

UJIAN TESIS

**PEMANFAATAN MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN
FLY ASH DAN SERAT PVA SEBAGAI MATERIAL
PERBAIKAN BALOK BETON BERTULANG**

*Use of Geopolymer Mortar made from Fly Ash and PVA Fiber as A
Material for Repairing Reinforced Concrete Beam*

**IKHSAN SUGIARTO H
D012 191 021**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS

**PERILAKU LENTUR BALOK HYBRID
GEOPOLIMER FLY ASH DENGAN PENAMBAHAN
SERAT PVA (POLYVINIL ALCOHOL)**

**IKHSAN SUGIARTO H
D012191021**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 Desember 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. Ir. Rita Irmawaty, ST., M.Eng
NIP. 197206192000122001

Pembimbing Pendamping

Dr. Eng. Januarty Jaya Ekaputri, S.T., M.T
NIP. 197401122005012001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT, IPM
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng, PM
NIP. 197303061998021001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang Bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ikhsan Sugiarto H
Nomor mahasiswa : D012191021
Program Studi : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pemanfaatan Mortar Geopolimer berbahan Fly Ash dan Serat PVA sebagai Material perbaikan Balok Beton Bertulang” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Eng. Ir.Rita Irmawaty, ST., MT, ST. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Eng. Januart jaya Ekaputri, ST., MT., sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding Internasional The 6ST International Symposium on infrastructure development (ISID) 2023 sebagai artikel dengan judul “Pemanfaatan Mortar Geopolimer berbahan Fly Ash dan Serat PVA sebagai Material perbaikan Balok Beton Bertulang”

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 29 Desember 2023

Yang Menyatakan



IKHSAN SUGIARTO H

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**PEMANFAATAN MORTAR GEOPOLIMER BERBAHAN FLY ASH DAN SERAT PVA SEBAGAI MATERIAL PERBAIKAN BALOK BETON BERTULANG**" yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., MT. IPM.,** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Dr. Muhammad Asad Abdurrahman, ST., M. Eng. PM** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., MT.,** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Ibu Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, S.T., MT.,** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Bapak Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Amiruddin, S.T., MT.,** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Hasrun Sanggala** dan ibunda **Almh Dra. Hj. Hamsiah** atas doa, bantuan, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Nandar, Angga dan Furqan, selaku partner dalam penelitian ini, yang selalu membantu dan memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Rekan-rekan di Laboratorium Riset Perkuatan Struktur, yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Saudara-saudari teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2019 yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 2023

Penulis

ABSTRAK

IKHSAN SUGIARTO H. *Pemanfaatan Mortar Geopolimer berbahan Fly Ash dan Serat PVA sebagai Material perbaikan Balok Beton Bertulang* (dibimbing oleh **Rita Irmawaty, Januarti Jaya Ekaputri**)

Beton adalah bahan Infrastruktur yang paling banyak digunakan. Lebih dari 70% populasi dunia hidup dalam bangunan beton. Namun penggunaan semen sebagai bahan dasar pembuatan beton sekitar 7%-15%, ternyata menggunakan energi yang cukup besar sehingga akan sangat berpengaruh pada kondisi lingkungan. Akan tetapi, efek industri semen menuai kritik karena menghasilkan gas CO₂ yang dapat merusak atmosfer. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi material sebagai pengganti semen. *Fly ash* sebagai material dapat menjadi solusi untuk meminimalisir penggunaan semen bahkan menggantikan semen 100% yang dikenal dengan material geopolymer. Adapun kekurangan geopolymer yaitu bersifat getas sehingga perlu penambahan serat untuk meningkatkan daktilitas dan kapasitas struktur. Serat yang digunakan adalah serat *Poly-Vinyl Alcohol* (PVA) karena memiliki kuat tarik yang tinggi sehingga dapat menghambat laju perkembangan retak yang terjadi pada balok.

Tahapan penelitian terbagi atas dua yaitu pengujian kuat tekan mortar geopolimer dan pengujian lentur balok. Pengujian kuat tekan mortar geopolimer menggunakan sampel kubus 50x50x50 mm, diuji pada umur 3, 7, dan 28 hari dengan metode *curing* udara dan *curing* lembab. Mortar geopolimer dibuat dengan bahan dasar *fly ash* serta aktivator berupa Natrium Hidroksida (NaOH) 8 M dan Natrium Silikat (Na₂SiO₃). Sementara itu, pengujian lentur balok menggunakan benda uji balok 150x200 mm dengan panjang 3300 mm sebanyak 5 buah yang terdiri dari balok kontrol, balok dengan perkuatan mortar grouting Komersil, balok dengan perkuatan mortar grouting komersial dan serat PVA geopolimer, balok dengan perkuatan mortar geopolymer, serta dan balok dengan perkuatan mortar geopolimer dan serat PVA.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efek penambahan serat PVA pada mortar geopolimer dapat meningkatkan beban maksimum dan kekakuan pada balok. Dari mode kegagalan sambungan, balok dengan perkuatan mortar geopolimer tanpa serat mengalami kegagalan delaminasi sedangkan balok dengan perkuatan mortar geopolimer dan serat mengalami kegagalan *debonding*.

Kata kunci: balok beton, mortar grouting, mortar geopolimer, serat PVA

ABSTRACT

IKHSAN SUGIARTO H. *Use of Geopolymer Mortar made from Fly Ash and PVA Fiber as A Material for Repairing Reinforced Concrete Beam* (supervised by **Rita Irmawaty, Januarti Jaya Ekaputri**)

Concrete is the most widely used infrastructure material. More than 70% of the world's population lives in concrete buildings. However, the use of cement as a basic ingredient for making concrete is around 7% -15%, it turns out that it uses quite a lot of energy so it will greatly affect environmental conditions. However, the effect of the cement industry has drawn criticism because it produces CO₂ gas which can damage the atmosphere. Therefore, material innovation is needed as a substitute for cement. Fly ash as a material can be a solution to minimize the use of cement and even replace 100% cement, known as geopolymer material. The drawback of geopolymer is that it is brittle so it is necessary to add fiber to increase the ductility and capacity of the structure. The fiber used is Poly-Vinyl Alcohol (PVA) fiber because it has a high tensile strength so it can inhibit the rate of crack development that occurs in the beam.

The research stages were divided into two, namely testing the compressive strength of the geopolymer mortar and testing the bending of the beam. The compressive strength test of geopolymer mortar used a 50x50x50 mm cube sample, tested at 3, 7 and 28 days of age by air curing and damp curing methods. Geopolymer mortar is made from fly ash and activators in the form of 8 M Sodium Hydroxide (NaOH) and Sodium Silicate (Na₂SiO₃). Meanwhile, the flexural test of the beams used 5 test specimens of 150x200 mm beams with a length of 3300 mm consisting of control beams, beams reinforced with commercial mortar grout, beams reinforced with commercial mortar grout and PVA geopolymer fiber, beams reinforced with geopolymer mortar, and beams with reinforced geopolymer mortar and PVA fiber.

The results showed that the effect of adding PVA fiber to the geopolymer mortar increased the maximum load and stiffness of the beams. From the connection failure mode, beams with fiber-less geopolymer mortar experienced delamination failure while beams with fiber-reinforced geopolymer mortar experienced debonding failure.

Keywords: concrete block, grouting mortar, geopolymer mortar, PVA fiber

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| UJIAN TESIS..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| | iii |
| KATA PENGANTAR | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 3 |
| C. Tujuan Penelitian | 3 |
| D. Batasan Masalah..... | 3 |
| E. Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| A. Penelitian Terdahulu Tentang Geopolymer dan Perkuatan balok..... | 5 |
| B. Tinjauan Umum | 6 |
| C. Material Mortar Geopolimer | 10 |
| D. Karakteristik Beton Bertulang..... | 15 |
| E. Jenis Keruntuhan pada Balok..... | 24 |
| F. Pola Retak Balok Beton Bertulang | 27 |
| G. Teori FRC terhadap Mekanika..... | 28 |
| H. Pengaruh Patching terhadap Penambalan Balok..... | 29 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 32 |
| A. Metode Penelitian..... | 32 |
| B. Alur Penelitian | 32 |
| C. Waktu dan Lokasi Penelitian | 33 |

