



LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGARUH RASIO TULANGAN TERHADAP DAKTILITAS BALOK GEOPOLIMER

Jonathan Eka Putra
3112 100 083

Dosen Konsultasi :
Dr.Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT

EFFECT OF REINFORCEMENT RATIO IN THE DUCTILITY OF GEOPOLYMER BEAM

Jonathan Eka Putra
3112 100 083

Dosen Konsultasi :
Dr.Eng, Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT.

CIVIL ENGINEERING
Department of Civil Engineering and Planning
Tenth November Institute of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH RASIO TULANGAN TERHADAP
DAKTILITAS BALOK GEOPOLIMER**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

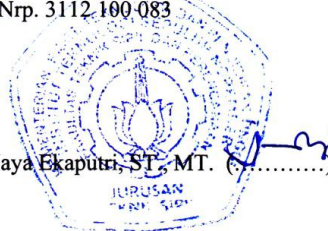
Oleh:

JONATHAN EKA PUTRA

Nrp. 3112 100 083

Disetujui oleh:

1. Dr.Eng Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT. (.....)



PENGARUH RASIO TULANGAN TERHADAP DAKTILITAS BETON GEOPOLYMER

Nama mahasiswa : JONATHAN EKA PUTRA
NRP : 3112100083
Jurusan : Teknik Sipil FTSP ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Januarti J E, ST. MT

ABSTRAK

Abstrak—Beton Geopolimer ialah beton yang tidak mengandung semen, namun terbuat dari fly ash dan material yang mengandung oksida silika dan alumina. Kuat tekan dari geopolimer relatif lebih tinggi daripada beton konvensional (OPC). Salah satu kekurangan dari beton geopolimer ialah perilakunya yang getas sehingga kurang baik menjadi elemen struktur gempa. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio tulangan terhadap daktilitas balok beton geopolimer. Benda uji balok yang digunakan berukuran 15x15 cm² dengan bentang 110 cm. Diameter tulangan tarik yang digunakan ialah 10 mm dan 12 mm dari baja tulangan polos. Rasio tulangan bervariasi 0,7% ; 1,05% dan 1,51%. Alkali activator menggunakan NaOH 8M dengan perbandingan massa NaOH dan Na₂SiO₃ ialah 1:2,5. Perawatan benda uji dilakukan pada suhu normal (29-34 °C) dengan kondisi lembab selama 28 hari. Pengujian lentur balok dilakukan pada umur 28 hari yang merupakan uji lentur murni dengan 2 titik pembebanan berjarak 30 cm. Retak awal pada semua benda uji terjadi pada daerah momen maksimum. Kapasitas lentur paling tinggi ditemukan pada balok 3D12(rasio tulangan 1,51%), daktilitas tertinggi dicapai oleh balok 2D10(rasio tulangan 0,7%) dengan indeks daktilitas 8.49. Daktilitas menurun seiring dengan meningkatnya rasio tulangan.

Kata kunci : Balok Geopolimer, fly ash, alkali activator, sodium hidroksida, sodium silikat, daktilitas, rasio tulangan

EFFECT OF REINFORCEMENT RATIO IN THE DUCTILITY OF GEOPOLYMER CONCRETE

Student Name : JONATHAN EKA PUTRA
NRP : 3112100083
Department : Civil Engineering
Supervisor : Dr.Eng Januarti J E, ST., MT

ABSTRACT

Geopolymer is a non-Portland cement concrete. It is produced from fly ash and materials which contains silicate oxide and alumina. Compression Strength of geopolymer concrete is usually higher than OPC concrete. One of the weak point of geopolymer concrete is its brittle behavior, which makes geopolymer unsuitable to be implemented in earthquake resistant structure. The objective of this research is to study the effect of reinforcement ratio in the ductility of geopolymer concrete. Beams prepared with a section dimension of 15x15 cm² and 110cm in length. Diameter of the plain reinforcement bar used are 10mm and 12mm. Reinforcement ratio are varied, 0.7% ; 1.05% and 1.51%. Alkali activator used in this study are NaOH 8M and Na₂SiO₃ with a mass ratio of 1:2.5. Moist curing are conducted in normal temperature (29-34 °C) for 28 days. Flexural testing was conducted at 28days old, with two point load which were separated by 30cm. First crack of all beams occurred in the area where the moment is maximum. Highest flexural capacity are found in 3D12 beam with rebar ratio of 1.51%. However, the highest ductility index of 8.49 was found in 2D10 beam having rebar ratio 0.7%. Ductility decreased when the rebar ratio was increased.

Key Words : Geopolymer Beam, Fly Ash, Alkali Activator, Sodium Hidroxide, Sodium Silicate, Ductility, Rebar Ratio

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan dan menyusun Proposal Tugas Akhir ini dengan baik.

Tersusunnya Proposal Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami ucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara saya tercinta yang selalu memberi semangat dan doa.
2. Ibu Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST. MT selaku dosen konsultasi yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir
3. Rekan-rekan mahasiswa teknik sipil yang telah memberikan dukungan dan kerjasama yang baik selama pengerjaan proposal tugas akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan proposal tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan proposal tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|-------------------------------------|------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK | ii |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR TABEL | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | ix |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |
| 1.5 Manfaat | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Beton Geopolymer | 5 |
| 2.2 Material Geopolymer | 5 |
| 2.3 Tulangan Baja..... | 7 |
| 2.4 Daktilitas..... | 8 |
| 2.5 Kapasitas Lentur Balok | 9 |
| BAB III METODOLOGI | 13 |
| 3.1 Umum | 13 |
| 3.2 Studi Literatur | 15 |

| | | |
|-------------------------------------|--|-----------|
| 3.3 | Persiapan Material | 15 |
| 3.4 | Analisa Material..... | 17 |
| 3.5 | Mix Design..... | 18 |
| 3.6 | Persiapan Pembuatan Benda Uji | 19 |
| 3.7 | Pembuatan Benda Uji | 21 |
| 3.8 | Perencanaan Tulangan Balok..... | 22 |
| 3.9 | Perawatan Benda Uji..... | 26 |
| 3.10 | Pengujian..... | 26 |
| BAB IV HASIL PENGUJIAN | | 29 |
| 4.1 | Pengujian Material | 29 |
| 4.2 | Pengujian terhadap Benda Uji..... | 42 |
| 4.3 | Hubungan Tegangan dan Regangan Beton | 61 |
| 4.4 | Modulus Elastisitas Beton..... | 61 |
| 4.5 | Kedalaman garis netral balok..... | 63 |
| 4.6 | Momen Kurvatur Balok | 69 |
| 4.7 | Tegangan pada Balok..... | 71 |
| 4.8 | Analisa Peranan SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , dan H_2O | 73 |
| BAB V KESIMPULAN | | 81 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 83 |
| BIODATA PENULIS..... | | 85 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Komposisi Fly Ash berdasar analisa XRF | 6 |
| Tabel 3. 1 Kandungan kimia sodium silikat | 12 |
| Tabel 3. 2 Kebutuhan Material per m ³ | 15 |
| Tabel 4. 1 Komposisi kimia fly ash (%massa)..... | 29 |
| Tabel 4. 2 Berat Jenis Batu Pecah..... | 30 |
| Tabel 4. 3 Kelembaban Batu Pecah | 30 |
| Tabel 4. 4 Air Resapan Batu Pecah..... | 31 |
| Tabel 4. 5 Berat Volume Batu Pecah..... | 32 |
| Tabel 4. 6 Kebersihan Batu Pecah terhadap Lumpur..... | 32 |
| Tabel 4. 7 Keausan Agregat Kasar..... | 33 |
| Tabel 4. 8 Hasil Analisa Saringan..... | 34 |
| Tabel 4. 9 Berat Jenis Pasir..... | 35 |
| Tabel 4. 10 Kelembaban Pasir | 36 |
| Tabel 4. 11 Air Resapan Pasir..... | 36 |
| Tabel 4. 12 Berat Volume Pasir | 37 |
| Tabel 4. 13 Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik | 38 |
| Tabel 4. 14 Kebersihan Pasir terhadap Lumpur..... | 38 |
| Tabel 4. 15 Kebersihan Pasir terhadap Lumpur..... | 39 |
| Tabel 4. 16 Hasil Analisa Pasir..... | 40 |
| Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Tulangan Baja..... | 41 |
| Tabel 4. 18 Detail Penulangan Balok..... | 42 |
| Tabel 4. 19 Kuat Tekan silinder..... | 42 |
| Tabel 4. 20 Momen Crack pada balok | 51 |
| Tabel 4. 21 Momen pada saat baja meleleh | 52 |
| Tabel 4. 22 Kapasitas Lentur Balok..... | 54 |

| | |
|--|----|
| Tabel 4. 23 Perbandingan Kapasitas Lentur Teoritis DAN Eksperimen | 54 |
| Tabel 4. 24 Tabel Relasi $P-\Delta$ tiap balok..... | 59 |
| Tabel 4. 25 Angka Daktilitas Benda Uji | 60 |
| Tabel 4. 26 Regangan dan kedalaman GN saat First Crack.. | 65 |
| Tabel 4. 27 Regangan dan Kedalaman GN saat Yielding Point | 66 |
| Tabel 4. 28 Regangan dan Kedalaman GN saat Maximum Load | 67 |
| Tabel 4. 29 Kedalaman Garis Netral (GN) | 69 |
| Tabel 4. 30 Perhitungan Momen Kurvatur Benda Uji | 70 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Faktor Reduksi | 8 |
| Gambar 2. 2 Posisi Δ yield dan Δ max (Zeitschrift et al., 2015) | 9 |
| Gambar 2. 3 Stress Block Beton | 10 |
| Gambar 2. 4 Grafik Momen – Kurvatur Balok..... | 11 |
| | |
| Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian | 15 |
| Gambar 3. 2 Komposisi mix design..... | 18 |
| Gambar 3. 3 Penampang Benda Uji (satuan dalam cm) | 20 |
| Gambar 3. 4 Variasi Tulangan Benda Uji..... | 26 |
| Gambar 3. 5 Skema Pengujian lentur..... | 27 |
| Gambar 3. 6 Lengkung Ayakan Pasir | 40 |
| | |
| Gambar 4. 1 Lengkung Ayakan Batu Pecah | 35 |
| Gambar 4. 2 Benda Uji Silinder..... | 43 |
| Gambar 4. 3 Pengetesan Benda Uji Silinder..... | 43 |
| Gambar 4. 4 Pengujian Lentur pada balok..... | 44 |
| Gambar 4. 5 Momen Kurvatur balok bertulang yang mengalami lentur | 45 |
| Gambar 4. 6 Grafik Variasi Kekuatan Geser dengan a/d untuk balok persegi | 46 |
| Gambar 4. 7 Gaya dalam akibat pembebanan..... | 48 |
| Gambar 4. 8 Pola Retak yang terjadi pada balok uji..... | 49 |
| Gambar 4. 9 First Crack pada balok uji 2D10 – 13Apr | 51 |
| Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Beban – Lendutan balok 2D10 – 14Apr | 53 |
| Gambar 4. 11 Grafik P- Δ Balok 2D10 – 13Apr | 55 |
| Gambar 4. 12 Grafik P- Δ Balok 2D10 – 14Apr..... | 56 |
| Gambar 4. 13 Grafik P- Δ Balok 3D10 – 1Apr..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4. 14 Grafik P- Δ Balok 3D10 – 20Apr | 57 |
| Gambar 4. 15 Grafik P- Δ Balok 3D10 – 31Mar | 57 |
| Gambar 4. 16 Grafik P- Δ Balok 3D12 – 7Apr..... | 58 |
| Gambar 4. 17 Grafik P- Δ Tiap Benda Uji Balok | 58 |
| Gambar 4. 18 Grafik tegangan – regangan beton | 61 |
| Gambar 4. 19 Modulus Elastisitas Beton..... | 62 |
| Gambar 4. 20 Pengetesan Modulus Elastisitas | 63 |
| Gambar 4. 21 Sketsa Regangan pada saat First Crack..... | 65 |
| Gambar 4. 22 Sketsa regangan pada saat Yielding | 66 |
| Gambar 4. 23 Sketsa Regangan saat Maximum Load | 67 |
| Gambar 4. 24 Momen Kurvatur Tiap Balok | 71 |
| Gambar 4. 25 Grafik Hubungan Beban – Tegangan..... | 72 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu bahan by-product yang bisa digunakan dalam membuat geopolymer ialah fly ash. Keunggulan geopolymer berbahan dasar fly ash ialah ketahanan terhadap asam (Wallah dan Hardjito, 2005), dan mempunyai ketahanan terhadap rangkai dan susut yang lebih baik dibanding dengan beton konvensional (Wallah dan Hardjito, 2004). Fly ash, yang merupakan by-product dari pembakaran batu bara, sangat mudah ditemukan di seluruh penjuru dunia. Hal ini membuat fly ash dapat menjadi bahan yang tepat untuk membuat beton geopolymer (Hardjito, 2005)

Indonesia merupakan daerah yang rawan gempa, terutama pulau Jawa, Sulawesi dan Papua. (Peta Gempa Indonesia, 2012). Karena itu, untuk membuat sebuah gedung yang tahan terhadap gempa diperlukan kolom yang lebih kuat dan struktur yang lebih daktail. Maka dari itu diperlukan elemen balok yang juga bersifat daktail.

Sifat dari beton geopolimer yang getas dapat diminimalkan dengan rasio tulangan sehingga beton bertulang geopolimer dapat berperilaku daktail (Sumajouw dan Rangan, 2006). Dengan begitu, beton geopolimer juga seharusnya dapat diterapkan untuk pembangunan gedung tahan gempa

Sifat mekanik dari beton biasa tentu tidak bisa disamakan dengan beton geopolymer. Modulus Elastisitas

beton normal, biasanya dipakai $4700\sqrt{f_c}$ (SNI 2847 2013 pasal 8.5.1), berbeda untuk beton geopolimer yang mempunyai modulus elastisitas yang lebih rendah daripada beton normal (Hardjito, 2005).

