

**PERILAKU LENTUR BALOK HYBRID  
BETON BUSA**

*Flexural behaviour of hybrid beam*

*Made with RC and foam concrete*

**ISMUNANDAR MUCHTAR**



**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2021**

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

### PERILAKU LENTUR BALOK HYBRID BETON BUSA

Disusun dan diajukan oleh :

**ISMUNANDAR MUCHTAR**

**D012172019**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 13 Agustus 2021

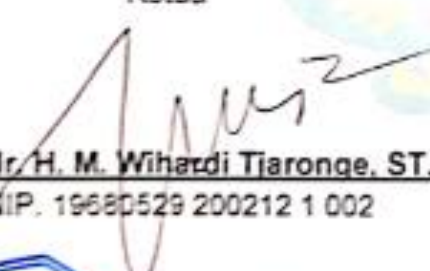
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

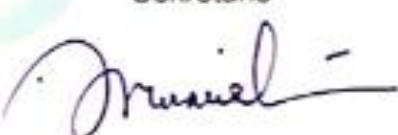
Menyetujui

Komisi Penasehat,

Ketua

Sekretaris

  
Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng  
NIP. 19680529 200212 1 002

  
Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.  
NIP. 19720619 200012 2 001

  
Ketua Program Studi  
S2-Teknik Sipil  
  
Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.  
NIP. 19720619 200012 2 001

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
  
Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T  
NIP. 19601231 198609 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ISMUNANDAR MUCHTAR  
NIM : D0 12172019  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi “ Perilaku Lentur Balok Hybrid Beton Busa ”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 08 Agustus 2021



Yang menyatakan,

(ISMUNANDAR MUCHTAR)

## KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Perilaku Lentur Balok Hybrid Beton Busa”** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT.** selaku sekretaris komisi penasehat yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas Hasanuddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. Muhammad Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**), bapak **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST.,**

**MT.** (Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S2 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah SWT. Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar, Agustus 2021

ISMUNANDAR MUCHTAR

## **Flexural behaviour of hybrid beam made with RC and foam concrete**

### **Abstract**

Reinforced concrete beams are one of the elements found in structural buildings that function to withstand bending loads. Due to the bending load, the upper side of the beam is compressed and the lower side is tensile. In the flexural capacity analysis, only the compressive side is taken into account in bearing the bending load, while the tensile side is neglected because of the low tensile strength of the concrete. The hypothesis of this study is that the tensile side of the concrete can be replaced with a material that has a low volume weight that is correlated with a lower compressive strength such as foam concrete. Therefore, this study aims to analyze the flexural behaviour of normal concrete hybrid beams and foam concrete. The specimen consists of a beam specimen with dimension of 150 mm (width) x 200 mm (height) with length of 3300 mm where foam concrete area height of 7 cm in the concrete tensile area. The number of test specimens are two, namely normal concrete of BN beam specimen and foam concrete FC beam specimen. From the research results it was known that under the flexural load, FC beam specimen has almost the same behaviour, where the ultimate load of BN specimen was 34.3 kN with deflection value of 46.67 mm, while the ultimate load of (FC) specimen was 33.3 kN with deflection value of 61.9 mm, as well as the ductility value and stiffness value of the BN specimen were 37% and 31% higher as compared to the FC beam specimen, respectively.

**Keywords:** flexural behaviour, foam concrete, normal concrete beam, hybrid beam

# PERILAKU LENTUR BALOK HYBRID BETON NORMAL DAN BETON BUSA

## ABSTRAK

Balok beton bertulang merupakan salah satu elemen yang terdapat pada bangunan struktur yang berfungsi untuk menahan beban lentur. Karena beban lentur, sisi atas balok dikompresi dan sisi bawah ditarik. Dalam analisis kapasitas lentur, hanya sisi tekan yang diperhitungkan dalam memikul beban lentur, sedangkan sisi tarik diabaikan karena kuat tarik beton yang rendah. Hipotesis dari penelitian ini adalah sisi tarik beton dapat diganti dengan material yang memiliki berat volume rendah yang berkorelasi dengan kuat tekan yang lebih rendah seperti beton busa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lentur balok hibrida beton normal dan beton busa. Benda uji terdiri dari benda uji balok dengan dimensi 150 mm (lebar) x 200 mm (tinggi) dengan panjang 3300 mm dimana tinggi bidang beton busa 7 cm pada bidang tarik beton. Jumlah benda uji ada dua yaitu benda uji beton normal balok BN dan benda uji balok FC beton busa. Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada beban lentur benda uji balok FC memiliki perilaku yang hampir sama, dimana beban ultimit benda uji BN sebesar 34,3 kN dengan nilai lendutan 46,67 mm, sedangkan beban ultimit benda uji (FC) sebesar 33,3 kN dengan nilai defleksi 61,9 mm, serta nilai daktilitas dan nilai kekakuan benda uji BN masing-masing lebih tinggi 37% dan 31% dibandingkan dengan benda uji balok FC.

**Kata kunci:** perilaku lentur, beton busa, balok beton normal, balok hybrid

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	viii
<b>BAB I    PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Batasan Masalah .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II   TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Hasil Penelitian Sebelumnya.....	7
B. Beton Ringan .....	8
C. Foam Agent.....	10
D. Kekuatan Lentur Pada Balok Beton Bertulang .....	15
E. Retak pada Balok Beton Bertulang .....	24
F. Keruntuhan balok .....	25



<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
	A. Kerangka Prosedur Penelitian .....	27
	B. Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
	C. Alat dan Bahan Penelitian.....	29
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
	A. Hasil Pengujian Agregat .....	37
	B. Karakteristik Material .....	38
	C. Hubungan Beban dan Lendutan .....	39
	D. Hubungan Beban dan Regangan Beton .....	44
	E. Hubungan Beban dan Regangan Baja .....	46
	F. Distribusi Regangan Beton dan Tulangan .....	47
	G. Pola Retak dan Mode Kegagalan .....	50
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
	A. Kesimpulan.....	57
	B. Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
1. Variasi benda uji pengujian balok lentur .....	22
2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Halus.....	37
3. Komposisi kebutuhan bahan campuran beton busa untuk 1 m <sup>3</sup> ....	31
4. Material properties Beton.....	38
5. Material Propertis Baja .....	39
6. Rekapitulasi hasil Pengujian Balok.....	40
7. Rekapitulasi Hasil Pengujian Beban Regangan Beton Pada Balok .....	45
8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Beban Regangan Baja Pada Balok.	48

