

## TINJAUAN POLA RETAK TERHADAP KONTRIBUSI LEMBARAN CARBON FIBER STRIP DI PASANG VERTIKAL PADA BALOK LANGSING

**Edo Barlian**

### Abstract

This research study was conducted to determine and study the pattern of cracks that occur on beams if given reinforcement with carbon fiber sheets. This study used a cylindrical specimen of concrete and reinforced concrete beams with shear reinforcement which is the practical reinforcement (smaller than the minimum reinforcement requirements), it is done so in a weak beam resisting shear. Tests performed after the beam reinforced beams 28 days old. The tools used are Jack Hydraulic capacity of 25 tons. Test beam will be concentrated load P and the subsequent load is increased gradually. During loading lasts noted and recorded the onset of crack and crack patterns. Crack pattern that occurs is cracked bending, bending-shear crack and crack appendage. From the pattern of cracks that occur shows that retrofitting with FRP sheets can change the pattern of cracks in concrete beams.

**Keywords:** *Shear, Crack, reinforced concrete, Load*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

Beton bertulang adalah salah satu bahan konstruksi kombinasi antara beton dengan baja dan merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan sampai saat ini. Beton banyak mengalami perkembangan, baik dalam pembuatan campuran maupun dalam pelaksanaan konstruksinya.

Pada balok beton bertulang sebagai elemen struktur harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur (memanjang) dan penulangan geser. Penulangan lentur berfungsi sebagai penahan beban momen lentur yang terjadi dan memberikan kuta tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Penulangan geser (sengkang) berfungsi sebagai penahan

beban geser (gaya lintang) yang terjadi pada balok.

Penggunaan beton pada saat ini semakin meningkat, maka perlu dikembangkan penggunaan bahan-bahan alternatif yang diperkirakan dapat memperbaiki atau meningkatkan mutu beton bertulang. Salah satu usaha yang dilakukan yaitu mengupayakan supaya beton mempunyai kuat lentur dan geser tinggi. Masalah yang sering terjadi pada beton yaitu retak pada beton, baik retak struktur maupun non struktur. Hal ini terjadi karena beban melebihi kapasitas dan melampaui modulus keruntuhan balok.

Alternatif yang dipakai diantaranya memberikan alternatif solusi perkuatan, menentukan spesifikasi teknis metode pelaksanaan perkuatan berdasar

peraturan beton SNI 2847-2002, yang diharapkan dapat memberikan penyelesaian permasalahan yang muncul sehingga dapat menjamin keamanan bagi pengguna bangunan.

### **Perumusan Masalah**

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, diperlukan suatu kepastian tentang keamanan struktur terhadap keruntuhan yang mungkin terjadi selama umur bangunan. Keruntuhan yang cukup fatal dalam konstruksi balok beton bertulang adalah keruntuhan lentur tarik diagonal dan geser tarik. Beban yang melebihi kapasitas penampang balok beton bertulang akan mengakibatkan retakan-retakan diagonal disepanjang balok beton tersebut. Jika balok tersebut tidak mempunyai jumlah tulangan transversal dan tulangan longitudinal yang cukup serta didetail dengan benar, retakan-retakan tersebut dapat terjadi lebih awal dan pada

### **BATASAN MASALAH**

Berdasarkan identifikasi masalah, maka perlu dilakukan penelitian untuk meninjau kontribusi lembaran *woven carbon fiber* terhadap pola retak yang terjadi pada balok langsing. Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Mutu beton yang direncanakan adalah beton K- 250;

akhirnya akan berakibat terjadi keruntuhan yang tiba-tiba pada balok. Jadi salah satu hal yang sangat perlu untuk diperhatikan dalam merencanakan maupun menganalisa suatu struktur beton bertulang adalah kegagalan geser pada unit-unit struktur, karena kegagalan geser adalah keruntuhan getas yang berakibat fatal.

Dalam tulisan ini akan mengkaji pola retak yang terjadi pada balok langsing terhadap penggunaan *woven carbon fiber* sebagai bahan alternatif untuk menambah kekuatan pada balok.

### **Tujuan**

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pola retak yang terjadi dengan penggunaan *woven carbon fiber* sebagai bahan untuk menambah perkuatan pada balok.

2. Pengujian dengan membuat benda uji pada balok beton bertulang dengan tulangan tarik, tulangan tekan dan tulangan geser minimum;
3. Lembaran *woven carbon fiber* dipasang vertical dengan perkuatan perekat
4. Standart pengujian dan pengolahan data dilakukan berdasarkan ASTM

standart (pemeriksaan beton, pengujian kuat tekan, pengujian geser) dan SKSNI (*mix design*).

5. Analisa perhitungan dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2002 dan metode ACI 440.

## TAHAPAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

Tahapan pelaksanaan pengujian pada penelitian ini adalah:

1. Tahap Persiapan; pengumpulan bahan literatur dan penyediaan material
2. Tahap pengujian material; semen, agregat halus, agregat kasar, baja tulangan dan *mix design*
3. Tahap pembuatan benda uji;

pembuatan cetakan beton, merakit tulangan, pengecoran, perawatan benda uji

4. Tahap pengujian benda uji
5. Analisa data

## TINJAUAN PUSTAKA

### Deskripsi Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusun yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portlan cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Untuk mengetahui dan mempelajari perilaku elemen gabungan (bahan- bahan penyusun beton), kita memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing- masing komponen.

