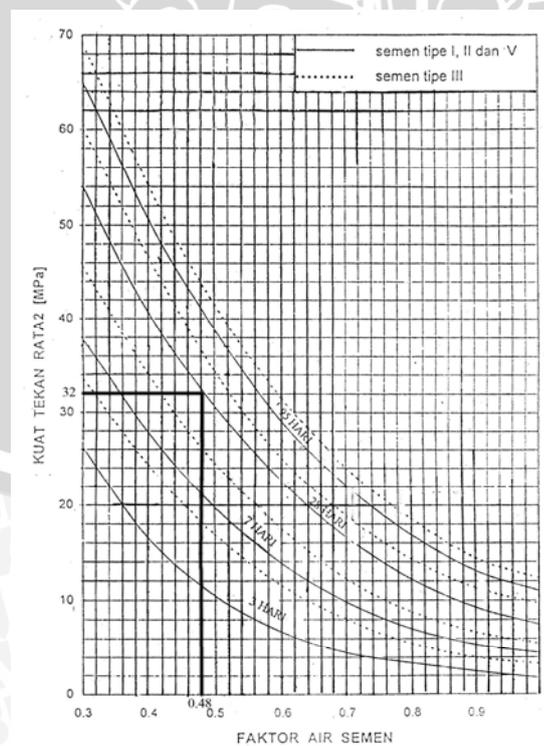
Agregat halus = pasir alami (zona 2 / bergradasi sedang)

Agregat kasar = batu pecah dengan ukuran maks 10 mm

Nilai slump = 10 cm

Proporsi bahan campuran beton direncanakan berdasarkan teori perancangan proporsi campuran adukan beton metode *The British Mix Design Method* / Departemen Pekerjaan Umum :

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari : 20 MPa
2. Deviasi standar (S) = - , karena tidak mempunyai data pengalamannya
3. Nilai tambah (margin) = 12 MPa, karena tidak mempunyai data
4. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_{cr}') = $20 + 12 = 32$ MPa.
5. Jenis semen = tipe I (*Normal Portland Cement*)
6. Jenis kerikil = batu pecah
7. Faktor air semen (dari grafik) : 0.48



Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen
(benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

8. Faktor air semen maksimum (tabel) : 0,6 (untuk beton di dalam ruang bangunan dengan keadaan sekeliling non-korosif)

Jenis Pembetonan	FAS Max
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif	0,52
Beton luar bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan matahari	0,55
b. terlindung dari hujan dan matahari	0,6

Sumber: *Kontruksi Beton Bertulang (Triono B A)*

Sehingga yang dipakai adalah FAS terendah : 0,48

9. Nilai *Slump* (dari tabel) : berkisar 7,5 – 15 cm, diambil nilai slump 10 cm

Pemakaian Beton	Max	Min
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang kaison, dan struktur bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber: *Kontruksi Beton Bertulang (Triono B A)*

10. Ukuran maksimum butiran kerikil :20 mm

11. Kebutuhan air :

$$A = 0,67 \cdot A_h + 0,33 \cdot A_k$$

Dimana :

A_h : jumlah air yang dibutuhkan menurut agregat halus

A_k : jumlah air yang dibutuhkan menurut agregat kasar

$$A = 0,67 \cdot 225 + 0,33 \cdot 225$$

$$= 234 \text{ liter}$$

Kebutuhan air berdasar agregat :

Besarnya ukuran max agregat (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: *Kontruksi Beton Bertulang (Triono B A)*

12. Kebutuhan semen : $234 / 0.48 = 487.5 \text{ kg} \approx 488 \text{ kg}$

13. Kebutuhan semen minimum = 275 kg

Jenis Pembetonan	Semen min (kg)
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non korosif	275
b. keadaan keliling korosif	
Beton luar bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan matahari	325
b. terlindung dari hujan dan matahari	275