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
1. Foam Agent Yang Ideal	7
2. Pola pembebanan pada pengujian kuat lentur	16
3. Perilaku lentur pada balok	17
4. Perilaku lentur dekat beban ultimit	17
5. Balok tegangan ekuivalen Whitney	18
6. Hubungan tegangan dan regangan tekan beton	19
7. Hubungan tegangan dan regangan tarik beton	21
8. Faktor reduksi kekuatan	22
9. Hubungan tegangan dan regangan baja	23
10. Retak pada Balok	25
11. Ragam Keruntuhan Lentur	26
12. Diagram alir pengujian balok hybrid beton busa	28
13. LVDT	29
14. Alat Ukur Regangan Baja Tulangan (strain gauge baja) dan CN 1 Adhesive	30
15. Alat ukur regangan beton (Strain gauge beton) dan CN-E adhesive 1	30
16. Alat Load cell dan Data logger	31
17. Proses Pembuatan Beton Busa	32
18. Dimensi benda Uji	33
19. Benda uji balok normal	34

20. Benda uji balok HB (Hybrid Beam)	35
21. Rencana setup benda uji	36
23. Hubungan beban dan lendutan	40
24. Fase trilenier Hubungan beban dan lendutan Balok HB-F	42
25. Balok HB-F Pada kondisi sebelum Pu	43
26. Hubungan beban dan regangan beton $\epsilon_c$	44
27. Hubungan beban dan regangan baja $\epsilon_s$	45
28. Distribusi regangan beton dan tulangan balok BN	48
29. Distribusi regangan beton dan tulangan balok HB	48
30. Distribusi regangan beton dan tulangan balok HB	49
31. Pola Retak pada Balok Normal (BN)	51
32. Pola Retak pada Balok Hybrid Beton Busa (HB)	52
33. Pola Retak pada Balok Hybrid Beton Busa + Polyolefin (HB-F)	53
34. Retak pada Balok Norma (BN)	54
35. Retak pada Balok Hybrid Beton Busa (HB)	55
36. Retak pada Balok Hybrid Beton Busa + Polyolefin (HB)	56

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Dalam perkembangan dunia konstruksi di masa kini beton masih jadi salah satu bahan yang paling sering di pakai di segala dunia. Pemakaian beton selaku bahan penyusun konstruksi jadi faktor yang sangat dominan dipergunakan serta pertumbuhan dengan bermacam studi yang dicoba guna mendapatkan material beton yang mempunyai ketahan terhadap pergantian wujud akibat gaya- gaya yang bekerja.

Balok beton bertulang pada biasanya tersusun dari komposisi agregat agresif( kerikil ataupun split), agregat halus( pasir alam ataupun pasir buatan), semen, air, dan besi( tulangan beton). Beton sangat kokoh buat menahan style tekan, tetapi lemah terhadap style tarik. Sebab itu beton hendak hadapi retak bila beban yang diberikan memunculkan tegangan tarik yang melampaui kokoh tarik beton tersebut. Guna utama dari beton merupakan menahan beban ataupun style tekan serta menyelimuti tulangan beton supaya tidak terganggu oleh area sekitarnya, guna utama baja tulangan menahan style tarik serta menghindari retak beton tidak melebar.

Mengingat sumber energi agregat agresif yang terbatas serta biasanya memiliki berat tipe yang besar, hingga butuh terdapatnya alternatif

agregat halus ataupun agresif dari bahan lain buat mengambil alih agregat halus serta agresif natural yang memiliki berat tipe yang relatif kecil. Disamping itu, dikala ini mulai banyak dibesarkan agregat- agregat buatan dari bahan non- alami serta limbah. Pertumbuhan industri yang sangat pesat ini memunculkan akibat negatif untuk area antara lain terus menjadi banyak limbah yang hendak dihasilkan oleh industri. Buat memperkecil akibat negatif dari banyaknya limbah yang dihasilkan terhadap area, hingga diupayakan buat menggunakan limbah selaku material konstruksi sehingga bermanfaat untuk kehidupan, paling utama dalam dunia metode sipil.

Pemakaian material ringan selaku bahan pembuat struktur hendak kurangi berat total dari sesuatu bangunan. Semacam dikenal kalau pemakaian bahan bangunan dengan massa rendah akan kurangi berat struktur sehingga beban pondasi pula turut menurun.

Beton ringan merupakan beton yang memiliki berat satuan tidak lebih dari 1900 kilogram/ m<sup>3</sup>( SNI 03- 2847- 2013). Konsumsi beton ringan awal kali diperkenalkan di Amerika pada Perang Dunia I( 1917) oleh perusahaan *Emergency Fleet Bulding* dengan mengenakan aggregate axpanded shale, dan dipakai buat konstruksi kapal dan perahu. Pemakaian beton ringan dalam bermacam konstruksi berkembang dengan kilat. Dalam pembuatan beton ringan salah satu bahan yang digunakan merupakan Concrete foam agent.

Menurut Karthikeyan, B. etc, (2015), penggunaan beton busa (*foam agent*) merupakan ide kreatif karena sifatnya yang ringan, konstruksi pemasangannya cepat dan mudah, daya tahan tinggi, baik dalam penyerapan suara, tahan gempa dan sebagainya. Secara umum ketika volume *foam agent* meningkat, kekuatan mekanis seperti kuat tekan dan kuat tarik belah menurun.

Untuk memaksimalkan fungsi balok dalam memikul beban lentur, maka pada bagian Tarik ditempatkan beton busa, dimana pada area tersebut gaya tarik beton seringkali diabaikan .