Dalam SNI 03-2847-2002, beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton bertulang

adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

Dalam Nawy (1990), Nilai kuat tekan beton dengan kuat tariknya tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai oleh peningkatan yang kecil dari kuat tariknya. Kecilnya kuat tarik dari beton ini merupakan salah satu kelemahan beton biasa. Untuk mengatasinya beton dikombinasikan dengan tulangan beton dimana baja biasa digunakan sebagai

tulangannya, dengan alasan karena koefisien baja hampir sama dengan koefisien beton (Tri Mulyono, 2004).

### **Semen Portland**

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu (Nawy, 1985). Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tekan tinggi apabila mengeras (Nawy, 1985).

Secara umum perencanaan campuran beton yang akan digunakan dalam pelaksanaan konstruksi beton harus memenuhi persyaratan seperti (1) kekuatan desak yang dicapai dalam umur 28 hari atau umur yang ditentukan; (2) tingkat keawetan beton, sama pentingnya dengan kekuatan beton, dengan tingkat kekuatan hancur yang besar akan semakin awet betonnya; (3) kemudahan pekerjaan, dimana secara umum campuran beton harus memberikan workability yang cukup untuk pengadukan, pencetakan, dan pematatan tanpa pengurangan homogenitas.

### **Air**

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pekerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lainnya, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan dapat juga merubah sifat-sifat semen (Nawy, 1990).

### **Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan sebagai bahan pengisi beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

#### a. Susunan butiran (gradasi)

Agregat halus yang digunakan harus mempunyai gradasi yang baik, karena akan mengisi ruang-ruang kosong yang tidak dapat diisi oleh material lain sehingga menghasilkan beton yang padat disamping untuk mengurangi penyusutan.

b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no. 200), tidak boleh melebihi 5% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi 5% maka agregat halus harus dicuci.

- c. Kadar gumpalan liat/clay lump harus kurang dari atau sama dengan 1% ( 1%) terhadap berat kering.
- d. Agregat halus harus bebas dari pengotoran zat organik yang akan memperlambat proses pengikatan semen dengan butiran pasir, dan kadar organik jika diuji dilaboratorium tidak menghasilkan warna yang lebih tua dari standar warna Gardner.
- e. Agregat halus yang digunakan untuk pembuatan beton akan mengalami basah dan lembab terus-menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0.60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
- f. Sifat kekal (keawetan) diuji dengan larutan garam sulfat:
  1. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 10%.
  2. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian yang hancur maksimum 15%.

#### **Agregat kasar**

Agregat Kasar yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi

persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- a. Susunan butiran (gradasi) Agregat kasar harus mempunyai gradasi yang baik, artinya harus terdiri dari butiran yang heterogen (bervariasi), karena ruang-ruang kosong antara pertikel menjadi sedikit sehingga pemakaian semen pun akan menjadi lebih irit serta pengikatan butiran-butiran agregat dapat berlangsung dengan baik.
- b. Agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan beton akan mengalami basah dan lembab terus-menerus atau yang berhubungan dengan tanah basah, tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif terhadap alkali dalam semen, yang jumlahnya cukup dapat menimbulkan pemuaihan yang berlebihan di dalam mortar atau beton dengan semen kadar alkalinya tidak lebih dari 0.60% atau dengan penambahan yang bahannya dapat mencegah pemuaihan.
- c. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang keras dan tidak berpori atau tidak dapat pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca seperti terik matahari atau hujan.
- d. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 75 mikron (ayakan no.200), tidak boleh melebihi 1% (terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melebihi

1% maka agregat halus harus dicuci.

- e. Kekerasan dari butiran agregat kasar diperiksa dengan bejana Rudellof dengan beban penguji 20 ton dimana harus dipenuhi syarat-syarat berikut:
1. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19,1 mm lebih dari 24% berat.
  2. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19,1-30 mm lebih dari 22% berat.
- f. Kekerasan butiran agregat kasar jika diperiksa dengan mesin Los Angeles dimana tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.

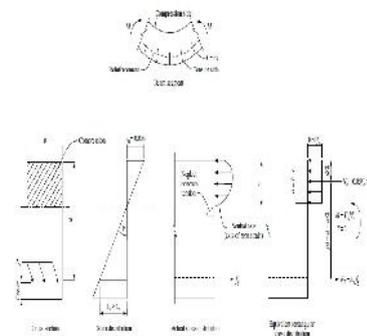
## LENTUR PADA BALOK

Dalam Nawy (1990), apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (bertambahnya retak) lentur disepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Distribusi tegangan dan regangan pada balok dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.