Seiring dengan berkembangnya teknologi tentang beton geopolimer karena factor ramah lingkungannya, dibutuhkan juga penelitian lebih dalam tentang perilaku daktilitas dari beton geopolimer. Penelitian tentang daktilitas beton geopolimer juga masih jarang. Penelitian terakhir dilakukan oleh Sumajouw, 2006. Penelitian tentang geopolimer kebanyakan bertitik berat pada sifat mekanik seperti Young's Modulus, dan Stress-Strain Diagram dari beton geopolymer (Nguyen, 2015)

Di Indonesia, metode pembuatan atau mix design dari beton geopolimer belum ada. Lain halnya dengan Australia, dimana beton geopolimer bertumbuh dengan cepat sehingga adanya acuan dalam pembuatan mix design geopolimer di Australia yaitu CIA (Concrete Institute of Australia) Z-16. Dengan demikian, sangat dibutuhkan usulan metode pembuatan geopolimer di Indonesia

Agar dapat diaplikasikan di bangunan – bangunan khususnya bangunan tahan gempa, diperlukan sifat daktil dari elemen struktur geopo

lymer. Daktilitas beton geopolimer meningkat pada rasio tulangan tertentu. Untuk balok dengan rasio tulangan dibawah 2%, daktilitas meningkat drastis. Namun untuk rasio tulangan diatas 2%, indeks daktilitas

balok geopolimer mulai mengalami penurunan yang signifikan. (Sumajouw, 2006).

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa rasio tulangan agar beton bertulang geopolimer mencapai nilai daktilitas sesuai target?
2. Bagaimana kapasitas lentur penampang balok geopolimer dengan rasio tulangan yang berbeda ?
3. Bagaimana hubungan beban – lendutan balok uji ?
4. Bagaimana hubungan momen – kurvatur balok uji ?
5. Bagaimana hubungan tegangan – regangan pada benda uji silinder ?
6. Apa perbedaan antara Beton geopolimer dengan Beton konvensional

1.3 Tujuan

1. Menentukan rasio tulangan agar mencapai daktilitas yang diharapkan
2. Menentukan kapasitas lentur dari tiap rasio tulangan yang berbeda
3. Menentukan hubungan beban – lendutan pada balok
4. Menentukan hubungan momen – kurvatur pada balok
5. Menentukan hubungan tegangan – regangan pada benda uji silinder
6. Mengidentifikasi perbedaan antara Beton geopolimer dengan Beton konvensional

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium
2. Fly ash yang dipakai adalah Fly Ash kelas F dari PT. Petrokimia Gresik

1.5 Manfaat

1. Beton geopolimer dapat dimanfaatkan dalam pembangunan gedung tahan gempa
2. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Geopolymer

Geopolimer ialah material yang merupakan hasil dari sintesa dari Silika (Si) dan Alumina (Al) yang akan membentuk senyawa aluminosilicate (Davidovits, 2005). Kekuatan tekan yang dihasilkan oleh beton geopolimer tidak kalah tinggi dibandingkan beton normal, namun berbeda dengan kuat tekan beton normal yang dipengaruhi water to cement ratio (w/c) dan umur beton tersebut, beton geopolimer lebih dipengaruhi oleh proses curing (Hardjito, 2004). Selain itu perbandingan konsentrasi suatu aktivator juga akan menghasilkan kuat tekan yang berbeda (Hardjito, 2004)

Walaupun curing dianjurkan untuk menaikkan kuat tekan beton, namun menurut (Hasbullah, 2015), beton geopolimer yang dirawat pada suhu biasa akan mempunyai perilaku daktilitas yang lebih baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Ekaputri dan Triwulan (2013), menunjukkan bahwa semakin tinggi molaritas dari activator (NaOH), maka semakin kuat pula kuat tekan dari geopolimer tersebut. Kuat tekan dari beton geopolimer dengan molaritas 14M dapat mencapai 51.3 Mpa

2.2 Material Geopolymer

2.2.1 Fly Ash

Fly ash ialah merupakan salah satu by-product yang dapat digunakan dalam membuat beton geopolymer

(Wallah dan Hardjito, 2005). Fly ash dalam beton geopolimer berfungsi sebagai bahan pengikat (binders), yang nantinya akan membentuk ikatan kimia Si-O-Al (Davidovits, 2005)

Fly ash dapat digolongkan menjadi 3 kelas yaitu kelas F, C dan N. (ASTM C168). Namun fly ash yang paling baik untuk digunakan dalam geopolimer ialah fly ash kelas F karena kandungan kalsiumnya rendah. Kandungan kalsium yang terlalu tinggi dapat mengganggu proses polimerisasi (Gourley, 2003)

Dalam penelitian ini, Fly ash yang digunakan ialah fly ash dari PT. Petrokimia Gresik. Hasil XRF dari fly ash dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Komposisi Fly Ash berdasar analisa XRF

| Parameter | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₃ | CaO | MgO | Cr ₂ O ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | SO ₃ | Mn ₂ O ₃ |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-----|-----|--------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| Hasil (% wt) | 48.5 | 26.05 | 12.54 | 0.92 | 5.2 | 2.8 | 0.02 | 1.66 | 0.47 | 1.1 | 0.19 |

(Hasbullah, 2015)

2.2.2 Alkali Aktivator

Dalam pembuatan geopolimer yang merupakan beton yang tidak membutuhkan semen sama sekali, perlu adanya alkali activator yang berfungsi untuk mereaksikan silica dan aluminium dalam fly ash. Alkali sebagai activator yang biasanya dipakai dalam geopolimer ialah Sodium Hidroksida (NaOH) direaksikan dengan Sodium Silikat (Na₂SiO₃), atau Potassium Hidroksida (KOH) direaksikan dengan Potassium Silikat (K₂SiO₃), (Davidovits, 1999) (Hardjito, 2005).

Pada penelitian ini, alkali activator yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3). Hasil penelitian Hardjito (2005), dengan konsentrasi sodium hidroksida (NaOH) yang digunakan berkisar antara 8M-16M, perbandingan massa antara sodium hidroksida dan sodium silikat berkisar antara 0,4 sampai 2.5 menyimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi molaritas sodium hidroksida menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan beton geopolimer. Dan semakin tinggi perbandingan massa antara sodium hidroksida dan sodium silikat menyebabkan semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan.

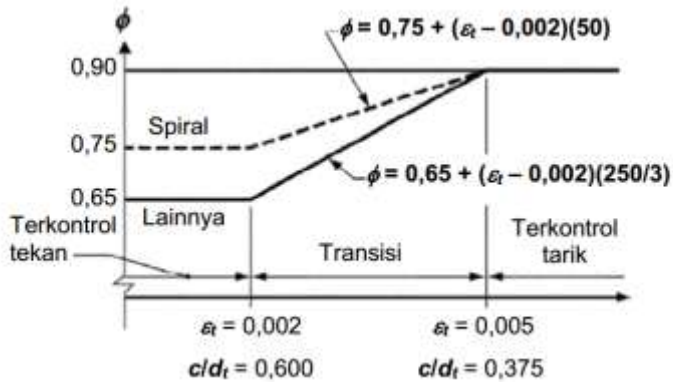
2.2.3 Agregat

Dalam pembuatan beton geopolimer, karena belum adanya standar untuk agregat dalam beton geopolimer maka agregat yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan beton konvensional

2.3 Tulangan Baja

Desain rasio tulangan dalam pembuatan balok sudah diperhitungkan agar mengalami kegagalan tarik (tension – controlled). Desain tersebut didasarkan dari 2 keuntungan yang akan didapatkan yaitu:

1. Kegagalan yang terjadi pada balok bisa terlihat, karena tulangan akan meleleh terlebih dahulu sehingga sebelum runtuh akan terjadi lendutan pada balok
2. Faktor reduksi dari tension controlled lebih besar (0.9) bila dibanding compression controlled (0,65) sehingga desain akan lebih hemat



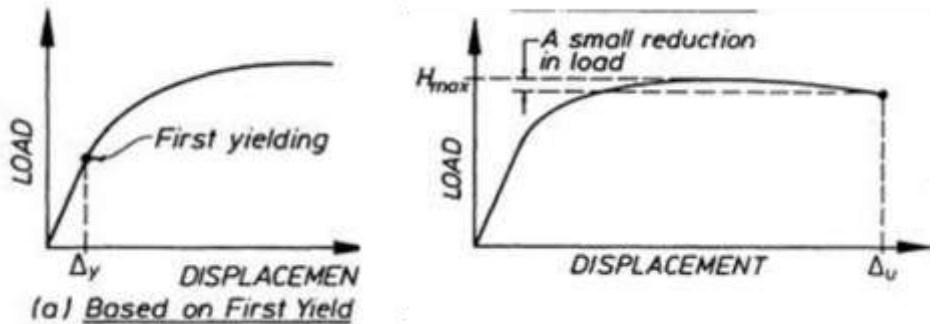
Gambar 2. 1 Faktor Reduksi

Balok juga didesain dengan kapasitas lentur lebih rendah daripada kapasitas gesernya, agar kegagalan yang terjadi ialah kegagalan geser.

2.4 Daktilitas

Daktilitas ialah kemampuan sebuah elemen struktur untuk berdeformasi di zona plastis tanpa adanya penurunan kekuatan yang besar. Indeks Daktilitas (μ) ialah perbandingan antara defleksi maksimum (Δ_{max}) dengan defleksi pada saat pertama leleh (Δ_{yield}) (Zeitschraft et al., 2015)

Untuk menentukan besarnya defleksi dari grafik beban – lendutan perlu disepakati nilai – nilai yang akan diambil. Besarnya Δ_{yield} ialah besarnya defleksi pada saat baja leleh pertama kalinya. Sedangkan defleksi maksimum, ialah defleksi ketika beban telah direduksi menjadi 85%



Gambar 2. 2 Posisi Δ_{yield} dan Δ_{max} (Zeitschraft et al., 2015)

Parameter daktilitas yang disyaratkan SNI agar struktur dapat diasumsikan daktail penuh ialah diatas 5,3. Menurut SNI, daktilitas ialah simpangan pasca elastik yang bisa dicapai oleh suatu elemen struktur. (SNI 1726-2002 ps 3.1.3.3).

2.5 Kapasitas Lentur Balok

Kemampuan lentur balok beton geopolimer diasumsikan berkarakter sama seperti balok beton OPC.

Kemampuan lentur beton dapat dibagi menjadi 3 fase yang berbeda, yaitu :

1. Uncracked Concrete Stage

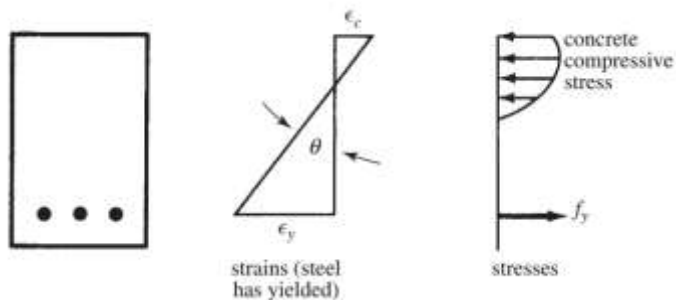
Tegangan yang terjadi pada beton tidak melebihi Momen Crack (M_{cr}) . Sehingga regangan yang terjadi masih merupakan garis lurus. Besarnya Momen Crack tergantung oleh besarnya tegangan tarik beton yang terjadi pada serat bawah

2. Elastic Stress Stage

Serat bagian bawah beton (serat tarik) sudah melebihi tegangan karena momen crack. Pada fase ini, garis netral akan terus bergerak keatas seiring keretakan yang terjadi. Dan fase ini akan terus berlanjut hingga tegangan pada serat bagian atas beton mencapai $0.5f_c$ atau selama tulangan belum meleleh

3.Ultimate Strength Stage

Fase ini terjadi apabila tegangan sudah melebihi $0.5f_c$. Karena garis retak dan garis netral bergerak makin ke atas, maka tegangan beton tidak lagi merupakan sebuah garis lurus.

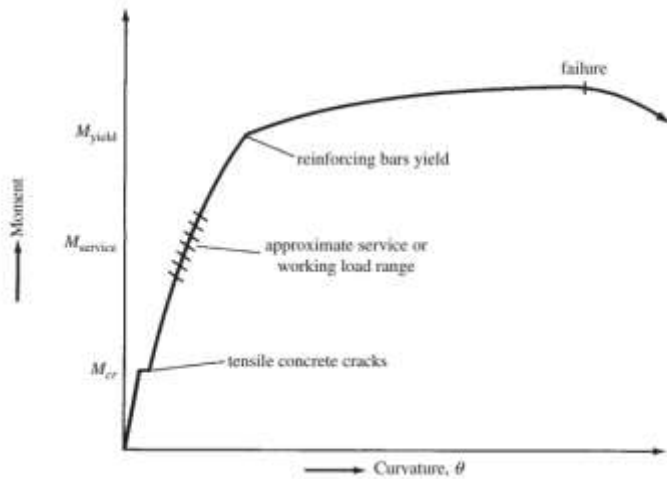


Gambar 2. 3 Stress Block Beton

Dari Gambar 2. 4 dapat terlihat 3 fase dari kegagalan lentur pada beton. Pada fase pertama, momen yang terjadi lebih kecil daripada M_{cr} . Seiring bertambahnya momen, keretakan mulai terjadi hingga suatu titik dimana tulangan baja mulai meleleh. Namun sebenarnya dibutuhkan momen yang relative besar untuk melelehkan baja tersebut. Setelah tulangan meleleh, kekuatan beton hanya memiliki sedikit kapasitas momen, sehingga dengan

sedikit penambahan beban bisa mengakibatkan keretakan dan defleksi yang besar pada beton. (MacCormac, 2005)

Maka, penelitian perlu dilakukan untuk mengetahui perilaku dari beton geopolimer juga tipe daktilitas dari balok geopolimer dengan rasio tulangan tertentu