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis **Perilaku Lentur Balok Beton Hybrid Beton Busa Ringan**.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan bahwa yang menjadi masalah pokok dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kapasitas lentur balok hybrid beton normal dan beton busa ?
2. Bagaimana pola retak balok hybrid beton normal dan beton busa ?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kapasitas lentur balok hybrid beton normal dan beton busa ?
2. Untuk menganalisis pola retak balok hybrid beton normal dan beton busa ?

#### **D. Batasan Penelitian**

Untuk membatasi permasalahan agar penelitian terarah dan tidak terlalu meluas maka perlu pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Percobaan dilakukan terhadap benda uji Balok *Hybrid* Beton Normal dan Beton busa ringan.
2. Beton busa diproduksi dengan menggunakan semen *portland* komposit (PCC) dari salah satu produsen semen PCC di indonesia .
3. Pengujian karakteristik beton ringan terdiri atas pengujian kuat tekan, pengujian modulus elastisitas, pengujian kuat tarik belah dan pengujian lentur.
4. Pembebanan hingga benda uji mengalami keretakan pada beban maksimum.
5. Tinggi daerah *foamed concrete* dalam penelitian ini adalah 0.7 h, dimana h adalah tinggi balok
6. Benda uji diberi beban lentur dengan beban dua titik secara monotonik menggunakan alat uji static dengan kapasitas 150 ton.



## **E. Manfaat Penelitian**

Penggunaan beton busa ringan pada balok hybrid dapat mengurangi penggunaan beton normal yang pada akhirnya dapat mengurangi volume penggunaan semen. Beton busa ringan juga mampu mengurangi berat dari struktur, sehingga hal ini mengurangi dimensi kolom dan pondasi sebagai pemikul beban balok. Maka dari itu, kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengaplikasikan beton busa ringan pada komponen struktur.
2. Mengurangi penggunaan semen.
3. Mengurangi berat struktur yang pada gilirannya akan berpengaruh pada dimensi kolom dan pondasi.

## **F. Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah penulisan dalam mengkaji kapasitas lentur balok hybrid beton bertulang ini, sistematika yang digunakan adalah dengan membagi kerangka penulisan dalam bab dan sub bab dengan maksud agar lebih jelas dan mudah dimengerti. Terdapat 5 (Lima) pokok bahasan berturut-turut yaitu :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menyajikan tentang gambaran umum mengenai latar belakang pemilihan judul tugas akhir, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta

sistematika penulisan yang mengurai secara singkat komposisi bab yang ada pada penulisan.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian yang berisi dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian

## BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menyajikan bahasan mengenai tahapan, pengumpulan data, bahan penelitian, lokasi penelitian, dan pengujian yang dilakukan.

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

## BAB V. PENUTUP

Merupakan bab penutup yang berisikan kesimpulan dari hasil analisis masalah dan disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Hasil Penelitian Sebelumnya

Yasser dkk (2015) menyajikan hasil studi tentang kapasitas lentur balok beton bertulang dengan atau tanpa *styrofoam* sebagai beton pengisi (SFC) pada daerah tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan beban dan lendutan pada balok dengan SFC-30 menggunakan sistem rangka beton bertulang memiliki daktilitas yang lebih baik dari pada balok beton normal. Selain itu, kapasitas lentur balok beton komposit menunjukkan lendutan lebih besar dibandingkan beton normal. Devid Falliano dkk (2018) menyajikan hasil eksperimental pada kekuatan tekan berbuis beton yang dipengaruhi kondisi pengawetan, jenis semen, bahan pembuis dan kepadatan kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *foaming agent* cukup banyak mempengaruhi sifat mekanik beton busa untuk rentang kepadatan rendah, tidak seperti yang mungkin terjadi untuk sedang hingga tinggi nilai kepadatan [27]. Aspek penting lainnya dari studi ini adalah pengaruh utama dari rasio air / semen, terutama untuk buih beton dengan bahan pembuis sintetis. Kombinasi dari bahan pembuis dengan rasio air / semen tertentu sangat penting pentingnya. Memang, bahan berbuis sintetis mengarah ke lebih stabil spesimen beton busa daripada yang diperoleh dengan spesimen protein untuk rasio air / semen

tetap sama dengan 0,3, yang mengarah ke kurang dari itu Fase cairan dalam pasta yang mengandung semen. Perilaku ini sangat mempengaruhi perkembangan nilai kuat tekan. Untuk ini bahan pembusa, meningkatkan rasio air / semen dari 0,3 menjadi 0,5 telah dilakukan untuk peningkatan yang luar biasa dari kekuatan sekitar 14 kali dalam kondisi pengeringan udara, lebih dari 14 kali dalam plastik kaca kondisi curing dan sekitar 12 kali dalam curing air kondisi.

## **B. Beton Ringan**

Beton normal merupakan material konstruksi yang cukup berat, dengan berat sendiri mencapai  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton maka material ringan sanga telah banyak dipakai jenis beton ringan. Menurut Standar Nasional Indonesia 03-2847 tahun 2013, beton dapat digolongkan sebagai beton ringan jika beratnya kurang dari  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Dalam membuat beton ringan tentunya dibutuhkan material yang memiliki berat jenis yang ringan pula. Pada umumnya berat jenis yang lebih ringan dapat dicapai jika berat beton diperkecil yang berpengaruh pada menurunnya kekuatan beton tersebut. Pembuatan beton ringan pada prinsipnya adalah membuat rongga di dalam beton. Semakin banyak rongga udara dalam beton semakin ringan beton yang dihasilkan. Ada 3 macam cara membuat rongga udara dalam beton, yaitu

- a) Yang paling sederhana yaitu dengan memberikan agregat ringan. Agregat itu bisa berupa batu apung, styrofoam, batu alwa, atau abu terbang (*fly ash*) yang dijadikan batu.