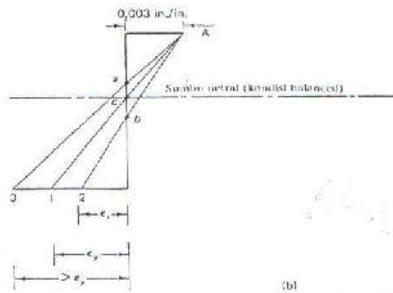
## Baja Tulangan

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang, kawat dan jarring kawat baja las yang seluruhnya dirakit sesuai dengan standar ASTM. Sifat-sifat terpenting baja tulangan adalah:

- a. Modulus young,  $E$
- b. Kekuatan leleh,  $f_y$
- c. Kekuatan batas,  $f_u$
- d. Mutu baja yang ditentukan
- e. Ukuran atau diameter batang atau kawat

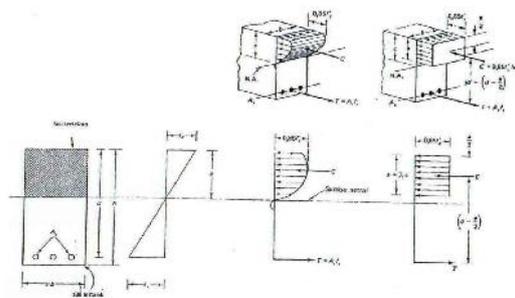


Gambar 2.1. Distribusi tegangan dan regangan pada balok



Gambar 2.2 Distribusi regangan penampang balok: a) Diagram tegangan tulangan baja yang diidealisasikan; b) Distribusi regangan untuk berbagai ragam keruntuhan lentur.

Keterangan mengenai diagram distribusi regangan dan tegangan serta keseimbangan gaya-gaya pada penampang beton dan dilihat kerja sama antara beton dan baja tulangan dalam melawan lenturan seperti yang tertera pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok, penampang melintang balok, balok regangan ekuivalen yang diasumsikan.

### GESER PADA BALOK

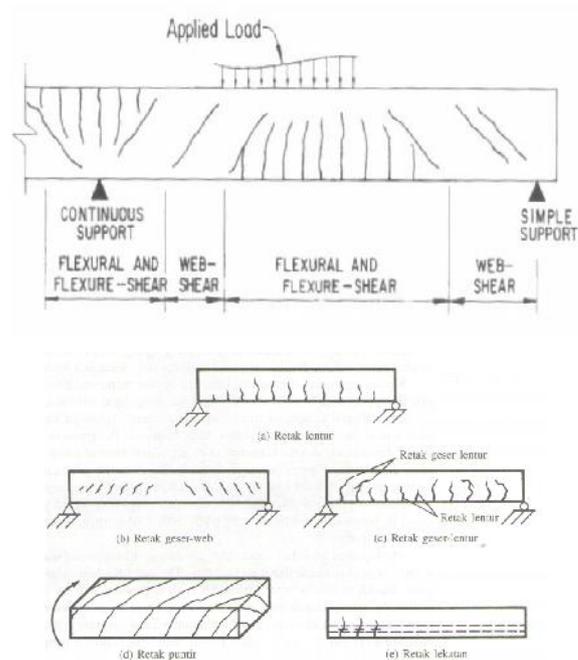
Analisa dan desain pada penampang beton bertulang terhadap geser

Pada beban-beban dan tegangan tarik masih lebih rendah daripada modulus keruntuhan maka seluruh penampang melintang balok menahan lentur, tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi lainnya. Jika beban terus ditingkatkan melampaui keruntuhan balok, retak mulai terjadi di bagian bawah balok. Momen retak pada saat ini mulai terbentuk dimana tegangan tarik dibawah balok sama dengan modulus keruntuhan, bila beban terus ditingkatkan retak mulai menyebar mendekati sumbu netral dan terjadi pada tempat di sepanjang balok dimana momen actual lebih besar daripada momen retak. (McCornac, 2001).

Pada saat ini baja tulangan tarik yang berfungsi menahan tegangan tarik, karena bagian bawah beton sudah retak. Bagian beton yang sudah retak tidak dapat menahan tegangan tarik.

dalam struktur beton, karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Perilaku balok beton yang runtuh akibat geser sangat berbeda dengan runtuh yang diakibatkan lentur, dimana bentuk retak diagonalnya lebih besar dibanding retak lentur. Keruntuhan akibat geser menyebabkan balok langsung hancur tanpa adanya tanda-tanda dan peringatan terlebih dahulu.

Beberapa jenis retak yang terjadi pada beton bertulang antara lain: retak lentur, retak miring, retak geser lentur, retak puntir, retak lekatan dan retak juga dapat terjadi akibat penyusutan, perubahan temperature, penurunan dan sebagainya. Berikut memperlihatkan jenis-jenis retak pada balok yang tertera pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5



Gambar 2.4 Jenis-jenis retak

Setiap balok yang bersifat homogen, elastik dan belum retak jika diberikan beban pasti akan mengalami gaya geser pada setiap penampangnya.

## FIBER REINFORCED POLYMER

Fiber Reinforced Polymer (FRP) merupakan sejenis pelat baja tipis yang didalamnya terdapat serat-serat carbon dan fiber. Tiga prinsip penggunaan FRP dalam perkuatan struktur adalah: (1) Meningkatkan kapasitas momen lentur pada balok atau plat dengan menambahkan FRP pada bagian tarik. (2) Meningkatkan kapasitas geser pada balok dengan menambahkan FRP di bagian sisi pada daerah geser, dan (3) Meningkatkan

kapasitas beban axial dan geser pada kolom dengan menambahkan FRP di sekeliling kolom.

Bentuk FRP yang sering dipakai pada perkuatan struktur adalah *plate/composite* dan *fabri/ Wrap*. Bentuk *Plate* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun plat serta pada dinding ; sedang bentuk *wrap* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan geser pada balok serta untuk meningkatkan kapasitas beban

axial dan geser pada kolom (Hartono, 2002).

