

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi bahan agregat (pasir, kerikil, dan batu pecah), bahan binder (semen), dan air. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen Portland, yang terdiri dari agregat mineral, semen dan air. Beton memiliki karakteristik unggul sehingga sangat banyak digunakan dalam berbagai macam konstruksi. Selain itu, beton juga memiliki daya isap air yang rendah, sehingga tidak mudah mengembang atau retak saat dipaparkan pada suhu dan kondisi tertentu.

Beton sebagai material konstruksi sudah dikenal dan digunakan sejak ribuan tahun lalu. Walaupun istilah semen Portland baru dikenal pada abad 19, namun bangunan dengan menggunakan beton sudah dikenal sejak jaman Romawi, seperti Colosseum di Roma atau Pont du Gard di Perancis. Pada abad ke 17, perkembangan beton terus mengalami peningkatan seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, bangunan serta strukturnya berkembang lebih bervariasi dan inovatif, serta sekarang ini kebanyakan bangunan menggunakan struktur beton bertulang (Dranita Dkk, 2020).

Kota Tidore Kepulauan memiliki sumber daya alam berupa ketersediaan pasir batu apung. Pasir batu apung adalah jenis butiran yang berwarna terang, mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinging gelas dan biasanya disebut juga sebagai butiran gelas vulkanik silikat (Sultan dan Yudasaputra, 2017). Ketersediaan pasir batu apung yang melimpah di Kota Tidore menarik

perhatian penulis untuk memanfaatkan material loka untuk campuran beton. Pasir batu apung (*Pumice*) juga memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai campuran beton (Sintia Dkk, 2020).

Kerusakan pada struktur beton yang sering terjadi diakibatkan oleh umur rencana, perubahan pembebanan ataupun bencana alam seperti gempa bumi dapat menimbulkan kegagalan pada struktur beton. Kerusakan struktur beton akibat gempa juga dapat bermanifestasi sebagai keretakan struktural, spalling, delaminasi, dan keruntuhan. Permasalahan tersebut menyebabkan struktur yang masih eksis perlu diperbaiki kembali agar struktur tidak runtuh. Dengan berbagai kemajuan ilmu teknik, lahirlah *fiber reinforced polymers (FRP)* dan banyak digunakan saat ini sebagai bahan untuk memperkuat dan memperbaiki struktur.

FRP adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari baja), dan mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. *FRP* dapat terbuat dari 3 (tiga) bahan komposit, yaitu *Carbon*, *Glass*, dan *Aramid*. Dalam penelitian ini direncanakan menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. *CFRP* lebih mudah dilakukan dalam pelaksanaannya di lapangan karena tidak perlu membongkar elemen struktur eksisting sehingga dapat mempercepat pengerjaan konstruksinya (Pangestuti, Nuroji, Antonius, 2006).

Penelitian yang dilakukan merupakan kajian eksperimental balok beton bertulang pasir batu apung (*Pumice*), yang diperkuat *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Keuntungan utama dari studi ini adalah untuk mengurangi risiko kerusakan seismik struktur dengan mengurangi berat sendiri struktur dan

juga memanfaatkan material alami pasir batu apung di kota Tidore. Dengan dasar inilah penulis akan mengadakan penelitian tentang **“Efek Perkuatan Balok Beton Bertulang Menggunakan Agregat Pasir Batu Apung Dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer-Sheet (CFRP-S)*”**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang menjadi alasan penelitian ini, maka pertanyaan yang diajukan dirumuskan sebagai berikut :

Bagaimana kapasitas lentur balok beton bertulang yang menggunakan agregat halus pasir batu apung yang diperkuat *CFRP-S*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah yang telah dipaparkan tersebut, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

Untuk mengetahui kapasitas lentur balok beton bertulang menggunakan agregat halus pasir batu apung yang diperkuat *CFRP-S*?

1.4. Batasan masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka masalah yang dibatasi pada penelitian ini adalah :

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, ruang lingkup pertanyaan penelitian didefinisikan sebagai berikut :

1. Beton yang dipakai adalah beton dengan variasi agregat halus pasir batu apung dengan campuran perbandingan volume.
2. Benda uji balok yang digunakan berukuran 10 x 15 x 120 cm³.

3. Data material untuk lembaran *CFRP* diambil langsung dari sumber pabrik, sedangkan baja diambil dari data kuat tarik baja di laboratorium.
4. Tidak meninjau dari segi ekonomis.
5. Balok yang ditinjau adalah benda uji yang telah dibebani beban *two point load*.
6. Pengikatan lembaran *CFRP* dengan metode Wet Lay-Up menggunakan epoxy yang disebut Tyfo S.

1.5 Sistematika Penyusunan

Sistematika penulisan ini disusun tiap-tiap bab dibagi lagi menjadi beberapa bagian yang akan diuraikan lagi. Adapun pengurainnya sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan tentang gambaran umum mengenai latar belakang pemilihan judul tugas akhir, rumusan masalah, batasan masalah, serta sistematika penulisan yang mengurai secara singkat komposisi bab yang ada penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang mendukung dan akan digunakan dalam penyelesaian masalah-masalah yang ada.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang lokasi penelitian dan metode yang digunakan dalam menyelesaikan studi berdasarkan pendekatan teori yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya bab ini juga membahas tentang pengumpulan data di lapangan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang dari pengumpulan data di lapangan serta pembahasan dari hasil pengolahan data yang di peroleh.

BAB V. PENUTUP

Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan hasil analisis dan memberikan saran-saran sehubungan dengan analisis yang telah dilakukan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Beton (*Concrete*)

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. 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 (Dipohusodo, 1999:1).

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan beton diantaranya dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap suhu tinggi, dan biaya pemeliharaan yang relatif murah, sedangkan kekurangan beton adalah sulit merubah bentuk yang telah dibuat, berat, pengerjaan membutuhkan ketelitian tinggi, daya pantul suara yang besar, dan kuat tarik yang rendah. Kuat tarik beton yang lemah dapat diatasi dengan menambahkan baja tulangan ke dalam beton yang selanjutnya disebut sebagai beton bertulang.

2.2 Komposisi Beton

2.2.1 Agregat

Menurut Sukirman (2003), agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. Agregat merupakan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri

dari mineral padat dan berupa berukuran besar.

Menurut SNI 2847: 2013, agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur, yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

Untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat yang berkualitas baik pula. Agregat yang baik untuk pembuatan beton sebaiknya memenuhi persyaratan (Tjokrodinuljo, 1996) sebagai berikut:

1. Butir-butirnya tajam, kuat dan bersudut,
2. Tidak mengandung lumpur 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar,
3. Tidak mengandung zat organik,
4. Tidak mengandung garam yang menghisap air dari udara,
5. Bersifat kekal, tidak hancur atau berubah karena cuaca,
6. Harus mempunyai variasi besar butir (gradasi) yang baik.

Cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah didasarkan pada ukuran butir-butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar, sedangkan agregat yang berbutir kecil disebut agregat

halus. Dalam pelaksanaanya agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodimuljo, 2007) yaitu:

1. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm,
2. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm dan 40 mm,
3. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm dan 5 mm.

2.2.1.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah batuan yang ukuran butir terbesar 5 mm dengan gradasi agregat terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 : Batas-batas gradasi agregat halus (ASTM-C33,2003)

Diameter Saringan (mm)	Peresentase Lolos (%)
9,50	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,18	50 – 85
0,6	25 – 60
0,3	10 – 30
0,15	0 – 10

2.2.1.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirannya antara 5 mm sampai 40 mm dengan gradasi agregat terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 : Batas-batas gradasi agregat kasar (ASTM-C33,2003)

Diameter Saringan (mm)	Peresentase Lolos (%)
37.50	100
25	90 – 100
19	40 – 85
12,5	10 – 40

9,5	0 – 10
4,75	0 – 5

Ukuran agregat dalam prakteknya secara umum digolongkan ke dalam 3 kelompok yaitu :

1. Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
2. Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.

2.2.2 Semen

Semen merupakan serbuk yang halus yang digunakan sebagai perekat antara agregat kasar dengan agregat halus. Apabila bubuk halus ini dicampur dengan air selang beberapa waktu akan menjadi keras dan dapat digunakan sebagai pengikat hidrolis. Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan 20 agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil/batu pecah) maka akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton.

Fungsi semen ialah bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk melekatkan butir-butir agregat agar menjadi suatu kesatuan massa yang kompak/padat. Selain itu pasta semen mengisi rongga-rongga antara butir-butir agregat. Walaupun volume semen hanya kira-kira 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan perekat yang aktif dan mempunyai harga yang mahal dari pada bahan dasar beton yang lain perlu diperhatikan/dipelajari secara baik. (Tjokoridimulyo, 2004)

2.2.3 Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan.

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton jadi rendah.

2.3 Pasir batu apung

Pasir batu apung berasal dari batu apung (pumice) dengan gradasi yang lebih kecil. Batu apung (pumice) adalah batuan alam yang merupakan hasil dari aktivitas gunung api efusif yang mengandung buih yang terbuat dari gelembung berdinding gelas, dan biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat kemudian dilanjutkan proses pendinginan secara alami dan terendapkan di dalam lapisan tanah selama bertahun-tahun (muljadi,2008)

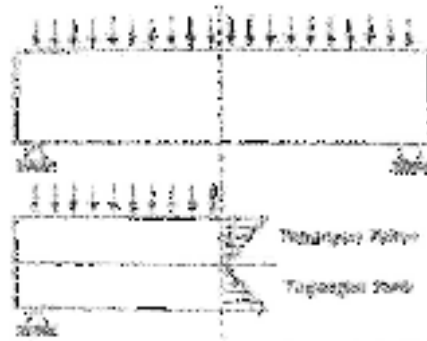
Pumice terjadi bila magma asam muncul ke permukaan dan bersentuhan dengan udara luas secara tiba-tiba. Buih gelas alam dengan gas yang terkandung didalamnya mempunyai kesempatan untuk keluar dan magma membeku dengan tiba-tiba. Pumice umumnya terdapat sebagai fragmen yang terlemparkan pada saat gunung api dengan ukuran dari kerikil sampai bongkah. Pumice umumnya terdapat sebagai lelehan atau aliran permukaan, bahan lepas, atau fragmen dalam breksi gunung api. Batu apung dapat pula dibuat dengan cara memanaskan

obsidian, sehingga gasnya keluar. Pemanasan yang dilakukan pada obsidian dari Krakatau, suhu yang diperlukan untuk mengubah obsidian menjadi batu apung rata-rata 880°C. Berat jenis obsidian yang semula 2,36 turun menjadi 0,416 sesudah perlakuan tersebut oleh sebab itu mengapung didalam air. Batu apung ini mempunyai sifat hydraulis. Pumice berwarna putih abu-abu, kekuningan sampai merah, tekstur vesikuler dengan ukuran lubang yang bervariasi baik berhubungan satu sama lain atau tidak struktur skorious dengan lubang yang terorientasi. Kadang-kadang lubang tersebut terisi oleh zeolit atau kalsit. Batuan ini tahan terhadap pembekuan embun (*frost*), tidak begitu higroskopis (mengisap air). Mempunyai sifat penghantar panas yang rendah.