- b) Menghilangkan agregat halus (agregat halus disaring, contohnya debu/abu terbangnya dibersihkan).
- c) Meniupkan atau mengisi udara di dalam beton. Cara ketiga ini terbagi lagi menjadi secara mekanis dan secara kimiawi. Bahan campuran antara lain pasir kwarsa, semen, kapur, sedikit gypsum, air, dan dicampur aluminium pasta sebagai bahan pengembang secara kimiawi.

Secara umum kandungan udara mempengaruhi kekuatan beton. Kekuatan beton berkurang 5.5% dari kuat tekan setiap pemasukan udara 1% dari volume campuran. Beton dengan bahan pengisi udara mempunyai kekuatan 10% lebih kecil dibandingkan beton tanpa pemasukan udara pada kadar semen dan workabilitas yang sama (Murdock & Book, 1999). Pada beton dengan kekuatan menengah dan tinggi, tiap 1% peningkatan kandungan udara akan mengurangi kekuatan tekan beton sekitar 5% tanpa perubahan air semen (Mehta, 1986). Dalam hal ini material tambah yang digunakan adalah *foam concrete*.

Namsone, E. etc, (2017) menyatakan bahwa daya tahan *foam concrete* dianggap sebagai masalah penting terutama pada kondisi iklim basah dan dingin. Komponen utama daya tahan adalah kekuatan mekanik, daya serap air dan ketahanan terhadap beku. Penyusutan (termasuk penyusutan karbonasi) juga harus dipertimbangkan. Densitas rendah dan porositas tinggi dari material mempercepat proses karbonasi. Penyusutan

kemungkinan disebabkan karbonasi, juga meningkatkan resiko retak dan hilangnya ketahanan.

### C. Foam agent

*Foam agent* merupakan larutan pekat dari bahan surfaktan yang apabila akan digunakan harus dilarutkan dengan air. Surfaktan adalah zat yang cenderung terkonsentrasi antara muka dan mengaktifkan antara, Murtono, A (2015). *Additive foam agent* merupakan cairan bahan baku pembuat busa yang berkualitas tinggi untuk campuran bata ringan. Untuk mempercepat pengeringan dan pengerasan secara sempurna di tambahkan 2 % - 3 % untuk menghasilkan bata ringan. Adapun cara penggunaan 1 liter ADT (*additive*) *foam agent* dicampur dengan air bersih 40 – 80 liter (normal 60 liter).

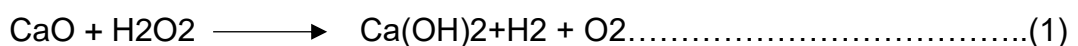


**Gambar 1.** Foam Agent Yang Ideal

Karimah. R, dkk (2017) menjelaskan pengertian foam agent surfaktan sintetis dapat diklasifikasikan menurut sifat kelompok hidrofilik, yaitu bagian molekul yang larut dalam air :

1. Anionik, sekitar 70 % dari surfaktan yang digunakan untuk menghasilkan busa, yaitu bagian aktif dari molekul yang bermuatan negatif.
2. Kationik, kurang dari 5 % dari surfaktan yang digunakan untuk menghasilkan busa, yaitu hidrofilik yang bermuatan positif.
3. Non-ionik (polar), sekitar 25 % dari surfaktan yang digunakan untuk memproduksi busa, yaitu netral. Kurangnya muatan listrik dapat memberikan stabilitas yang lebih besar untuk campuran beton busa.
4. Amfoter dan Zwitterion surfaktan jarang digunakan untuk memproduksi beton busa, tergantung pada pH larutan molekul dapat mempertahankan muatan positif atau muatan negatif, atau keduanya.

*Foaming agent* merupakan salah satu bahan pembuat busa yang biasaya berasal dari bahan berbasis protein *hyrolyzed* atau resin sabun. Foam agent yang digunakan dalam campuran beton ringan adalah umumnya berasal dari larutan Hydrogen Peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bereaksi dengan CaO yang terdapat dari semen akan menghasilkan gas. Jika digunakan Hidrogen Peroksida ( H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) gas yang dihasilkan adalah Okseigen (O<sub>2</sub>). Reaksi kimia yang terjadi :



*Foaming agent* adalah suatu larutan pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Salah satu

bahan yang mengandung surfaktan adalah Detergent ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{SO}_3\text{Na}^+$ ) *Foaming agent* saat dicampurkan dengan kalsium hidroksida yang terdapat pada pasir dan air akan bereaksi sehingga membentuk hidrogen. Gas hidrogen ini membentuk gelembung-gelembung udara di dalam campuran beton tadi. Gelembung-gelembung udara ini menjadikan volumenya menjadi dua kali lebih besar dari volume semula. Di akhir proses pembusaan, hidrogen akan terlepas ke atmosfer dan langsung digantikan oleh udara.

Rongga-rongga tersebut yang membuat bata beton menjadi ringan (Simbolon, 2014). Ada dua tipe foam agent :

1. Sintetik yaitu yang memiliki kepadatan 40 g/liter. Bahan dasar foam agent tipe ini berasal dari bahan kimia buatan murni. Tipe ini digunakan untuk mendapatkan densitas lebih dari  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Gelembung yang dihasilkan oleh foam agent sintetik ini lebih halus dibandingkan dengan *foam agent* tipe protein.
2. Protein yaitu yang memiliki kepadatan 80 g/liter. Bahan dasar *foam agent* tipe protein berasal dari protein hewan seperti tanduk, tulang, dll. tipe ini digunakan untuk mendapatkan densitas antara  $400 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $1600 \text{ kg/m}^3$

Metode pengadukan *foam agent* bisa dilakukan dengan mesin generator busa dan metode adukan manual. Karena keterbatasan alat,



pada penelitian ini digunakan dengan cara adukan manual menggunakan propeler yang dipasangkan pada bor tangan.