Sumber: *Kontruksi Beton Bertulang (Triono B A)*

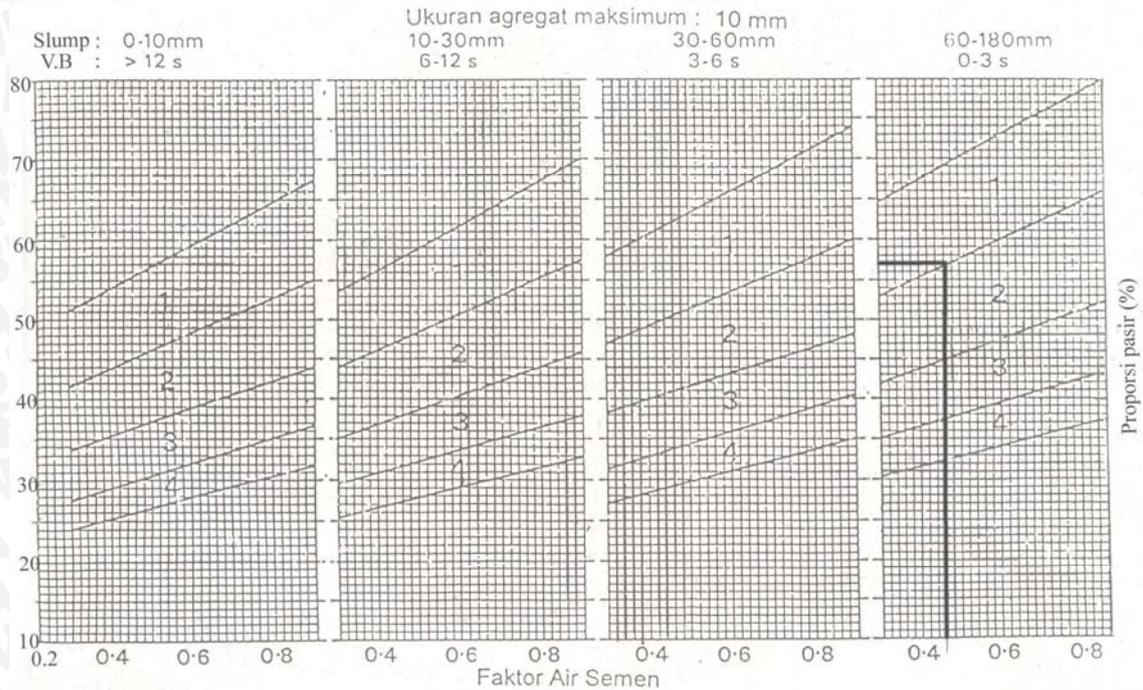
14. Yang dipakai yaitu kebutuhan semen yang lebih besar : 488 kg

15. Faktor air semen yang disesuaikan: dalam hal ini dapat diabaikan, karena pada langkah 13 tidak merubah jumlah kebutuhan semen pada langkah 12, maka tidak perlu ada penyesuaian jumlah air maupun faktor air semen. Jadi air tetap 234 liter dan faktor air semen tetap 0.48

16. Golongan pasir (telah diketahui): daerah 2

Didapat dari analisa bahan pembuatan beton.