2.4 Balok Beton Bertulang

Beton merupakan material yang kuat dalam menahan gaya tekan, namun lemah dalam menahan gaya Tarik. Oleh sebab itu, beton akan mengalami retak jika beban luar yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tarik materialnya.

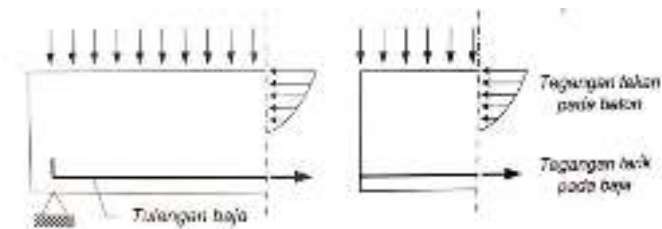
Pada struktur balok tanpa tulangan yang tergambar di bawah ini, momen yang timbul akibat beban luar pada dasarnya ditahan oleh gaya kopel yaitu tekan dan tarik. Balok tersebut dapat runtuh secara tiba-tiba jika terus diberi beban dan akan mengalami retak yang diawali pada zona tarik penampang hingga ke area tekan balok.



Gambar 2. 1 : Distribusi Tegangan pada Penampang sebelum Retak (Ali Asroni. 2010)

Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan/material yaitu beton polos dan tulangan baja. beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang yang besar sehingga tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang diperlukan (Naibaho, 2008).

Pada balok beton bertulang, tulangan baja ditanam di dalam beton dengan penempatan sedemikian rupa dengan bertujuan agar tegangan tarik yang dihasilkan pada saat diberi beban eksternal dapat ditahan, dan momen pada penampang retak dapat dikembangkan oleh tulangan baja.



Gambar 2. 2 : Distribusi Tegangan pada Penampang Retak (Ali Asroni. 2010)

2.5 Analisis lentur balok beton bertulang

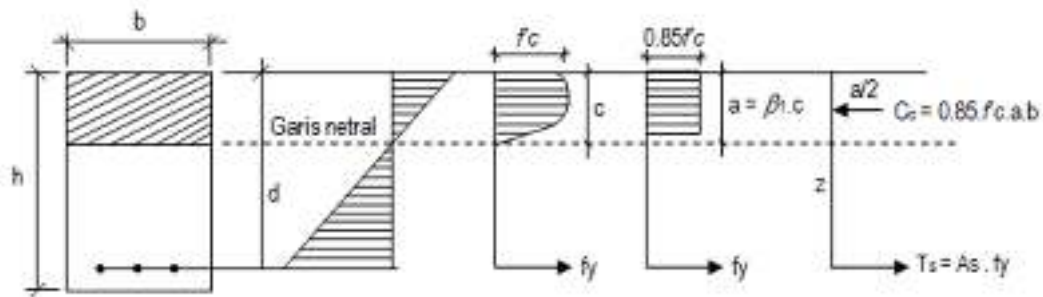
Beban – beban yang bekerja pada suatu struktur menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur tersebut. Beban yang dimaksud bisa berupa beban gravitasi, beban kerja, beban susut, beban karena perubahan suhu, dll. Balok sebagai sistem dari sebuah struktur yang menahan lentur harus terjamin stabilitasnya. pada suatu penampang balok bisa terjadi momen lentur negatif dan momen lentur positif, saat suatu balok mengalami beban akan menimbulkan momen positif, maka regangan tekan akan terjadi diatas garis netral dan regangan tarik akan terjadi di bagian bawah garis netral.

Tegangan – tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini akan mempengaruhi dimensi penampang balok. Proses desain yang mencakup penentuan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan persyaratan terhadap lentur. Setelah itu faktor – faktor lain seperti geser, defleksi, retak, dan panjang penyaluran tulangan sampai memenuhi syarat. (Nawy, 1990)

Balok mempunyai kuat lentur, hal ini dikarenakan berlangsungnya mekanisme tegangan yang timbul di dalam balok akibat beban yang pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya-gaya dalam.

Analisis lentur penampang balok beton bertulangan tunggal berdasarkan Gambar 2.3 dirumuskan sebagai berikut :

$$Mn = Cc \cdot (z) \text{ atau } Mn = Ts \cdot (z) \quad (2. 1)$$



Gambar 2. 3 : Analisis Penampang Balok Beton Tulangan Tunggal

Dimana :

M_n = momen nominal penampang (Nmm)

f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

a = tinggi blok tekan penampang (mm)

b = lebar penampang (mm)

d = tinggi efektif penampang (mm) dari titik berat tulangan ke serat tekan

A_s = luas tulangan tarik (mm²)

f_y = tegangan leleh baja (N/mm²)

d' = jarak titik berat tulangan tekan ke serat terluar sisi tertekan (mm)

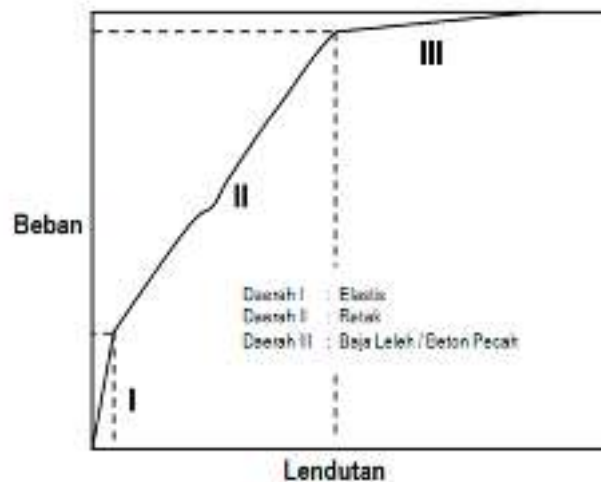
C_c = Tekan Beton (Mpa)

T_s = Tekan Baja (Mpa)

2.6 Perilaku Keruntuhan Balok Beton Bertulang

Pada umumnya perilaku keruntuhan yang dominan pada struktur balok adalah lentur, dikarenakan rasio bentang geser (a) dan tinggi efektif balok (d) cukup besar. Jika rasio a/d kecil maka digolongkan sebagai balok tinggi (*deep beam*), keruntuhan geser dominan. Perilaku keruntuhan balok beton bertulang diatas dua tumpuan dapat digambarkan dalam bentuk kurva beban-lendutan,

seperti pada Gambar 2.9. Hubungan serupa juga diperlihatkan pada struktur beton bertulang jenis lain khususnya yang didominasi perilaku lentur. Perilaku keruntuhan dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu : (1) elastis penuh (belum retak), (2) tahapan mulai terjadi keretakan, dan (3) tahapan plastis (leleh baja atau beton pecah). Respons *non-linier* disebabkan dua hal utama, yaitu keretakan beton di daerah tarik dan tulangan mengalami leleh atau beton pecah (*crushing*) pada daerah desak. Selain itu disebabkan perilaku lain yang terkait, misalnya *bond-slip* antara tulangan baja dan beton disekitarnya, aksi penguncian agregat pada daerah retak dan akhirnya aksi angkur (*dowel action*) dari tulangan yang melintas di sekitar retak balok yang terjadi.



Gambar 2. 4 : Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton

Perilaku sebagai fungsi waktu, misalnya *crep*, *shrinkage* dan variasi temperatur juga menyumbang perilaku *non-linier*. Kecuali itu, hubungan tegangan regangan beton tidak hanya bersifat non-linier, tetapi juga berbeda antara beban tekan dan tarik. Sifat mekanisnya tergantung dari umur waktu dibebani, kondisi lingkungan (suhu sekeliling dan kelembaban). Untuk mencari beban batas maka

kurva beban-lendutan digunakan untuk memprediksi yaitu pada bagian kurva yang mendekati horizontal.

2.7 Tipe Keruntuhan

Tipe keruntuhan balok sangat tergantung pada kelangsingan balok. Kelangsingan balok dinyatakan a/d untuk beban terpusat, dimana a adalah panjang geser (*shear span*), yaitu jarak antara titik pembebanan ke tumpuan. Keruntuhan suatu balok dapat terjadi menurut salah satu dari tiga ragam keruntuhan ini. (Nawy, 1996).

2.7.1 Keruntuhan Lentur (*Flexural Failure*)

Keruntuhan Lentur (*flexural failure*) yaitu keruntuhan yang terjadi pada balok dengan harga $a/d > 6$, dimana arah retak vertikalnya di tengah bentang sepanjang kira-kira $1/3$ bentang. Retak halus vertikal mulai terbentuk di tengah bentang pada tingkat beban $\pm 50\%$ dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban, retak menyebar di daerah tengah bentang, retak awal mulai melebar dan merambat ke arah garis netral dan lendutan meningkat. Bila penulangan memanjang balok *under-reinforced*, keruntuhan terjadi secara daktail yang diawali oleh lelehnya tulang lentur.

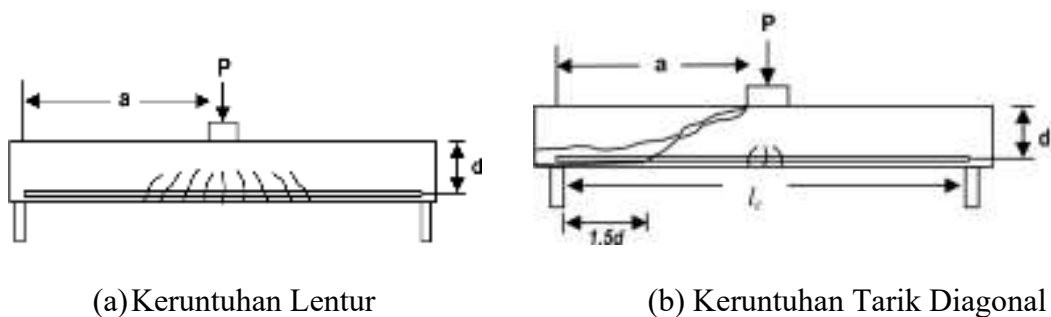
2.7.2 Keruntuhan Tarik Diagonal (*Diagonal Tension Failure*)

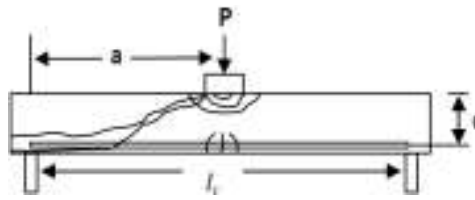
Keruntuhan Tarik Diagonal (*Diagonal Tension Failure*) yaitu keruntuhan yang terjadi setelah keretakan miring tanpa peringatan yang cukup, yang terjadi karena kuat tarik diagonal lebih kecil dari kuat lentur. Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan resiko a/d sekitar $2.5 - 6$. Keretakan dimulai dengan terbentuknya

retak lentur vertikal di tengah bentang, yang akan menyebar akibat meningkatnya beban ke daerah dengan momen lebih kecil dan gaya geser besar, sehingga terjadi keretakan lentur geser. Dengan meningkatnya gaya geser, retak akan melebar dan merambat sampai ke sisi balok runtuh. Keruntuhan bersifat getas dan lendutan yang terjadi relatif kecil.