Kuzielova E. dkk (2016) dalam penelitiannya menerangkan tentang efek foam agent terhadap sifat beton busa. Dengan menggunakan generator, busa beton dibentuk dari campuran protein busa, air dan udara. Benda uji dibuat dengan variasi rasio volume busa terhadap volume beton, sehingga menghasilkan kepadatan dan berat yang berbeda-beda. Setelah semua benda uji tersedia tahap selanjutnya adalah menganalisis sifat beton busa dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* serta menganalisis kepadatan benda uji melalui pengujian kuat tekan. Hasil uji XRD menunjukkan Kristal kalsium karbonat membangun struktur pori dari pasta semen yang mengarah pada penurunan porositas dan distribusi ukuran pori bergeser ke pori-pori yang lebih kecil. Sedangkan dari uji SEM memperlihatkan bahwa meningkatnya jumlah volume busa membuat ukuran pori semakin membesar. Dari uji kuat tekan didapatkan kuat tekan tertinggi benda uji adalah 2,6 MPa dengan tingkat kepadatan terendah sedangkan kuat tekan terendah didapatkan sebesar 1,8 MPa dengan jumlah busa yang paling banyak.

Air diperlukan untuk pembuatan beton dan mortar agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan *workability*. Selain itu, air merupakan bahan utama selain dari agregat yang digunakan untuk membuat beton dan mortar. Pada umumnya air minum

dapat dipakai untuk campuran beton maupun mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat dari semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pada saat proses pengerjaan yang dilakukan. Hal ini disebabkan karena karakteristik pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen atau biasa dikenal dengan faktor air semen (FAS) pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Edward G. Nawy, 2010).

#### **D. Kekuatan Lentur Pada Balok Beton Bertulang**

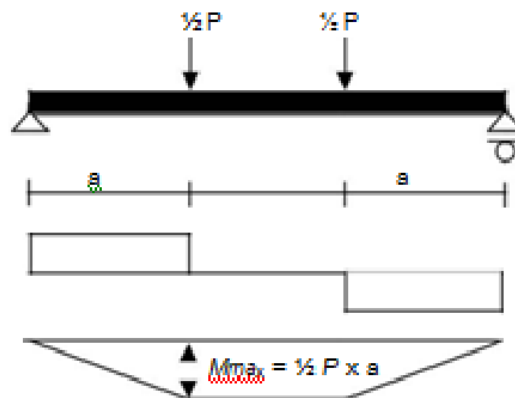
Beton merupakan salah satu material konstruksi yang sangat banyak digunakan pada berbagai struktur bangunan sipil yang mempunyai perilaku yang spesifik yaitu mempunyai kuat tekan yang besar dan kuat tarik yang sangat kecil. Oleh karena itu material beton umumnya digabungkan dengan material lain yang mempunyai kuat tarik yang besar, seperti baja. Sehingga

merupakan kesatuan struktur yang komposit yaitu yang disebut dengan beton bertulang. Tulangan baja tersebut perlu untuk beban-beban berat dalam hal ini untuk mengurangi lendutan jangka panjang. (Nawy. 1998).

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan dapat direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya (SNI 03-2847–2013). Baja tulangan memiliki sifat kuat terhadap gaya tarik, sedangkan beton memiliki sifat kuat terhadap gaya tekan, namun lemah terhadap tarik. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan kedua material tersebut, maka lahirlah beton bertulang menjadi satu kesatuan yang komposit dalam menerima beban tekan maupun beban tarik.

Beton bertulang mempunyai sifat yang sangat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan yang diberikan. Beban tarik pada beton bertulang dapat ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton itu sendiri. Beton juga dapat melindungi baja dari kebakaran dan karat atau korosi yang terjadi dengan tujuan beton agar tetap awet.

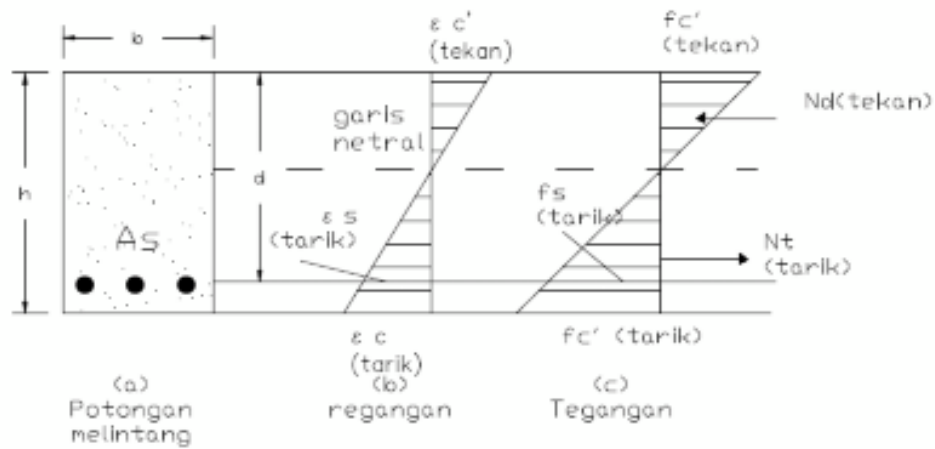
Lenturan murni adalah lenturan yang terjadi pada balok dengan mengkondisikan gaya lintangnya sama dengan nol, yaitu dengan meletakkan balok beton pada tumpuan sederhana yang dibebani secara simetris sejauh  $a$  dari tumpuan seperti yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pola pembebanan pada pengujian kuat lentur