| | |
|---|----|
| D. Alat dan Bahan Penelitian..... | 33 |
| E. Benda Uji | 35 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 43 |
| A. Kuat Tekan Mortar Geopolimer dan Mortar Grouting Komersil..... | 43 |
| B. Karakteristik Mekanis Beton..... | 47 |
| C. Karakteristik Mekanis Tulangan | 49 |
| D. Pengujian Lentur Balok..... | 50 |
| E. Pola Retak dan Mode Kegagalan | 60 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 79 |
| A. Kesimpulan | 79 |
| B. Saran..... | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2. 1. Perbandingan Komposisi Fly Ash Terhadap Semen | 10 |
| Tabel 2. 2. Komposisi Senyawa Kimia dalam Fly Ash yang Digunakan pada Penelitian Kosnatha dan Utomo (2007) | 11 |
| Tabel 2. 3. Komposisi Kimia Fly Ash (Persen Terhadap Berat) | 12 |
| Tabel 2. 4. Klasifikasi Fly Ash Berdasarkan ASTM C 618 | 12 |
| Tabel 2. 5. Properti Serat PVA..... | 13 |
| Tabel 3. 1. Komposisi Kimia Fly Ash (Persen Terhadap Berat) | 36 |
| Tabel 3. 2. Klasifikasi Fly Ash Berdasarkan ASTM C | 36 |
| Tabel 3. 3. Properti Dari PVA Fiber | 37 |
| Tabel 3. 4. Komposisi Campuran..... | 37 |
| Tabel 3. 5. Komposisi Mortar Grouting per m ³ | 38 |
| Tabel 3. 6. Variasi Benda Uji..... | 39 |
| Tabel 3. 7. Mix Desain Beton Normal per m ³ | 40 |
| Tabel 4. 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Grouting Umur 28 Hari | 44 |
| Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Mortar Geopolimer Dengan PVA 0% Pada Umur 3, 7 dan 28 Hari..... | 44 |
| Tabel 4. 3. Hasil Pengujian Mortar Geopolimer Dengan PVA 0.6% Pada Umur 3, 7 dan 28 Hari..... | 45 |
| Tabel 4. 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton | 48 |
| Tabel 4. 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 48 |
| Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton | 48 |
| Tabel 4. 7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja | 49 |
| Tabel 4. 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian | 52 |
| Tabel 4. 9. Dimensi Pola Retak Balok | 78 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1. Partikel <i>Fly Ash</i> Hasil Pengujian SEM (Ekaputri 2013) | 12 |
| Gambar 2. 2. Sifat Serat PVA yang diambil dengan Kamera <i>Dino Lite</i> | 13 |
| Gambar 2. 3. Kegagalan Benda Uji Kuat Tekan Beton (Setiawan, 2016)..... | 16 |
| Gambar 2. 4. Hubungan Tegangan-Regangan Tekan Beton (Asroni, 2010)..... | 17 |
| Gambar 2. 5. Grafik Tegangan-Regangan Baja Tulangan..... | 18 |
| Gambar 2. 6. Hubungan Tegangan-Regangan Tarik Beton (Asroni, 2010) | 19 |
| Gambar 2. 7. LVDT | 20 |
| Gambar 2. 8. Alat Ukur Regangan Baja Tulangan (<i>Strain Gauge</i> Baja) dan CN <i>Adhesive</i> | 20 |
| Gambar 2. 9. Alat Ukur Regangan Beton (<i>Strain Gauge</i> Beton) dan CN-E <i>Adhesive</i> | 21 |
| Gambar 2. 10. Balok dibebani Lentur Murni (Hutahaean, 2019) | 21 |
| Gambar 2. 11. Distrusi Tegangan- Regangan Balok Tulangan Rangkap | 22 |
| Gambar 2. 12. Faktor Reduksi Kekuatan | 22 |
| Gambar 2. 13. Lendutan pada Balok..... | 24 |
| Gambar 2. 14. Pola Keruntuhan Balok Beton Bertulang (Nawi 1998)..... | 26 |
| Gambar 3. 1. Diagram Alir Pengujian Karakteristik Mortar Geopolymer | 32 |
| Gambar 3. 2. Diagram Alir Pengujian Lentur Balok | 33 |
| Gambar 3. 3. Komposisi Mortar Geopolimer | 35 |
| Gambar 3. 4. Dimensi Benda Uji Balok Kontrol (CB) | 39 |
| Gambar 3. 5. Dimensi Benda Uji Balok Perkuatan | 40 |
| Gambar 3. 6. Alat Load Cell Dan Data Logger | 41 |
| Gambar 3. 7. Setup Benda Uji | 42 |
| Gambar 4. 1. Penimbangan Benda Uji..... | 43 |
| Gambar 4. 2. Pengujian Kuat Tekan | 43 |
| Gambar 4. 3. Pengaruh PVA Fiber Terhadap Kuat Tekan Mortar Komersil | 44 |
| Gambar 4. 4. Pengaruh PVA Fiber Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer ... | 46 |
| Gambar 4. 5. Perbandingan Kuat tekan Mortar Geopolymer dan Mortar Grouting | 47 |
| Gambar 4. 6. Pengujian Karakteristik Mekanis Beton..... | 48 |
| Gambar 4. 7. Hubungan Beban-Lendutan Benda Uji | 51 |
| Gambar 4. 8. Beban Maksimum | 54 |
| Gambar 4. 9. Hubungan Beban-Regangan Beton Mortar Grouting..... | 55 |
| Gambar 4. 10. Hubungan Beban-Regangan Beton Mortar Geopolymer..... | 56 |
| Gambar 4. 11. Hubungan Beban-Regangan Baja Mortar Grouting..... | 57 |
| Gambar 4. 12. Hubungan Beban-Regangan Baja Mortar Geopolymer | 57 |
| Gambar 4. 13. Distribusi Regangan Beton dan Tulangan Balok CB..... | 59 |
| Gambar 4. 14. Distribusi Regangan Beton dan Tulangan Balok GP..... | 59 |
| Gambar 4. 15. Distribusi Regangan Beton dan Tulangan Balok GP-F | 60 |
| Gambar 4. 16. Perkembangan Retak Balok CB | 61 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 17. Retak Awal Pengujian Balok CB | 62 |
| Gambar 4. 18. Panjang Retak Pada Beban 10 kN – 20 kN | 62 |
| Gambar 4. 19. Panjang Retak Di Daerah Momen Konstan Pada Beban 20 kN – 30 kN..... | 62 |
| Gambar 4. 20. Retak Di Daerah Momen Konstan Saat Beban Maksimum | 63 |
| Gambar 4. 21. Mode Kegagalan Balok CB..... | 63 |
| Gambar 4. 22. Pengukuran Lebar Retak Balok CB | 64 |
| Gambar 4. 23. Perkembangan Retak Balok GR..... | 65 |
| Gambar 4. 24. Retak Awal Balok GR..... | 65 |
| Gambar 4. 25. Retak Balok GR Pada Beban 0 kN – 10 kN..... | 66 |
| Gambar 4. 26. Perbandingan Panjang Retak Balok CB Dan GR..... | 66 |
| Gambar 4. 27. Retak Balok GR Pada Beban 10 kN – 20 kN..... | 67 |
| Gambar 4. 28. Kegagalan Sambungan Pada Beban 20 kN–30 kN | 67 |
| Gambar 4. 29. Perbandingan Kemiringan Retak Balok CB Dan GR | 68 |
| Gambar 4. 30. Pola Retak Balok GR | 68 |
| Gambar 4. 31. Mode Kegagalan Balok GR | 68 |
| Gambar 4. 32. Perkembangan Retak Balok Gr-F | 69 |
| Gambar 4. 33. Retak Balok GR-F Sebelum Pengujian..... | 69 |
| Gambar 4. 34. Retak Awal Balok GR-F | 70 |
| Gambar 4. 35. Perbandingan Jumlah Dan Panjang Retak Pada Beban | 70 |
| Gambar 4. 36. Retak di Daerah Tumpuan Balok GR-F..... | 71 |
| Gambar 4. 37. Perubahan Rambat Retak Balok GR-F..... | 71 |
| Gambar 4. 38. Pola Retak Balok GR-F..... | 72 |
| Gambar 4. 39. Mode Kegagalan Balok GR-F..... | 72 |
| Gambar 4. 40. Bridging Effect..... | 73 |
| Gambar 4. 41. Kegagalan Debonding dan serat PVA..... | 73 |
| Gambar 4. 42. Retak Awal Balok GP | 74 |
| Gambar 4. 43. Microcrack Pada Sambungan..... | 74 |
| Gambar 4. 44. Pengukuran Lebar Retak Sesaat Setelah Beban Puncak..... | 75 |
| Gambar 4. 45. Delaminasi Antara Beton Normal Dan Mortar Geopolymer | 75 |
| Gambar 4. 46. Retak Awal Balok GP-F..... | 76 |
| Gambar 4. 47. Pengukuran Lebar Retak Sesaat setelah Beban Puncak..... | 76 |
| Gambar 4. 48. Bridging Effect Serat Pada Retak..... | 77 |
| Gambar 4. 49. Debonding Antara Beton Normal Dan Mortar Geopolimer..... | 77 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia bertumbuh pesat dari waktu ke waktu. Di bidang material, beton masih menjadi salah satu bahan yang paling sering di gunakan di seluruh dunia. Penggunaan beton merupakan salah satu yang utama dan dituntut dapat menyokong pembangunan infrastruktur yang lebih cepat, ekonomis dan ramah lingkungan.

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang berbahan dasar campuran dari semen, kerikil, pasir, dan air. Dengan sekitar 10 miliar ton beton yang diproduksi setiap tahun membuat beton menjadi bahan bangunan yang paling banyak digunakan di dunia. Selain itu, beton juga merupakan bahan bangunan yang paling banyak digunakan di dunia untuk konstruksi mulai dari jembatan hingga bangunan besar. Dengan demikian beton menjadi fondasi infrastruktur yang cukup kuat. Lebih dari 70% populasi dunia hidup dalam bangunan beton. Namun penggunaan semen sebagai bahan dasar pembuatan beton sekitar 7%-15%, ternyata menggunakan energi yang cukup besar dan limbah yang melimpah juga, sehingga akan sangat berpengaruh pada kondisi lingkungan.

Industri semen Portland menghasilkan 5-8% emisi karbon dunia. Sedangkan menurut Duxson dkk (2018), beton ramah lingkungan (geopolimer) yang diaktivasi dengan alkali mampu mengurangi produksi emisi karbon hingga 80% dari yang dihasilkan oleh semen Portland. Fly ash merupakan salah satu material utama yang umum digunakan dalam pembuatan beton geopolimer. Beton ramah lingkungan terbentuk dari reaksi kimia, sementara beton konvensional terbentuk dari proses hidrasi (Davidovits, 1999). Sehingga, jenis activator yang digunakan harus sesuai dengan tipe fly ash dan komposisinya juga harus akurat. Aktivator yang umum digunakan adalah sodium hydroxide (NaOH) pada konsentrasi 8M hingga 16M dan Sodium Silicate (Na_2SiO_3) dengan ratio berat antara NaOH dan Na_2SiO_3 berisar antara 0,4 hingga 2,5 (Hardjito dkk, 2005 dan Ekaputri, 2013).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa beton geopolimer memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional yang berasal dari semen Portland (Van Deventer, 2007). Namun kelemahannya adalah beton geopolimer tersebut memiliki sifat yang getas (*brittle*). Sehingga apabila diaplikasikan pada struktur, akan menghasilkan pola kegagalan yang tiba-tiba (*sudden collapse*). Tipe kegagalan tersebut sangat dihindari dalam desain. Beberapa penelitian merekomendasikan penggunaan serat pada beton geopolimer untuk dapat meningkatkan kuat tarik, kuat lentur dan daktilitasnya (Velasco, 2004). Peningkatan kuat tarik akan meningkatkan perilaku dari beton.