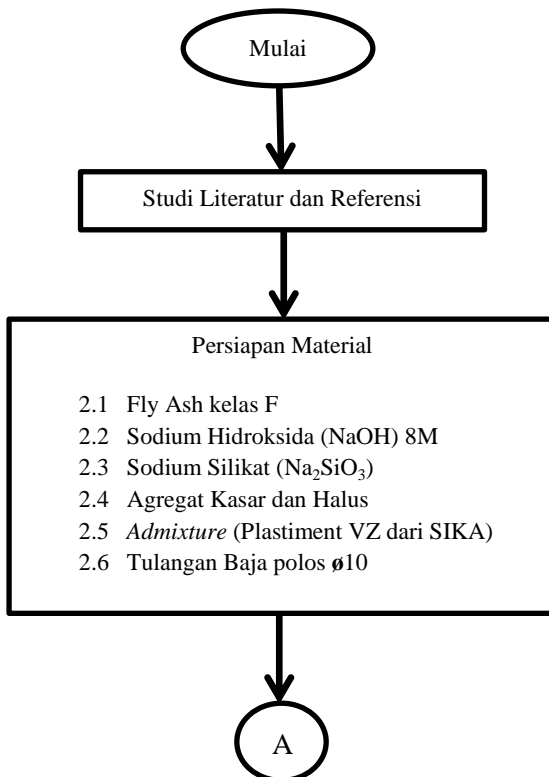
Gambar 2. 4 Grafik Momen – Kurvatur Balok

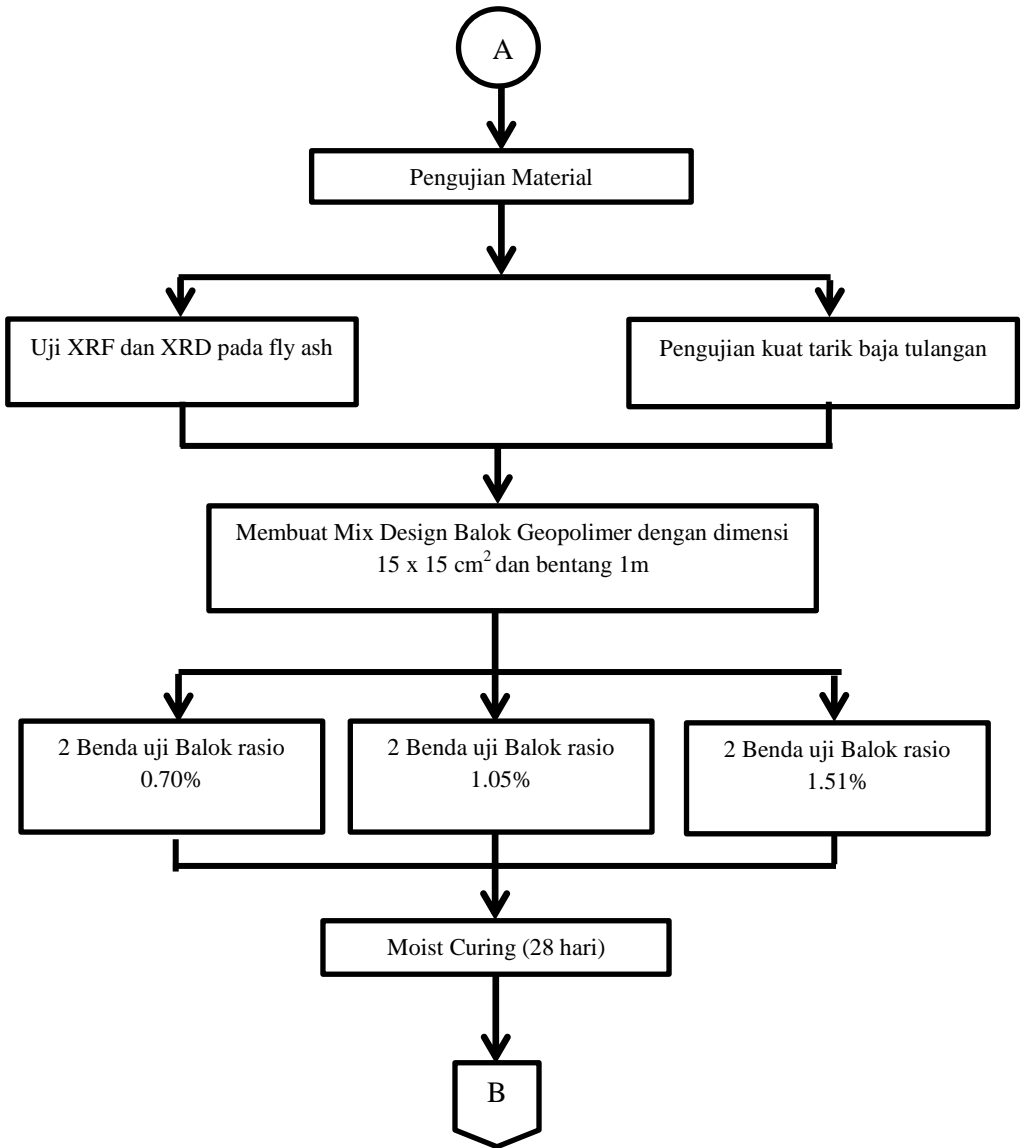
BAB III

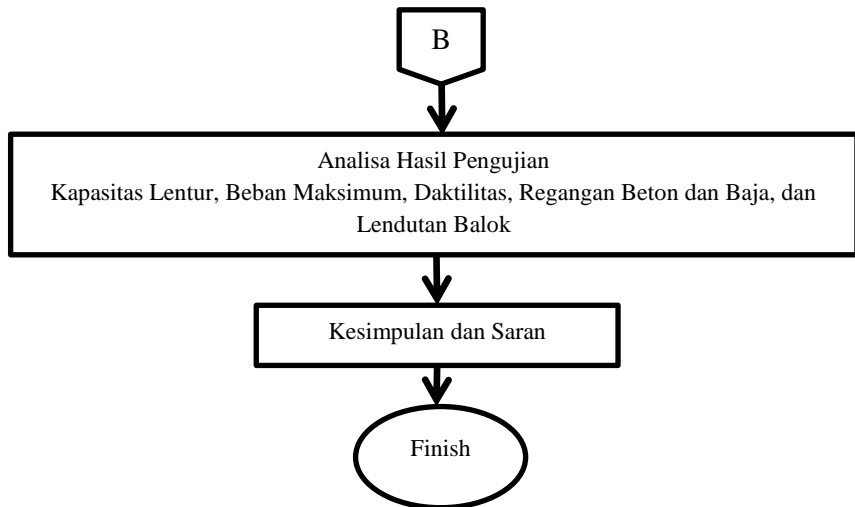
METODOLOGI

3.1 Umum

Sebelum mengerjakan Tugas Akhir, perlu disusun langkah – langkah pengerjaan dan uraian kegiatan yang akan dikerjakan dari awal hingga akhir secara beruntun. Urutan pengerjaan dimulai dari pengumpulan literature dan referensi, persiapan material yang diperlukan, pedoman perancangan campuran, sampai tujuan akhir dari penelitian yang akan dilakukan







Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam penelitian ini studi literatur ialah mengumpulkan informasi tentang komposisi dari geopolimer, superplasticizer yang tepat untuk geopolymer, dan metode pengetesan material serta daktilitas dan kekuatan beton. Informasi didapat dari jurnal, internet, SNI dan ASTM.

3.3 Persiapan Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Fly Ash kelas F
2. Sodium Hidroksida 8M
3. Sodium Silikat
4. Agregat Kasar
5. Agregat Halus
6. Admixture (Superplasticizer)
7. Tulangan Baja Ulir

3.3.1 Fly Ash Kelas F

Fly ash yang akan digunakan dalam penelitian didapat dari PT. Petrokimia Gresik. Fly ash tergolong fly ash kelas F dan telah diuji XRF untuk mengetahui komposisi dari fly ash tersebut.

3.3.2 Sodium Hidroksida

Sodium Hidroksida yang digunakan dalam penelitian berupa serbuk dan akan dilarutkan sehingga menjadi larutan NaOH dengan konsentrasi 8M.

3.3.3 Sodium Silikat

Sodium yang digunakan didapat dari PT.Kasmaji. Kandungan yang terdapat dalam sodium silikat dapat dilihat pada

Tabel 3. 1 Kandungan kimia sodium silikat

| Senyawa | Berat (%) |
|-------------------|-----------|
| Na ₂ O | 15 |
| SiO ₂ | 30 |
| H ₂ O | 55 |

3.3.4 Agregat Kasar

Ukuran Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian didapat dari PT. Surya Beton Indonesia. Agregat kasar yang digunakan harus melewati uji karakteristik agar dapat mengetahui apakah agregat tersebut layak digunakan. Namun karena standar agregat untuk beton geopolimer belum ada, maka standar yang digunakan disesuaikan dengan beton konvensional

3.3.5 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian didapat dari PT. Surya Beton Indonesia. Sama seperti agregat kasar, agregat halus juga harus melewati uji karakteristik untuk mengetahui apakah material tersebut memenuhi

3.3.6 Admixture

Admixture yang digunakan dalam penelitian ialah Plastimen-VZ type D sebagai water reducer dan retarder yang diproduksi oleh PT. SIKA Indonesia. Admixture yang digunakan sebanyak 2% dari massa Fly Ash

3.3.7 Tulangan Baja Polos

Tulangan baja yang digunakan didapat dari toko galangan umum dengan mutu 360MPa dan 400MPa. Sebelum dipakai untuk mix design, tulangan juga akan dites kuat leleh dan ultimate nya. Tulangan yang digunakan berdiameter $\phi 10$ dan $\phi 12$

3.4 Analisa Material

Analisa material dilakukan agar memastikan karakter fisik material, dan memastikan bahan telah memenuhi persyaratan.

3.4.1 Analisa Agregat Kasar

3.4.1.1 Percobaan Berat Jenis Kerikil (SNI 1969:2008)

3.4.1.2 Analisa Saringan Kecil (ASTM C 1366-95A)

3.4.2 Analisa Agregat Halus (Pasir)

3.4.2.1 Percobaan Berat Jenis Kerikil (SNI 1969:2008)

3.4.2.2 Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136 2001)

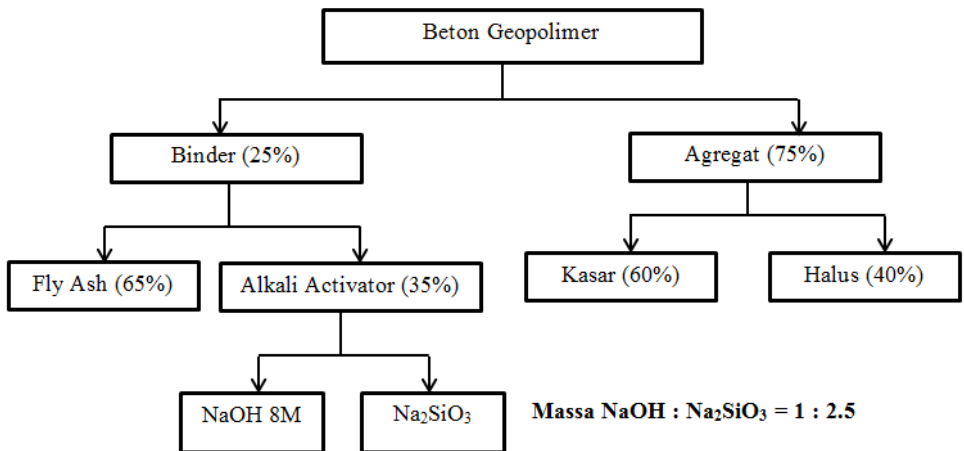
3.4.3 Analisa Fly Ash

Untuk menganalisa dan mengetahui kandungan dalam fly ash, tes yang dilakukan ialah tes X-Ray Fluorescence (XRF) (ASTM C 618 – 03 2003). Pengujian XRF dilakukan di PT. Sucofindo. Selain itu juga dilakukan X-Ray Diffraction (XRD) (ASTM D 3906 – 03 2013) yang dilakukan di PT. Semen Indonesia

3.4.4 Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Pengujian baja tulangan dilakukan untuk mengetahui tegangan tarik yang dimiliki oleh baja tulangan. Tegangan tarik dapat diketahui dengan membagi beban maksimum dengan luas penampang. Pengujian dilakukan di Lab Beton

3.5 Mix Design



Gambar 3. 2 Komposisi mix design

Diasumsikan Berat Jenis Beton ialah 2500 kg/m^3 , dan Volume pengecoran diasumsikan 1 m^3 , maka kebutuhan bahan untuk mix design ialah :

- Fly Ash : $0.25 \times 0.65 \times 1 \times 2500 = 406.25 \text{ kg}$
- NaOH : $(1/3.5) \times 0.35 \times 0.25 \times 1 \times 2500 = 62.5 \text{ kg}$
- Na_2SiO_3 : $(2.5/3.5) \times 0.35 \times 0.25 \times 1 \times 2500 = 156.25 \text{ kg}$
- Pasir : $0.75 \times 0.4 \times 1 \times 2500 = 750 \text{ kg}$
- Kerikil : $0.75 \times 0.6 \times 1 \times 2500 = 1125 \text{ kg}$
- Superplasticizer (2%): $0.02 \times 406.25 = 8.125 \text{ kg}$