17. Persentase pasir terhadap campuran (gambar) : 47%



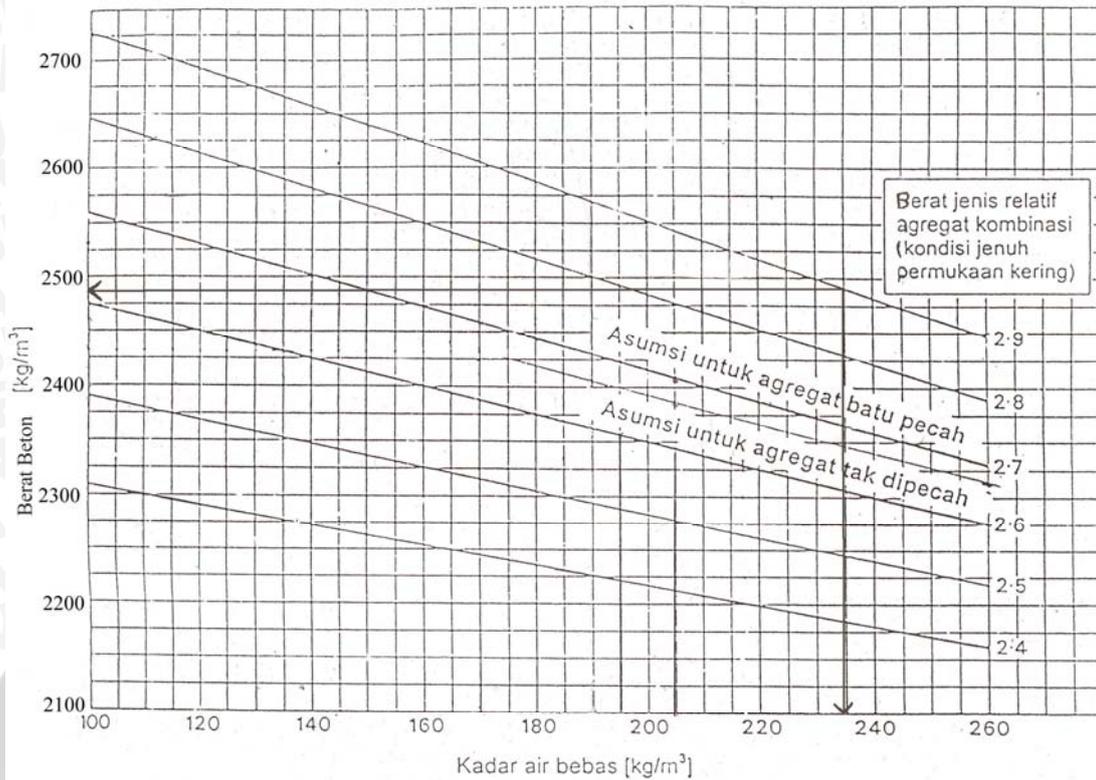
Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm

Sumber: Kontruksi Beton Bertulang (Triono B A)

18. Berat jenis campuran pasir dan kerikil :

$$\begin{aligned} \text{berat jenis campuran} &= \frac{P}{100} \times B_j.\text{Pasir} + \frac{K}{100} \times B_j.\text{Kerikil} \\ &= \frac{47}{100} \times 2.4570 + \frac{53}{100} \times 3.4892 \\ &= 3.00 \end{aligned}$$

19. Berat isi beton (gambar) : 2490 kg/m³



Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton

Sumber: Kontruksi Beton Bertulang (Triono B A)

20. Kebutuhan berat pasir dan kerikil dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} W_{\text{pasir + kerikil}} &= W_{\text{beton}} - A - S \\ &= 2490 - 234 - 488 \\ &= 1756 \text{ kg} \end{aligned}$$

21. Kebutuhan pasir dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} W_{\text{pasir}} &= (P/100) \cdot W_{\text{(pasir + kerikil)}} \\ &= (47/100) \cdot 1756 \\ &= 826 \text{ kg} \end{aligned}$$

22. Kebutuhan kerikil dihitung dengan rumus

$$\begin{aligned} W_{\text{kerikil}} &= W_{\text{(pasir + kerikil)}} - W_{\text{pasir}} \\ &= 1756 - 826 \\ &= 930 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kesimpulan:

Volume	Berat Total	Air	Semen	Pasir	Kerikil
• 1 m ³	2490 kg	234 liter	488 kg	826 kg	930 kg
• 1 adukan (0.058 m ³)	145.13 kg	13.6 kg	28.44 kg	47.94 kg	53.9 kg
Perbandingan			1	1.68	1,89

Maka didapatkan :

Untuk 1 m³ beton (berat beton = 2490 kg) dibutuhkan :

- Air = 234 liter
- Semen = 488 kg
- Pasir = 826 kg
- Kerikil = 930 kg

Sehingga perbandingan beratnya adalah :

Semen : Pasir : Kerikil = 1 : 1.68 : 1,89



LAMPIRAN II

Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja Tulangan

Lampiran 2.1 Tabel hasil uji 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	