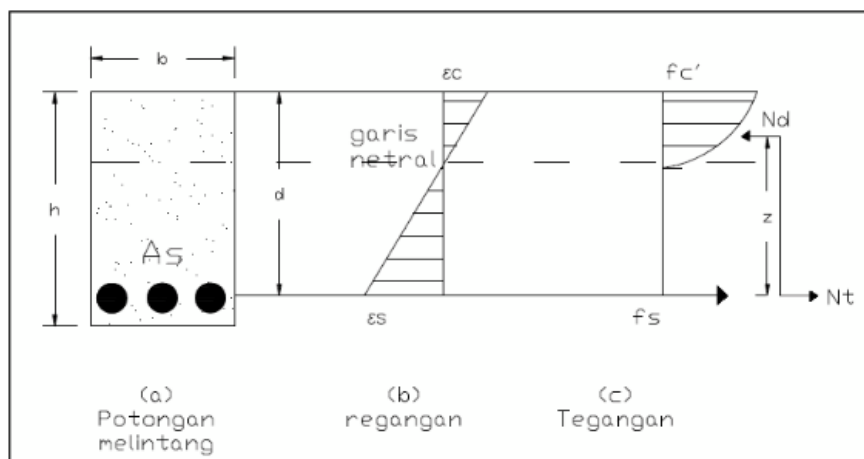
Ketika suatu gelagar balok diberi beban sehingga menimbulkan momen lentur, maka akan terjadi deformasi (regangan) lentur dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, maka bagian atas akan mengalami regangan tekan dan bagian bawah mengalami regangan tarik. Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangan-tegangan yang harus dipikul oleh balok, dimana tegangan tekan akan terjadi di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah.

Pada saat beban kecil, belum terjadi retak pada beton, dalam kondisi ini beton dan baja tulangan bersama-sama akan menahan tegangan yang terjadi. Distribusi tegangan akan tampak linear, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Gambar 3 memperlihatkan perilaku lentur pada beton.



**Gambar 3.** Perilaku lentur pada balok

Ketika beban diperbesar lagi, nilai regangan dan tegangan tekan akan semakin meningkat, dan cenderung untuk tidak sebanding lagi, dimana tegangan beton akan membentuk kurva non linear. Bentuk tegangan beton tekan pada penampangnya akan berupa garis lengkung dimulai dari garis netral sampai ke serat atas balok, seperti yang terlihat pada Gambar 4.

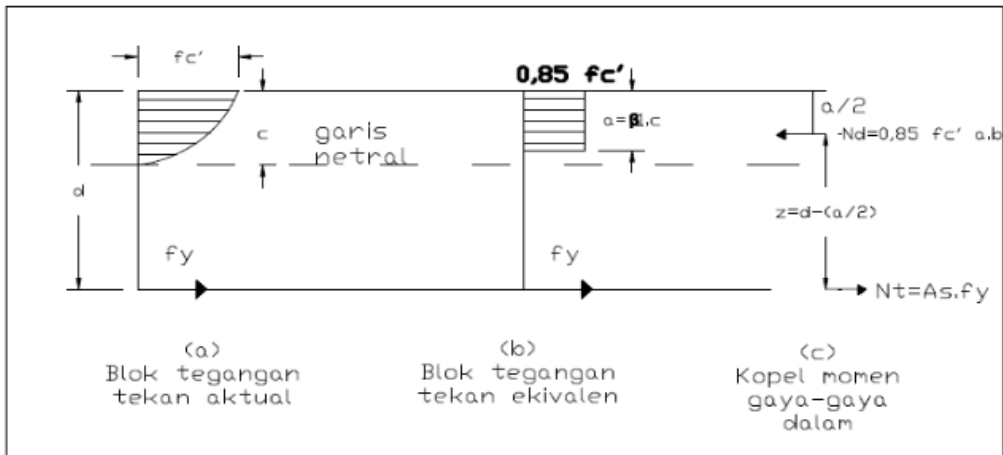


**Gambar 4.** Perilaku lentur dekat beban ultimit

$N_d$  adalah resultan gaya tekan dalam sedangkan  $N_t$  adalah resultan gaya tarik dalam. Kedua gaya ini memiliki garis kerja sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam, dimana nilai maksimumnya disebut kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Untuk merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu maka harus diketahui komposisi dimensi balok beton seperti lebar balok ( $b$ ), tinggi balok ( $h$ ), dan jumlah serta luas tulangan baja ( $A_s$ ),  $f'_c$  dan  $f_y$  sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban.

Namun menentukan momen tahanan dalam bukanlah hal yang mudah karena hubungan dengan bentuk diagram tegangan tekan diatas garis netral dapat berbentuk garis lengkung. Untuk mempermudah perhitungan, maka Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen dan juga telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). Standar SKSNI 03-2847-2013 pada pasal 12.2.7.1 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan. Selain itu, menurut SK SNI T-15-1991-03 kuat lentur nominal untuk balok penampang persegi dapat diturunkan dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen. Gambar 5 memperlihatkan balok tegangan ekuivalen Whitney.

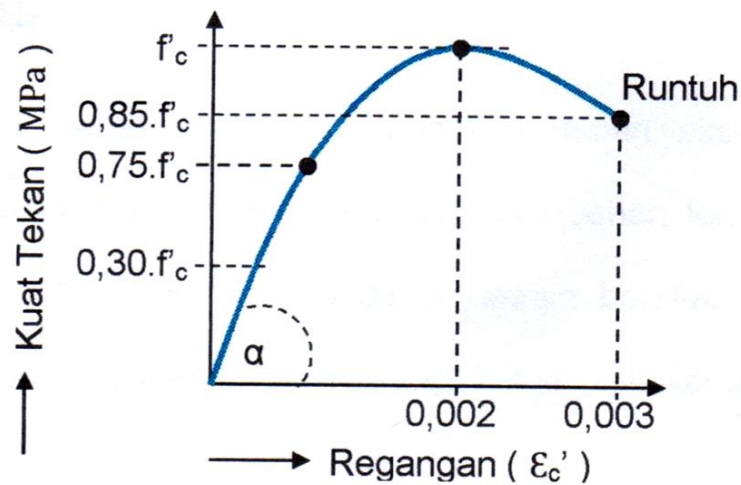


**Gambar 5.** Balok tegangan ekuivalen Whitney

### 1. Kuat tekan beton

Kuat tekan merupakan sifat utama dari beton. Karena sifat utama beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lain (misal: kuat tarik, dan modulus elastisitas beton) dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 7.1.3, kuat tekan beton  $f'_c$  yaitu kuat tekan selinder beton yang diisyaratkan pada umur 28 hari.