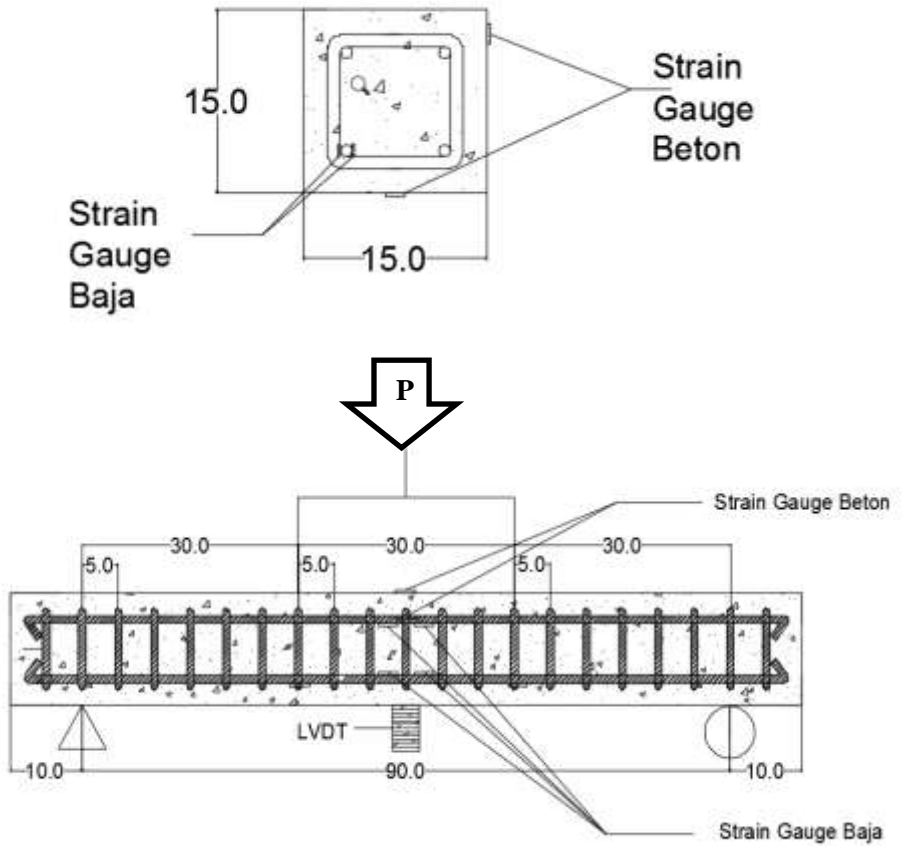
Tabel 3. 2 Kebutuhan Material per m^3

| Material | Berat Kebutuhan (kg/m ³) |
|---------------------------|---|
| Fly Ash | 406.25 |
| NaOH 8M | 62.5 |
| Na_2SiO_3 | 156.25 |
| Pasir | 750 |
| Kerikil | 1125 |
| Superplasticizer (2%) | 8.125 |

3.6 Persiapan Pembuatan Benda Uji

3.6.1. Pemasangan Strain Gauge

Sebelum pembuatan benda uji dilakukan, pada permukaan tulangan diberi *strain gauge* sesuai dengan posisi yang telah ditentukan



Gambar 3. 3 Penampang Benda Uji
(satuan dalam cm)

3.6.2. Persiapan Bekisting

Untuk pencetakan, bekisting yang digunakan terbuat dari multiplek setebal 20mm dengan lapisan film di bagian dalam. Setelah tulangan dimasukkan, bekisting dirapatkan dengan baut untuk memastikan ukuran balok sesuai dengan ukuran yang direncanakan.

3.7 Pembuatan Benda Uji

Langkah – langkah untuk pembuatan campuran beton geopolimer ialah:

1. Mencampur larutan NaOH dengan Na_2SiO_3 ke dalam wadah plastic. Setelah itu diamkan selama ± 24 jam atau dinginkan larutan dengan menggunakan air es
2. Oleskan oli pada bekisting sehingga beton tidak lengket dengan cetakan
3. Masukkan fly ash dan kerikil pada molen hingga tercampur rata
4. Tambahkan larutan NaOH dan Na_2SiO_3 beserta superplasticizer yang telah diaduk hingga homogen dan mendingin
5. Tambahkan pasir ke dalam adonan lalu aduk lagi selama 45 menit, hingga adonan tercampur rata
6. Masukkan adonan yang homogen ke dalam cetakan. Gunakan perojok besi agar dapat mengisi bagian yang kosong pada cetakan. Selain itu cetakan perlu digetarkan di meja getar elektrik agar adonan lebih padat dan cetakan terisi penuh
7. Lepaskan cetakan satu hari setelah pengecoran

3.8 Perencanaan Tulangan Balok

Sebelum membuat variasi tulangan, rasio tulangan dicek terlebih dahulu apakah melampaui rasio tulangan maksimum yang disyaratkan oleh SNI. (SNI 2847 – 2002 ps 12.3)

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad \dots (1)$$

Dimana :

f'_c : Kuat tekan beton (MPa)
 f_y : Kuat tarik tulangan baja (MPa)
 β_1 : Faktor Reduksi Stress Block Beton (Nilai sesuai SNI 2847 – 2013 ps 10.2.7.3)

Untuk kuat tarik tulangan 360 MPa, ρ_b dihitung dari jumlah tulangan Tarik saja, sedangkan tulangan tekan diabaikan.

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{360} \cdot \left(\frac{600}{600 + 360} \right)$$

$$\rho_b = 0,0413$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,0413 = 0,031$$

Untuk Kuat tarik tulangan 400 MPa, ρ_b ialah :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 35 \cdot 0,8}{360} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_b = 0,0357$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$10 \quad \rho_{\max} = 0,75 \cdot 0,0357 = 0,027$$

A. Variasi Tulangan 2D10 ($\rho = 0.70\%$)

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$2 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \right) \cdot 360 = 0,85 \cdot 35 \cdot a \cdot 150$$

$$a = \frac{2 \cdot 78,5 \cdot 360}{0,85 \cdot 35 \cdot 150} = 12,66 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2 \cdot 78,5 \cdot 360 \cdot \left(115 - \frac{12,66}{2} \right)$$

$$M_n = 6141872 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 6,142 \text{ KNm}$$

$$M_{\max} = 0,3P + 0,12$$

$$6,142 = 0,3P + 0,12$$

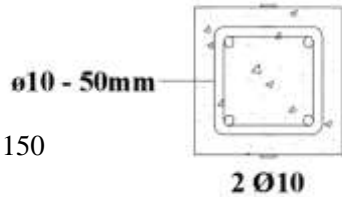
$$P_{\max} = \frac{6,142 - 0,12}{0,3} = 20,1 \text{ KN}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{12,66}{0,85} = 15,83 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = \frac{115 - 15,83}{15,83} \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,018 > 0,005 (\text{OK!})$$



$$f'_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f_y = 360 \text{ MPa}$$

$$d = 150 - 20 - 10 - 10 / 2 = 115 \text{ mm}$$

B. Variasi Tulangan 3D10 ($\rho = 1.05\%$)

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$3 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 \right) \cdot 360 = 0,85 \cdot 35 \cdot a \cdot 150$$

$$a = \frac{3 \cdot 78,5 \cdot 360}{0,85 \cdot 35 \cdot 150} = 18,998 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 2 \cdot 78,5 \cdot \left(115 - \frac{18,99}{2} \right)$$

$$M_n = 8,944 \text{ KNm}$$

$$M_{\max} = 0,3P + 0,12$$

$$8,94 = 0,3P + 0,12$$

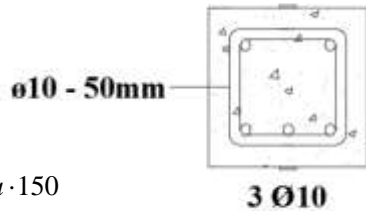
$$P_{\max} = \frac{8,94 - 0,12}{0,3} = 29,4 \text{ KN}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{18,99}{0,85} = 23,74 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = \frac{115 - 23,74}{23,74} \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0115 > 0,005 \text{ (OK!)}$$



$$f'_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f_y = 360 \text{ MPa}$$

$$d = 150 - 20 - 10 - 10 / 2 = 115 \text{ mm}$$

C. Variasi Tulangan 3D12 ($\rho = 1.51\%$)

$$T = C$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$$

$$3 \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \right) \cdot 400 = 0,85 \cdot 35 \cdot a \cdot 150$$

$$a = \frac{3 \cdot 113,04 \cdot 300 \cdot}{0,85 \cdot 35 \cdot 150} = 30,39 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{30,39}{2} \right)$$

$$M_n = 3 \cdot 113,04 \cdot 400 \cdot \left(114 - \frac{30,39}{2} \right)$$

$$M_n = 13,5 \text{ KNm}$$

$$M_{\max} = 0,3P + 0,12$$

$$13,5 = 0,3P + 0,12$$

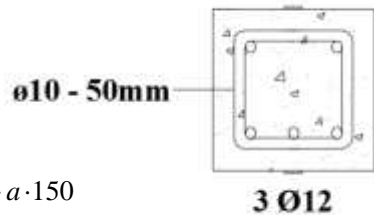
$$P_{\max} = \frac{13,5 - 0,12}{0,3} = 44,7 \text{ KN}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{30,3}{0,85} = 37,99 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = \frac{115 - 37,99}{37,99} \cdot 0,003$$

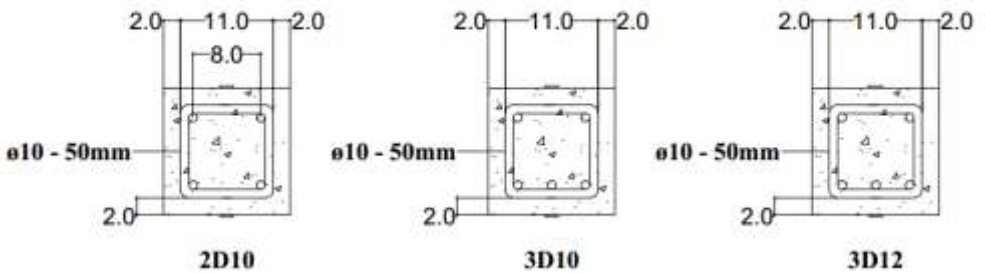
$$\varepsilon_s = 0,006 > 0,005 \text{ (OK !)}$$



$$f'_c = 35 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$d_1 = 150 - 20 - 10 - 12 / 2 = 114 \text{ mm}$$



Gambar 3. 4 Variasi Tulangan Benda Uji

3.9 Perawatan Benda Uji

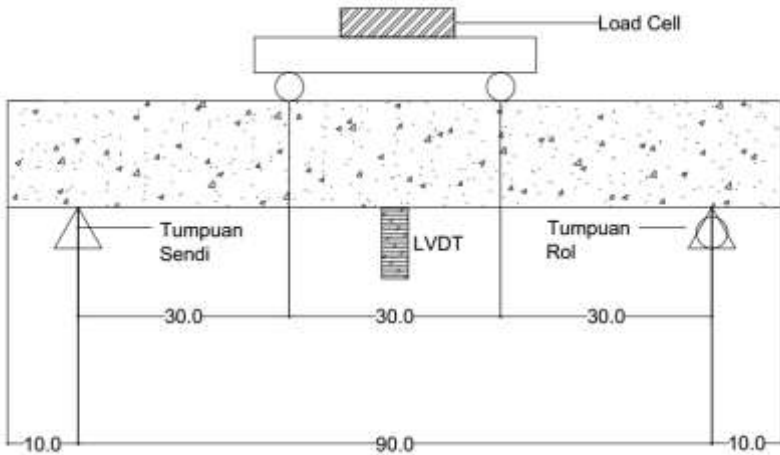
Setelah proses pencetakan dilakukan, benda uji disimpan di lab beton dan mendapat moist curing yaitu benda uji dibasahi dan dibungkus plastik

3.10 Pengujian

Pengujian lentur beton geopolimer dilakukan ketika benda uji sudah berumur 28 hari, dengan menggunakan mesin tekan hidrolis dengan kapasitas 50 ton. Untuk setiap pengujian lentur, akan digunakan 2 benda uji untuk tiap variasi. Pengujian lentur yang digunakan ialah *two-point load*. Benda uji merupakan balok dengan ukuran 15cm x 15cm x 110cm. Bentang yang digunakan untuk pengujian ialah 90cm. Skema pengujian dapat dilihat pada gambar berikut

Peralatan lain yang digunakan untuk pengujian ialah *load cell* dan LVDT. *Load cell* berfungsi untuk mengetahui beban yang terjadi pada balok, sedangkan

LVDT ialah untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada balok. *Strain Gauges* yang sudah terpasang pada benda uji juga berguna untuk mendapatkan regangan dari



Gambar 3. 5 Skema Pengujian lentur

beton dan baja. Setelah didapatkan semua data, maka dapat dilakukan analisa terhadap hasil pengujian

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL PENGUJIAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil yang diperoleh dari setiap pengujian yang dilakukan pada material penyusun dan beton geopolimer. Pengujian yang dilakukan antara lain uji karakteristik material, kuat tekan beton, perilaku balok, pola retak yang terjadi, hubungan beban dan lendutan

4.1 Pengujian Material

4.1.1. Uji Analisis XRF Fly Ash

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Petrokimia, Gresik. Analisa kimia fly ash dilakukan di Laboratorium Sucofindo Surabaya. Hasil analisa ditunjukkan dalam Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Komposisi kimia fly ash (%massa)

| Senyawa | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | Cr ₂ O ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | SO ₃ | Mn ₂ O ₃ |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|--------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| Hasil (% wt) | 48.47 | 26.05 | 12.54 | 0.92 | 5.18 | 2.77 | 0.02 | 1.66 | 0.47 | 1.05 | 0.19 |

Dari hasil analisa fly ash diatas, diperoleh :

SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = 87.06% > 70% (Kelas F)

SO₃ = 1.05% < 5% (Kelas F)

CaO = 5.18% < 10% (Kelas F)

Maka dapat disimpulkan bahwa fly ash yang digunakan adalah fly ash tipe F

4.1.2. Pengujian Karakteristik Agregat

4.1.2.1. Agregat Kasar

4.1.2.1.1. Percobaan Berat Jenis Batu Pecah (ASTM C 127-88)

Tabel 4. 2 Berat Jenis Batu Pecah

| Percobaan | 1 | 2 |
|--------------------------------|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat Kerikil di udara (w1) | 2500 | 2500 |
| Berat Kerikil di Air (w2) | 1565 | 1540 |
| Berat Jenis = $w1/(w1-w2)$ | 2.674 | 2.604 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan berat jenis batu pecah rata-rata sebesar 2.639 gram/cm³. Berdasarkan ASTM C 128-88 Reapp. 01 berat jenis batu pecah yang disyaratkan sebesar 2.4 – 2.7 gram/cm³. Jadi, batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.2. Percobaan Kelembaban Batu Pecah (ASTM C 566-97)

Tabel 4. 3 Kelembaban Batu Pecah

| Percobaan | 1 | 2 |
|--------------------------------------|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat Batu pecah asli (w1) | 3000 | 3000 |
| Berat Batu Pecah Oven (w2) | 2970 | 2975 |
| Kelembaban (%) = $((w2-w1)/w2)*100%$ | 1 | 0.83 |

Dari percobaan didapatkan bahwa kelembaban batu pecah sebesar $\left(\frac{1\%+0.83\%}{2}\right) = 0.92\%$.