2.7.3 Keruntuhan Geser Tekan (*Shear Compression Failure*)

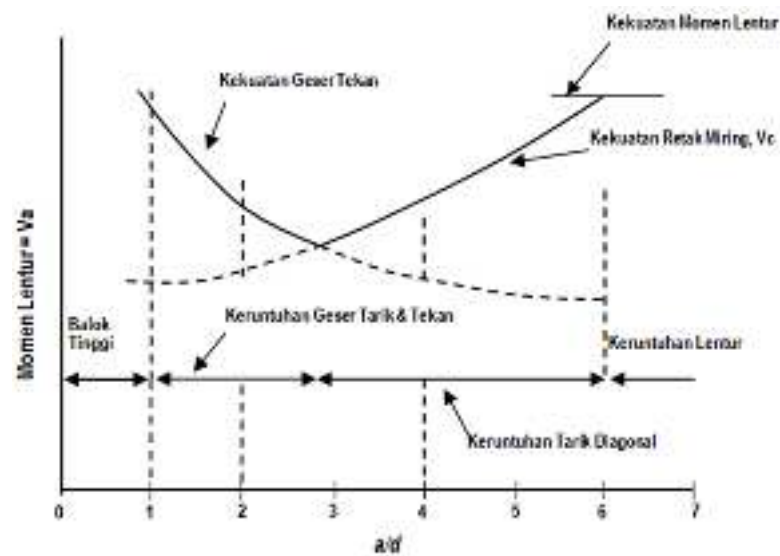
Keruntuhan Geser Tekan (*shear compression failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi setelah retak lentur geser terjadi, kemudian retak merambat ke belakang sepanjang tulangan lentur. Keretakan ini akan melepaskan lekatan tulangan memanjang, dan balok akan berkelakuan seperti busur dua sendi, yang diakhiri dengan hancurnya beton tekan di sisi atas balok. Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio a/d antara 1.0 – 2.5. Keruntuhan relatif kurang getas karena terjadi redistribusi tegangan, tetapi secara umum masih tergolong keruntuhan getas dengan peringatan batas.





(c) Keruntuhan Geser Tekan

Gambar 2. 5 : Ragam Pola Keruntuhan Balok (Nawy, 1998)



Gambar 2. 6 : Rasio a/d terhadap Geser Pada Balok Persegi (Chu-Kia Wang, 1993)

2.8 Jenis Pola Retak

Pada umumnya terdapat tiga jenis keretakan yang sering terjadi pada balok beton bertulang, diantaranya adalah :

2.8.1 Retak lentur (*Flexural crack*)

Retak lentur (*Flexural crack*) terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak yang terjadi hampir tegak lurus pada suatu sumbu balok.

2.8.2 Retak geser lentur (*Flexural shear crack*)

Retak geser lentur (*Flexural shear crack*) terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.

2.8.3 Retak geser badan (*web shear crack*)

Retak geser badan (*web shear crack*) yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil.

2.9 Perkuatan Struktur

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai rencana. Perkuatan struktur dapat dilakukan dalam beberapa metode. Metode perkuatan struktur bisa dilakukan dengan perbaikan dan perkuatan komponen struktur berupa injeksi untuk keretakan, patching, dan grouting untuk mengatasi spalling serta dengan perkuatan eksternal menggunakan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*.

2.9.1 *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

Didefinisikan sebagai polimer yang diperkuat dengan serat. Ini mewakili kelas bahan yang termasuk dalam kategori yang disebut bahan komposit. Bahan komposit dibuat dengan menyebarkan partikel dari satu atau lebih bahan ke bahan lain, yang membentuk jaringan kontinu di sekitarnya. Komposit *FRP* berbeda dari bahan konstruksi tradisional seperti Baja dan Aluminium. *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* terbuat dari bahan yang ringan, tidak korosif, dan mampu

menahan kuat tarik tinggi. *FRP* dapat terbuat dari 3(tiga) bahan komposit, yaitu *Carbon*, *Glass*, dan *Aramid*.

2.9.1.1 *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*

Serat karbon didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan system CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, aksial dan daktilitas. Cara pemasangan CFRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat epoxy resin seperti pada gambar 2.1. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional. (Karmila, Agoes,Tavio,2013)



Gambar 2. 7 : Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) (Sumber: Penulis)

Pada penelitian ini penulis menggunakan bahan komposit FRP yaitu CFRP dengan *type Sika Warp*. Adapun spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2. 3 : Karakteristik *CFRP*

<i>Properties</i>	<i>CFRP</i>
Kuat Tarik	4.800 N/mm ²
Modulus – E	234.000 N/mm ²
ϵ_{cu}	>1,8 %

Tebal / lebar	0,131 mm / 500 mm
Panjang	10 m

2.9.1.2 Epoxy

FRP direkatkan pada permukaan elemen struktur secara kimiawi dengan perekat. Perekatan secara kimiawi sangat praktis karena tidak menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan, lebih mudah dilaksanakan dibandingkan dengan perekat mekanis dan tidak menyebabkan kerusakan pada material dasar atau material kompositnya. Perekat yang paling cocok digunakan pada material komposit adalah perekat yang mempunyai bahan dasar epoxy resin. Perekat ini dibuat dari campuran 2 komponen. Komponen utamanya adalah cairan organik yang diisikan ke dalam kelompok epoxy. Permukaan yang akan dilekatkan harus dipersiapkan untuk mendapatkan lekatan yang efektif.



Gambar 2.8 : Resin *Epoxy* (Sumber : Penulis)

2.9.2 Model Kegagalan

Beberapa mode kegagalan yang sering terjadi pada balok yang diperkuat dengan *FRP* yaitu :

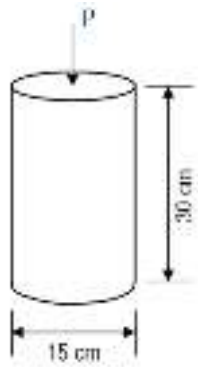
1. Rusaknya *FRP* setelah tulangan tarik meleleh. Kerusakan *FRP* berupa putusya *FRP*. Kegagalan ini disebut *FRP failure*.

2. Hancurnya beton sekunder setelah tulangan tarik meleleh. Kegagalan ini disebut dengan *peeling*.
3. Inti beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meleleh. Kegagalan ini disebut dengan kegagalan tekan.
4. Lepasnya ikatan antara *FRP* dan beton (*debonding*). Model kegagalan berupa putusnya lapisan *FRP* yang terjadi setelah melelehnya tulangan dan hancurnya beton pada sisi tekan. Hancurnya beton pada sisi tekan terjadi sebelum tulangan tarik meleleh sehingga kondisi ini identik dengan kondisi *over-reinforced*.
5. Lepasnya rekatan *FRP* dengan permukaan beton dimulai pada lokasi retak lentur yang kemudian merambat pada ujung *FRP*.
6. Selain itu terdapat pula kondisi di mana tulangan tarik telah meleleh namun disertai dengan hancurnya beton pada sisi tekan tanpa disertai putusnya *FRP*.

2.10 Pengujian Benda Uji

2.10.1 Pengujian Kuat Tekan

Pengertian kuat tekan beton menurut SNI 03-1974-1990 adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah faktor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, jumlah semen, serta sifat agregat. Kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.2).



Gambar 2. 9 : Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton (Sumber : Penulis)

$$f'_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{4}(\pi D^2)} \quad (2.1)$$

Dimana :

f'_c = kuat tekan beton yang didapat dari benda uji (MPa)

P = beban benda uji (N)

A = luas penampang (mm²)

D = diameter benda uji silinder (mm)

2.10.2 Pengujian Kuat Lentur

Kuat lentur adalah kemampuan benda uji untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan beban padanya sampai benda uji patah. pembuatan dan perawatan benda uji beton di Laboratorium mengacu pada standar SNI 03-2493-1991.

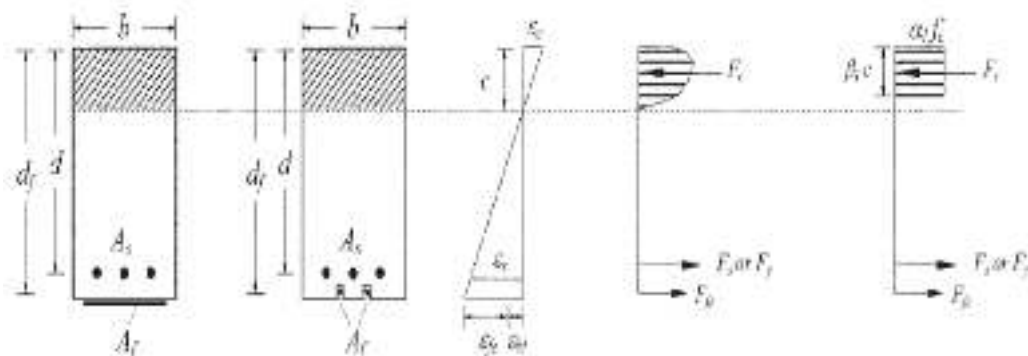
Perhitungan P atau beban maksimum pada uji kuat lentur ini mengasumsikan bahwa besar momen yang dapat mematahkan benda uji adalah momen akibat beban maksimum dari mesin pembebanan.

2.11 Metode Perkuatan Balok dengan CFRP

2.11.1 Perkuatan lentur

Balok sebagai sistem dari sebuah struktur yang menahan lentur harus terjamin stabilitasnya, agar tegangan tarik dan tekan dapat ditahan oleh balok tersebut. Dalam penampang balok yang menahan gaya tekan adalah beton (concret) sedangkan menahan gaya tarik merupakan baja tulangan dan sumbangan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

Jika balok beton bertulang diberi pelat CFRP, maka kuat lentur yang terjadi merupakan hasil dari luas penampang baja di area tarik dengan lengan ditambah luas *FRP* kali lengan. Kondisi tegangan-regangan penampang beton CFRP di bawah beban lentur menurut (ACI 440.2R-17) ditunjukkan pada Gambar 2. 10.



Gambar 2. 3 : Diagram σ & ϵ beton bertulang dengan CFRP

(Sumber : ACI 440.2R-17)

Menghitung kekuatan lentur dari kontribusi tulangan baja dan *FRP* untuk momen

$$M_{ns} = A_s f_y (d - (\beta_1 c / 2)) \quad (2. 3)$$

$$M_{nf} = A_f f_{fe} (d_f - (\beta_1 c/2)) \quad (2.4)$$

$$M_n = M_{ns} + M_{nf} \quad (2.5)$$

Dimana :

A_f = Luas Tarik *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

f_{fe} = gaya tarik sumbangan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

M_{ns} = Momen Nominal tulangan baja

M_{nf} = Momen nominal *FRP*

M_n = Momen nominal

β_1 = Faktor reduksi

Kekuatan lentur nominal penampang dengan *FRP* perkuatan eksternal dapat dihitung dari Persamaan (2. 9). Pada faktor reduksi tambahan untuk *FRP*, β_1 diterapkan pada kontribusi kekuatan lentur tulangan *FRP*. Nilai yang disarankan β_1 adalah 0,85. Faktor reduksi ini untuk kontribusi kekuatan perkuatan *FRP* yang didasarkan pada statistik yang dikalibrasi secara eksperimental sifat-sifat kekuatan lentur (ACI 440.2R-08). Karena pertimbangan kompatibilitas regangan *CFRP* sebaiknya hanya digunakan untuk menahan gaya tarik. Selain itu disarankan bahwa kuat lentur nominal balok setelah diperkuat M_n tidak boleh melebihi dua kali kuat lentur sebelum diperkuat M_{no} atau

$$\eta B = \frac{M_n}{M_{no}} \leq 2 \quad (2.6)$$

2.12 Penelitian Terdahulu

Dranita Dewi Rantung, dkk (2020) melakukan penelitian tentang kuat tekan beton dan tarik belah beton dengan variasi persentase batu apung dan abu sekam padi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi dan batu apung sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian beton dengan substitusi parsial semen menunjukkan bahwa kuat tekan yang paling optimum terdapat pada beton dengan substitusi parsial ASP 10%, dengan hasil 19,82 MPa pada umur 14 hari dan 23,30 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan beton mengalami peningkatan sebesar 23,30.%.