Salah satu serat yang bisa ditambahkan pada beton ramah lingkungan adalah PVA (Poly-Vinyl Alcohol) Fiber. Serat PVA (Poly-Vinyl Alcohol) adalah serat penguat berkinerja tinggi untuk beton dan mortar. Serat PVA sangat cocok untuk berbagai macam aplikasi karena sifatnya yang tahan retak, modulus elastisitas tinggi, kekuatan ikatan tarik dan molekul yang sangat baik, dan ketahanan tinggi terhadap alkali, UV, bahan kimia, kelelahan, dan abrasi. Serat PVA memiliki keunikan dalam kemampuannya untuk membuat ikatan molekul dengan mortar dan beton yang 300% lebih besar dari serat lainnya.

Mortar geopolimer memiliki kesamaan dengan mortar grouting komersial, yaitu mudah dibentuk karena memiliki slump flow yang tinggi, serta memiliki kuat tekan yang tinggi. Mortar grouting komersial sering diaplikasikan sebagai material perbaikan material perbaikan dan perkuatan struktur, baik yang mengalami kegagalan geser maupun kegagalan lentur. Maka dari itu, terinspirasi dari mortar grouting komersial, mortar geopolimer akan dikembangkan menjadi material alternatif perbaikan dan perkuatan struktur beton bertulang. Namun, sebelum dapat digunakan secara luas, perlu dilakukan penelitian terkait perilaku struktur yang diperkuat menggunakan mortar geopolimer. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka disusunlah penelitian dengan judul:

“Pemanfaatan Mortar Geopolimer berbahan Fly Ash dan Serat PVA sebagai Material Perbaikan Balok Beton Bertulang”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan penelitian yakni:

1. Bagaimana perilaku lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar geopolimer dan serat PVA (*Poly-Vinyl Alcohol*) dibandingkan dengan balok dengan perkuatan mortar grouting?
2. Bagaimana pola retak balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar geopolimer dan serat PVA (*Poly-Vinyl Alcohol*) dibandingkan dengan balok perkuatan mortar grouting komersial dan serat PVA?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisis perilaku lentur balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar geopolimer dan serat PVA (*Poly-Vinyl Alcohol*) dibandingkan dengan balok dengan perkuatan mortar grouting komersial dan serat PVA.
2. Untuk menganalisis pola retak balok beton bertulang yang diperkuat dengan mortar geopolimer dan serat PVA (*Poly-Vinyl Alcohol*) dibandingkan dengan balok dengan perkuatan mortar grouting komersial dan serat PVA.

D. Batasan Masalah

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

1. Mortar geopolimer menggunakan fly ash dari PLTU Jeneponto, Makassar.
2. Serat yang digunakan adalah PVA fiber.

Manfaat Penelitian

Penggunaan beton geopolimer dapat mengurangi penggunaan beton normal yang pada akhirnya dapat mengurangi volume penggunaan semen. Maka dari itu, kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengurangi penggunaan semen.
2. Memanfaatkan limbah Fly ash sebagai material konstruksi.
3. Alternatif dalam material perbaikan dan kekuatan struktur.

E. Sistematika Penulisan

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

BAB I. PENDAHULUAN

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

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V. PENUTUP

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu Tentang Geopolymer dan Perkuatan balok

Beberapa penelitian terkait geopolymer dan perkuatan balok yang telah terpublikasi, diantaranya:

1. Januarti Jaya Ekaputri, Subaer Junaedi dan Wijaya (2017) meneliti tentang Pengaruh suhu curing dan fiber terhadap geopolymer berbasis metakaolin". Diperoleh hasil bahwa ketika suhu curing dinaikkan dari suhu kamar menjadi 80°C, maka kekuatan meningkat hingga 14% pada umur 28 hari. Rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan sekitar 10% jika ditambahkan serat sebesar 1% terhadap berat. Hasil yang optimal ditunjukkan oleh specimen dengan kandungan 0,6% serat berdasarkan uji tarik langsung. Direkomendasikan untuk menerapkan steam curing pada suhu 60 - 80 °C untuk meningkatkan kekuatan tarik.
2. Prasetyo dkk (2015) meneliti tentang Tinjauan kuat tekan beton geopolimer dengan Fly Ash sebagai bahan pengganti semen. Hasil kuat tekan tertinggi diperoleh dari beton geopolimer dengan perbandingan fly ash dan activator sebesar 75 : 25 dan perbandingan alkaline activator 5 : 2 dengan kuat tekan sebesar 135,407 kg/cm², sedangkan untuk perbandingan fly ash dan activator sebesar 70 : 30 didapat kuat tekan tertinggi sebesar 141,037 kg/cm² dengan perbandingan alkaline activator 5 : 2. Untuk beton geopolimer 65 : 35, kuat tekan tertinggi sebesar 98,593 kg/cm² diperoleh dari perbandingan massa alkaline activator 4 : 2.
3. Joseph & Mathew (2012) melakukan penelitian yang berjudul *Influence of aggregate content on the behavior of fly ash based geopolymer concrete*. Penelitian ini membahas tentang pengaruh agregat dalam beton geopolimer berbahan dasar fly ash, pada beberapa pengujian yang dilakukan di dapatkan salah satu hasil yaitu, kuat tekan beton meningkat dengan persentase agregat sebesar 60 sampai 70 % dan komposisi agregat halus sebanyak 35%. Berdasarkan penelitian ini digunakan perbandingan agregat kasar dan agregat halus adalah 65% : 35%.

4. Aryanto, Faisal, Erwin Sutandar, Herwani (2015) meneliti tentang Studi koefisien kuat tekan beton geopolimer pada berbagai umur. Pada penelitian ini beton geopolimer dibuat tanpa menggunakan semen sebagai bahan pengikat, dan sebagai gantinya digunakan abu terbang (Fly Ash) dengan cairan alkalin untuk menghasilkan bahan pengikat (*binder*). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan beton terhadap waktu curing. Trend menunjukkan bahwa semakin lama waktu curing, maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Terlihat juga bahwa kuat tekan optimum dihasilkan pada waktu curing 24 jam.
5. Renata Natanael Luntungan Marthin D. J. Sumajouw, Ronny E. Pandaleke (2019) meneliti tentang Kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar abu terbang (Fly ash). Pada penelitian ini, peneliti mensubstitusikan semen atau kapur dengan variasi substitusi 12.5%, 15%, 17.5%, dan 20% dari berat abu terbang, dengan umur pengujian 7, 14, dan 28 hari, pada temperatur ruangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada substitusi semen nilai kuat tekan beton geopolimer mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya variasi substitusinya. Pada variasi substitusi kapur hanya dilakukan substitusi sampai kadar 15% karena pada kadar yang lebih besar beton dengan cepat mengeras dan tidak dapat dikerjakan.
6. Prayudi (2019) melakukan penelitian mengenai variasi ukuran butir maksimum agregat pada beton geopolimer berbasis fly ash. Diperoleh hasil kuat tekan beton paling tinggi pada ukuran butir agregat kasar maksimum 5 mm yaitu 46,977 MPa, dan modulus elastisitas sebesar 35275,94 MPa. Berdasarkan penelitian ini agregat kasar yang digunakan berukuran 5 mm.

B. Tinjauan Umum

1. Beton

Beton saat ini telah menjadi salah satu material utama pada bangunan yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan industry property dan bangunan sipil. Dalam berbagai bangunan infrastruktur yang ada di dunia ini, beton yang dibuat dengan menggunakan semen Portland menjadi material terbesar yang paling banyak digunakan dibandingkan material lain seperti baja, kayu ataupun

bambu. Industri beton merupakan pengguna sumber daya alam terbesar di dunia. Beton yang telah mengeras merupakan material gabungan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan admixture atau bahan tambah jika dibutuhkan (ahmad,2018)

Secara sederhana beton dibentuk oleh pengkerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah kerikil). Kadang-kadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton (Asroni, 2010). Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, agregat dengan atau tanpa bahan tambah tertentu. Material pembentuk beton tersebut dicampur merata dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituang dalam cetakan untuk dibentuk sesuai dengan keinginan. Perbandingan campuran bahan susun disebutkan secara urut, dimulai dari ukuran butir yang paling kecil (lembut) ke butir yang besar, yaitu semen, pasir, dan kerikil. Jadi jika campuran beton menggunakan semen 1 : 2 : 3, berarti campuran adukan betonnya menggunakan semen 1 bagian, pasir 2 bagian, dan kerikil 3 bagian (Asroni, 2010).

2. Geopolimer

Beton geopolimer merupakan beton yang memiliki material penyusunnya tidak menggunakan semen sebagai pozzolan, dan menggunakan bahan – bahan lain yang memiliki silika dan alumina yang cukup tinggi dari bahan organik maupun anorganik (Davidovits, 1994). Bahan pengganti semen yang sekarang ini banyak dipakai salah satunya adalah fly ash. Untuk menjadikan sifat fly ash menjadi seperti semen, maka diperlukan aktivator alkali. Proses pembentukan itu adalah polimerisasi kondensasi, yaitu pembentukan reaksi gugus fungsi banyak atau molekul yang mengandung dua gugus fungsi atau lebih yang dapat bereaksi untuk menghasilkan satu molekul besar bergugus fungsi banyak pula dan diikuti oleh pelepasan molekul kecil. Dalam beton geopolimer reaksi yang terbentuk adalah ikatan polimerisasi antara alumina dan silika dengan aktivator alkali menghasilkan ikatan – ikatan polymeric Si-O-O-Al (Polysialate), dalam ikatan ini pembentukan beton geopolimer mengeluarkan air dalam molekul yang kecil (Davidovits, 1994). Pelepasan air akan terjadi saat proses curing.