Adapun hubungan tegangan dan regangan tekan beton yang diperoleh dari hasil penelitian melalui pengujian spesimen beton selinder yang diberi beban tekan uniaksial hingga beton hancur, seperti terlihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hubungan tegangan dan regangan tekan beton

Pada Gambar 6 tampak perilaku tegangan-regangan beton sebagai berikut:

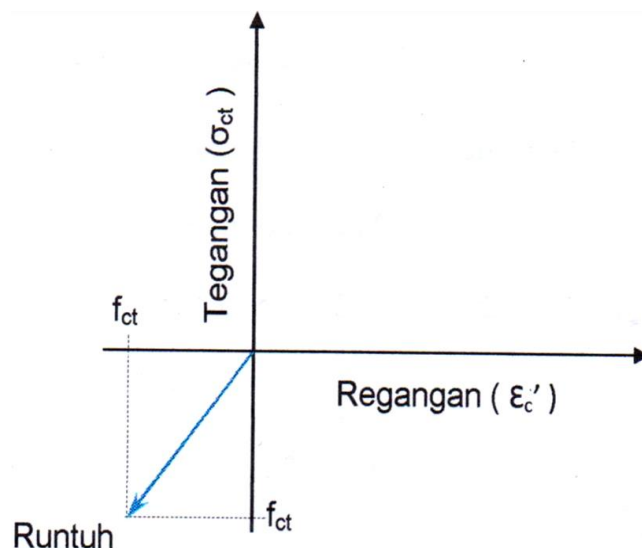
1. Pada saat beban tekan mencapai  $0,3.f_c$ - $0,4.f_c$ , perilaku tegangan dan regangan pada dasarnya masih bersifat linear.
2. Saat beban tekan melebihi  $0,3.f_c$ - $0,4.f_c$ , retak-retak lekatan mulai terbentuk, perilaku linear berubah menjadi nonlinear.
3. Tegangan maksimum terjadi saat beban tekan mencapai regangan 0.002 yaitu sekitar  $0,7.f_c$ - $0,9.f_c$  dan retak-retak lekatan tersebut mulai merambat sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada kondisi ini hubungan tegangan dan regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linear.
4. Pada saat beton akan runtuh dimana kuat tekan beton telah mencapai puncak, maka tegangan beton turun menjadi  $0,85.f_c$  sedangkan regangan tekan tekan tetap naik sampai mencapai



batas retak yaitu  $\epsilon_{cu} = 0.003$ , sesuai peraturan SNI 03-2847-2013  
PASAL 12.2.3.

## 2. Kuat tarik beton

Perilaku beton pada saat diberikan beban aksial tarik agak berbeda dengan perilaku beton saat diberikan beban tekan. Hubungan tegangan regangan tarik beton pada umumnya bersifat linear sampai terjadinya retak yang besarnya langsung diikuti oleh keruntuhan beton. Seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Hubungan tegangan dan regangan tarik beton

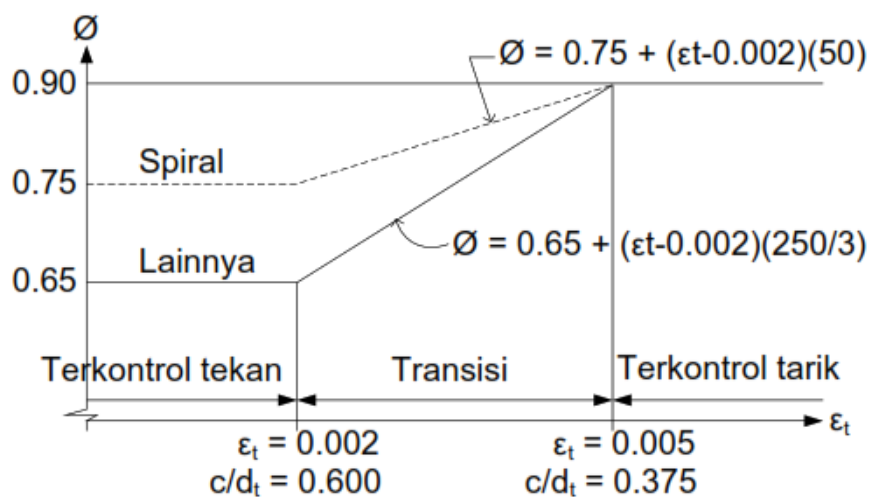
Kekuatan tarik beton lebih sulit diukur dibanding kuat tekannya karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Ada sejumlah metode yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik dan yang paling sering

digunakan adalah tes pembelahan selinder. Selain itu juga digunakan *rupture fr*, (Nawy. 1998).

Kuat tarik beton  $f_{ct}$  jauh lebih kecil dari pada kuat tekannya, yaitu berkisar  $f_{ct} = 8\%.f'_c$  sampai dengan  $15\%.f'_c$ .

### 3. Modulus elastisitas

Berdasarkan SNI 2847.2013 pasal 9, modulus elastisitas  $E_c$ , untuk beton normal diizinkan diambil sebesar  $4700\sqrt{f'_c}$  sedangkan untuk tulangan nonprategang modulus elastisitas  $E_s$ , untuk diizinkan untuk diambil sebesar 200.000 MPa. Faktor reduksi kekuatan tulangan baja dapat dilihat pada Gambar 8.