Pengestu, dkk (2006) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan carbon fiber reinforced plate terhadap perilaku lentur struktur balok beton bertulang. Studi eksperimental perkuatan beton bertulang dengan *CFRP* telah dilakukan untuk memperkirakan efektivitas penggunaan *CFRP* pada struktur beton sebagai bahan perkuatan lentur dan tulangan luar. Dalam penelitian ini, tiga spesimen diuji. Benda uji pertama adalah balok beton bertulang dengan tulangan baja tunggal (BT) yang digunakan sebagai balok kontrol. Spesimen kedua adalah balok beton bertulang dengan tulangan baja tunggal dan laminasi *CFRP* (BTF). Spesimen terakhir adalah balok beton dengan laminasi *CFRP* tanpa batang baja (BF). Balok kedua dan ketiga, *CFRP* dilaminasi di bagian bawah balok dengan epoksi. Dimensi balok adalah 150/250 mm dengan panjang efektif 1900 mm. Semua balok diuji menggunakan pembebanan empat titik untuk mendapatkan tekukan murni pada bentang tengah. Hasil penelitian eksperimental menunjukkan bahwa beban ultimit balok yang diperkuat BTF adalah 49% lebih tinggi dari BT;

kekakuan balok yang diperkuat BTF adalah 68% lebih tinggi dari BT; dan momen retak balok perkuatan BTF lebih besar 50% dari BT. Namun, deformasi dan daktilitas balok perkuatan BTF masing-masing lebih rendah dari BT 77,6% dan 73%. Meskipun penggunaan *CFRP* laminasi pada balok beton (BF) dapat meningkatkan kekakuan 33,3% dan momen retak 50%, tetapi penggunaan *CFRP* laminasi pada balok beton sebagai tulangan luar tanpa tulangan baja (BF) tidak efektif, karena regangan *CFRP* hanya 41% dari regangan maksimum yang mungkin dicapai. Fenomena keruntuhan balok beton dengan laminasi *CFRP* (BTF dan BF) adalah sebelum terjadinya *CFRP* de-bonding yang membuat kinerja *CFRP* tidak maksimal.

Muhammad Muhajir, (2021), melakukan penelitian mengenai “Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan *CFRP* Pasca Beban Ultimit”. Untuk mengetahui besar kapasitas lentur beton bertulang dengan perkuatan lembar *CFRP* setelah beton mengalami kegagalan. Dapat diaplikasikan pada bangunan yang mengalami kegagalan akibat gempa kuat namun masih dapat diperbaiki kembali sehingga bangunan tersebut masih dapat berfungsi dengan baik.

Tinjauan pustaka memuat uraian sistematis tentang pustaka dan hasil-hasil penelitian yang didapat oleh peneliti terdahulu serta memiliki hubungan yang erat dengan penelitian yang sedang dilakukan yang dapat membantu memberikan solusi untuk memecahkan masalah pada penelitian yang sedang dilakukan.

“Gerardus”, 2014 “Pengujian Kuat Tekan Beton dengan berbagai Fas”

Ada beberapa metode pengujian kekuatan tekan beton yang dapat digunakan diantaranya pengujian yang bersifat tidak merusak (non destructive test), setengah

merusak (semi destructive test) dan yang merusak komponen struktur yang diuji (destructive test). Namun, ada kasus dimana tidak mungkin untuk menguji sampel beton di laboratorium atau kasus dimana yang membutuhkan pembacaan kekuatan beton secara langsung di lapangan. Kasus-kasus inilah yang pada akhirnya menggunakan non destructive test.

“Hadi”., 2014 “Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Beton”

Pondasi tiang pancang merupakan pondasi tiang yang dibuat terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu. Pondasi tiang beton pracetak harus direncanakan agar mampu menahan gaya dan momen lentur pada tiang yang timbul pada saat pengangkatan, mampu menahan tegangan yang timbul saat pemancangan, disamping beban rencana yang harus dipikul.

“Juwarnoko”., 2019 “Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton”

Bahan konstruksi ini dianggap sangat penting untuk terus dikembangkan. Salah satu usaha pengembangannya ialah dengan memperbaiki sifat dari kelemahan beton yaitu tidak mampu menahan gaya tarik, dimana nilai kuat Tarik beton berkisar 9%-15% dari kuat desaknya (Dhipohusodo, 1994).

“A. Agung”., 2015 “Karakteristik Beton Ringan dengan Bahan Pengisi Styrofoam” Dalam proses pembuatan beton ringan tentunya dibutuhkan material campuran yang memiliki berat jenis rendah. Salah satu bahan alternatif yang dapat digunakan adalah Styrofoam. Styrofoam merupakan salah satu bahan material yang memiliki berat jenis yang rendah. Selain harganya yang relatif murah,

styrofoam atau expanded polystyrene yang terbuat dari polisterin atau yang lebih dikenal dengan gabus putih kerap menjadi limbah industri maupun limbah rumah tangga yang menjadi masalah lingkungan karena sifatnya yang tidak dapat membusuk dan susah terurai di alam.

“Subagio”., 2020 “Pengaruh Paparan Air Laut Terhadap Karakteristik Beton dengan Penambahan Soda Api”

Beton Merupakan hal yang paling umum digunakan dalam pekerjaan teknik sipil, seperti peningkatan struktur jalan yang menggunakan beton (Rigid Pavemen) termasuk juga pekerjaan pembangunan pada lokasi sekitar daerah pantai dan air laut, seperti jembatan, dermaga, pemecah gelombang, piers, jetty, pengaman panti dan bangunan lainnya.

Untuk mendukung hal itu diatas, penelitian dengan menggunakan bahan tambahan (soda api) perlu dilakukan untuk mempercepat proses pengerasan pada beton.

“Amdhani”., 2012 “Perencanaan Struktur Gedung Beton dengan System Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul momen Menengah (SRPMM) “

Dalam hal ini, struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai dengan SNI 03-2847-2002 dan SNI 17262002. Dimana bangunan model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akan menggunakan Strong Column and Weak Beam (kolom kuat dan balok lemah). Struktur yang akan direncanakan adalah gedung hunian 5 lantai, dimana ditinjau dengan menggunakan analisa pengaruh beban statik ekuivalen. Sistem Rangka

Pemikul Momen adalah Sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Tersusun dari batang-batang yang dihubungkan satu sama lain dengan pelat buhul, pengikat paku keling, baut atau las. Batang batang rangka hanya memikul gaya dalam aksial (normal) tekan atau tarik.

“Yuli” · 2019 “Analisis kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa dengan Metode Beban Dorong (Push Over)“

Indonesia merupakan suatu wilayah yang hampir seluruhnya berada disekitar ring on fire (daerah yang sering mengalami gempa bumi dengan intensitas sedang hingga tinggi), yang memanjang dari Pulau Sumatera-Jawa-Nusa Tenggara dan Sulawesi. Berdasarkan tragedi yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dan kerugian materi dalam jumlah yang cukup besar. Untuk itu diperlukan suatu analisa terhadap suatu bangunan konstruksi yang telah ada, untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa, guna menjamin keselamatan gedung dan pemakainya. Salah satu metode pendekatan untuk analisis beban gempa yaitu analisa beban dorong (pushover).

“Risky” · 2019 “Desain Balok dan Kolom pada Struktur Beton Bertingkat 3 dengan memperhitungkan Kolom Praktis sebagai Komponen Struktural“

Dalam suatu perencanaan konstruksi bangunan gedung, terdapat beberapa komponen struktur yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan struktur di suatu bangunan seperti balok dan kolom yang juga didalamnya termasuk kolom praktis, merupakan komponen struktur yang sangat harus diperhatikan dengan baik dari

segi dan kemampuan struktur dalam memikul beban-beban yang bekerja dari berat sendiri ataupun beban hidup. Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser. Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil menurut SNI 2847 2013.

“Siswanto et al”.2019 “ Manajemen Proyek “

Buku ini berisi tentang Pendahuluan manajemen Proyek Konstruksi, Organisasi Proyek Konstruksi, Unsur-unsur dalam Proyek konstruksi, Kontrak Konstruksi, Bill Of Quantity, Rencana Anggaran Biaya, Pelelangan dalam proyek konstruksi, E-Procurement, Network Planning, Spesifikasi Teknik, Metode Pelaksanaan Konstruksi serta SKA, SKT dan SBU.

“Edi”., 2011 “Pengaruh Prosentase Penambahan Serat terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan ”

Beton merupakan bahan konstruksi paling banyak digunakan pada saat ini, karena dipandang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan-bahan konstruksi lain. Kelebihan utama beton adalah kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi. Namun beton juga memiliki kelemahan yakni berat meter kubiknya yang cukup besar dan kekuatan tarik yang rendah dan bersifat getas (brittle). Hal tersebut dapat diperbaiki dengan penggunaan beton ringan dan penambahan serat pada

adukan beton. Beton ringan diperoleh dengan mengganti agregat kasar dengan agregat yang lebih ringan.

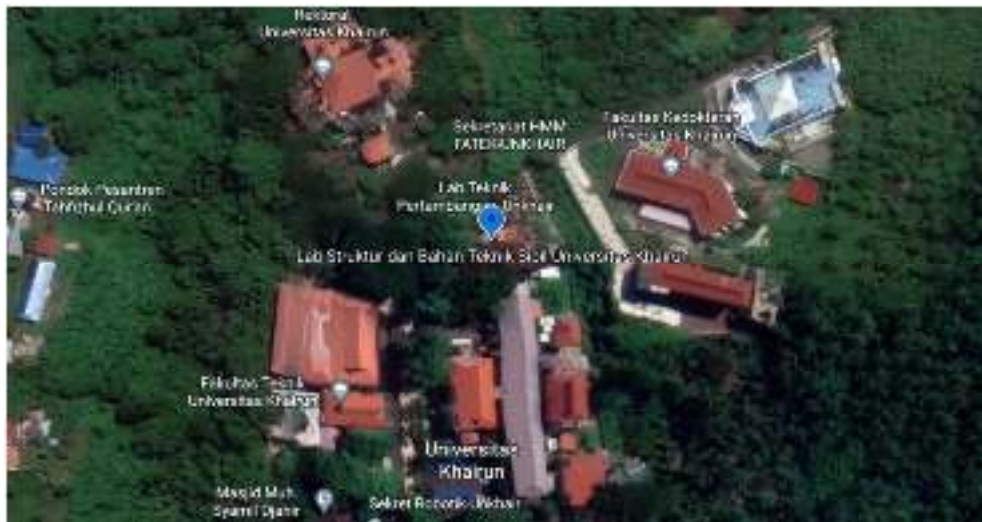
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun.