Beberapa pengertian Geopolimer menurut beberapa ahli sebagai berikut :

- a) Menurut Davidovits (1997) Beton geopolimer adalah senyawa silikat alumino anorganik, yang disintesiskan dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (fly ash), silica fume, abu sekam padi yang banyak mengandung alumina dan silika.
- b) Menurut Davidovits (2005) Beton geopolymer merupakan beton geosintetik yang reaksi pengikatannya terjadi melalui reaksi polimerisasi dan bukan melalui reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional.
- c) Menurut Garcia-Loreido dkk (2007) persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa pada reaksi kimia pembentukan senyawa geopolimer juga menghasilkan air yang dikeluarkan selama proses curing.
- d) Palomo dkk (1999) mempelajari pengaruh suhu, waktu, dan rasio larutan alkali pada abu terbang pada kekuatan awal geopolimer. Dilaporkan bahwa faktor suhu dan waktu perawatan mempengaruhi kuat tekan material geopolimer. Penggunaan larutan sodium silikat (Na_2SiO_3) dan sodium hidroksida (NaOH) sebagai larutan alkali menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi”.

Dalam penggunaannya, beton geopolimer memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

- a) Kelebihan beton geopolimer
 - Tahan terhadap serangan asam sulfat,
 - Tahan terhadap reaksi silika-alkali,
 - Tahan terhadap api,
 - Mempunyai rangkai dan susut yang kecil,
 - Dapat mengurangi polusi udara.
- b) Kekurangan beton geopolimer
 - Proses pembuatan yang sedikit lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional
 - Belum ada perhitungan mix design yang pasti.

3. Beton Bertulang

Dalam mayoritas perkembangan industri konstruksi, beton dan baja tulangan merupakan campuran yang amat sangat bermanfaat dalam komponen konstruksi. Menurut (Emmanuel.et.al, 2012) beton bertulang adalah kombinasi 2 bahan yang berbeda tetapi saling melengkapi. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan tahan terhadap api tetapi memiliki kuat tarik yang amat kecil dengan kuat geser yang standar. Di sisi lain, besi beton memiliki kuat tarik properti yang besar, tetapi tidak tahan terhadap api karena baja tulangan dapat kehilangan kekuatannya pada temperatur tinggi.

Koefisien termal dari besi beton $\pm 0,0000065/m/^{\circ}F$ dan apabila menyatu dengan beton menjadi $0,000004 - 0,000007/m/^{\circ}F$ atau $\pm 0,0000055 /m/^{\circ}F$ (McCormac & H. Brown, 2014). Beton bertulang juga sangat baik terhadap kuat geser dan kuat tekan. Dengan demikian, kombinasi dari kedua material tersebut memberikan kuat tarik dan kuat tekan yang baik, serta durabilitas, kuat geser dan ketahanan terhadap api yang besar.

Beton dan baja tulangan mengikat satu sama lain dengan sangat baik tanpa terdapat kemungkinan *Slippage* diantara 2 material tersebut. Ikatan yang erat (*bonding*) antara 2 material tersebut disebabkan oleh kuatnya gaya adhesi dari masing-masing material terutama pada tulangan yang memiliki bentuk sirip pada sepanjang permukaannya. Tulangan baja terekspos korosi, tetapi material beton dapat memberi selaput pasif untuk memproteksi permukaan baja tulangan (McCormac, 2015).

Beton bertulang dianggap sebagai material struktur yang baik pada situasi dimana terdapat air, dan rata-rata intensitas ketahanan terhadap api yang baik apabila selimut betonnya besar maka beton bertulang hanya akan mengalami kerusakan di permukaan. Beton bertulang dalam kondisi yang baik, dapat digunakan dalam waktu layan yang lama tanpa kehilangan kekuatan *Load-Carrying Capacity*. Ini dikarenakan kekuatan beton bertulang tidak mengalami reduksi seiring bertambahnya waktu melainkan bertambah akibat dari proses *Solidification* yang lama dari pasta semen (McCormac & H. Brown, 2014).

C. Material Mortar Geopolimer

1. *Fly Ash*

Fly Ash adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai. Material ini tidak mempunyai kemampuan mengikat seperti semen tetapi mempunyai sifat pozzolanik. Apabila *Fly Ash* diberi air, maka oksida silika yang terkandung didalamnya akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen. Dengan demikian akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Komposisi dari *Fly Ash* sebagian besar terdiri dari Silikat dioksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi oksida (Fe_2O_3), dan Kalsium Oksida (CaO) sedangkan Magnesium, Potasium, Sodium, Titanium, dan Sulfur juga ada tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit. Sebagian besar komposisi kimia dari *Fly Ash* ini tergantung dari tipe batu bara.

Tabel 2. 1. Perbandingan Komposisi Fly Ash Terhadap Semen

| Unsur | Semen Portland | <i>Fly Ash</i> |
|-------------------------|----------------|----------------|
| SiO_2 | 20 | 50 |
| Fe_2O_3 | 3,5 | 10,4 |
| Al_2O_3 | 5 | 28 |
| CaO | 65 | 3 |
| MgO | 0,1 | 2 |
| Na_2O | 0,1 | 0,7 |
| K_2O | 0,7 | 2,5 |

Sumber : Nugraha Paul dan Antoni, 2007

Tabel 2. 2. Komposisi Senyawa Kimia dalam Fly Ash yang Digunakan pada Penelitian Kosnatha dan Utomo (2007)

| Oksida | <i>Fly Ash Tipe C (%)</i> | <i>Fly Ash Tipe F (%)</i> |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| SiO ₂ | 46,39 | 54,00 |
| Al ₂ O ₃ | 20,08 | 29,12 |
| Fe ₂ O ₃ | 13,32 | 09,81 |
| CaO | 13,07 | 01,33 |
| SO ₃ | 02,16 | 00,65 |
| MgO | 01,09 | 00,81 |
| Mn ₂ O ₃ | 00,15 | 00,04 |
| Cr ₂ O ₃ | 00,01 | - |
| Na ₂ O | 00,17 | <00,01 |
| K ₂ O | 00,77 | 00,96 |
| TiO ₂ | 01,64 | 01,35 |
| P ₂ O ₅ | 01,03 | 00,16 |

a. Sifat Fisika Fly Ash

Fly ash memiliki karakteristik yang hampir mirip dengan semen seperti diperlihatkan pada tabel 3.1. Sifat fisika dari *Fly Ash* menurut *ACI Manual of Concrete Practice*, 1993 yaitu *specific gravity* 2,2 – 2,8 dan ukuran butir 1 µm – 1mm (lolos ayakan 200 mesh = 40 – 75 µm). Sedangkan unsur *Fly Ash* yang berbeda terhadap semen adalah komposisi CaO. Pada semen konvensional kadar CaO sekitar 50% atau lebih, sedangkan pada *Fly Ash* hanya sekitar 1-2%. Daya rekat semen sangat dipengaruhi oleh kadar CaO, hal ini menyebabkan semen dapat cepat mengeras jika dicampur air (pengaruh angka hidrolitas). Oleh karena itu, untuk merubah *Fly Ash* agar memiliki karakteristik mendekati seperti semen, maka digunakan bahan tambahan berupa kapur (CaCO₃).

b. Sifat Kimia Fly Ash

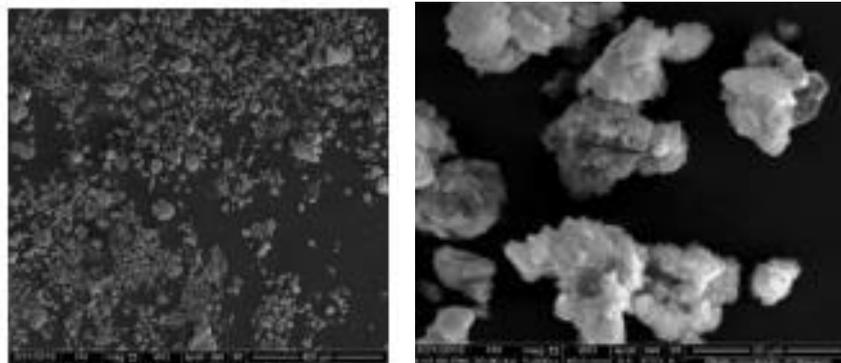
Komposisi kimia dari *Fly Ash* diperoleh dari hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang dilakukan di laboratorium Sucofindo, Makassar yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3. Pada tabel 4 menunjukkan klasifikasi *Fly Ash* berdasarkan ASTM C618.

Tabel 2. 3. Komposisi Kimia Fly Ash (Persen Terhadap Berat)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | SO ₃ |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------------------|------------------|------|-----------------|
| 37.04 | 11.41 | 11.62 | 19.24 | 0.57 | 0.72 | 4.53 | 1.37 |

Tabel 2. 4. Klasifikasi Fly Ash Berdasarkan ASTM C 618

| Komposisi | Kelas | |
|---|-------|------|
| | F | C |
| SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (min, %) | 50.0 | 50.0 |
| SO ₃ (max, %) | 5.0 | 5.0 |
| Na ₂ O ₃ (min, %) | 1.5 | 1.5 |
| Kadar kelembaban (max, %) | 3.0 | 3.0 |

**Gambar 2. 1. Partikel Fly Ash Hasil Pengujian SEM (Ekaputri 2013)**

Gambar 2.1. menunjukkan hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) sampel *Fly Ash*. Pada gambar tersebut diperlihatkan bentuk butiran yang tidak beraturan yang dapat menyebabkan permasalahan pada saat pencampuran yaitu campuran akan cepat mengeras. Sehingga, dalam penelitian ini ditambahkan borax untuk meningkatkan *setting time*.