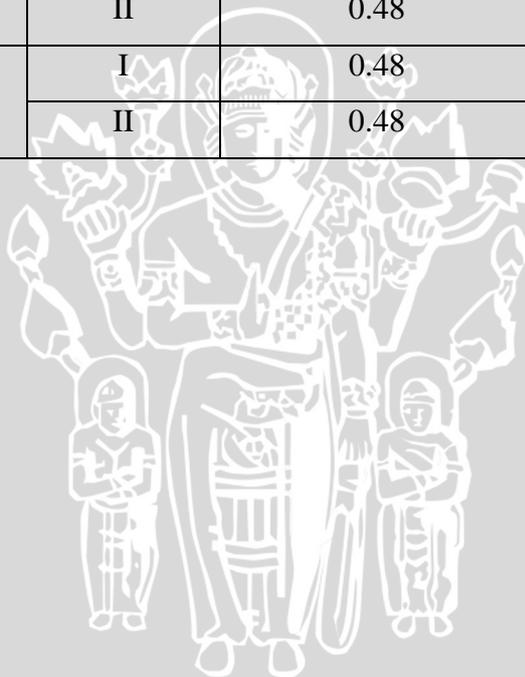


LAMPIRAN III

Hasil Pengujian Slump

Lampiran 3.1 Tabel hasil uji slump

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



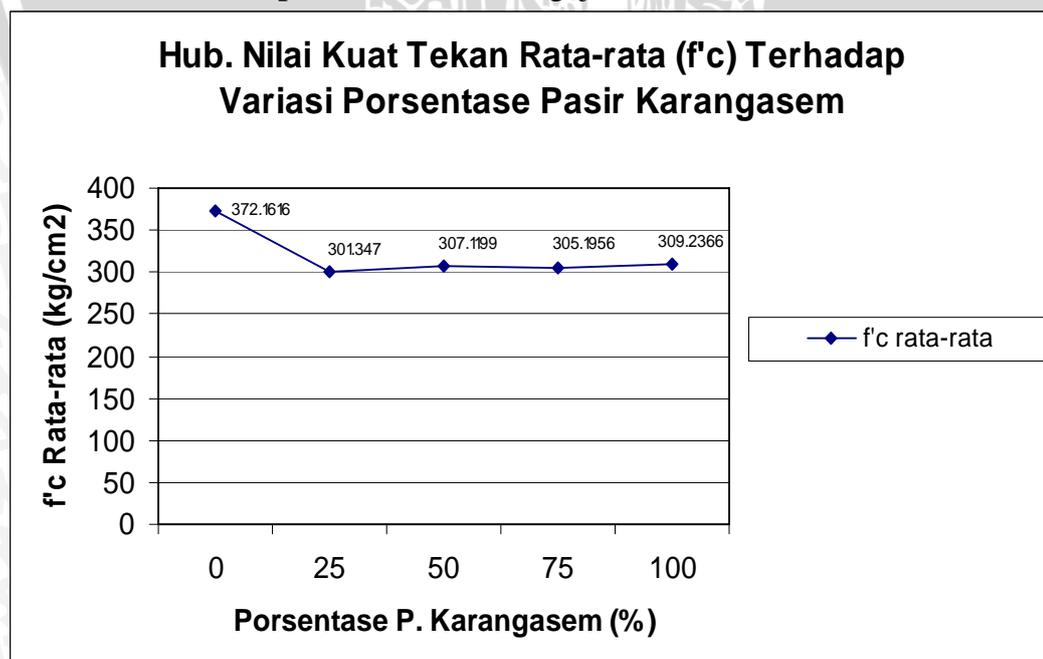
LAMPIRAN IV

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Lampiran 4.1 Tabel Pengujian kuat tekan beton

Variasi	Benda Uji	Berat (kg)	Pu (kN)	Pu (kg)	f'_c	Rata-rata f'_c (kg/cm ²)
Variasi I 100 % Brandong	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	
Variasi II 75 % Brandong 25 % karangasem	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	
Variasi III 50 % Brandong 50 % karangasem	I	12	546	55672.5515	315.202	307.1199
	II	12	512	52205.7626	295.574	
	III	11.9	538	54856.8364	310.5836	
Variasi IV 25 % Brandong 75 % Karangasem	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	
Variasi V 100 % Karangasem	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	

Lampiran 4.2 Grafik Pengujian kuat tekan beton



Lampiran 4.3 Perhitungan Regresi Hasil Uji Kuat Tekan

Regresi linier:

X (Variasi)	1	2	3	4	5
Y(Kuat Tekan)	372.1616	301.347	307.1199	305.1956	309.2366

$$n = 5$$

$$\sum x_i = 15$$

$$\sum y_i = 1595.061$$

$$\sum x_i y_i = 4051.941$$

$$\bar{x} = \frac{15}{5} = 3$$

$$\bar{y} = \frac{1595.061}{5} = 319.0121$$

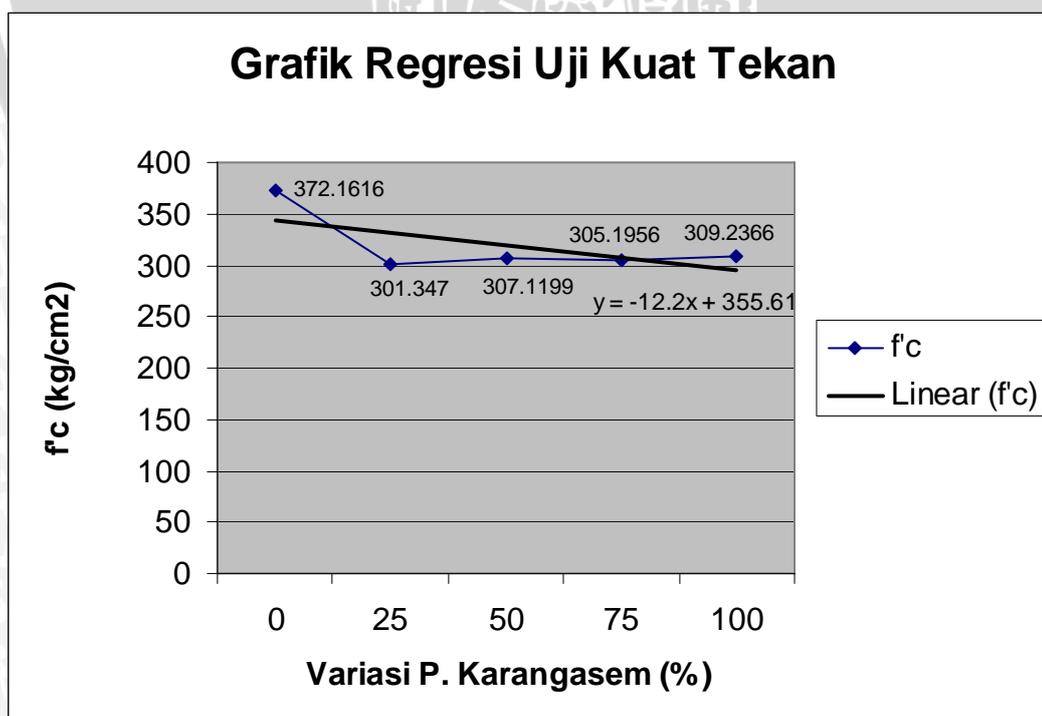
$$\sum x_i^2 = 55$$

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{5(4051,941) - (15)(1595,061)}{5(55) - (15)^2} = -12,2$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} = 319.0121 - (-12.2)(3) = 355.61$$

$$y = -12.2x + 355.6$$

Lampiran 4.4 Grafik Regresi Hasil Uji Kuat Tekan

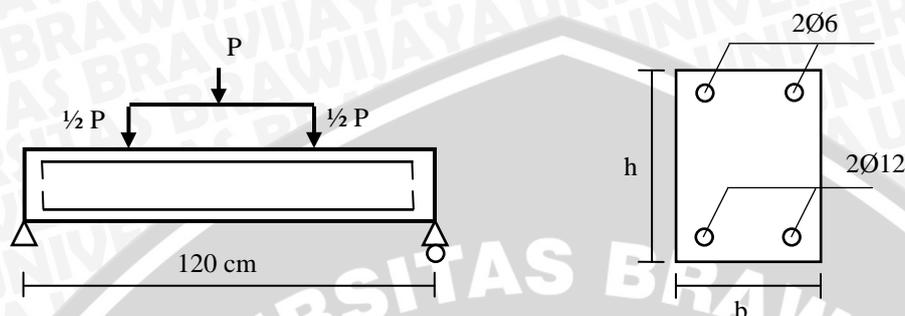




LAMPIRAN V

Perhitungan Mencari Nilai P saat Lebar Retak = 0.3 mm

Lampiran 5.1 Contoh Perhitungan Mencari Nilai P saat Lebar Retak = 0.3 mm
Diketahui : Suatu Balok sederhana dengan menggunakan tumpuan sendi-roll memiliki data sebagai berikut :