3.2. Waktu dan Lokasi

Waktu penelitian direncanakan kurang lebih tiga bulan dimulai pada bulan Januari sampai pada bulan Februari 2023 bertempat di laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Khairun.



Gambar 3. 1 : Lokasi Penelitian Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Khairun Ternate

3.3. Tahapan Penelitian

3.3.1 Tahap I : Tinjauan Pustaka

Tahapan awal dari penelitian ini adalah mencari referensi terkait dengan topik penelitian mengenai perkuatan balok beton bertulang dengan *Carbon Fiber Reinforced*

Polymer (CFRP), pasir apung serta analisa perilaku lentur balok.

3.3.2 Tahap II : Persiapan Bahan

Setelah rencana penelitian sudah sesuai dengan referensi, kemudian dilanjutkan dengan persiapan bahan. Persiapan bahan yang dilakukan meliputi :

1. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir apung yang diambil dari Kota Tidore dan pasir normal yang diambil dari Kelurahan Togafo.
2. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah berukuran 20 mm yang diambil di kelurahan daulasi
3. Air bersih di Laboratorium Struktur dan Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Khairun yang berasal dari PDAM Kota Ternate.
4. Penyediaan semen *Portland* (Tonasa) dan baja tulangan polos (BJTP-24)
5. Penyediaan *CFRP-S*

3.3.3 Tahap III : Pengujian Bahan

Setelah bahan telah disiapkan, kemudian dilanjutkan pengujian bahan. Pengujian bahan meliputi pengujian karakteristik agregat halus dan agregat kasar. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kelayakan agregat yang digunakan. Pengujian bahan agregat meliputi gradasi agregat, kadar air, kadar lumpur, berat

jenis, penyerapan. Selain itu, terdapat pengujian keausan/abrasi dengan mesin *los angeles* untuk agregat kasar.

3.3.4 Tahap IV : Perencanaan Komposisi Campuran

Setelah didapat karakteristik agregat, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan rencana komposisi campuran. Tata cara pembuatan rencana campuran mengacu pada SNI 03-2834-2000. Dalam penelitian ini dibuat 2 tipe beton, yaitu beton pasir apung dan beton normal pasir Togafo.

3.3.5 Tahap V : Pengecoran dan Pengujian Campuran Beton Segar

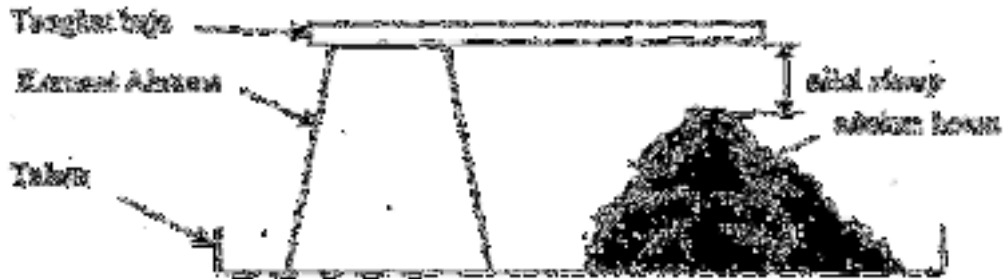
Setelah komposisi campuran telah siap, dilanjutkan dengan pengecoran untuk pengujian campuran beton segar. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kondisi campuran beton segar dari rencana campuran sesuai SNI 03-2834-2000.

3.3.5.1 Pengujian *Slump*

Langkah-langkah pengujian *slump* yang dilakukan berdasarkan panduan ASRONI (2010) adalah sebagai berikut :

1. Adukan beton dimasukkan ke dalam kerucut dengan 3 lapis yang kira-kira volumenya sama, dan setiap lapis ditusuk-tusuk dengan tongkat baja sebanyak 25 kali.
2. Permukaan atas diratakan, dan ditunggu 60 detik, sambil menyikirkan adukan beton yang tumpah di sekitar kerucut.
3. Kerucut ditarik vertikal ke atas dengan hati-hati, sehingga adukan beton akan turun.

4. Nilai *slump* diperoleh dengan mengukur besar penurunan adukan beton dari tinggi semula, seperti tampak pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 : Pengukuran Nilai Slump Beton (Asroni, 2010)

3.3.6 Tahap VI : Pembuatan Benda Uji

Setelah pemeriksaan campuran beton segar yang dibuat telah memenuhi, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan benda uji. Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah silinder dan balok beton bertulang.

3.3.6.1 Benda Uji Silinder

Benda uji silinder berdimensi 15 x 30 cm, dengan jumlah sampel masing-masing tipe beton sebanyak 3 buah.

Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder :

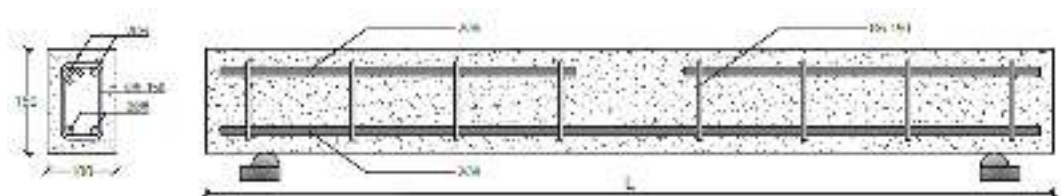
1. Langkah awal pembuatan benda uji adalah menyiapkan bahan-bahan campuran sesuai dengan timbangan proporsi rencana campuran yang dibuat.
2. Setelah bahan telah siap, kemudian dilanjutkan dengan proses pencampuran bahan (*mix*). Pencampuran awal dimulai dengan mencampur

agregat halus dan semen terlebih dahulu hingga kedua bahan tercampur merata.

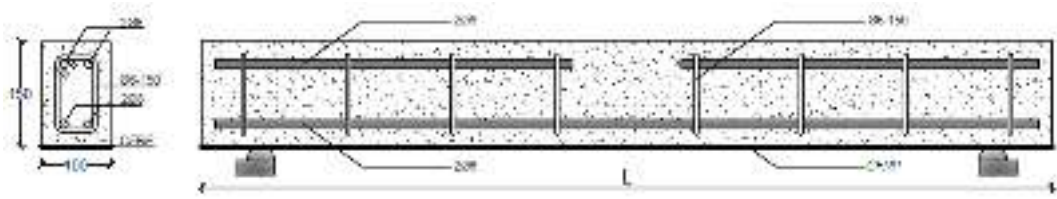
3. Lalu dilanjutkan dengan menambahkan agregat kasar ke dalam campuran sebelumnya hingga merata.
4. Siapkan air yang sudah ditimbang.
5. Selanjutnya masukan air yang sudah ditimbang ke dalam campuran sebelumnya hingga campuran merata dan homogen.
6. Setelah campuran beton segar siap, dilanjutkan dengan pengujian *slump*,
7. Kemudian setelah pemeriksaan campuran, campuran beton segar lalu dimasukkan ke dalam cetakan silinder setiap 1/3 lapisan, masing-masing lapis ditusuk sebanyak 25 kali dengan batang penusuk secara perlahan agar campuran beton memadat dengan baik.
8. Lalu permukaan diratakan dan diberi kode sampel di atas benda uji.

3.3.6.2 Benda Uji Balok

Benda uji balok didesain dengan ukuran 10 x 15 x 120 cm dengan tipe balok terbagi atas balok normal (BN) yang menggunakan pasir Togafo, balok beton pasir apung (BPA) dan balok beton pasir apung perkuatan *FRP* (B-*FRP*). Masing-masing dari model balok yang direncanakan berjumlah 2 sampel, dapat dilihat dari gambar 3.3.



Gambar a : Balok Normal (BN)



Gambar b : Balok *FRP*

Gambar 3. 3 : Balok Pengujian Lentur

Langkah-langkah pembuatan benda uji balok :

1. Langkah awal pembuatan benda uji adalah menyiapkan bahan-bahan campuran sesuai dengan timbangan proporsi rencana campuran yang dibuat.
2. Setelah bahan telah siap, kemudian dilanjutkan dengan proses pencampuran bahan (*mix*). Pencampuran awal dimulai dengan mencampur agregat halus dan semen terlebih dahulu hingga kedua bahan tercampur merata.
3. Lalu dilanjutkan dengan menambahkan agregat kasar ke dalam campuran sebelumnya hingga merata.
4. Selanjutnya mencampur air ke dalam campuran sebelumnya hingga campuran merata dan homogen.
5. Setelah campuran beton segar siap, dilanjutkan dengan pengujian *slump*. Kemudian setelah pemeriksaan campuran, campuran beton segar lalu dimasukkan ke dalam cetakan balok secara merata diseluruh area cetakan balok yang sudah disediakan tulangan beton sesuai model penulangan.
6. Lalu permukaan diratakan dan diberi kode sampel di atas benda uji

7. Benda uji yang telah dicetak ditempatkan pada tempat yang terlindungi dari sinar matahari dan hujan serta didiamkan ± 24 jam.
8. Kemudian benda uji dikeluarkan dari cetakan lalu dilakukan perawatan selama 28 hari.

3.3.7 Tahap VII : Pemasangan *Fiber Composite*

Langkah – langkah pemasangan *Fiber Composite* sebagai berikut :

1. Bersihkan semua permukaan balok beton yang akan dipasangkan CFRP dengan dimensi yang disyaratkan
2. Mencampurkan Epoxy dan resin dengan menggunakan takaran 1:2
3. Semua permukaan balok beton telah bersih diberi lapisan epoxy dengan menggunakan kuas.
4. Kemudian serat fiber yang diberi lapisan dengan epoxy dipasangkan pada struktur beton dengan menggunakan rol untuk menekan sesuai dengan arah serat yang disyaratkan dalam perancangan.
5. Fiber yang dipasang tersebut harus sedemikian melekat pada struktur beton sampai terjadinya kesatuan (tidak ada rongga antara bahan fiber dengan struktur beton), dan dipasang sesuai dengan arah serat yang disyaratkan.
6. Untuk bagian sambungan bahan komposit fiber tersebut harus dilakukan overlap antara lapis awal dan lapis berikutnya pada arah serat yang disyaratkan sebesar 150 mm dan 75 mm untuk arah serat yang lain.
7. Setelah selesai pemasangan lapis pertama, semua rongga udara harus dikeluarkan dengan menekan permukaan fiber dengan menggunakan

tangan sehingga seragam, dan menghasilkan permukaan akhir yang disyaratkan.

3.3.8 Tahap VIII : Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini untuk benda uji silinder adalah pengujian kuat tekan dan pengujian kuat lentur untuk balok.