2. Polyvinyl Alcohol (PVA)

Serat PVA memiliki sifat yang baik untuk meningkatkan kekuatan beton. Serat ini memiliki modulus elastisitas tinggi, daya tahan, kekuatan tarik, dan kekuatan ikatan. Properti ini dibutuhkan untuk meningkatkan keuletan beton. Sifat fisik serat PVA adalah Diameter 38 μm , dengan panjang delapan mm, dan kepadatan 1,3 gram / cm³. Modulus elastisitas serat PVA berada dalam kisaran dari 25 - 40 GPa, lebih tinggi dari serat alami. Perpanjangan serat PVA adalah 6-

10%, dan Kekuatan tarik serat PVA berkisar antara 880 - 1600 Mpa (Manfaluti 2017)

Tabel 2. 5. Properti Serat PVA

| Spesifikasi | |
|----------------------------------|--------------|
| Diameter (micrometer) | 38 |
| Panjang (mm) | 8 |
| Kuat tarik (MPa) | 1600 |
| Kuat lentur (MPa) | 40000 |
| Titik leleh (°C) | 225 |
| Penyerapan | < 1% by mass |
| Berat jenis (g/cm ³) | 1.3 |

Sumber : <https://nycon.com/>



Gambar 2. 2. Sifat Serat PVA yang diambil dengan Kamera *Dino Lite*

3. Alkali

Larutan Alkali yang digunakan adalah merupakan kombinasi pencampuran antara Larutan Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Larutan Sodium Hidroksida (NaOH).

Penambahan Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida ini dapat membuat beton menjadi basa. *Sodium silikat* dan *sodium hidroksida* digunakan sebagai *alkali aktivator* (Djuwantoro, dkk, 2004).

Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. *Sodium Hidroksida* (NaOH) merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana maka sejak 1818 sodium silikat berkembang dengan cepat. Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran beton lebih banyak digunakan dalam bentuk larutan, sodium silikat atau yang lebih dikenal dengan water glass. Sodium silikat ini merupakan salah satu

larutan alkali yang memainkan peranan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

Sodium Silikat (Na_2SiO) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan *polimer* yang kuat.

4. *Superplasticizer*

Superplasticizer merupakan bahan tambah (*admixture*). *Admixture* adalah bahan selain semen, agregat dan air yang ditambahkan pada campuran beton, sebelum atau selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton sesuai dengan keinginan perencana. Superplasticizer juga mempunyai pengaruh yang besar dalam meningkatkan workabilitas, superplasticizer merupakan sarana untuk menghasilkan beton yang mengalir tanpa terjadi pemisahan (*segregasi/bleeding*) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar sehingga berguna untuk percetakan beton di tempat-tempat yang sulit seperti tempat pada penulangan yang rapat. Jenis-jenis superplasticizer yang biasa digunakan antara lain superplasticizer naphthalene, *superplasticizer polycarboxylate* dan superplasticizer sodium glukonat.

Superplasticizer polycarboxylate (PCE) adalah superplasticizer yang paling efektif. PCE mampu untuk mengurangi kadar air sampai 40% dan bisa digunakan untuk beton dengan mutu tinggi, perbandingan air dan semen yang didapat adalah 0,2. PCE memiliki nilai slump yang baik dan tidak menyebabkan keterlambatan pada beton biasa untuk mendapatkan kekuatan yang ingin dicapai.

5. *Boraks*

Boraks merupakan senyawa yang bisa digunakan sebagai salah satu aktivator atau senyawa tambahan dalam pembuatan beton geopolimer. Perbandingan dari campuran boraks terhadap alkali activator lainnya memberi pengaruh terhadap kekuatan beton geopolimer yang dihasilkan. Boraks juga bisa digunakan untuk memperlambat *setting time* pada sebuah beton geopolimer (Mackenzie et al., 2005).

D. Karakteristik Beton Bertulang

1. Kuat Tekan

Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Perancangan beton harus memenuhi kriteria perancangan standar yang berlaku. Peraturan dan tata cara perancangan tersebut antara lain adalah ASTM, ACI, JIS, ataupun SNI. Perancangan tersebut juga dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang harus memenuhi kinerja utamanya yaitu kuat tekan sesuai rencana dan mudah untuk dikerjakan serta ekonomis dalam pembiayaannya. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton tersebut yaitu proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Nilai kuat tekan beton diperoleh dari rumus (1) dengan mempertimbangkan persamaan (2) dan karakteristik kuat tekannya di persamaan (3).

$$f^{\prime}c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \quad (2)$$

$$f^{\prime}cm = f^{\prime}cr - 1,645 \times S \quad (3)$$

Keterangan :

$f^{\prime}c$ = kuat tekan beton (N/mm²)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

$f^{\prime}cr$ = Kekuatan beton rata-rata yang dibutuhkan, sebagai dasar pemilihan pada perencanaan campuran beton (MPa)

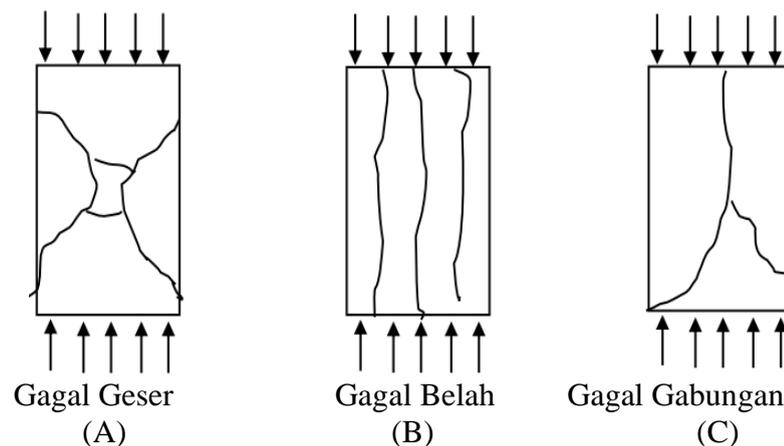
S = Standar deviasi (s) (MPa)

$f^{\prime}cm$ = Kuat Tekan karakteristik beton (MPa)

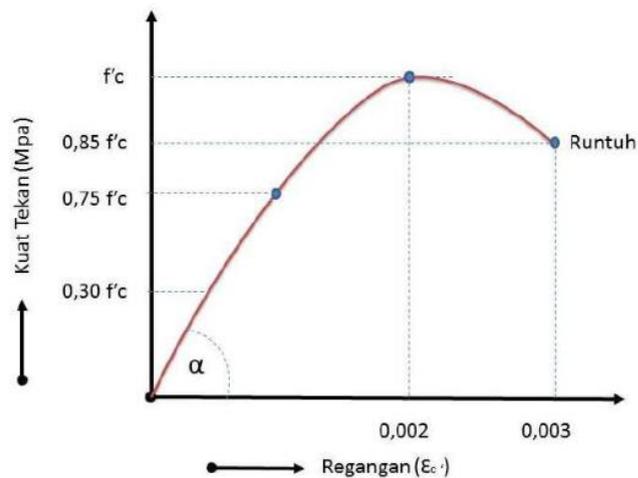
Penentuan kuat tekan beton dapat diperoleh melalui pengujian kuat tekan di laboratorium. Dan benda uji yang sering dipakai berupa benda uji berbentuk silinder dan benda uji berbentuk kubus. Kuat tekan beton yang diperoleh dari

benda uji silinder dengan kuat tekan beton yang diperoleh dari benda uji kubus. Untuk menentukan kuat tekan beton acuan standar yang dipakai adalah (ASTM, 2014) “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*”²²

Kegagalan suatu benda uji dalam uji tekan biasanya dapat terjadi dalam 3 kemungkinan. Yang pertama akibat beban aksial tekan, benda uji gagal dalam geser seperti pada contoh Gambar 2.3.(A), tahanan muncul adalah dari kohesi dan friksi internal dalam benda uji. Kemungkinan kedua, kegagalan pada benda uji ditandai dengan pecahnya benda uji menjadi potongan-potongan berbentuk kolom-kolom dikatakan beton membelah seperti contoh Gambar 2.3.(B). Kegagalan ini terjadi akibat dari kuat tekan yang tinggi. Kegagalan ketiga merupakan gabungan dari kemungkinan pertama dan kedua antara geser dan belah seperti pada contoh Gambar 2.3.(C) (Setiawan, 2013).



Gambar 2. 3. Kegagalan Benda Uji Kuat Tekan Beton (Setiawan, 2016)



Gambar 2. 4. Hubungan Tegangan-Regangan Tekan Beton (Asroni, 2010)

Pada saat beban tekan mencapai $0,3f'_c - 0,4f'_c$, perilaku tegangan- regangan pada dasarnya masih bersifat linear. Saat beban tekan melebihi $0,3f'_c - 0,4f'_c$, retak-retak lekatan akan mulai terbentuk, perilaku linear berubah menjadi nonlinear.

- 1) Tegangan maksimum terjadi saat beban tekan mencapai regangan $0,002$ yaitu sekitar $0,7f'_c - 0,9f'_c$, dan retak-retak lekatan terbentuk pola retak yang kontinu. Pada kondisi ini hubungan tegangan-regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linear.
- 2) Pada saat beton akan runtuh dimana kuat tekan beton telah mencapai puncak, maka tegangan beton turun menjadi $0,85f'_c$ sedangkan regangan tekan tetap naik sampai batas retak yaitu $\epsilon_{cu} = 0,003$, sesuai peraturan SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.3.