### **Standard Pedoman Perencanaan**

Pedoman perencanaan untuk FRP dapat mengacu pada standard ACI yaitu *ACI 440-Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Concrete Structures and Technical Report* yang dikeluarkan oleh *Concrete Society Committee* Inggris yaitu *Technical Report No. 55-Design Guidance for Strengthening Concrete Structure Using Fibre Composite Material*.

### **GESER DAN TARIK DIAGONAL**

Meskipun belum seorangpun yang mampu menentukan dengan tepat daya tahan beton terhadap tegangan geser murni, hal ini tidak terlalu penting karena tegangan geser murni mungkin tidak pernah terjadi dalam struktur beton. Lebih dari itu, sesuai dengan mekanika teknik, jika geser murni dihasilkan dalam suatu batang, tegangan tarik utama dengan besar yang sama akan dihasilkan pada bidang yang lain. Karena kekuatan tarik beton lebih kecil dari kekuatan geser, maka beton akan runtuh dalam tarik sebelum kekuatan gesernya tercapai. Akan tetapi, pengujian kuat geser beton selama bertahun-tahun selalu menghasilkan nilai-nilai leleh yang terletak

### **Aplikasi FRP**

FRP (*fiber reinforced polymer*) digunakan pada konstruksi yang telah ada. Pemakaian FRP pada suatu konstruksi biasanya disebabkan oleh beberapa hal seperti: terjadi kesalahan perencanaan, adanya kerusakan-kerusakan dari bagian struktur sehingga dikhawatirkan tidak berfungsi sesuai dengan yang diharapkan dan adanya perubahan fungsi pada system struktur dan adanya penambahan beban yang melebihi beban rencana.

di antara  $1/3$  sampai  $4/5$  dari kuat tekan maksimumnya.

### **Retak Geser dari Balok Beton Bertulang**

Retak miring karena geser dapat terjadi pada bagian web balok beton bertulang baik sebagai retak bebas atau sebagai perpanjangan dari retak lentur. Retak pertama dari kedua jenis retak ini adalah *retak lentur-geser*. Ini adalah jenis retak yang biasanya dijumpai dalam balok prategang maupun non prategang. Agar retak ini terjadi, momen harus lebih besar dari momen retak dan geser. Retak harus membentuk sudut sekitar  $45^\circ$  dengan sumbu balok dan mungkin diawali pada puncak retak lentur. Retak lentur yang hampir

vertical tidak berbahaya kecuali jika ada kombinasi kritis dari tegangan geser dan tegangan lentur yang terjadi pada puncak salah satu retak lentur. (Nawy, 1998).

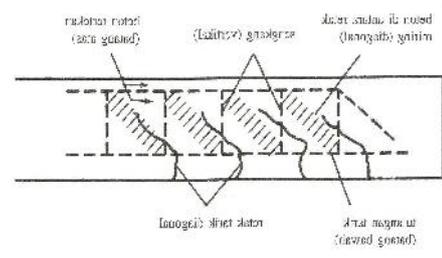
### Analisa Kuat Geser Balok Tanpa Tulangan Geser

Setelah retak berkembang, batang akan runtuh kecuali penampang beton yang retak dapat menahan gaya yang bekerja. Transfer dari geser di dalam unsur-unsur beton bertulang tanpa tulangan geser terjadi dengan suatu kombinasi dari antara beberapa mekanisme sebagai berikut:

1. Perlawanan geser dari penampang yang tak retak di atas bagian yang retak,  $V_{CZ}$  (diperkirakan sekitar 20% s.d 40%).
2. Gaya ikat (interlocking) antara agregat (atau transfer geser antara permukaan) dalam arah tangensial sepanjang suatu retak, yang serupa dengan gaya gesek akibat saling ikat yang tidak teratur dari agregat sepanjang permukaan yang kasar dari beton pada masing-masing pihak yang retak (diperkirakan 30% s.d 50%).
3. Aksi pasak (dowel action)  $V_d$ , sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transversal (diperkirakan 15% s.d 25%).
4. Aksi pelengkung (arch action) pada balok yang relatif tinggi. (Nawy, 1998).

### Analisa Kuat Geser Balok Yang Bertulangan Geser Mekanisme Analogi Rangka (vakwerkanalogi)

Analogi rangka merupakan konsep lama dari struktur beton bertulang. Konsep ini menyatakan bahwa balok beton bertulang dengan tulangan geser dikatakan berperilaku seperti rangka batang sejajar statis tertentu dengan sambungan sendi. Beton tekan lentur dianalogikan sebagai batang atas rangka batang, sedangkan tulangan tarik sebagai batang bawah. Web rangka batang tersusun dari sengkang sebagai batang tarik vertikal dan bagian beton antara retak tarik diagonal mendekati  $45^\circ$  bekerja sebagai batang tekan diagonal. Tulangan geser yang digunakan berperilaku seperti batang web dari suatu rangka batang. (Nawy, 1998). Mekanisme analogi rangka tertera pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Mekanisme analogi rangka batang

Meskipun analogi rangka batang telah digunakan bertahun-tahun untuk menjelaskan perilaku balok beton bertulang dengan tulangan web, tetapi tidak menjelaskan dengan tepat bagaimana gaya

geser dipindahkan. Tentu saja penulangan geser akan meningkatkan kekuatan geser dari suatu unsur, akan tetapi penulangan sedemikian hanya akan menyumbangkan sedikit perlawanan geser sebelum terbentuknya retak miring. (Nawy, 1998).