4.1.2.1.3. Percobaan Air Resapan pada batu Pecah (ASTM C 127-01)

Tabel 4. 4 Air Resapan Batu Pecah

| Percobaan | 1 | 2 |
|--|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat kerikil SSD | 3000 | 3000 |
| Berat kerikil oven (w) | 2960 | 2967 |
| Kadar air resapan (%) = $((3000 - w) / w) \times 100\%$ | 1.351 | 1.112 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar air resapan rata-rata sebesar 1.232%. Berdasarkan ASTM C 127-88-93 batas kadar air resapan yang diperbolehkan adalah 1% sampai dengan 2%. Jadi batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.4. Percobaan Berat Volume Batu Pecah (ASTM C 29/C 29M, -97)

Tabel 4. 5 Berat Volume Batu Pecah

| Percobaan | tanpa rojokan | Dengan Rojokan |
|--|---------------|----------------|
| Berat silinder (w_1) (kg) | 5.015 | 5.015 |
| Berat silinder + batu pecah (w_2) (kg) | 19.250 | 19.640 |
| Berat batu pecah ($w_2 - w_1$) (kg) | 14.235 | 14.625 |
| Volume silinder (v) (m^3) | 0.01 | 0.01 |
| Berat volume (kg/m^3) | 1423.5 | 1462.5 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan berat volume batu pecah rata-rata sebesar $1462.5 - 1423.5 = 39$ kg/m^3 . Berdasarkan ASTM C 29-91 batas berat volume yang disyaratkan adalah tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 . Jadi batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.5. Test Kebersihan Batu Pecah Terhadap Lumpur / Pencucian (ASTM C 117, -03)

Tabel 4. 6 Kebersihan Batu Pecah terhadap Lumpur

| Percobaan | 1 | 2 |
|---|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat kering sebelum dicuci (w_1) | 1000 | 1000 |
| Berat kering setelah dicuci (w_2) | 990 | 985 |
| Kadar lumpur (%) = $((w_1 - w_2) / w_1) \times 100\%$ | 1 | 1.5 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar lumpur batu pecah rata-rata sebesar $((1\%+1.5\%)/2) = 1.25\%$ sedangkan batas kadar lumpur yang disyaratkan adalah tidak boleh lebih dari 1%. Sehingga agar batu pecah dapat dipakai sebagai agregat pada beton, maka batu pecah harus dicuci beberapa kali sampai kadar lumpurnya kurang dari 1%.

4.1.2.1.6. Test Keausan Agregat Kasar (ASTM C 131, -03)

Tabel 4. 7 Keausan Agregat Kasar

| Percobaan | 1 (gram) |
|--|-------------|
| Berat sebelum diabrasi (w_1) | 5000 |
| Berat setelah diabrasi (w_2) | 3895 |
| Keausan (%) = $((w_1 - w_2) / w_1) \times 100\%$ | 22.100 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan tingkat keausan agregat kasar sebesar 22.1%. Berdasarkan ASTM C 131-89 agregat yang baik harus mempunyai tingkat keausan kurang dari 35%. Jadi, batu pecah yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.7. Analisa Saringan Batu Pecah (ASTM C 136-95A)

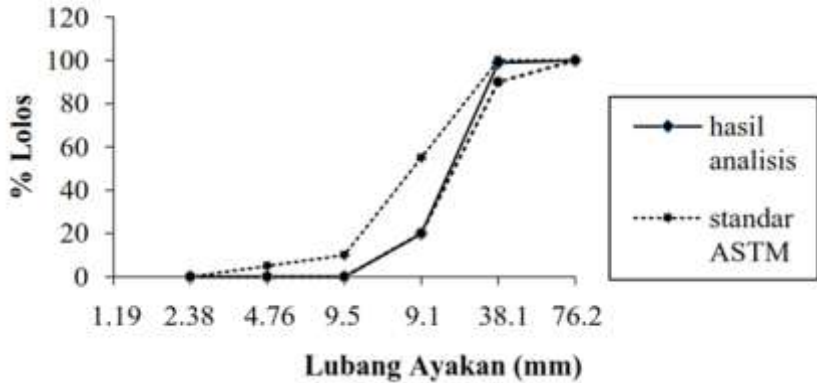
Tabel 4. 8 Hasil Analisa Saringan

| Lubang Ayakan | | Batu Pecah | | | |
|---------------|-------|------------|------|---------------|-------|
| No. | mm | Tertahan | | | Lolos |
| | | gram | E % | Kumulatif E % | % |
| 3.4" | 19.1 | 60 | 1.2 | 1.2 | 98.8 |
| 3/8" | 9.5 | 3945 | 78.9 | 80.1 | 19.9 |
| No. 4 | 4.76 | 995 | 19.9 | 100 | 0 |
| No. 8 | 2.38 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| No. 16 | 1.1 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| No. 30 | 0.59 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| No. 50 | 0.297 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| No. 100 | 0.149 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| Pan | 0 | 0 | 0 | - | - |
| Jumlah | | 5000 | 100 | 681.3 | |

Fm kr = 6.81

Berdasarkan ASTM C 136-01 agregat yang baik harus memenuhi zona lengkung ayakan. Dari Tabel 4.8 didapatkan grafik lengkung ayakan batu pecah pada Gambar 4.2 yang menunjukkan material yang digunakan memenuhi persyaratan.

Lengkung Ayakan Kerikil



Gambar 4. 1 Lengkung Ayakan Batu Pecah

4.1.2.2. Agregat Halus

4.1.2.1.2. Percobaan Berat Jenis Pasir (ASTM C 128)

Tabel 4. 9 Berat Jenis Pasir

| Percobaan | 1 | 2 |
|--|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat labu + pasir + air (w_1) | 1560 | 1560 |
| Berat pasir SSD | 500 | 500 |
| Berat labu + air (w_2) | 1250 | 1250 |
| Berat jenis pasir (gr/cm^3) $= 500 / (500 + w_2 - w_1)$ | 2.630 | 2.703 |

Berdasarkan ASTM C 128-78 berat jenis pasir yang disyaratkan adalah antara 2.4 sampai dengan 2.7. Dari hasil percobaan didapatkan hasil berat jenis sebesar 2.67. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.3. Percobaan Kelembaban Jenis Pasir (ASTM C 566, -97)

Tabel 4. 10 Kelembaban Pasir

| Percobaan | 1 | 2 |
|---|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat pasir asli (w_2) | 500 | 500 |
| Berat pasir oven (w_1) | 485 | 480 |
| Kelembaban batu pecah (%) = $((w_2 - w_1) / w_2) \times 100\%$ | 3.093 | 4.167 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kelembaban pasir rata-rata sebesar $\left(\frac{3.093\%+4.167\%}{2}\right)=3.6\%$. Berdasarkan ASTM C 566-89 mengenai kelembaban pasir disebutkan bahwa pasir dinyatakan benar-benar kering kelembabannya jika mencapai angka kurang dari 0.1%. Jadi dapat disimpulkan bahwa pasir masih belum benar-benar kering.

4.1.2.1.4. Percobaan Air Resapan pada pasir (ASTM C 128, -01)

Tabel 4. 11 Air Resapan Pasir

| Percobaan | 1 | 2 |
|---|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat pasir SSD | 500 | 500 |
| Berat pasir oven (w_1) | 495 | 494 |
| Kadar air resapan (%) = $((500 - w_1) / w_1) \times 100\%$ | 1.01 | 1.21 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar air resapan rata-rata sebesar $\left(\frac{1.01\%+1.21\%}{2}\right)$ 1.11%. Berdasarkan ASTM C 128-93 batas kadar air resapan yang diperbolehkan antara 1% sampai 4%. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.5. Percobaan Berat Volume Pasir (ASTM C29/C 29M,-01)

Tabel 4. 12 Berat Volume Pasir

| Percobaan | Tanpa | dengan |
|---------------------------------------|---------|---------|
| | Rojokan | rojokan |
| Berat silinder (w_1) (kg) | 2.33 | 2.33 |
| Berat silinder + pasir (w_2) (kg) | 7.22 | 6.87 |
| Berat pasir ($w_2 - w_1$) (kg) | 4.89 | 4.54 |
| Volume silinder (v) (m^3) | 0.03 | 0.03 |
| Berat volume (kg/m^3) | 163 | 148 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan selisih berat volume pasir dengan rojokan dan tanpa rojokan sebesar $163 - 148 = 15 \text{ kg/m}^3$. Berdasarkan ASTM C 29-91 batas berat volume yang disyaratkan adalah tidak boleh lebih dari 40 kg/m^3 . Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.6. Test Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik (ASTM C 40, -04)

Tabel 4. 13 Kebersihan Pasir terhadap Bahan Organik

| Percobaan | 1 | 2 |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| Volume pasir (cc) | 130 | 130 |
| Larutan NaOH (cc) | 70 | 70 |
| Warna yang timbul | putih bening | putih bening |

Berdasarkan ASTM C 40-92, warna hasil percobaan harus tidak lebih tua dari warna zat pembanding yaitu NaOH. Dari hasil percobaan didapatkan warna yang timbul berupa putih bening sehingga pasir yang digunakan memenuhi syarat.

4.1.2.1.7. Test Kebersihan Pasir Terhadap Lumpur Pengendapan (ASTM C 33,-03)

Tabel 4. 14 Kebersihan Pasir terhadap Lumpur

| Percobaan | 1 | 2 |
|---|------|------|
| Tinggi lumpur (h) (mm) | 1 | 1 |
| Tinggi l pasir (H) (cm) | 5.9 | 5.7 |
| Kadar lumpur (%) = $(h/H \times 100\%)$ | 1.69 | 1.75 |

Berdasarkan ASTM C 33-86, batas maksimum kadar lumpur adalah 3% dari total sampel percobaan. Dari hasil percobaan didapatkan kadar lumpur rata-rata sebesar $\left(\frac{1.69\%+1.75\%}{2}\right) = 1.72\%$. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

**4.1.2.1.8. Test Kebersihan terhadap Lumpur / Pencucian
(ASTM C 117, -03)**

Tabel 4. 15 Kebersihan Pasir terhadap Lumpur

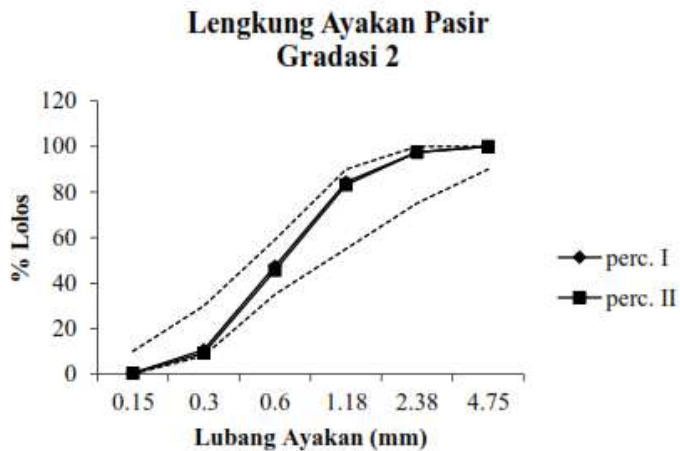
| Percobaan | 1 | 2 |
|---|--------|--------|
| | (gram) | (gram) |
| Berat kering sebelum dicuci (w_1) | 500 | 500 |
| Berat kering setelah dicuci (w_2) | 495 | 497.6 |
| Kadar lumpur (%) = $((w_1 - w_2) / w_1) \times 100\%$ | 1.00 | 0.48 |

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan kadar lumpur pasir rata-rata sebesar $\left(\frac{1\%+0.48\%}{2}\right) = 0.74\%$. Berdasarkan ASTM C 33 batas maksimum kebersihan pasir terhadap material yang lebih halus dari ayakan no. 200 (75 mm) untuk klasifikasi beton umum adalah 5% dari total sampel percobaan. Jadi pasir yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2.1.9. Analisa Saringan Pasir (ASTM C 136, -01)

Tabel 4. 16 Hasil Analisa Pasir

| Lubang | Gram lolos | Percobaan I | Percobaan II | | | |
|--------|------------|-------------|--------------|--------|-------|--------|
| No. | mm | % | E% | % | E% | |
| 4 | 4.76 | 0 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 |
| 8 | 2.38 | 12 | 2.41 | 97.59 | 2.60 | 97.40 |
| 16 | 1.19 | 66 | 13.25 | 84.34 | 14.20 | 83.20 |
| 30 | 0.59 | 184 | 36.95 | 47.39 | 37.60 | 45.60 |
| 50 | 0.297 | 183 | 36.75 | 10.64 | 36.40 | 9.20 |
| 100 | 0.149 | 51 | 10.24 | 0.40 | 8.80 | 0.40 |
| Pan | pan | 2 | 0.40 | 0.00 | 0.40 | 0.00 |



Gambar 3. 6 Lengkung Ayakan Pasir

Berdasarkan ASTM C 136-01, agregat yang baik harus memenuhi zona lengkung ayakan. Dari **Tabel 4.16** didapatkan grafik lengkung ayakan pasir pada **Gambar 4.3** yang menunjukkan bahwa material yang digunakan memenuhi persyaratan.

4.1.2. Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja

Baja Tulangan yang digunakan ialah Baja Polos dengan diameter $\phi 8$ dan $\phi 10$, yang sebelumnya telah diuji tarik di laboratorium. Dengan $E_s=200.000$ Mpa, regangan leleh baja tersebut dapat diketahui. Hasil analisa dapat dilihat pada

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Tulangan Baja

| Diameter (mm) | Luas Penampang (mm ²) | Kuat Leleh f_y (Mpa) | Kuat Putus f_u (Mpa) | Regangan Putus (%) | $\epsilon_s = f_y/E$ |
|------------------|---|------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 9.55 | 71.59 | 360.06 | 485.37 | 27.50 | 0.0018 |
| 9.57 | 71.95 | 361.64 | 482.67 | 27.00 | 0.0018 |
| 11.50 | 103.86 | 400.97 | 567.17 | 29.15 | 0.0020 |
| 11.53 | 104.38 | 408.91 | 566.92 | 28.50 | 0.0020 |

Berdasarkan hasil pengujian, kuat leleh baja untuk diameter $\phi 8$ ialah 360 Mpa dan untuk $\phi 10$ ialah 400 Mpa. Nilai kuat leleh nantinya akan digunakan untuk menghitung kapasitas lentur balok.