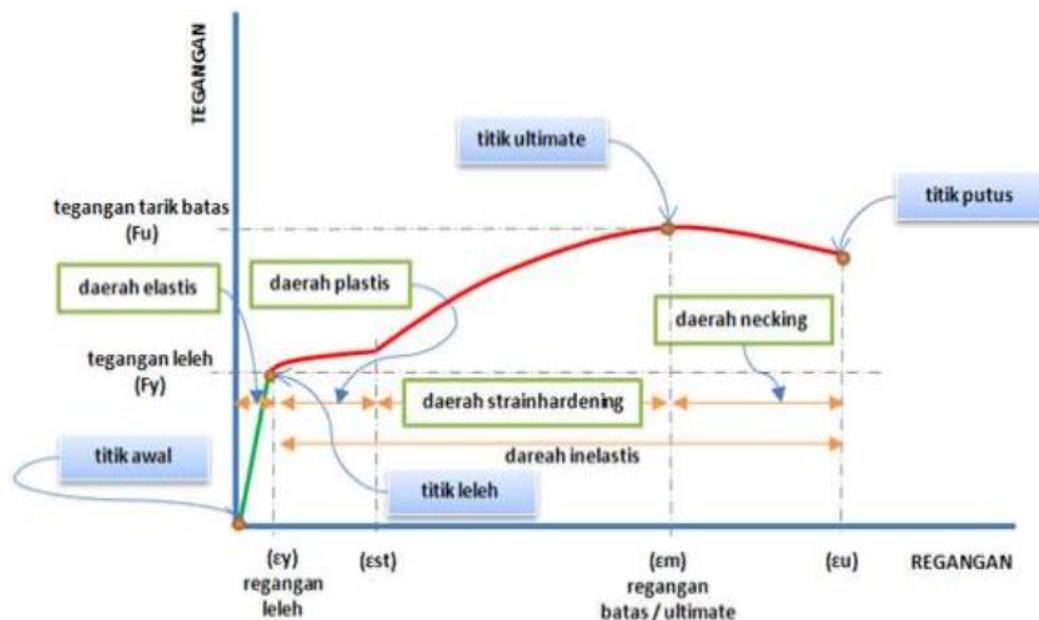
Alat untuk pengujian tekan adalah *Universal Testing Machine* dan pengujian tekan menggunakan standar ASTM C39M-21 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*). Pengujian kekuatan tekan adalah tekan uniaksial jenis statis monotonik, yaitu pembebanan bertambah relatif konstan dengan kecepatan rata-rata pembebanan (*rate of loading*).

2. Kuat Tarik

Kuat tarik beton bervariasi dari 8 % hingga 15 % dari kuat tekannya. Faktor utama yang menyebabkan nilai kuat tarik dari beton sangat kecil adalah agregat –

agregat yang mudah rapuh. Agregat – agregat yang mudah rapuh tidak memiliki pengaruh besar terhadap *Compressive Strength* dari beton dikarenakan retak pada beton dapat ditutup ketika terjadi transfer beban tekan ke beton. Tetapi untuk kasus tarik tidak dapat ditoleransi. Ketika beton telah mengalami retak maka beton sudah kehilangan kekuatan tarik. Metode untuk menghitung kondisi ketika beton telah kehilangan tarik yaitu *Modulus of Rupture* (McCormac, 2015).

Dikarenakan nilai kuat tarik beton yang sangat kecil, maka digunakan material pengganti untuk membantu menguatkan balok beton yaitu dengan pemberian besi beton pada balok beton. Besi beton memiliki ketahanan kuat tarik yang tinggi yaitu 100 kali kekuatan tarik beton. Kekuatan tarik dari besi beton ini yang membuat 2 material yang berbeda dapat bekerja bersamaan untuk membentuk struktur beton bertulang yang kuat. Kuat tarik pada besi beton diuji dengan menggunakan alat *Universal Tensile Test Machine* yang berdasarkan SNI 2052-2017 (Badan Standarisasi Nasional, 2014).

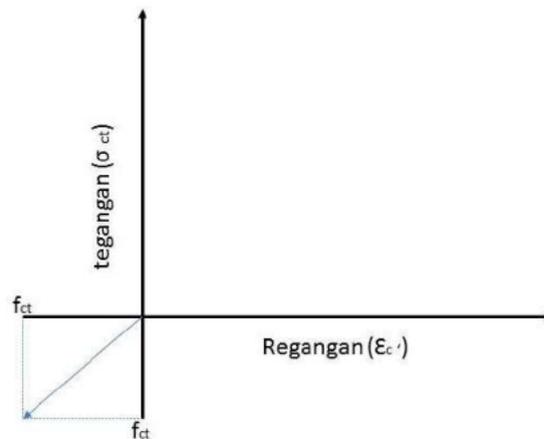


Gambar 2. 5. Grafik Tegangan-Regangan Baja Tulangan

Kurva tegangan-regangan pada Gambar 2.5. mewakili baja mutu biasa, dimana kondisi leleh terlihat jelas, sebagai segmen yang berbentuk horizontal pada kurva. Untuk semua jenis baja, modulus elastisitas (E) adalah 200.000 MPa (29000 psi), dan tangent modulus kondisi *Strain-Hardening*, (E_{sh}) sekitar 1/30 kali kondisi elastisnya, yaitu 6700 MPa (970 psi). Kondisi leleh dibatasi sampai

pada tegangan leleh, (F_y). Jika dilanjutkan kondisi tegangannya konstan, hanya ada penambahan regangan sampai mulai terjadi *strain-hardening*. Jika beban diteruskan maka tegangannya akan meningkat sampai nilai maksimum, dan disebut kuat tarik atau kuat batas *Ultimate* (F_u) (Dewobroto, 2016).

Perilaku beton pada saat diberikan beban aksial tarik agak berbeda dengan perilaku beton saat diberikan beban tekan. Hubungan tegangan regangan tarik beton pada umumnya bersifat linear sampai terjadinya retak yang biasanya langsung diikuti oleh keruntuhan beton, seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6. Hubungan Tegangan-Regangan Tarik Beton (Asroni, 2010)

Kekuatan tarik beton lebih sulit diukur dibanding kuat tekannya karena masalah penjepitan (*gripping*) pada mesin. Ada sejumlah metode yang tersedia untuk menguji kekuatan tarik dan yang paling sering digunakan adalah tes pembelahan silinder. Selain itu bisa juga digunakan rupture (f_r), (Nawy, Edward G, 1998).

Untuk mengukur besar dan arah lendutan yang terjadi pada balok uji selama pembebanan digunakan LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) yang dapat dilihat seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7. LVDT

a. Alat ukur regangan baja tulangan

Alat ukur regangan baja tulangan longitudinal atas dan bawah dipasang *strain gauge* tipe FLA-2-11 (*gauge factor* $2,12\pm 1\%$), ditempatkan pada tengah bentang (momen maksimum). Pada tulangan transversal dan diagonal juga dipasang *strain gauge* tipe FLA-2-11 (*gauge factor* $2,12\pm 1\%$) yang dapat dilihat seperti pada Gambar 2.8.



(a) *Strain gauge* baja

(b) CN Adhesive

Gambar 2. 8. Alat Ukur Regangan Baja Tulangan (*Strain Gauge* Baja) dan CN Adhesive

b. Alat ukur regangan beton

Alat ukur regangan beton adalah *strain gauge* tipe PFL-60-11 (*gauge factor* $2,09\pm 1\%$), yang dilekatkan pada permukaan beton sesuai posisi-posisi yang direncanakan yang dapat dilihat seperti pada Gambar 2.9.

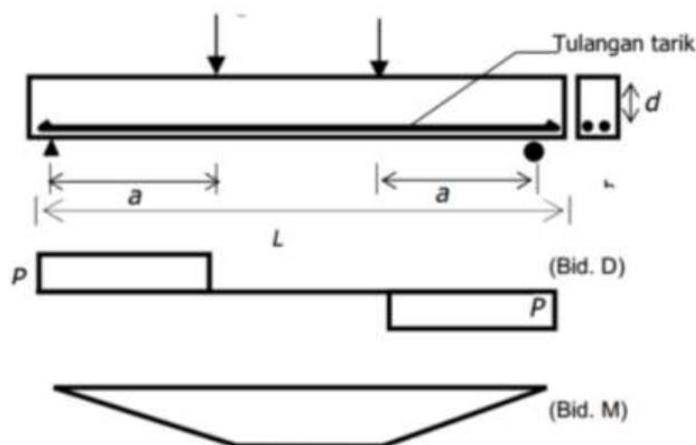
(a) *Strain gauge* beton

(b) CN Adhesive

Gambar 2. 9. Alat Ukur Regangan Beton (*Strain Gauge* Beton) dan CN-E Adhesive

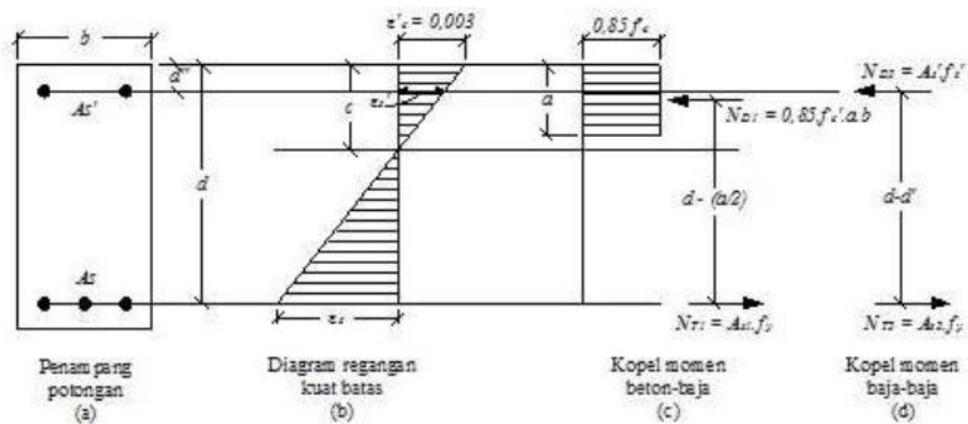
3. Kuat Lentur

Struktur balok beton bertulang dengan tumpuan sederhana (*simple beam*) yang dibebani secara simetris dengan dua buah gaya P sejauh a dari tumpuan, maka akan terjadi keadaan lentur murni yaitu dimana momen konstan sebesar $P.a$ di daerah antara kedua beban P . Untuk mendapatkan uji lentur struktur balok dapat dilakukan dengan membuat perbandingan antara bentang geser dan tinggi efektif balok ($a/d > 3$), serta mendesain agar keruntuhan yang akan terjadi adalah keruntuhan Tarik (*Tension Failure*) (Hutahaean, 2019).