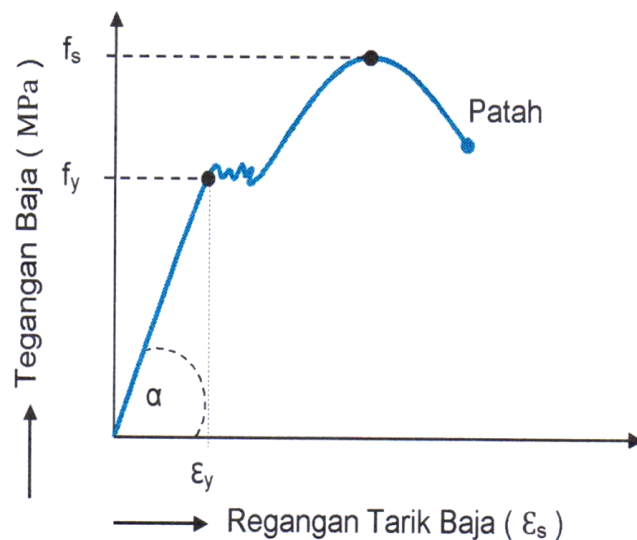


**Gambar 8.** Faktor reduksi kekuatan

#### 4. Kuat tarik baja

Meskipun tulangan baja juga mempunyai sifat tahan terhadap beban tekan, tetapi karena harganya cukup mahal, maka tulangan baja ini hanya diutamakan untuk menahan beban tarik pada struktur beton bertulang, sedangkan beban tekan yang bekerja cukup ditahan oleh beton.

Menurut pasal 10.5.2. SNI 03-2847-2013, modulus elastisitas tulangan baja non-pratekan  $E_s$  dapat diambil sebesar 200000 Mpa,  $f_y$  merupakan tegangan leleh tulangan baja dengan  $\epsilon_y$  adalah regangan leleh tulangan baja. Jika tegangan baja  $f_s < f_y$ , maka  $f_s = E_s \cdot \epsilon_s$ , namun jika tegangan baja tulangan  $\epsilon_s > f_y/E_s$ , maka  $f_s = f_y$ . Hubungan antara tegangan dan regangan tarik tulangan baja dilukiskan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Hubungan tegangan dan regangan baja

## **E. Retak pada Balok Beton Bertulang**

### **a. Retak lentur**

Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik balok dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netralnya serta terjadi pada daerah momen lentur yang besar. Jika balok memiliki web yang sangat tinggi, jarak retak akan sangat dekat, dengan sebagian retak terjadi bersamaan sampai di atas tulangan, dan sebagian lagi tidak sampai ke tulangan. Retak ini akan lebih lebar di pertengahan balok dari pada bagian dasarnya. Pada penelitian ini, jenis retak inilah yang akan diidentifikasi.

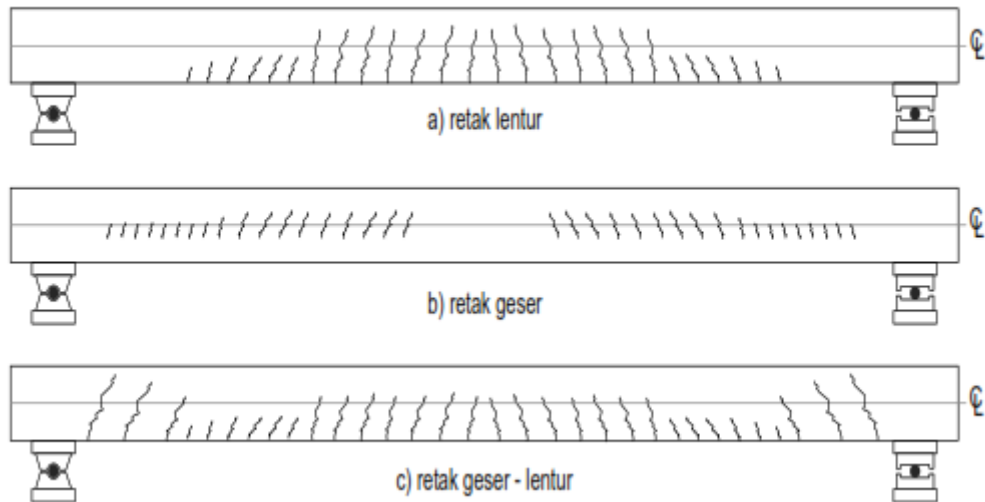
### **b. Retak miring**

Retak miring dapat disebabkan karena gaya geser yang dapat terjadi pada bagian web balok beton bertulang baik sebagai retak bebas atau perpanjangan dari retak lentur. Retak geser web kadang-kadang dapat terjadi pada web-web penampang prategang, terutama dapat terjadi pada penampang dengan flens yang besar dan web yang tipis. Jenis retak geser miring yang paling umum ditemukan adalah retak geser lentur yang terjadi pada balok prategang dan non prategang.

### **c. Retak puntir**

Retak puntir cukup mirip dengan retak geser, namun retak ini melingkar di sekeliling balok. Jika sebuah batang beton tanpa tulangan menerima torsi secara murni maka batang tersebut akan

retak dan runtuh di sepanjang garis spiral dengan sudut sebesar 45° karena adanya gaya tarik diagonal yang disebabkan oleh tegangan puntir.



**Gambar 10.** Retak pada Balok

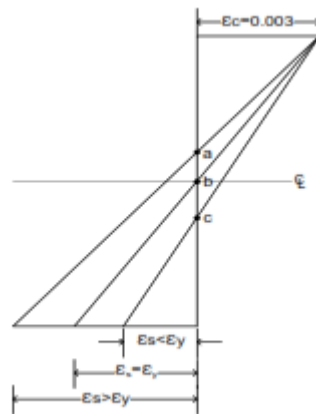
### F. Keruntuhan balok

Berdasarkan jenis keruntuhan balok beton bertulang yang sering dialami diperlihatkan pada Gambar 10, dengan penjelasan jenis-jenis keruntuhan balok beton bertulang yang dialami adalah sebagai berikut :

- a) Penampang balanced. Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan  $\epsilon_c = 0,003$  dan  $\epsilon_s = \epsilon_y = f_y / E_s$ .
- b) Penampang over-reinforced. Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan

balanced. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan,  $\epsilon_s < \epsilon_y$  dan  $f_s < f_y$ .

- c) Penampang under-reinforced. Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi balanced. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja. Regangan baja melebihi regangan lelehnya,  $\epsilon_s > \epsilon_y$ .



**Gambar 11.** Ragam Keruntuhan Lentur