4.2 Pengujian terhadap Benda Uji

Tabel 4. 18 Detail Penulangan Balok

| Balok | Dimensi Balok (mm) | Penulangan | | |
|-------|-----------------------|-------------|-------------|---------------|
| | | Tekan | Tarik | Sengkang |
| 2D10 | 150 X150 X1100 | 2 ϕ 10 | 2 ϕ 10 | ϕ 10 -50 |
| 3D10 | 150 X150 X1100 | 2 ϕ 10 | 3 ϕ 10 | ϕ 10 -50 |
| 3D12 | 150 X150 X1100 | 2 ϕ 10 | 3 ϕ 12 | ϕ 10 -50 |

4.2.1. Test Kuat Tekan silinder

Tabel 4. 19 Kuat Tekan silinder

| Tanggal Pengecoran | Balok | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat tekan Rata - Rata (Mpa) | Standar Deviasi | Berat Jenis (kg/m ³) |
|--------------------|-------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 31 Mar | 3D10 | 40.7 42.7 | 41.7 | 1.414 | 2465 |
| 1 April | 3D10 | 39.7 36.7 | 38.2 | 2.121 | 2484 |
| 7 April | 3D12 | 31.6 33.6 | 32.6 | 1.697 | 2481 |
| 8 April | 3D12 | 18 15 | 16.5 | 2.121 | 2398 |
| 13 April | 2D10 | 30 32.7 | 31.35 | 1.909 | 2465 |
| 14 April | 2D10 | 32.2 28.8 | 30.5 | 2.404 | 2487 |
| 20 April | 3D10 | 20 18.6 | 19.3 | 0.990 | 2401 |

Karena keterbatasan alat dan tenaga, pengecoran tidak dapat dilakukan dalam satu *batch*. Material juga terbatas mengingat banyak laboran yang juga membutuhkan pasir dan agregat kasar. Seperti yang dapat dilihat dari tabel 4.19, beton yang dicetak tanggal 8 dan 20 April akan diabaikan hasilnya karena perbedaan kekuatan yang cukup signifikan.



Gambar 4. 2 Benda Uji Silinder



Gambar 4. 3 Pengetesan Benda Uji Silinder

4.2.2. Test Kuat Lentur Balok

Pengujian Kuat Lentur dilakukan dengan dua beban melintang yang diletakkan pada balok, dan beban diperbesar seiring bertambahnya waktu/durasi pengetesan.

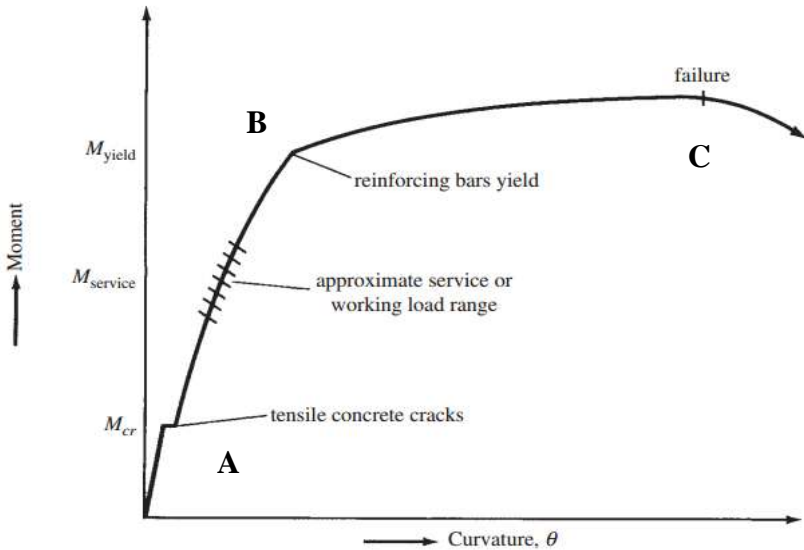
Semua balok didesain untuk menerima kegagalan lentur, dan didesain *under-reinforced* pula. Desain tersebut mengakibatkan tulangan akan meleleh terlebih dahulu sebelum terjadinya keruntuhan pada beton, sehingga memungkinkan terjadinya defleksi yang cukup besar pada balok. Pengujian lentur dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Pengujian Lentur pada balok

Saat dilakukan pembebanan pada balok, sebelum hancur / *collapse* , beton akan melewati beberapa fase terlebih dahulu yaitu : (A) Tahap beton retak awal, (B) Tahap tulangan

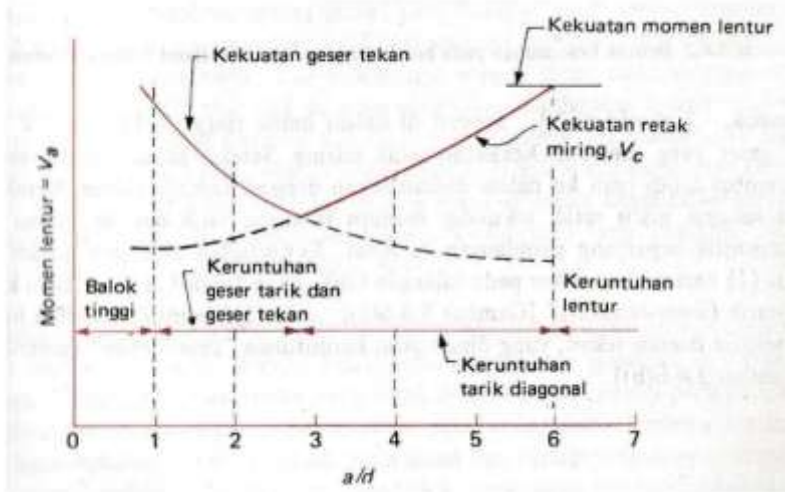
baja tarik mulai leleh, (C) Tahap tegangan maksimum – Momen Nominal. Gambar 4.5 menunjukkan ketiga fase tersebut dalam grafik Momen – Kurvatur



Gambar 4. 5 Momen Kurvatur balok bertulang yang mengalami lentur
(McCormac, 2004)

4.2.2.1. Pola Retak Balok

Untuk balok sederhana yang dibebani dua beban terpusat yang simetris terdapat beberapa pola keruntuhan yang dapat terjadi sesuai dengan nilai a/d balok uji yang terdapat pada gambar 4.6. Dimana a ialah jarak beban terpusat atau bentang geser, dan d ialah tinggi efektif balok. Dari gambar 4.6 dapat ditetapkan empat kategori dari keruntuhan : (1) balok tinggi dengan $a/d < 1$, dimana tegangan geser memiliki peranan yang besar. Pola keruntuhan yang mungkin terjadi antara lain keruntuhan anker, kehancuran daerah perletakan, dan kehancuran beton daerah bawah; (2) Balok pendek dengan $1 < a/d < 2.5$, dimana kekuatan geser melampaui kapasitas retak miring. Pola keruntuhan yang terjadi ialah geser tarik atau geser tekan; (3) Balok biasa dengan panjang menengah dan $2.5 < a/d < 6$ dimana kekuatan geser menyamai kapasitas



Gambar 4. 6 Grafik Variasi Kekuatan Geser dengan a/d untuk balok persegi

(Wang & Salmon, 1990)

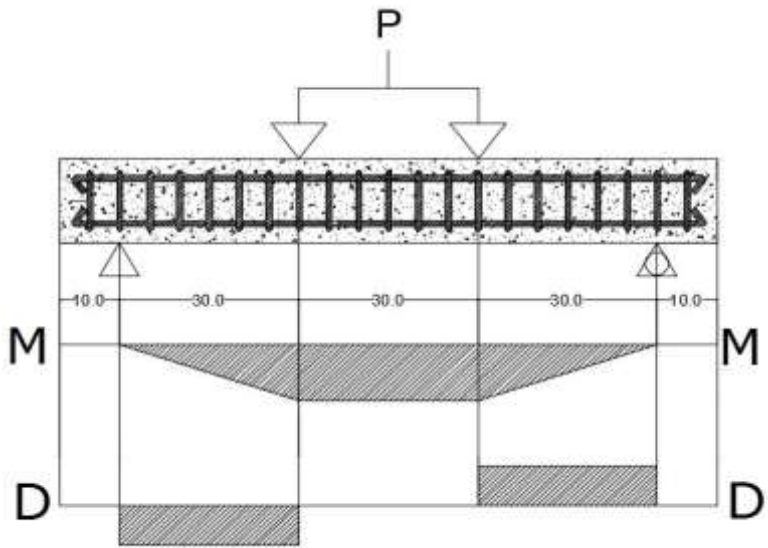
retak miring. Pola keruntuhan yang terjadi ialah tarik diagonal. (4)Balok panjang dengan $a/d > 6$. Dimana kekuatan lentur lebih besar daripada kekuatan gesernya sehingga pola keruntuhan yang terjadi ialah lentur (Wang & Salmon, 1990)

Semua balok pada penelitian ini memiliki $a/d = 2.6^*$ maka balok termasuk kriteria balok biasa dengan panjang menengah dimana kekuatan geser menyamai kapasitas retak miring, pola keruntuhan yang terjadi ialah tarik diagonal

. Dikarenakan benda uji dibebani dengan *two-point load* seperti pada gambar 4.7. Maka pada perencanaan awal, balok diberi sengkang agar kapasitas gesernya lebih besar daripada kapasitas lentur. Pada perencanaan tulangan geser (lihat bagian 3.8) balok diberi sengkang $\phi 10 - 50$ mm dan menghasilkan kuat geser 71.7 kN, sedangkan pada saat tulangan sudah leleh, geser di tumpuan setiap variasi (16,83KN; 24,83KN; 34,93KN) tidak lebih dari 71.7 kN. Maka pada saat pengujian dapat dipastikan bahwa akan terjadi kegagalan lentur terlebih dahulu

Pada saat pengujian, retak pertama terjadi di serat bawah balok diantara dua titik pembebanan, yang kemudian merambat naik ke atas diiringi dengan crack lentur yang muncul sejajar dengan crack pertama. Hal ini membuktikan pola keruntuhan yang terjadi ialah keruntuhan lentur.

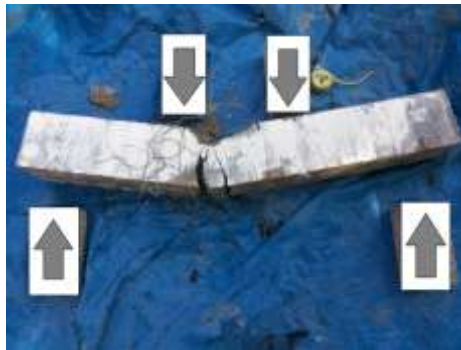
* a =jarak beban terpusat atau bentang geser = 300mm
 d =tinggi efektif balok = $150-20-10-10/2 = 115$ mm



Gambar 4. 7 Gaya dalam akibat pembebanan



(a) 2D10 14April



(b) 3D10 31Mar



(c) 3D12 7Apr

Gambar 4. 8 Pola Retak yang terjadi pada balok uji

4.2.2.2. Tahap Beton Retak

Besarnya Momen Crack tiap variasi balok dapat dilihat dari tabel. Dalam penelitian ini, first crack didapat dari pengamatan mata telanjang dimana ketelitiannya sangat rendah

Perhitungan beban karena berat sendiri

$$\begin{aligned}q &= 2500 \text{ kg} / \text{m}^3 \\q &= 2500 \cdot 0,15 \cdot 0,15 \text{ kg} / \text{m} \\q &= 56,25 \text{ kg} / \text{m}\end{aligned}$$

Perhitungan kapasitas momen karena beban sendiri

$$\begin{aligned}M_{\max} &= V_a \cdot 0,45 - 0,5 \cdot q \cdot \left(\frac{0,55}{2}\right)^2 \\M_{\max} &= (0,5 \cdot 56,25 \cdot 1,1) \cdot 0,45 - 0,5 \cdot 56,25 \cdot (0,55 / 2)^2 \\M_{\max} &= 11,795 \text{ kgm} \\M_{\max} &= 0,12 \text{ KNm}\end{aligned}$$

Besarnya beban untuk *first crack* didapatkan dari pengamatan manual, lalu setelah mendapatkan nilainya, dapat dihitung momennya. Seperti pada benda uji 3D10 31Mar, dimana $P_{\text{crack}}=2100 \text{ kgf}$

$$\begin{aligned}M_{\text{crack}} &= \frac{P}{2} \times l \\M_{\text{crack}} &= 1050 \times 0,3 \text{ kgm} \\M_{\text{crack}} &= 315 \text{ kgm} = 3,15 \text{ kNm} \\M_{\text{crack}} &= 3,15 + 0,12 = 3,27 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Tabel 4. 20 Momen Crack pada balok

| Tanggal Pengecoran | Balok | Kuat Tekan (Mpa) | Beban P saat crack (kgf) | Mcr (kNm) | Lendutan (mm) |
|--------------------|-------|------------------|--------------------------|-----------|---------------|
| 31 Mar | 3D10 | 41.7 | 2100 | 3.27 | 0.42 |
| 1 April | 3D10 | 38.2 | 1740 | 2.61 | 0.64 |
| 7 April | 3D12 | 32.6 | 1730 | 2.595 | 0.72 |
| 13 April | 2D10 | 31.35 | 1770 | 2.655 | 1.06 |
| 14 April | 2D10 | 30.5 | 1632 | 2.448 | 1.22 |
| 20 April | 3D10 | 19.3 | 1630 | 2.445 | 2.56 |



Gambar 4. 9 First Crack pada balok uji 2D10 – 13Apr

Tabel 4.20 menunjukkan besarnya M_{cr} tidak dipengaruhi rasio tulangan, namun lebih dipengaruhi oleh kuat tekan beton tersebut. Benda Uji 8April – 3D12 tidak dimasukkan karena lemahnya kuat tekan sehingga kegagalan yang terjadi ialah gagal geser. Dari tabel dapat dilihat bahwa penurunan kuat tekan berbanding lurus dengan penurunan momen *crack*.