Tabel 3. 1 : Benda uji silinder

Nama Beton	Kode	Jumlah Sampel Pengujian	Umur Rencana (Hari)
		Kuat Tekan	
Pasir Batu Apung	PBA	3	28
Pasir Togafo	PT	3	28

Tabel 3. 2 : Variasi benda uji balok

Benda Uji	Kode	Pengujian	Jumlah
Balok Normal	BN	Kuat Lentur	2
Balok Pasir Apung	BPA	Kuat Lentur	2
Balok Pasir Apung Perkuatan <i>CFRP</i>	<i>B-FRP</i>	Kuat Lentur	2
Total Benda Uji			6

Langkah-langkah pengujian kuat lentur balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Setting posisi benda uji balok beton bertulang ke atas *loading frame* dan benda uji diletakkan di atas tumpuan, serta diatur posisi tumpuan sesuai rencana.

2. Setting posisi *dial gauge* di bagian tengah bawah balok untuk pengukuran lendutan pada saat benda uji dibebani. Pengukuran lendutan dilakukan pada satu titik, yaitu titik tengah bawah balok.
3. Pengujian dan pengambilan data setiap benda uji dilakukan setiap penambahan beban 1,25 kN, dengan mencatat *dial* beban dan *dial* lendutan, lalu diamati dan menandai jalur retak awal (*cracks*) dengan spidol pada permukaan balok.
4. Setelah benda uji mengalami keruntuhan, kemudian dilanjutkan dengan penggambaran pola retak yang terjadi.

3.3.8.1 Pengujian Kuat Tekan

Langkah-langkah pengujian kuat tekan beton yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan benda uji silinder sebanyak 4 sampel.
2. Meletakkan dan mengatur benda uji silinder pada alat uji kuat tekan.
3. Menyalakan alat uji kuat tekan hingga beban mencapai kuat tekan maksimum.
4. Setelah beban sudah maksimum, matikan alat dan catat hasil pengujian.

3.3.8.2 Pengujian Kuat Lentur

Langkah-langkah pengujian kuat lentur balok beton bertulang adalah sebagai berikut :

5. Setting posisi benda uji balok beton bertulang keatas *loading frame* dan benda uji diletakkan di atas tumpuan, serta diatur posisi tumpuan sesuai rencana.

6. Setting posisi *dial gauge* di bagian tengah bawah balok untuk pengukuran lendutan pada saat benda uji dibebani. Pengukuran lendutan dilakukan pada satu titik, yaitu titik tengah bawah balok.
7. Pengujian dan pengambilan data setiap benda uji dilakukan setiap penambahan beban 1,25 kN, dengan mencatat *dial* beban dan *dial* lendutan, lalu diamati dan menandai jalur retak awal (*cracks*) dengan spidol pada permukaan balok.
8. Setelah benda uji mengalami keruntuhan, kemudian dilanjutkan dengan penggambaran pola retak yang terjadi.

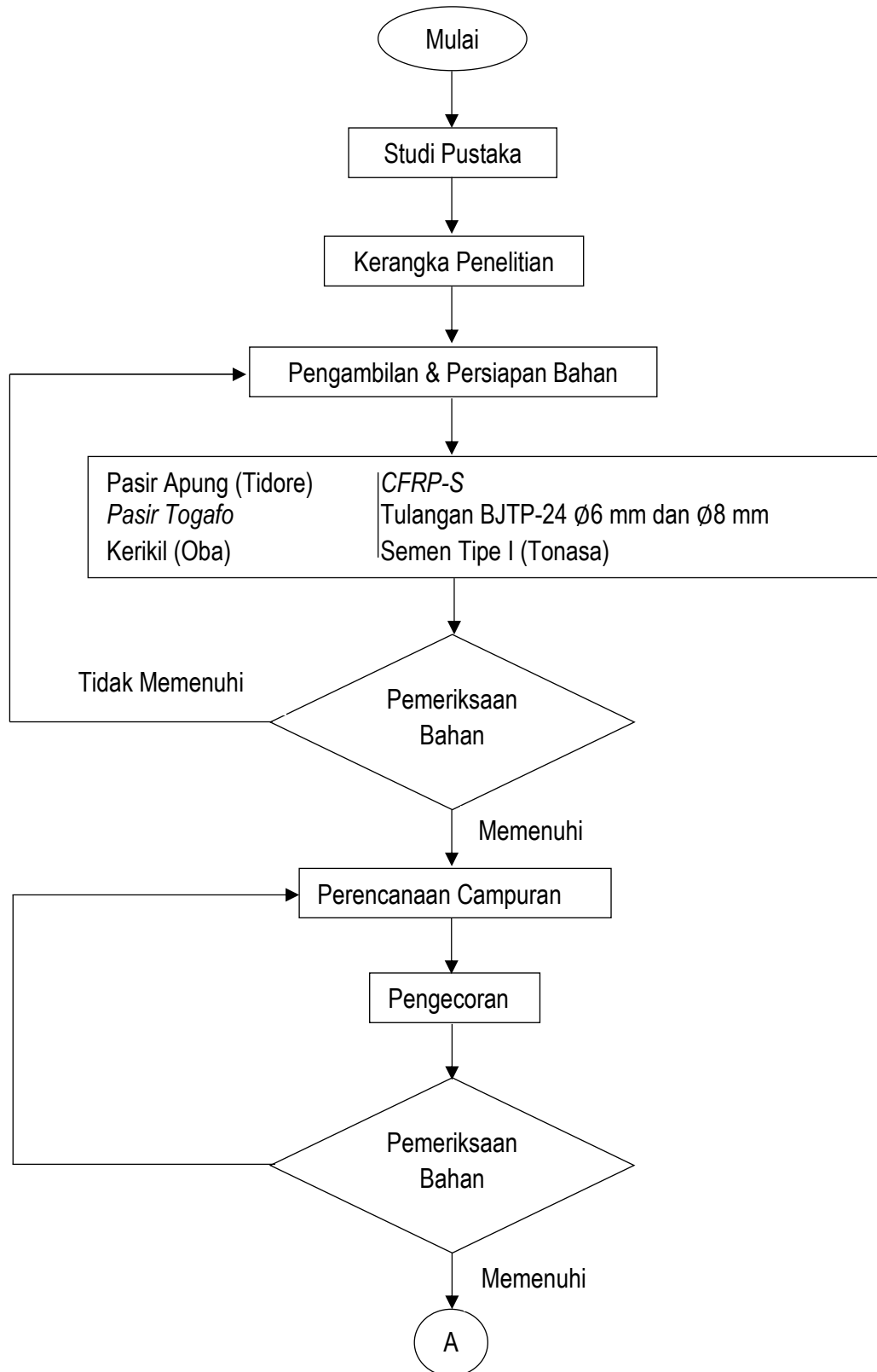
3.3.9 Tahap IX : Analisa Data

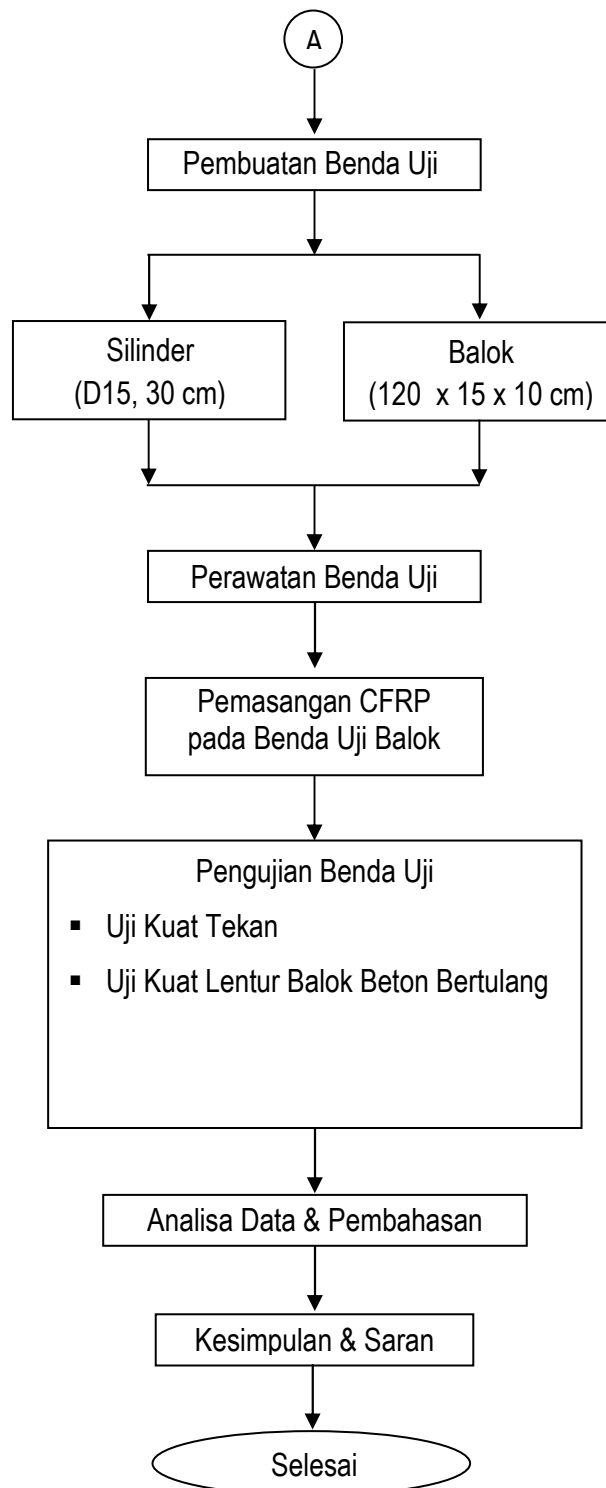
Pada tahap ini, data-data yang didapat dari pengujian akan dianalisa untuk mencari hasil sesuai dengan pembahasan yang direncanakan.