Retak diagonal akan terjadi dalam balok dengan tulangan geser pada beban yang hampir sama jika retak tersebut terjadi dalam balok dengan ukuran yang sama tetapi tanpa tulangan geser. Adanya tulangan geser hanya dapat diketahui setelah retak mulai terbentuk. Pada saat itu, balok harus mempunyai tulangan geser yang cukup untuk menahan gaya geser yang tidak ditahan oleh beton. (Nawy, 1998).

### **RAGAM KEGAGALAN BALOK**

Perbandingan antara bentang bersih dengan tinggi balok disebut kelangsingan balok merupakan penentu dalam keruntuhan balok. Pada dasarnya terjadi 3 (tiga) ragam keruntuhan, yaitu: keruntuhan lentur, keruntuhan tarik diagonal dan keruntuhan tekan akibat geser.

#### **Keruntuhan Lentur**

Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terjadi pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus arah tegangan utama. Retak tersebut diakibatkan oleh tegangan geser yang sangat kecil dan tegangan lentur yang dominan yang besarnya hampir mendekati

tegangan utama horizontal. Dalam keadaan runtuh lentur demikian, beberapa retak halus berarah vertikal terjadi didaerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban runtuh lentur. Apabila beban bertambah terus, retak-retak ditengah bentang bertambah dan retak awal yang terjadi bertambah lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan ditengah bentang. Jika balok tersebut *under-reinforced*, maka keruntuhan ini merupakan keruntuhan yang duktail (*ductile*) yang ditandai dulu dengan lelehnya tulangan tarik. Perilaku duktail ini memberikan peringatan terlebih dahulu kepada pemakai bangunan sebelum terjadi kehancuran total balok. Agar berperilaku duktail biasanya perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang harus lebih besar dari 5,5 dalam hal beban terpusat dan melebihi 15 untuk beban terdistribusi (Nawy, 1998).

#### **Keruntuhan Tarik Diagonal**

Keruntuhan ini dapat terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil dari pada kekuatan lenturnya. Perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang adalah menengah, yaitu  $a/d$  bervariasi antara 2,5 dan 5,5 untuk beban terpusat. Balok demikian disebut

balok kelangsingan menengah. Retak-retak mulai terjadi ditengah bentang, berarah vertical yang berupa retak halus dan diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton disekitarnya pada perletakan. Maka tanpa adanya peringatan sebelum runtuh, dua atau tiga retak diagonal terjadi pada jarak sekitar  $1,5d$  sampai  $2d$  dari muka perletakan. Untuk mencapai kestabilan, satu retak diagonal ini melebar kedalam retak tarik diagonal utama (Nawy, 1998).

### **Keruntuhan Tekan Geser**

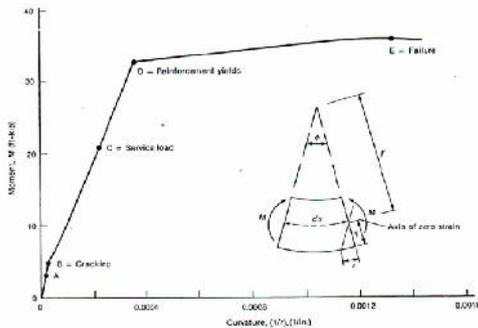
Balok-balok yang mengalami keruntuhan demikian mempunyai perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang  $a/d$  sebesar 1 sampai 2,5 untuk beban terpusat dan kurang dari 5,0 untuk beban terdistribusi. Keruntuhan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur vertical ditengah bentang dan tidak terus menjalar karena terjadi kehilangan lekatan antara tulangan membujur (longitudinal) dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan. Setelah itu diikuti dengan retak miring yang lebih curam daripada retak diagonal tarik, secara tiba-tiba dan menjalar terus menuju sumbu netral. Kecepatan menjalar ini semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadi retribusi tegangan pada

daerah atas. Pada saat bertemunya terak miring ini dengan tepi beton yang tertekan, terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba. Ragam keruntuhan ini dapat dipandang kurang getas dibandingkan dengan ragam keruntuhan tarik diagonal karena adanya retribusi regangan.

### **Tahap Keruntuhan Balok**

Ketika beban terus ditambah sampai tegangan tekan lebih besar daripada setengah  $f'c$  retak tarik akan merambat lebih keatas, demikian pula sumbu netral, sehingga tegangan balok tidak berbentuk garis lurus dengan asumsi tulangan baja telah leleh. Pada diagram momen kulvatur untuk balok beton bertulang yang mengalami tarik dapat dilihat tahap pertama pertama adalah dimana seluruh penampang melintang balok mampu menahan lentur karena momen yang terjadi lebih kecil daripada momen retak dan regangan yang terjadi kecil dan diagram hamper vertical dan menyerupai garis lurus. Ketika momen bertambah sehingga melebihi momen retak, kemiringan kurva akan berkurang karena balok tidak kaku seperti pada awal sebelum terjadi retak. Diagram akan mengikuti garis yang hampir lurus dari momen retak hingga ketitik dimana tulangan mengalami tegangan sampai titik lelehnya. Setelah tulangan meleleh, balok memiliki kapasitas momen tambahan yang sangat kecil

sehingga hanya sedikit beban tambahan yang diperlukan untuk meningkatkan putaran sudut dan lendutan, kemiringan diagram sekarang sangat datar. (McCornac, 2001). Pada Gambar 2.6 dapat dilihat diagram momen kulvatur