4.2.2.3. Tahap Tulangan Baja meleleh

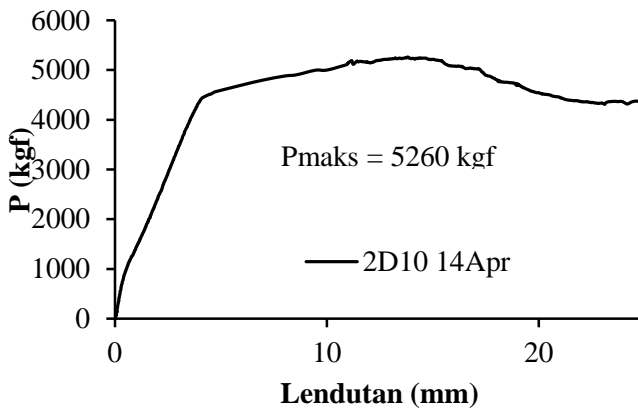
Setelah terjadi keretakan pada serat bagian bawah beton, retak akan mulai menyebar ke sepanjang balok seiring dengan bertambahnya momen. Pada beton yang sudah mengalami retak, diasumsikan tidak menahan tegangan Tarik. Sehingga, tegangan Tarik akan ditahan oleh tulangan baja. Tahap ini akan terus berlanjut selama tegangan tekan pada serat bagian atas balok tidak lebih dari $0.5f'_c$ (kuat tekan beton).

Tabel 4. 21 Momen pada saat baja meleleh

| Tanggal Pengecoran | Balok | Kuat Tekan (Mpa) | Beban (kgf) | Lendutan (mm) | Momen (kNm) | Regangan Baja |
|--------------------|-------|------------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| 31-Mar | 3D10 | 41.7 | 5140 | 2.56 | 7.71 | 0.001822 |
| 1-Apr | 3D10 | 38.2 | 6175 | 2.78 | 9.2625 | 0.001806 |
| 7-Apr | 3D12 | 32.6 | 6515 | 4.16 | 9.7725 | 0.002 |
| 13-Apr | 2D10 | 32.35 | 4355 | 3.38 | 6.5325 | 0.001804 |
| 14-Apr | 2D10 | 30.5 | 2855 | 2.44 | 4.2825 | 0.001804 |
| 20-Apr | 3D10 | 19.3 | 5435 | 7.4 | 8.1525 | 0.001808 |

4.2.2.4. Tahap Tegangan Maksimum – Momen Nominal

Ketika beban terus bertambah, tegangan tekan beton sudah tidak berbentuk garis lurus lagi, melainkan berbentuk kurva. Pada fase ini diasumsikan baja telah meleleh (*under-reinforced*). Pada fase ini, balok hanya memiliki sedikit tambahan kapasitas momen sebelum sampai pada suatu titik dimana sisi tekan balok mengalami kehancuran.



Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Beban – Lendutan balok 2D10 – 14Apr

Analisa Momen nominal M_n (kapasitas lentur balok) pada saat beban maksimum dapat dilihat dalam grafik $P-\Delta$ seperti pada gambar 4.7. Setelah mendapat nilai P , dapat dihitung besarnya momen nominal balok tersebut

Tabel 4. 22 Kapasitas Lentur Balok

| Tanggal Pengecoran | Balok | Kuat Tekan (Mpa) | Beban (kgf) | Lendutan (mm) | M_n (kNm) |
|--------------------|-------|------------------|-------------|---------------|-------------|
| 14-Apr | 2D10 | 30.5 | 5260 | 13.84 | 7.89 |
| 13-Apr | 2D10 | 32.35 | 6200 | 11.08 | 9.3 |
| 20-Apr | 3D10 | 19.3 | 6960 | 14.6 | 10.44 |
| 1-Apr | 3D10 | 38.2 | 7815 | 12.6 | 11.72 |
| 31-Mar | 3D10 | 41.7 | 8145 | 15.9 | 12.21 |
| 7-Apr | 3D12 | 32.6 | 8840 | 14.5 | 13.26 |

Dari tabel 4.22 menunjukkan bahwa Momen Nominal meningkat seiring dengan ditambahkannya tulangan dalam balok.

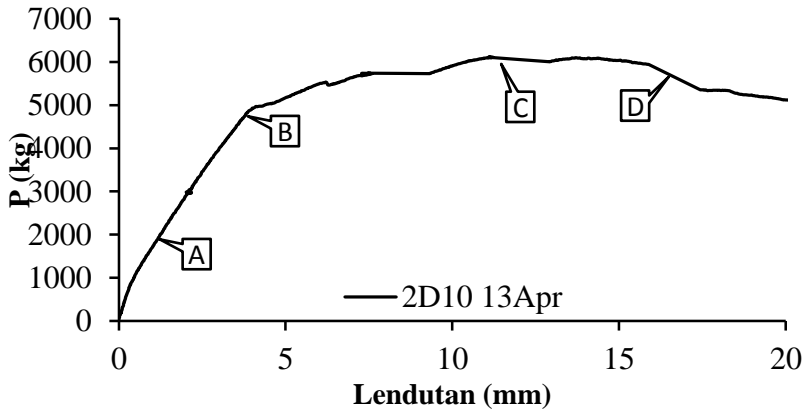
Tabel 4. 23 Perbandingan Kapasitas Lentur Teoritis DAN Eksperimen

| Tanggal Pengecoran | Balok | Kuat Tekan (Mpa) | Momen (kNm) | Momen Teoritis (kNm) | Margin (%) |
|--------------------|-------|------------------|-------------|----------------------|------------|
| 14-Apr | 2D10 | 30.5 | 8.01 | 6.09 | 31.55% |
| 13-Apr | 2D10 | 32.35 | 9.42 | 6.11 | 54.11% |
| 20-Apr | 3D10 | 19.3 | 10.56 | 8.29 | 27.39% |
| 1-Apr | 3D10 | 38.2 | 11.84 | 9.01 | 31.41% |
| 31-Mar | 3D10 | 41.7 | 12.34 | 9.07 | 35.97% |
| 7-Apr | 3D12 | 32.6 | 13.38 | 13.25 | 0.98% |

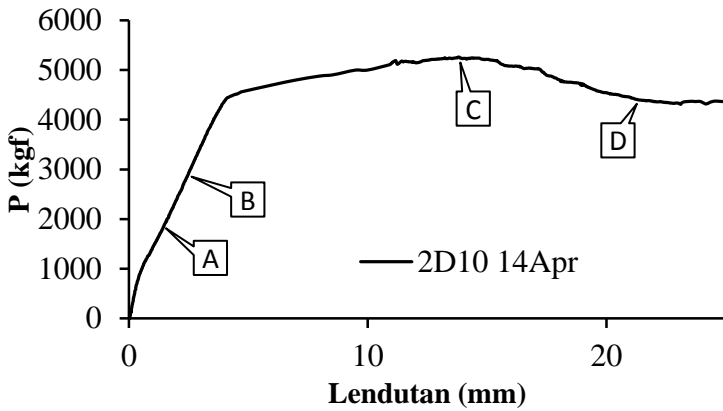
Pada tabel 4.23 dibuktikan bahwa balok geopolimer bisa didesain dengan pendekatan teoritis

4.2.2.5. Lendutan Balok

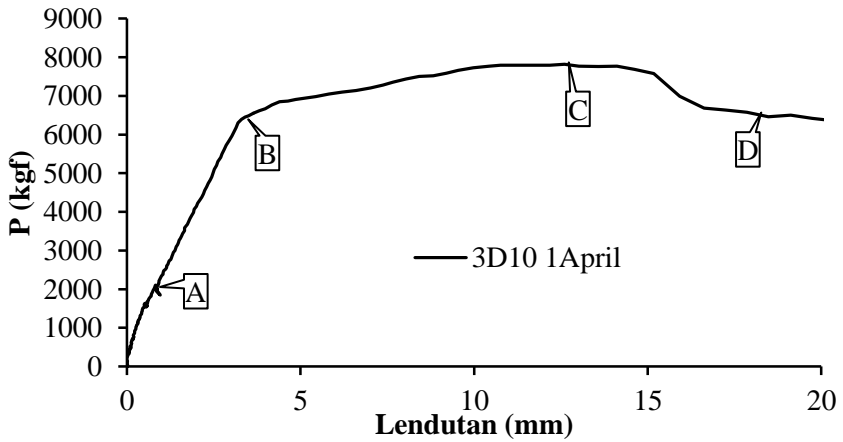
Grafik hubungan antara lendutan balok dan beban terdiri dari beberapa tahapan yaitu: (A) tahap beton mulai retak pertama – tegangan elastis. (B) tahap tulangan baja mulai meleleh. (C) Tahap tegangan maksimum – momen nominal, dan (D) tahap tegangan ultimate. Tahap tegangan ultimate dihitung sebesar 85% dari P_{maks} . Grafik hasil pengujian lentur ditunjukkan pada gambar 4.11



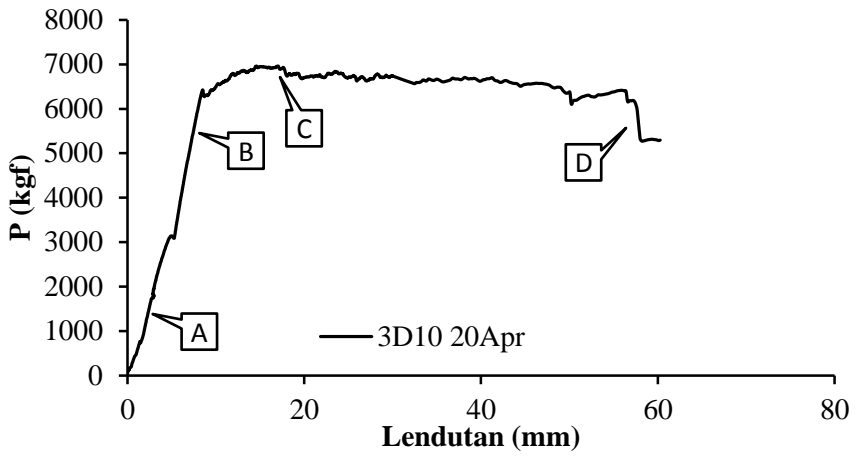
Gambar 4. 11 Grafik P-Δ Balok 2D10 – 13Apr



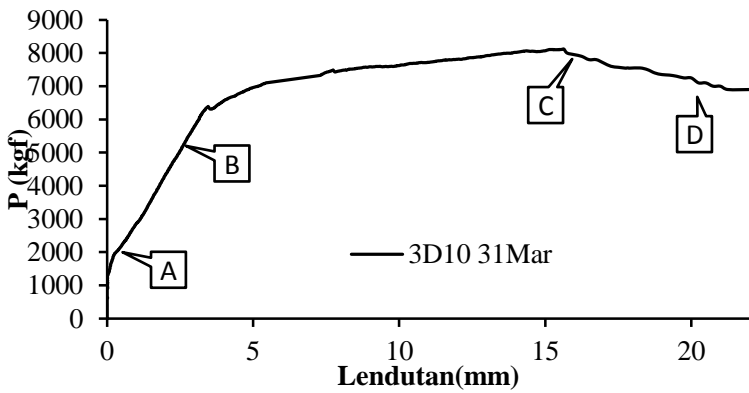
Gambar 4. 12 Grafik P- Δ Balok 2D10 – 14Apr



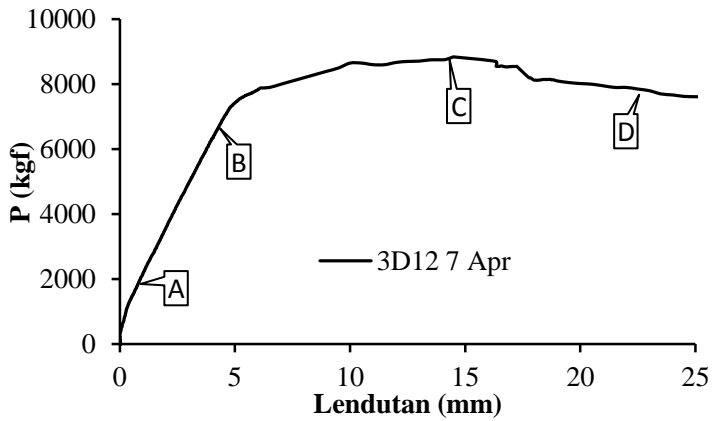
Gambar 4. 13 Grafik P- Δ Balok 3D10 – 1Apr



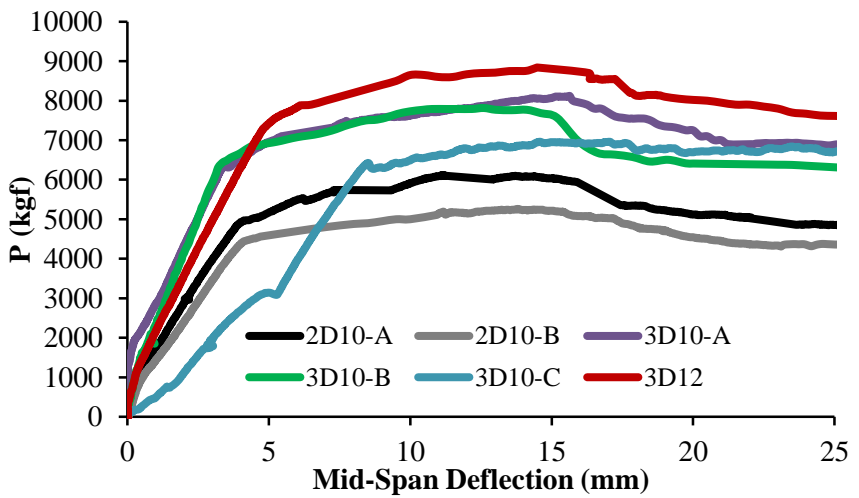
Gambar 4. 14 Grafik P- Δ Balok 3D10 – 20Apr



Gambar 4. 15 Grafik P- Δ Balok 3D10 – 31Mar



Gambar 4. 16 Grafik P- Δ Balok 3D12 – 7Apr



Gambar 4. 17 Grafik P- Δ Tiap Benda Uji Balok

Grafik pada gambar 4.17 menunjukkan hubungan beban dan lendutan untuk tiap variasi tulangan. Dapat dilihat untuk balok 3D10 - 20April, karena kuat tekan betonnya lebih rendah, maka P yang bisa diterima lebih kecil, namun perilakunya identik dengan 3D10 lainnya.