3.3.10 Tahap X : Kesimpulan dan Saran

Tahap ini melakukan pengambilan kesimpulan dari hasil yang dianalisis sesuai dengan rumusan masalah pada penelitian. Selain kesimpulan, penulis juga menyampaikan saran terkait dengan penelitian

3.5 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.4 *Flowchart* Alir Penelitian

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perencanaan Proporsi Campuran Beton

Hasil pengujian agregat yang dilakukan di laboratorium untuk menentukan rencana komposisi bahan penyusun beton untuk kebutuhan semen, agregat kasar, agregat halus dan air dalam rencana adukan beton. Dalam penelitian ini rencana campuran beton normal menggunakan Mutu K-250 berdasarkan pada SNI 03-2834-2000. Sedangkan beton dengan variasi pasir batu apung di campur dengan perbandingan volume pasir normal. Hasil perhitungan komposisi bahan penyusun beton dengan adukan 1 m³ dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Komposisi Campuran Beton (Sumber : Penulis)

Bahan Beton	Berat Bahan Per 1 m ³	Rasio Terhadap Semen
	(kg/m ³)	
Semen	477.855	1
Pasir	663.029	1.388
Kerikil	954.115	1.997
Air	205	0.429
Total	2300	

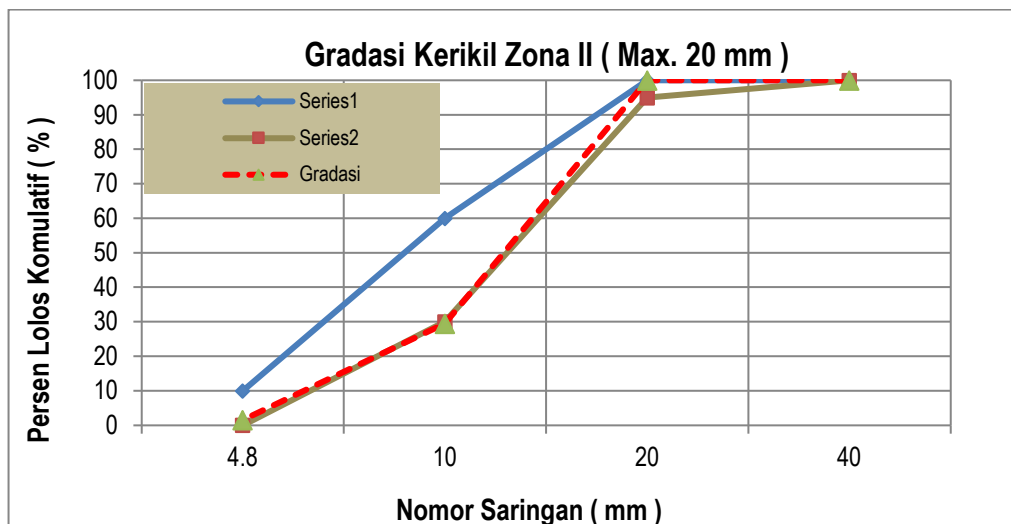
4.1.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Daulasi, Kota Ternate. Sebelum agregat kasara digunakan dalam pembuatan beton, agregat kasar harus layak dari segi karakteristik. Maka dari itu diperlukan pengujian karakteristik, pengujian agregat kasar meliputi pemeriksaan kadar lumpur, kadar air, berat volume, berat jenis dan keasuan agregat.

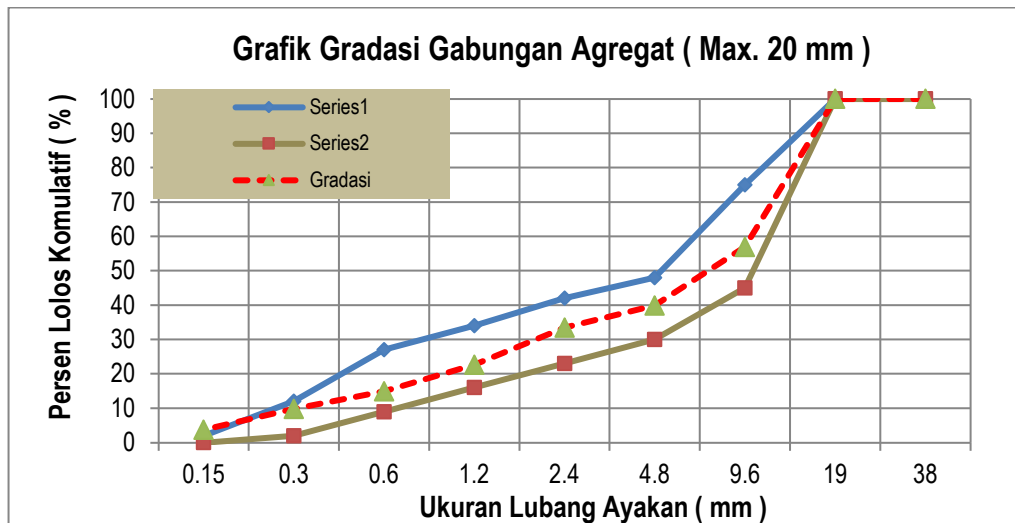
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Kadar Air	1,75 %	0,5 – 2,0 %	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0,75 %	0,2 – 1,0 %	Memenuhi
3	Berat Volume			
	a. Kondisi Lepas	1,66 kg/ltr	1,6 – 1,9 %	Memenuhi
	b. Kondisi Padat	1,68 kg/ltr	1,6 – 1,9 %	Memenuhi
4	Berat Jenis dan Penyerapan			
	a. Penyerapan	2,93 %	0,2 – 4,0 %	Memenuhi
	b. Berat Jenis Kering Oven	2,08 kg/ltr	1,6 – 3,2	Memenuhi
	c. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,14 kg/ltr	1,6 – 3,2	Memenuhi
	a. Berat Jenis Semu	2,21 kg/ltr	1,6 – 3,2	Memenuhi
5	Analisa Saringan	6,69 %	5,0 – 8,0 %	Memenuhi
6	Abrasi / Keausan	34,05 %	< 40 %	Memenuhi

Hasil pemeriksaan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.2, menunjukkan bahwa karakteristik agregat kasar memenuhi standar agregat kasar.



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar



Gambar 4. 2 Grafik Gradasi Gabungan Agregat (Max 20 mm)

4.2 Pemeriksaan Nilai *Slump*

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui *workability* campuran beton adalah dengan cara pemeriksaan nilai *slump*, nilai *slump* merupakan nilai perbedaan tinggi dari adukan dalam suatu cetakan berbentuk kerucut terpancung dengan tinggi adukan setelah cetakan diambil. Nilai slump diukur pada setiap pengecoran dengan menggunakan kerucut terpancung dan mistar. Hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Slump* BN dan BVP

No	Pengecoran	Sampel	Nilai <i>Slump</i> (cm)
1	Pengecoran-1	BN S1	8,50
2	Pengecoran-2	BN S2	7,50
3	Pengecoran-3	BVP S1	6.5
4	Pengecoran-4	BVP S2	6

Dari hasil pengujian *slump* pada tabel diatas nilai slump rata-rata untuk balok normal adalah 8 cm, memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI untuk Pengecoran balok adalah 7,5 – 15 cm. Sedangkan balok dengan variasi pasir batu apung memiliki nilai *slum* rata-rata adalah 6.25 cm yang lebih rendah dari balok normal, karena karakteristik pasir batu apung yang memiliki nilai penyerapan air 62.95% lebih tinggi.

4.3 Pengujian Kuat Tarik Baja

Dari hasil Pengujian baja $\varnothing 8$ didapatkan beban maksimum baja yaitu 16,4 kN dengan luasan 50,24 mm², didapatkan kuat tarik baja sebesar 318,47 MPa. Dari hasil pengujian kuat Tarik menunjukan kekuatan Tarik baja yang ada sudah bisa memenuhi nilai f_y minimum baja sebesar 240 MPa, maka baja $\varnothing 8$ bisa digunakan untuk perencanaan balok beton bertulang.

4.4 Hasil Pengujian Benda Uji Silinder

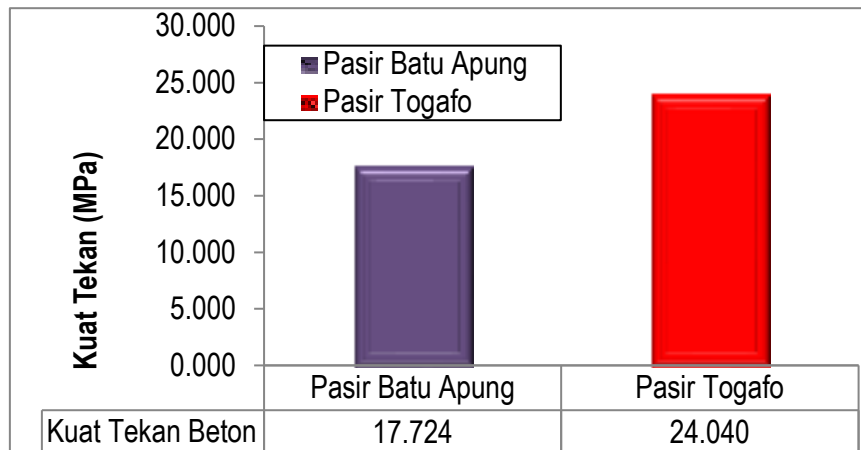
4.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan silinder

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan masa perawatanya 28 hari, untuk dilakukan uji kuat tekan silinder. Uji kuat tekan silinder dilakukan dengan 4 benda uji silinder dengan menggunakan *Compression Strength Test*. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Beton 28 Hari (Sumber : Penulis)

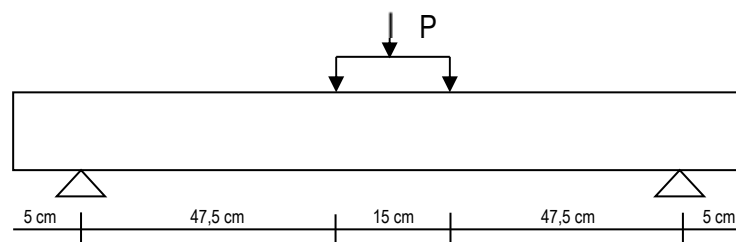
Benda Uji	Umur	Berat Beton		Kuat Tekan	
	(Hari)	(Kg)		(Mpa)	
BN 1	28	11.099	11.082	24.323	24.040
BN 2		10.929		22.909	
BN 3		11.219		24.889	

BPA 1	28	9.875	9.858	18.384	17.724
BPA 2		9.981		16.970	
BPA 3		9.719		17.818	



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan

4.5 Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok



Gambar 4. 4 Sketsa pembebanan pengujian kuat lentur



Gambar 4. 5 Kegagalan pada balok variasi pasir batu apung dengan perkuatan *CFRP*

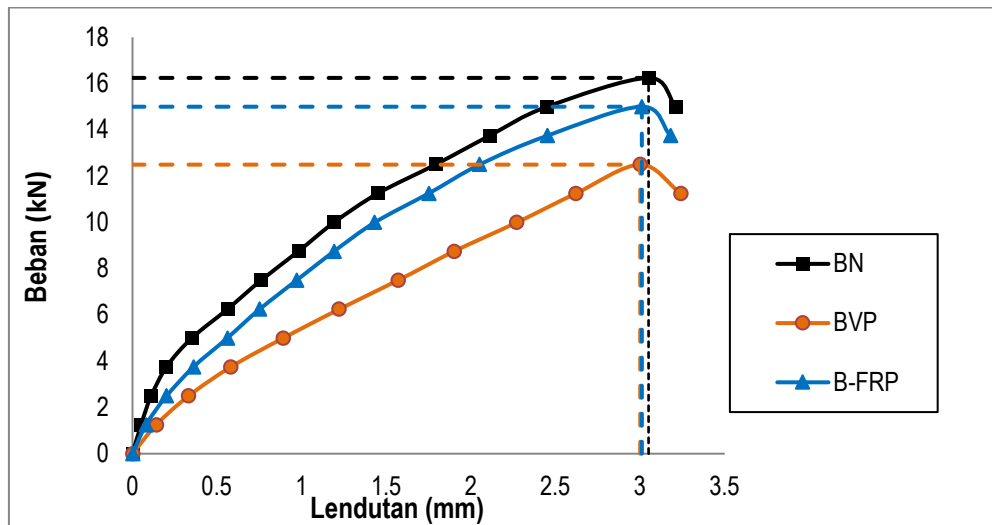
Pada gambar 4.3 terlihat bahwa balok variasi pasir batu apung yang di beri perkuatan dengan lembar *Carbon Fiber Reinforced Polimer (CFRP)* mengalami kegagalan debonding saat beban mencapai 15 kN..