Gambar 2.6 Diagram momen kulvatur untuk balok beton bertulang yang mengalami tarik

### Jenis-jenis Retak

Dalam McCornac 2001, beberapa jenis ratak yang terjadi pada beton bertulang antara lain sebagai berikut:

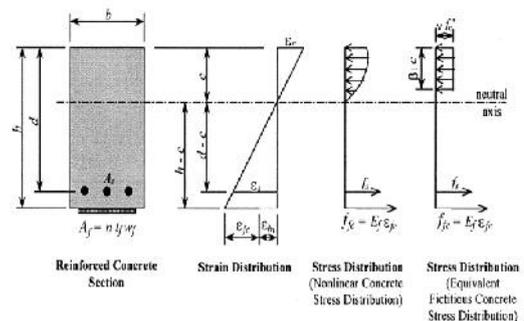
1. Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik balok dan mengarah keatas sampai daerah sumbu netralnya.
2. Retak miring karena geser dapat terjadi pada bagian web balok beton bertulang baik sebagai retak bebas atau perpanjangan retak lentur, retak miring dapat berkembang secara bebas meskipun tidak ada retak lentur.
3. Retak geser lentur, merupakan jenis retak geser miring yang pada umumnya

dan terjadi pada balok prategang dan non prategang.

4. Retak puntir adalah retak yang disebabkan oleh tegangan puntir yang terjadi diseluruh permukaan batang
5. Retak lekatan adalah retak yang terjadi antara beton dan baja tulangan yang mengakibatkan terpisahnya beton disepanjang baja tulangan
6. Retak lainnya seperti akibat batang yang menerima tarik aksial, penyusutan, perubahan temperature, penurunan dan sebagainya.

### Kontribusi Lembaran FRP Dalam Memikul Lentur dan Geser Kontribusi Lembaran FRP Terhadap Lentur

Perhitungan perkuatan lentur dengan FRP mengacu pada ACI committee 440. Analisa perkuatan FRP terhadap lentur yang tertera pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Analisa Perkuatan FRP Terhadap Lentur

### ***Kontribusi Lembaran FRP Terhadap Geser***

Dalam mendesain kekuatan lentur diperlukan faktor reduksi terhadap momen yang terjadi. Berdasarkan analogi rangka, kontribusi lembaran FRP dalam memikul

gaya geser yang bekerja dapat diperhitungkan dengan menambahkan suku  $V_f$  pada persamaan (ACI Committee 440) sehingga:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s + \psi V_f)$$

## **BAHAN DAN METODE**

### **Umum**

Metode yang digunakan pada penulisan ini adalah berdasarkan eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.

### **Bahan Penyusun Beton**

Bahan penyusun beton yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah: semen portlan, agregat halus, agregat kasar dan air. Perbandingan campuran yang digunakan adalah perbandingan jumlah bahan penyusun beton yang lebih ekonomis dan efisien. Mutu beton yang digunakan adalah K-250. Material penyusun beton yang digunakan dalam penelitian ini diperiksa di Laboratorium.

### **Semen**

Semen yang digunakan adalah semen type I yang diproduksi PT Semen Padang. Bahan mentah yang digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur, batu silika, tanah liat dan pasir besi.

### **Agregat halus**

Material agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari PT Kraton.

### **Agregat kasar**

Material agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah split ¾" dan split ½" yang berasal dari PT. Kraton.

### **Air**

Air yang digunakan dalam pengujian ini diambil dari air sumur bor lokasi proyek Kuala Namu dengan kondisi keruh.

### **Baja Tulangan**

Tulangan baja yang digunakan terdiri dari atas tulangan lentur D12 dan tulangan geser Ø6, produksi PT. Putra Baja Deli. Pengujian hasil analisa komposisi kimia berdasarkan standar uji: ASTM A 751 dengan menggunakan mesin uji: ARL Spark Spektrometer. Sedangkan untuk pengujian tarik digunakan standar uji: SNI 07-2052-2002 dengan mesin uji: UPM 200 & 1000.

## **Fiber Reinforced Polymer**

Fiber Reinforced Polymer (FRP) yang dipakai sebagai perkuatan adalah dari bahan carbon dan perekat yang digunakan adalah epoxy imprgnation resin yang merupakan produksi PT. Sika Indonesia.

## **Benda Uji dan Prosedur Perawatan**

Benda uji dalam penelitian ini berupa silinder beton ukuran 15×30 cm sebanyak 6 (enam) buah dan balok beton bertulang dengan ukuran 15×20×130 cm, dengan tulangan tarik dan tulangan tekan dia. 12 mm, serta tulangan geser dia. 6 mm sebanyak 12 (dua belas) buah. Mutu beton untuk semua benda uji adalah K-250.

Tulangan geser yang dipasang merupakan tulangan praktis (lebih kecil dari persyaratan tulangan minimum) dan diaplikasikan pada semua balok uji. Hal ini dilakukan agar balok lemah dalam menahan geser.