Panjang bentang (L) = 120 cm

Tinggi balok (h) = 18 cm

Lebar balok (b) = 12 cm

Penutup beton (d_c) = 2.5 cm

Mutu beton (f'_c) = 37.21616 Mpa = 372.1616 kg/cm²

Mutu baja (f_y) = 437.1683 Mpa = 4371.9 kg/cm²

Lebar retak (w) = 0.3 mm = 0.03 cm

β = 1.2

E_s = 2000000 kg/cm²

E_c = 4700 $\sqrt{f'_c}$ = 286723.7302 kg/cm²

Ditanyakan : Berapa nilai P pada saat lebar retak ijin ?

Pembahasan :

Menentukan nilai f_s

$$w = 11 \times 10^{-6} \beta \cdot f_s \cdot (d_c \cdot A)^{1/3}$$

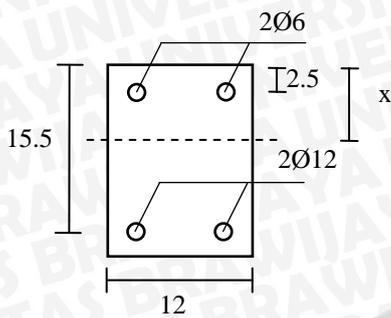
$$A = \frac{b \times (2d_c)}{n} = \frac{12 \times (2 \times 2.5)}{2}$$

$$= 30 \text{ cm}^2$$

$$f_s = \frac{w}{11 \times 10^{-6} \beta \cdot (d_c \cdot A)^{1/3}}$$

$$= \frac{0.03}{11 \times 10^{-6} \times 1.2 \times (2.5 \times 30)^{1/3}}$$

$$= 538.923 \text{ kg/cm}^2$$



$$f'_c = 372.16 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow f_c = 0.45 \cdot 372.16 = 167.472 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4371.68 \text{ kg/cm}^2 \longrightarrow f_s = 538.923 < 1700 \text{ kg/cm}^2 \text{ ok!}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2000000}{286723.7302} = 6.975$$

Luas Tulangan

Tulangan 2Ø12 $\longrightarrow A_s = 2.262 \text{ cm}^2$

Tulangan 2Ø6 $\longrightarrow A_s' = 0.566 \text{ cm}^2$

Menentukan sumbu berat penampang transformasi

$$1/2bx^2 + (2n - 1)A_s'(x - dc) = n(A_s)(d - x)$$

$$\left(\frac{1}{2}12x^2\right) + ((2 \times 6.975) - 1) \times 0.566(x - 2.5) = 6.975 \times 2.262 \times (15.5 - x)$$

$$x = 4.968 \text{ cm}$$

Membandingkan nilai $2nf_{c1}'$ terhadap f_s

$$\begin{aligned} 2nf_{c1}' &= 2n \frac{f_c' \text{ ijin} \times (x - dc)}{x} \\ &= 2(6.975) \frac{167.472 \times (4.968 - 2.5)}{4.968} \\ &= 1160.5981 \text{ kg/cm} < 1700 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

Maka penampang transformasi dapat diterima.

Menentukan momen lentur dalam dengan menggunakan cara momen kopel

$$N_{D1} = \frac{1}{2} b \cdot f_{c \text{ ijin}} \cdot x = \frac{1}{2} \times 12 \times 167.472 \times 4.968 = 4992.027 \text{ kg}$$

$$N_{D2} = (2n - 1) \cdot A_s' \cdot f_{c1} = ((2 \times 6.975) - 1) \times 0.566 \times 83.19699536 = 609.809 \text{ kg}$$

$$M_w = N_{D1} \cdot \left(\frac{2}{3}x + (d - x)\right) + N_{D2} \cdot (d - \frac{1}{3}x)$$

$$\begin{aligned} &= (4992.027 (2/3 \times 4.968) + (15.5 - 4.968)) + (609.809 \times (15.5 - 1/3 \times 4.968)) \\ &= 77037.14 \text{ kg} \end{aligned}$$

Menentukan P yang terjadi

$$M_w = \frac{1}{6} P \times L$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{M_w \times 6}{L} \\ &= \frac{77037.14 \times 6}{120} \\ &= 3851.857 \text{ kg} \end{aligned}$$