4.5.1 Hubungan Beban Lendutan BN-BVP dan B-FRP

Data hasil pengujian analisa balok BN, BVP dan B-FRP dapat dilihat pada tabel 4.5. sedangkan grafik hubungan beban-lendutan dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6. nilai kekakuan diperoleh dari perbandingan nilai beban P (kN) dan nilai Lendutan δ (mm)

Tabel 4. 5 Hubungan Beban Lendutan BN-BVP-BFRP

Hasil Pengujian					
BN		BVP		B-FRP	
Beban	Lendutan	Beban	Lendutan	Beban	Lendutan
(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN)	(mm)
0	0	0	0	0	0
1.25	0.05	1.25	0.14	1.25	0.08
2.5	0.11	2.5	0.33	2.5	0.20
3.75	0.20	3.75	0.58	3.75	0.36
5	0.35	5	0.89	5	0.56
6.25	0.56	6.25	1.22	6.25	0.75
7.5	0.76	7.5	1.57	7.5	0.97
8.75	0.98	8.75	1.90	8.75	1.19
10	1.19	10	2.27	10	1.43
11.25	1.45	11.25	2.62	11.25	1.75
12.5	1.79	12.5	3.00	12.5	2.05
13.75	2.11	11.25	3.24	13.75	2.36
15	2.45			15	2.78
16.25	3.05			13.75	3.15
15	3.21				



Gambar 4. 6 Hubungan Beban Lendutan

4.6 Hasil Analisis Balok Beton Bertulang

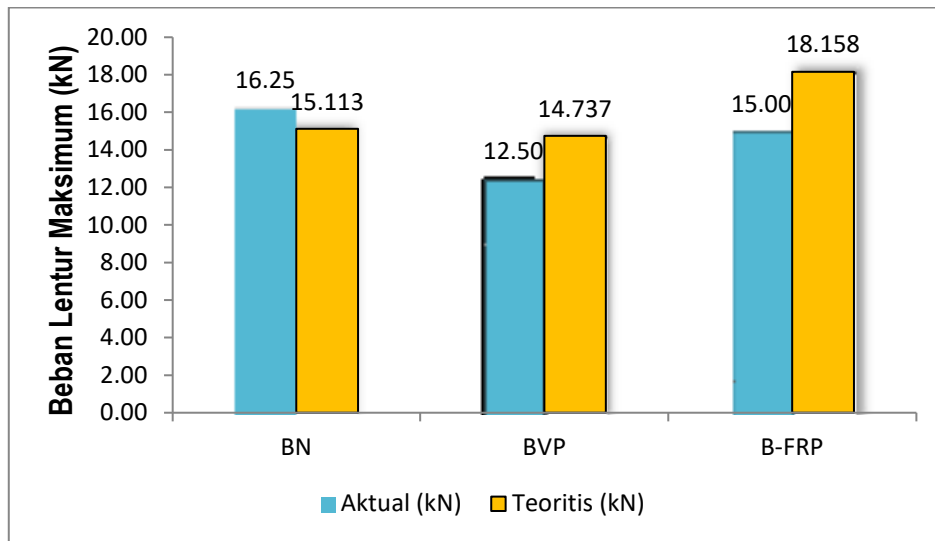
4.6.1 Hasil Analisis Lentur Balok

Dari hasil analisa teoritis perhitungan maupun aktual balok yang dilakukan di laboratorium struktur dan bahan, dapat dilihat pada tabel 4. 6.

Untuk analisis perhitungan momen nominal balok normal dan balok perkuatan CFRP dapat lihat pada lampiran II

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan dan Perbandingan Kuat Lentur Teoritis Dengan Aktual

Benda Uji	Beban Lentur Maksimum (P)		Momen Lentur (Mn)		Rasio Beban Lentur Maks $\frac{\text{Aktual}}{\text{Teoritis}}$	Rasio Momen Lentur Maks $\frac{\text{Aktual}}{\text{Teoritis}}$
	Aktual	Teoritis	Aktual	Teoritis		
	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)		
BN	16.25	15.113	3.45	3.589	1.075	0.961
BVP	13.75	14.734	3.37	3.063	0.933	1.100
B-FRP	15.625	18.158	3.38	4.855	0.860	0.695



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Beban Lentur Maksimum Aktual dan Teoritis

Berdasarkan Tabel 4,6, Momen lentur Aktual yang didapat untuk Balok BN adalah 3.45 kNm, dimana hasil ini lebih besar 53.81% dengan momen lentur teoritis Balok BN yaitu 3,589 kNm. Sedangkan momen lentur aktual Balok BVP yang didapat sebesar 3,37 kNm, dimana hasil ini lebih besar 41,57% dari momen lentur teoritis BVP yaitu 3,063 kNm. B-FRP memiliki momen lentur aktual sebesar 3,38 kNm, dimana hasil ini lebih besar 47,90% dari momen lentur teoritis yaitu 4,855 kNm.

Hasil ini menunjukkan bahwa balok variasi pasir batu apung yang diberi perkuatan *fiber reinforced polymer* (B-FRP) tidak dapat diprediksi berdasarkan analisa lentur dibandingkan dengan balok BN. Hasil aktual dan analisa teoritis yang tidak sesuai membuktikan penggunaan pasir batu apung yang diberi perkuatan *carbon fiber reinforced polymer* hanya meningkatkan beban Aktual sebesar 20.00% dari balok BVP dan tidak melebihi balok BN. Penggunaan pasir batu apung sangat rentan terhadap penurunan kekuatan, sehingga tidak

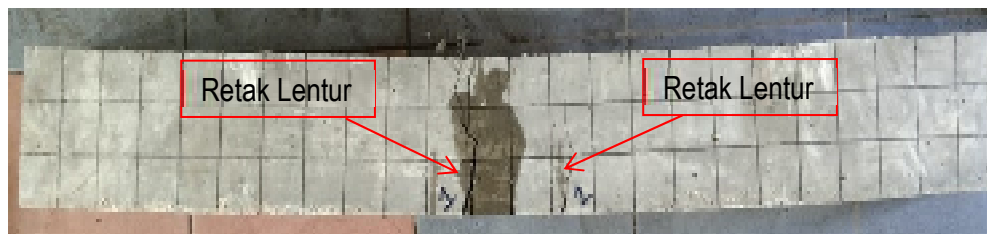
direkomendasikan sebagai material konstruksi bangunan yang memiliki beban besar.

4.7 Pola Retak Pada Balok

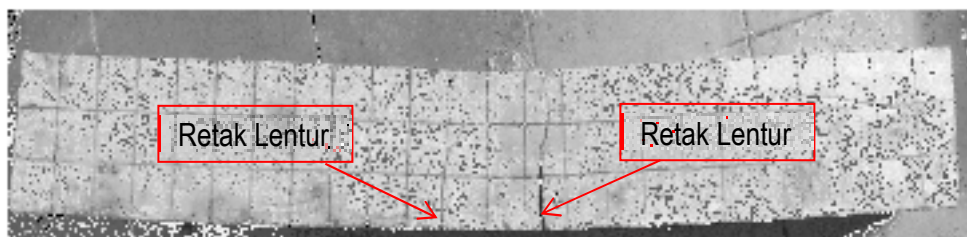
Pola retak yang teramati selama pengujian balok mengidentifikasi pola retak lentur. Pola retak lentur terjadi yaitu retak dimulai pada bagian bawah penampang balok, ditengah bentang balok yang kemudian menjalar keatas sejalan dengan penambahan beban atau peningkatan tegangan lentur akibat momen. Pola retak yang terjadi pada balok dapat di lihat pada gambar berikut.

4.7.1 Balok Normal (BN)

Pola retak yang terjadi pada Balok Normal (BN) dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4. 8 Pola Retak Balok BN 1

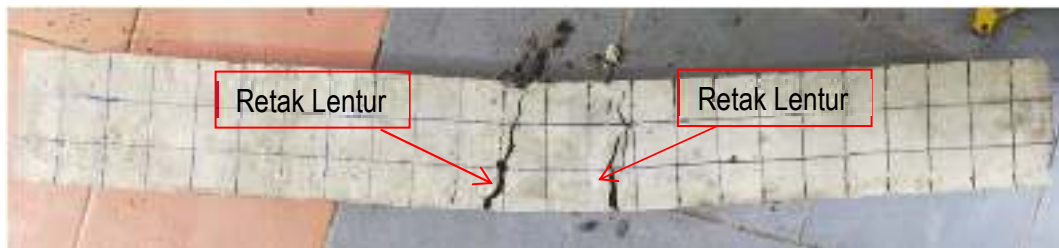


Gambar 4. 9 Pola Retak Balok BN 2

Berdasarkan Gambar 4. 8 dan 4. 9 dapat dilihat bahwa kondisi retak pada balok BN adalah retak lentur, dimana retak terjadi pada area tarik tengah bentang kemudian menjalar ke sisi tekan.

4.7.2 Pola Retak Balok Variasi Pasir Batu apung (BVP)

Pola retak yang terjadi pada Balok Variasi Pasir batu apung (BVP1) dan (BVP2) dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4. 10 Pola Retak Balok Variasi 1 (BVP 1)



Gambar 4. 11 Pola Retak Balok Variasi 2 (BVP 2)

Berdasarkan Gambar 4.10 dan 4.11 dapat dilihat bahwa pola retak yang terjadi pada Balok Variasi Pasir (BVP) adalah retak lentur dimana retak yang terjadi pada area tarik tengah bentang kemudian menjalar ke sisi tekan.

4.7.3 Pola Retak Balok *CFRP*

Pola retak yang terjadi pada balok B-*FRP*1 dan B-*FRP*2 dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4. 12 Pola Retak Balok *CFRP* (B-*FRP*1)



Gambar 4. 13 Pola Retak Balok *CFRP* (B-*FRP2*)

Berdasarkan gambar 4. 12 dan 4.13 dapat dilihat bawah kegagalan yang terjadi pada balok B-*FRP1* dan B-*FRP2* adalah debonding dimana debonding terjadi pada sisi kanan balok.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Penelitian dan Analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bawah :

Hubungan beban-lendutan untuk balok variasi pasir (BVP) mengalami penurunan beban terhadap Balok Normal (BN) sebesar 18% dan lendutan menurun sebesar 9%, sedangkan balok variasi pasir batu apung yang diberi perkuatan *CFRP* mengalami peningkatan beban sebesar 13,64% dan lendutan meningkat sebesar 5,07%, terhadap balok variasi pasir (BVP). Peningkatan beban-lendutan balok yang di perkuatan *CFRP* tidak melebihi balok normal (BN).

5.2 Saran

Dengan memperhatikan kesimpulan diatas maka diperoleh saran untuk penelitian selanjutnya sebelum melakukan penelitian sebaiknya dilakukan pengecekan alat uji terlebih dahulu agar tidak terjadi kekeliruan dalam pengambilan data. Penelitian sebaiknya dilakukan dengan menggunakan lebih banyak sampel agar hasil lebih variatif dan lebih bagus. Selain itu, sebaiknya peneliti membuat sampel cadangan sehingga jika ada sampel yang rusak langsung digantikan dengan sampel cadangan.