Dalam penelitian ini, lembaran serat *FRP* ditempelkan pada permukaan balok dengan prosedur: menggosokkan dan membersihkan permukaan balok dan memastikan permukaan mulus termasuk untuk sisi tepi penampang; kemudian menyiapkan campuran epoxy resin; lalu mengaplikasikan epoxy pada permukaan balok; dan menempelkan lembaran serat *woven carbon fiber* pada permukaan balok;

diteruskan dengan memberikan epoxy lagi sebagai *impregnasi*. Pengetesan benda uji dilakukan pada umur 28 hari.

Sebelum pembuatan benda uji semua peralatan disiapkan dan diolesi Vaseline. Campuran beton segera dimasukkan ke dalam cetakan sebanyak 1/3 bagian, kemudian di rojok. Demikian seterusnya sampai cetakan penuh. Permukaan beton dihaluskan dengan menabur sedikit semen dipermukaan dan diratakan dengan catok.

Untuk menjaga penguapan air dari beton segar, benda uji yang telah selesai dicetak harus dijaga kelembabannya sampai cetakan dilepas. Permukaan cetakan bagian luar harus dijaga jangan sampai berhubungan langsung dengan air selama 24 jam pertama setelah balok dicetak, krena dapat merubah air dalam adukan dan menyebabkan rusaknya benda uji.

Cetakan benda uji dibuka setelah 24 jam dan tidak boleh lebih dari 48 jam setelah pencetakan. Runag penyimpanana harus bebas dari getaran terutama pada umur 48 jam pertama dan sehari sebelum dilaksanakan pengujian pada umur yang direncanakan.

Selanjutnya benda uji kubus direndam air dalam kolam perawatan yang telah disiapkan sampai pada masa pengujian. Untuk balok ujiperawatan

dilakukan dengan menutupi dengan goni basah dan disiram air setiap hari.

### **Prosedur Pengujian dan Pengambilan data**

#### ***Pengujian silinder beton***

Ambil benda uji berupa silinder beton yang akan ditentukan kekuatan tekanan dari bak perendam, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain pelembab. Tentukan berat dan ukuran benda uji. Letakkan benda uji pada mesin kompres berkapasitas 200 ton secara sentries. sesuai dengan tempat yang tepat pada mesin tes kuat tekan beton. Jalankan benda uji atau mesin tekan dengan penambahan beban konstan berdasar 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> per detik. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji. Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan pada saat beton berumur 28 hari lalu diambil rata-rata.

#### ***Pengujian balok beton bertulang***

Pengujian balok bertulang

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil eksperimental Balok Uji I keruntuhan terjadi pada beban sebesar 8 ton dengan lendutan maksimal

dilakukan setelah balok tersebut berumur 28 hari. Alat yang digunakan adalah Jack Hidraulik yang berkapasitas 25 ton. Balok uji ditempatkan pada perletakan dan diberi beban terpusat P yang merupakan titik pembebanan membagi balok dengan jarak yang sama masing-masing 100cm. Untuk mengukur lenturan balok ditempatkan 3 buah dial indicator, yaitu sisi kiri atas (Y1), sisi kanan atas (Y2) dan bawah (Y3) dengan jarak masing-masing 60cm. Sebelum dibebani, jarum-jarum penunjuk dial indicator ini harus pada posisi nol. Beban P pada tahap awal diberi sebesar 1 ton dan selanjutnya ditambah secara bertahap sebesar 0.5 ton. Besarnya beban P yang diberikan dapat dibaca pada manometer jack. Untuk setiap tahap pembebanan dibaca dan dicatat lenturan yang terjadi pada ketiga dial indicator. Selama pembebanan berlangsung diperhatikan dan dicatat saat mulainya retak pertama (retak kasat mata atau retak yang dapat dilihat dengan mata); pola retakan beton yang terjadi dan beban maksimum saat terjadi kegagalan kapasitas daya dukung dari balok uji tersebut.

0.95 mm. Pola retak yang terjadi adalah retak lentur, dimana retak mengarah vertical

ke atas dan retak lebih lebar di pertengahan balok.



Gambar 4.1 Pola retak balok uji I

Untuk balok uji II keruntuhan terjadi pada beban 7 ton dengan lendutan maksimal 0.75 mm dan pola retak yang terjadi adalah retak geser lentur dan retak lekatan, dimana retak berada didaerah dekat tumpuan mengarah miring keatas dan terjadi pemisahan disepanjang tulangan.



Gambar 4.2 Pola retak balok uji II

Pada balok uji III keruntuhan terjadi pada beban 8 ton dengan lendutan maksimal sebesar 0.66 mm dan pola retak yang terjadi adalah retak lentur, dimana retak mengarah vertical ke atas. Pada salah

satu balok uji ini terjadi lepasnya rekatan lembaran FRP dan pola retak yang terjadi adalah retak geser lentur dan retak lekatan.