Gambar 2. 10. Balok dibebani Lentur Murni (Hutahaean, 2019)

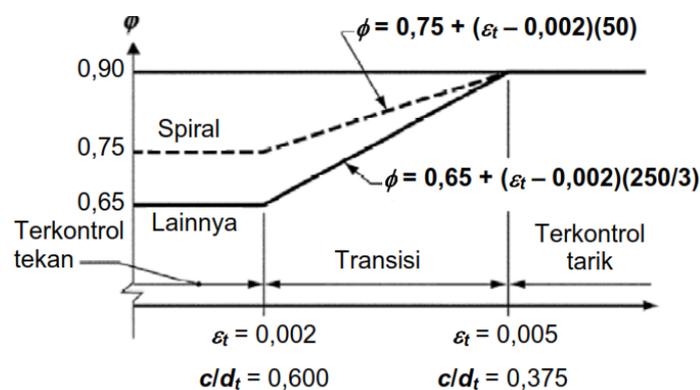
Kondisi tegangan-regangan penampang beton yang mengalami lentur pada balok dengan tulangan Rangkap dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11. Distrusi Tegangan- Regangan Balok Tulangan Rangkap

4. Modulus Elastisitas

Berdasarkan SNI 2847.2019 pasal 8.5, modulus elastisitas (E_c) normal diizinkan diambil sebesar $4700 \sqrt{f_c}$ untuk beton, sedangkan untuk tulangan modulus elastisitas (E_s) nonprategang sebesar 200.000 MPa. Faktor reduksi kekuatan tulangan baja dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12. Faktor Reduksi Kekuatan

Gambar 2.12. diperlihatkan faktor reduksi kekuatan ϕ pada penampang dimana regangan tarik netto dalam baja tarik terjauh pada kekuatan nominal, ϵ_t berada di antara batasan-batasan untuk penampang terkendali tekan dan terkendali tarik, ϕ boleh secara linear ditingkatkan dari nilai untuk penampang terkendali tekan menjadi 0,90 seiring dengan meningkatnya ϵ_t dari batasan regangan terkendali tekan menjadi 0,005.

Modulus elastisitas, pengujian nilai modulus elastisitas dilakukan dengan alat *Combined Compressometer Extensometer* dengan mengikuti standar ASTM

C469-94 (*Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*).

5. Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Besarnya lendutan seketika berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.3.2 dan pasal 24.2. dihitung dengan persamaan (5) sampai (7) sebagai berikut:

$$I_e = \frac{(M_{cr})}{M_a} I_g + \left[\frac{M_{cr}^3}{M_a} \right] I_{cr} \leq I_g \quad (5)$$

dan :

$$M_{cr} = f_r \frac{I_g}{y_t} \quad (6)$$

Keterangan :

Momen Inersia retak I_{cr} :

$$I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + n \cdot A_s (d - c)^2 \quad (7)$$

Nilai c dihitung dengan persamaan (8)

$$\frac{bc^2}{2} + n A_s c - n \cdot A_s d = 0 \quad (8)$$

I_e = Momen inersia efektif penampang balok

I_g = Momen inersia bruto penampang balok

I_{cr} = Momen inersia retak penampang balok

M_{cr} = Momen retak penampang balok

M_a = Momen maksimum rencana

b = Lebar penampang balok

d = Linggi efektif penampang balok

d' = Tebal selimut beton

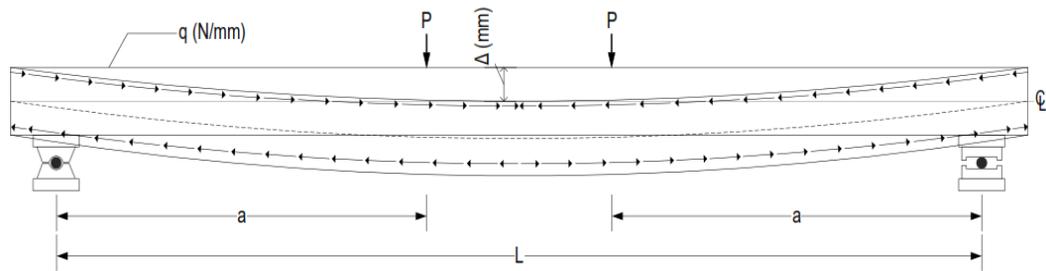
c = Jarak dari permukaan tekan penampang balok

A_s = luas tulangan memanjang tarik

A_s' = luas tulangan memanjang tekan

N = rasio modulus = E_s/E_c

F_r = modulus hancur beton



Gambar 2. 13. Lentutan pada Balok

Gambar 2.13, menunjukkan balok mengalami lentutan dengan perhitungan lentutan sesaat dilakukan sesuai bentuk kombinasi beban pada balok beton bertulang dengan persamaan (9) sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E_c I} \text{ dan } \Delta = \frac{1}{24} \frac{P \cdot a}{E_c I} (3L^2 - 4a^2) \quad (9)$$

- Δ = besarnya lentutan yang terjadi
- q = beban merata
- P = beban terpusat
- L = panjang bentang balok
- I = momen inersia penampang
- E_c = modulus elastis beton

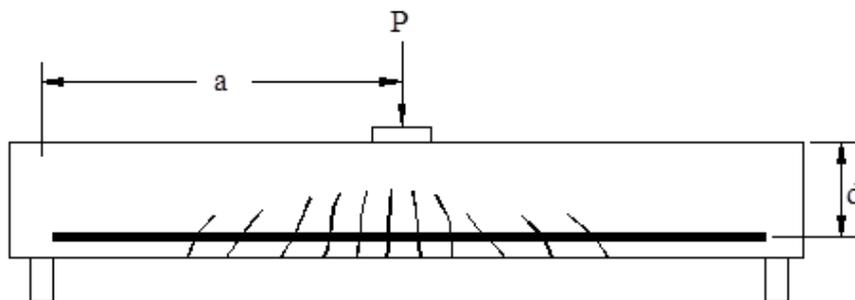
E. Jenis Keruntuhan pada Balok

Jenis keruntuhan balok beton bertulang sangat tergantung pada kelangsingan balok. Kelangsingan balok dinyatakan dengan rasio a/d untuk beban terpusat, dimana a adalah panjang bentang geser (*shear span*) dan d adalah tinggi efektif penampang. Bentang geser ditentukan berdasarkan jarak antara titik pembebanan sebuah beban terpusat terhadap tumpuan. Menurut Nawi (1998), keruntuhan balok beton bertulang dapat terjadi menurut salah satu dari tiga ragam keruntuhan ini:

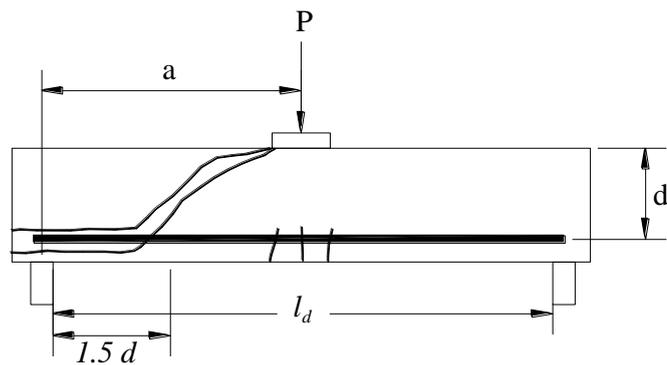
- a. Keruntuhan lentur (*flexural failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang yang memiliki rasio bentang geser dengan tinggi efektif penampang (a/d) lebih besar dari 5.5 seperti yang terlihat pada

gambar 2.14 Pada balok beton bertulang yang didisain *under-reinforced*, keruntuhan balok terjadi setelah tulangan tarik mengalami leleh.

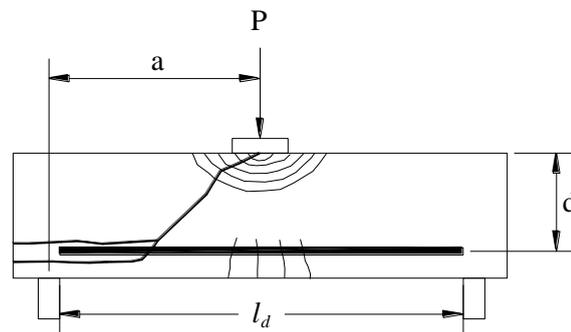
- b. Keruntuhan tarik diagonal (*diagonal tension failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang yang memiliki rasio bentang geser dengan tinggi efektif penampang (a/d) antara 2.5 – 5.5 seperti yang terlihat pada Gambar 15(b). Retak miring muncul setelah terjadinya retakan lentur dan hilangnya lekatan tulangan dengan beton. Retak miring terjadi akibat tegangan utama (*principle-stress*) dalam balok sebagai kuat tarik diagonal lebih kecil dari tegangan utama yang terjadi akibat beban. Keruntuhan terjadi pada retak miring secara tiba-tiba tanpa peringatan. Keruntuhan berkarakteristik getas dan lendutan yang relatif kecil.
- c. Keruntuhan geser tekan (*shear compression failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi pada balok yang memiliki rasio bentang geser dengan tinggi efektif penampang (a/d) antara 1.0 – 2.5 seperti yang terlihat pada Gambar 15(c). Retak miring muncul setelah terjadinya retak lentur dan terjadinya kehilangan lekatan tulangan memanjang dengan beton. Kemiringan retak ini lebih curam dibandingkan dengan retak diagonal tarik. Keruntuhan balok terjadi pada retak miring yang diikuti dengan hancurnya beton pada sisi tekan.



(a) Pola keruntuhan lentur



(b) Pola keruntuhan tarik diagonal



(c) Pola keruntuhan tekan geser

Gambar 2. 14. Pola Keruntuhan Balok Beton Bertulang (Nawi 1998)

Jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada balok lentur bergantung pada sifat-sifat penampang balok menurut (McCormac, 2015), dan dibedakan menjadi 3 jenis berikut:

- a. Keruntuhan Tekan (*brittle failure*), keadaan dimana beton hancur sebelum baja tulangan leleh. Hal ini berarti regangan tekan beton sudah melampaui regangan batas 0,003 tetapi regangan tarik baja tulangan belum mencapai leleh ($\epsilon_s < \epsilon_y$). Penampang seperti keruntuhan tersebut disebut penampang *over reinforced*. Pada balok yang mengalami keruntuhan tekan atau keruntuhan getas, pada saat beton mulai hancur, baja tulangannya masih kuat (belum leleh), sehingga lendutan pada balok relatif tetap (tidak bertambah). Tetapi, jika diatas balok ditambah beban yang besar, maka baja tulangan akan meleleh dan dapat terjadi keruntuhan secara mendadak tanpa ada peringatan lendutan membesar pada balok. Keadaan demikian sangat

berbahaya sehingga sistem perencanaan beton bertulang yang dapat mengakibatkan *over-reinforced* tidak diperbolehkan.

- b. Keruntuhan Seimbang (*balance*), keadaan dimana beton hancur dan baja tulangan leleh terjadi bersamaan. Hal ini berarti regangan tekan beton mencapai regangan batas 0,003 dan regangan tarik baja tulangan mencapai leleh pada saat yang sama ($\epsilon_s = \epsilon_y$). Pada keadaan ini, kekuatan beton dan baja tulangan dapat dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga penggunaan material beton dan baja tersebut menjadi hemat. Sistem perencanaan beton bertulang yang demikian ini merupakan sistem perencanaan yang ideal, tetapi sulit dicapai karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya: ketidaktepatan mutu baja dengan mutu baja rencana, ketidaktepatan mutu beton dalam pelaksanaan pembuatan adukan dengan mutu beton rencana, maupun kurang teliti pada perencanaan hitungan akibat adanya pembulatan.
- c. Keruntuhan Tarik (*ductile failure*), keadaan dimana baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur. Hal ini berarti regangan tarik baja tulangan sudah mencapai titik leleh tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas 0,003 ($\epsilon_s > \epsilon_y$). Penampang seperti keruntuhan tersebut disebut penampang *under-reinforced*. Pada balok yang mengalami keruntuhan tarik atau keruntuhan daktail, pada saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga dapat terjadi lendutan pada balok. Jika diatas balok ditambah beban yang besar, maka lendutan balok semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keadaan demikian dapat memberikan peringatan tentang lendutan membesar sebelum runtuh sehingga system perencanaan beton bertulang yang *under-reinforced* ini lebih aman dan diperbolehkan.

F. Pola Retak Balok Beton Bertulang

Pola retak pada balok beton bertulang dapat digunakan untuk membaca jenis keruntuhan dari balok beton bertulang. Pola retak yang tegak lurus dengan tulangan utama disebut *Tranverse Cracks* sedangkan pola retak yang sejajar dengan tulangan utama disebut *Longitudinal Cracks* (Uddin & Shaikh, 2018). Pada balok yang memiliki tulangan memanjang diperlukan penulangan secara

transversal atau biasa disebut dengan tulangan geser untuk mencegah pembentukan retak miring. Menurut (Wight & MacGregor, 2012) terdapat tiga jenis keretakan pada balok, yaitu:

1. Retak lentur (*flexural crack*)

Retakan ini terjadi hampir tegak lurus dengan daerah yang memiliki momen lentur yang besar.

2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*)

Terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Bisa dikatakan bahwa retak geser lentur adalah perambatan diagonal dari retak lentur yang terjadi sebelumnya.

3. Retak Tarik diagonal (*web shear crack*)

Retak Tarik diagonal terjadi pada garis netral. Hal ini terjadi saat gaya geser maksimum dan tegangan aksial yang terjadi sangat kecil. Besaran pola retak merupakan parameter yang dapat mempengaruhi laju penetrasi korosi ion *Chloride* (Cl^-). Penetrasi ion klorida kedalam balok beton bertulang menjadi semakin mudah apabila lebar retak beton terus meningkat (Emmanuel.dkk 2012).

G. Teori FRC terhadap Mekanika

Teori FRC (Fiber Reinforced Concrete) berhubungan dengan mekanika material dan struktur beton bertulang serat. Dalam FRC, serat-serat yang terdiri dari material seperti baja, polipropilena, atau kaca ditambahkan ke dalam matriks beton untuk meningkatkan sifat mekanik dan kinerja struktural. Berikut adalah beberapa aspek teori FRC yang relevan dalam mekanika:

1. Penguatan Tarik: Serat dalam FRC memberikan penguatan tambahan terhadap gaya tarik pada beton. Serat-serat ini mampu menahan retakan dan memperbaiki ketahanan tarik beton yang relatif rendah. Penguatan tarik oleh serat dapat meningkatkan kapasitas pemikul beban tarik dan mencegah retakan yang lebih lanjut.
2. Distribusi dan Orientasi Serat: Distribusi serat dalam FRC mempengaruhi distribusi tegangan dan deformasi di dalam beton. Orientasi serat dapat mempengaruhi sifat mekanik dalam arah tertentu. Serat yang terdistribusi

secara merata dan secara acak dalam matriks beton dapat meningkatkan sifat tahan terhadap retakan dan kekuatan tarik secara keseluruhan.

3. Perilaku Tarik: Keberadaan serat dalam FRC mempengaruhi perilaku tarik-mampat beton. Serat-serat tersebut membantu dalam menahan deformasi tarik dan mampat serta mencegah retakan yang terlalu lebar. Serat juga dapat mengurangi deformasi regang dan meningkatkan kekuatan tarik residual dalam beton.
4. Interaksi Serat-Matriks: Interaksi antara serat dan matriks beton merupakan aspek penting dalam FRC. Serat harus memiliki ikatan mekanik yang memadai dengan matriks beton untuk memastikan transfer tegangan yang efektif antara serat dan matriks. Interaksi serat-matriks yang baik dapat meningkatkan kinerja FRC secara keseluruhan.

H. Pengaruh Patching terhadap Penambalan Balok

Patching pada balok beton adalah proses perbaikan pada balok beton yang mengalami kerusakan atau cacat. Kerusakan pada balok beton bisa berupa retak, spalling (pengelupasan), atau kehilangan sebagian material beton. Patching pada balok beton bertujuan untuk mengembalikan integritas struktural dan fungsi balok. Berikut adalah beberapa pengaruh yang mungkin terjadi:

1. Kekuatan structural

Patching dapat memperbaiki kekuatan struktural balok yang rusak atau retak. Dengan mengisi atau menambal area yang rusak, kekuatan balok dapat dipulihkan dan mampu menahan beban yang diperlukan.

2. Stabilitas

Patching yang tepat dapat meningkatkan stabilitas balok. Jika ada retakan atau kerusakan pada balok yang dapat mengurangi stabilitasnya, patching dapat mengembalikan integritas struktural dan memastikan balok tetap stabil.

3. Masa pakai

Patching dapat memperpanjang masa pakai balok dengan memperbaiki kerusakan yang ada. Dengan mengambil tindakan yang tepat, Anda dapat

menghindari kerusakan lebih lanjut dan memastikan keberlanjutan kinerja balok dalam jangka waktu yang lebih lama.

4. Estetika

Patching yang dilakukan dengan baik dapat memperbaiki penampilan balok yang rusak atau retak. Ini dapat memberikan tampilan yang lebih baik secara visual dan memastikan bahwa balok terlihat lebih baik.

Namun, penting untuk diingat bahwa efektivitas patching tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis kerusakan yang ada, metode patching yang digunakan, dan kualitas pekerjaan. Penting untuk menggunakan teknik dan bahan yang sesuai, serta mengikuti pedoman dan standar yang relevan untuk memastikan bahwa patching dilakukan dengan benar dan memberikan hasil yang diharapkan.

Metode patching adalah salah satu metode perbaikan pada beton yang kualitasnya telah menurun dengan cara penambalan. Metode perbaikan secara penambalan adalah metode perbaikan paling tepat direkomendasikan untuk perbaikan beton akibat laju korosi yang menyebabkan pengelupasan selimut beton (JSCE, 2007). Metode ini adalah perbaikan manual dengan melakukan penempelan mortar secara manual dan harus memperhatikan penekanan pada saat mortar ditempelkan, sehingga benar-benar didapatkan hasil yang padat. Permukaan beton yang akan diperbaiki atau diperkuat perlu dipersiapkan agar terjadi ikatan yang baik, sehingga material perbaikan atau perkuatan dengan beton lama menjadi satu kesatuan. Permukaan tersebut harus merupakan permukaan yang kuat, padat, tidak keropos ataupun bagian lemah lainnya serta harus bersih dari debu dan kotoran lainnya. Adapun syarat-syarat material patching antara lain:

1. Daya lekat yang kuat : kelekatan antara material patching dengan beton yang akan diperbaiki harus menyatu dengan baik sehingga menjadi satu kesatuan beton yang utuh.
2. Deformable pada beton : Material repair harus menyesuaikan bentuk beton yang akan diperbaiki.
3. Tidak mengurangi kekuatan beton : Material patching yang akan digunakan untuk memperbaiki beton mampu menahan beban yang sama pada beton yang akan diperbaiki.

4. Ukuran bentuk stabil/tidak susut : material patching harus stabil terhadap ukuran bentuk supaya tidak terjadi kerusakan pada beton induk.
5. Durability : Material patching harus memiliki daya tahan yang lebih baik dari beton induknya.
6. Repair set : Material patch repair harus memiliki waktu setting yang cepat atau harus cepat dalam proses pengerasan.