Gambar 4.2 Pola retak balok uji III

Pada balok uji IV keruntuhan terjadi pada beban 7 ton dengan lendutan maksimal sebesar 0.67 mm dan pola retak yang terjadi adalah retak lentur, dimana retak mengarah vertical ke atas dan salah satu balok uji IV terjadi lepasnya rekatan lembaran FRP sehingga pola retak mengarah pada retak geser lenter



Gambar 4.4 Pola retak balok uji IV

Dari pola retak yang terjadi menunjukkan bahwa perkuatan dengan lembaran FRP mampu meningkatkan nilai

lendutan dari balok. Pada balok uji III dan IV dengan perkuatan menunjukkan kesamaan pola retak dengan balok uji I. Hal ini menunjukkan bahwa lembaran FRP dapat

merubah pola retak pada balok beton. Pada balok uji II retak terjadi karena jumlah tulangan geser kecil.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil eksperimental Balok Uji I keruntuhan terjadi pada beban sebesar 8 ton dengan lendutan maksimal 0.95 mm, pola retak yang terjadi retak lentur. Untuk balok uji II keruntuhan terjadi pada beban 7 ton dengan lendutan maksimal 0.75 mm, pola retak yang terjadi adalah retak geser lentur dan retak lekatan; untuk balok uji III keruntuhan terjadi pada beban 8 ton dengan lendutan maksimal sebesar 0.66 mm, pola retak yang terjadi adalah retak lentur dan pada balok uji IV keruntuhan terjadi pada beban 7 ton dengan lendutan maksimal sebesar 0.67 mm, retak yang terjadi adalah retak lentur.
2. Retak akan terjadi pada beton bertulang karena kekuatan tarik beton yang rendah seperti yang ditunjukkan pada balok uji II.

3. Lembaran FRP dipasang vertikal dapat merubah pola retak pada beton seperti yang ditunjukkan pada pola retak balok uji III dan IV.

### **Saran**

Dengan memperhatikan kesimpulan dan kesulitan-kesulitan yang diperoleh selama penelitian, maka diberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat, perlu kiranya penambahan balok uji sebagai syarat statistic untuk mengambil kesimpulan
2. Untuk mendapatkan hasil retak yang lebih akurat dan parameter-parameter yang lainnya sebaiknya dilakukan dengan menggunakan peralatan pengujian yang lebih baik, akurat dan lengkap
3. Perlu dilakukan uji eksperimen sejenis dengan bentang dan dimensi benda uji yang lebih besar dan letak lembaran FRP yang berbeda

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318, (2002): "Building Code Requirements for Structural Concrete (318-02) and Commentary (318R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 443p.
- ACI Committee 440. (2003). "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars," ACI 440.1R-03, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 41p.
- Chajes M, Januska T, Mertz D, Thomson T and Finch W., "shear strengthening of reinforced concrete beams using externally applied composite fabrics." ACI structural journal, Vol.92. No.3, pp.295-303
- Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon., "Reinforced Concrete Design." Thord Edition, University of Wisconsin-Madison, 1979
- Dipohusodo, Istimawan., "Struktur beton bertulang berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03, Edisi Pertama, Penerbit: Erlangga, Jakarta, 1994
- Nawy, Edward G., "Beton bertulang, suatu pendekatan dasar." Cetakan kedua, Penerbit: PT. Refika Aditama, Bandung, 1998
- Ignatius Christiawan, Andreas Triwiyono, Hary Christady. "EVALUASI KINERJA DAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNGGUNA ALIH FUNGSI BANGUNAN(Studi Kasus : Perubahan Fungsi Ruang Kelas Menjadi Ruang Perpustakaan Pada Lantai II Gedung G Universitas Semarang)," Forum Teknik Sipil No. XVIII/1-Januari 2008
- Jack C. McCormac, "Desain Beton Bertulang," edisi kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta 2001
- Khalifa A, Gold W, Nanni A, and Abel-Aziz M., "Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC Flexural Members," journal of composite for construction, vol.2 no.4, 1998, pp 195-203
- PT. Sika Indonesia., "Sikadur®-330 2-part epoxy impregnation resin." Technical Data Sheet Edition 2, 2005, Identification, no.02 04 01 04 001 0 000004, Version no. 0010, Sikadur® -330, Jl. Raya Cibinong- Bekasi km. 20, Limusnunggal- Cileungsi, BOGOR 16820 – Indonesia, Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230025, Website : [www.sika.co.id](http://www.sika.co.id), e-mail: [sikacare@id.sika.com](mailto:sikacare@id.sika.com).
- PT. Sika Indonesia., "SikaWrap®-231 CWoven carbon fiber fabric for structural strengthening," Technical Data Sheet, Edition 1, 2008, Identification no.02 04 01 02 001 0 000010, Version no. 0010, SikaWrap® -231 C, Jl. Raya Cibinong- Bekasi km. 20, Limusnunggal- Cileungsi, BOGOR 16820 – Indonesia, Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230025, Website : [www.sika.co.id](http://www.sika.co.id), e-mail: [sikacare@id.sika.com](mailto:sikacare@id.sika.com).
- PT. Sika Indonesia., "SikaWrap®-230 C/45Woven carbon fiber fabric for structural strengthening," Technical Data Sheet, Edition 4, 2008, Identification no. 02 04 01

02 001 0 000025, Version no. 0010, SikaWrap® -230 C/45, Jl. Raya Cibinong- Bekasi km. 20, Limusnunggal- Cileungsi, BOGOR 16820 – Indonesia, Tel. +62 21 8230025, Fax +62 21 8230025, Website : www.sika.co. id, e-mail: sikacare@id.sika.com.

R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan., “FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES.” University of Rhode Island, URITC PROJECT NO. 536101, September 2002

Triantafillou T.C, 1998., “Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded FRP composite,” ACI journal structural journal, vol.95, no.2, 1998, pp 107-115

Uji, K., “Improving shear capacity of existing reinforced concrete members by applying carbon fiber sheet,” transactions of the japan concrete institute, vol.14, 1992, pp.253-266