Tabel 4. 24 Tabel Relasi P- Δ tiap balok

| FASE | 2D10-A | | 2D10-B | | 3D10-A | |
|------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| | P | Δ | P | Δ | P | Δ |
| A | 1770 | 1.06 | 1630 | 1.22 | 2100 | 0.42 |
| B | 4355 | 3.38 | 2855 | 2.44 | 5140 | 2.56 |
| C | 6200 | 11.08 | 5260 | 13.84 | 8145 | 15.9 |
| D | 5270 | 18.56 | 4470 | 20.72 | 6890 | 20.12 |

| FASE | 3D10-B | | 3D10-C | | 3D12 | |
|------|--------|----------|--------|----------|------|----------|
| | P | Δ | P | Δ | P | Δ |
| A | 1755 | 0.58 | 1620 | 2.56 | 1730 | 0.72 |
| B | 6175 | 2.78 | 5435 | 7.4 | 6515 | 4.16 |
| C | 7815 | 12.38 | 6960 | 14.6 | 8840 | 14.5 |
| D | 6575 | 17.92 | 5965 | 57.68 | 7515 | 22.38 |

4.2.2.6. Daktilitas Perpindahan Balok

Pada penelitian ini daktilitas balok dihitung dengan menggunakan daktilitas berdasar perpindahan (lendutan) yang dialami balok. Nilai lendutan saat tulangan baja meleleh (Δ_y) serta nilai lendutan saat beban telah turun menjadi 85% dari beban maksimum P_{maks} (Δ_u) didapatkan dari grafik beban

terhadap lendutan. Indeks daktilitas (μ_d) ialah hasil pembagian antara Δ_u dan Δ_y .

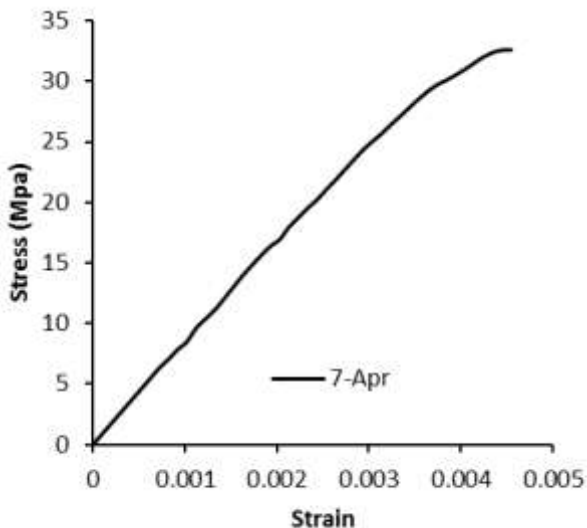
Tabel 4. 25 Angka Daktilitas Benda Uji

| Balok | Tanggal Casting | Rasio Tulangan | Kuat Tekan (Mpa) | Δ_y (mm) | Δ_u (mm) | Indeks Daktilitas ($\mu_d = \Delta_u / \Delta_y$) |
|-------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|---|
| 2D10 | 13 April | 0.70% | 32.35 | 3.38 | 18.56 | 5.49 |
| 2D10 | 14 April | 0.70% | 30.5 | 2.44 | 20.72 | 8.49 |
| 3D10 | 31 Maret | 1.05% | 41.7 | 2.56 | 20.12 | 7.86 |
| 3D10 | 1 April | 1.05% | 38.2 | 2.95 | 17.95 | 6.08 |
| 3D10 | 20 April | 1.05% | 19.3 | 7.40 | 57.68 | 7.79 |
| 3D12 | 7 April | 1.51% | 32.4 | 4.16 | 22.38 | 5.38 |

Tabel 4.23 menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya rasio tulangan, daktilitas balok makin menurun. Meskipun begitu, penurunan tidak begitu besar karena setiap benda uji sebenarnya telah masuk kategori daktail ($\mu_d > 5.3$). Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Sumajouw dan Rangan (2008) yang menyatakan bahwa angka daktilitas meningkat seiring berkurangnya rasio tulangan.

4.3 Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

Grafik Tegangan – Regangan Beton diperoleh dari hasil pengujian tekan silinder. Ukuran silinder ialah diameter 100mm – tinggi 200mm. Untuk mengetahui regangan yang terjadi pada beton, dipasang 2 buah strain gauge vertikal pada permukaan samping silinder beton. Grafik tegangan – regangan dari beton dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4. 18 Grafik tegangan – regangan beton

4.4 Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas (E_c) diperoleh dari modulus sekan yang dihitung saat tegangan beton mencapai 40% dari tegangan maksimal

$$E_c = \frac{0.4f'_c - f_1}{\epsilon_1 - 0.00005} \quad (4.1)$$

Dimana :

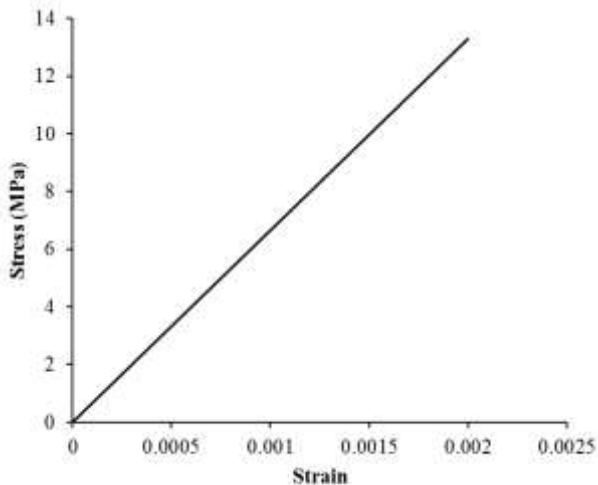
E_c = Modulus Elastisitas Beton, MPa

f_c' = tegangan beton, MPa

f_l = tegangan beton ketika nilai regangan 0,00005 MPa

ϵ_1 = Regangan beton saat mencapai $0,4 f_c'$

$$E_c = \frac{13.29 - 0.33}{0.002 - 0.00005} = 6646 \text{ MPa} = 6.6 \text{ GPa}$$



Gambar 4. 19 Modulus Elastisitas Beton

Dari hasil yang diperoleh dari pengujian, modulus elastisitas beton ditunjukkan pada grafik. Modulus yang disajikan ialah rata - rata dari setiap benda uji



Gambar 4. 20 Pengetesan Modulus Elastisitas

4.5 Kedalaman garis netral balok

Pada saat balok diberikan beban, serat bagian bawah akan mengalami tarik sedangkan bagian atas akan mengalami tekan. Pada kondisi tersebut akan terdapat suatu garis netral yang membagi kedua daerah tersebut. Untuk memperoleh kedalaman garis tersebut, maka dipasang strain gauge pada tulangan baja untuk mengukur besarnya regangan pada saat terjadi leleh. Dan untuk mendapatkan regangan pada saat beton hancur, strain gauge dipasang di bagian samping beton betos, 15mm dari sisi atas.

Setelah mendapatkan nilai regangan, dapat digunakan rumus perbandingan segitiga untuk mendapatkan kedalaman garis netral

$$\frac{\varepsilon_{c_1}}{x_{leleh}} = \frac{\varepsilon_{c_1} + \varepsilon_s}{d} \Leftrightarrow x_{leleh} = \frac{\varepsilon_{c_1} \cdot d}{\varepsilon_{c_1} + \varepsilon_s}$$

$$\frac{\varepsilon_c}{x_{maks}} = \frac{\varepsilon_{c_1} - \varepsilon_{c_2}}{x_{\varepsilon_{c_2}}} \Leftrightarrow x_{maks} = \frac{\varepsilon_c \cdot x_{\varepsilon_{c_2}}}{\varepsilon_{c_1} - \varepsilon_{c_2}}$$

(4.2)

Dimana :

ε_{c1} = Regangan Beton pada serat atas balok

ε_{c2} = Regangan Beton pada permukaan samping balok

ε_s = Regangan pada tulangan baja longitudinal

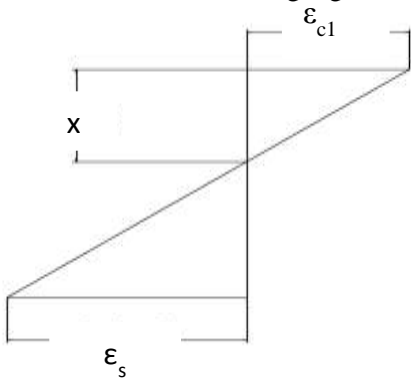
d = tinggi efektif balok = 115 mm

x_{leleh} = Kedalaman garis netral pada saat baja meleleh, diukur dari serat atas balok (mm)

x_{maks} = Kedalaman garis netral pada kondisi beton hancur (mm)

$x_{\varepsilon_{c2}}$ = Jarak pemasangan strain gauge beton ke serat atas beton

Tabel 4. 26 Regangan dan kedalaman GN saat First Crack



Gambar 4. 21 Sketsa Regangan pada saat First Crack

| BEAM 2D10-A | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -79 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 490 |
| X(mm) | 15.96 |

| BEAM 2D10-B | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -123 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 737 |
| X(mm) | 16.44 |

| BEAM 3D10-A | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -342 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 393 |
| X(mm) | 53.51 |

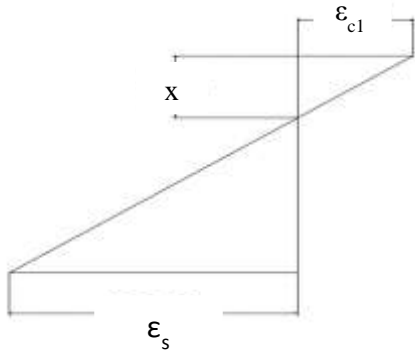
| BEAM 3D10-C | |
|-----------------|---------|
| ϵ_{c1} | -360 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 798 |
| X(mm) | 35.7513 |

| BEAM 3D10-B | |
|-----------------|---------|
| ϵ_{c1} | -323 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 349 |
| X(mm) | 55.2753 |

| BEAM 3D12 | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -154 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 456 |
| X(mm) | 29.03 |

Dalam perhitungan kedalaman garis netral untuk fase First Crack, tidak ditemukan banyak kendala karena *strain gauges* masih dalam keadaan baik.

Tabel 4. 27 Regangan dan Kedalaman GN saat Yielding Point



Gambar 4. 22 Sketsa regangan pada saat Yielding

| BEAM 2D10-A | |
|-----------------|------|
| ϵ_{c1} | -169 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 1804 |
| X(mm) | 9.85 |

| BEAM 2D10-B | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -252 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 1804 |
| X(mm) | 14.09 |

| BEAM 3D10-A | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -1195 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 1806 |
| X(mm) | 45.79 |

| BEAM 3D10-C | |
|-----------------|------|
| ϵ_{c1} | -440 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 1808 |
| X(mm) | 22.5 |

| BEAM 3D10-B | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -1365 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 1822 |
| X(mm) | 49.25 |

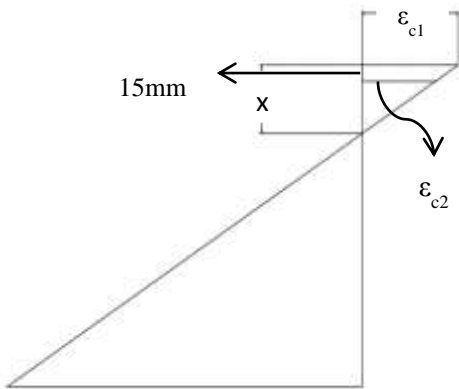
| BEAM 3D12 | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -440 |
| ϵ_{c2} | - |
| ϵ_s | 2000 |
| X(mm) | 17.13 |

Pada perhitungan fase leleh, tidak ditemukan banyak masalah walaupun beton bagian bawah sudah mengalami banyak keretakan. Pada titik leleh ini, regangan yang terjadi

pada kedua tulangan tarik tiap-tiap balok tidak sama, namun diambil tulangan yang lebih dulu meleleh.

MAXIMUM LOAD

Tabel 4. 28 Regangan dan Kedalaman GN saat Maximum Load



Gambar 4. 23 Sketsa Regangan saat Maximum Load

| BEAM 2D10-A | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -1219 |
| ϵ_{c2} | 1246 |
| ϵ_s | - |
| X(mm) | 7.41 |

| BEAM 2D10-B | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -1496 |
| ϵ_{c2} | 1261 |
| ϵ_s | - |
| X(mm) | 8.13 |

| BEAM 3D10-A | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -4816 |
| ϵ_{c2} | 2724 |
| ϵ_s | - |
| X(mm) | 9.58 |

| BEAM 3D10-C | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -2636 |
| ϵ_{c2} | -301 |
| ϵ_s | - |
| X(mm) | 13.4 |

| BEAM 3D10-B | |
|-----------------|--------|
| ϵ_{c1} | -4028 |
| ϵ_{c2} | 3257.5 |
| ϵ_s | - |
| X(mm) | 8.29 |

| BEAM 3D12 | |
|-----------------|-------|
| ϵ_{c1} | -2036 |
| ϵ_{c2} | 1075 |
| ϵ_s | - |
| X(mm) | 9.81 |

Pada fase beban maksimum, karena balok sudah dalam keadaan hancur dan retak sudah tersebar hampir ke semua permukaan beton, *strain gauges* yang rusak mulai menjadi kendala. Untuk setiap balok, nilai ϵ_{c2} tidak bisa didapat dari *strain gauge* beton samping, melainkan dengan menghitung rata-rata dari regangan yang terjadi pada tulangan baja bagian atas.

Berikut ialah nilai kedalaman garis netral untuk variasi beton

Tabel 4. 29 Kedalaman Garis Netral (GN)

| Balok | Tanggal Casting | Kondisi leleh | Kondisi hancur |
|-------|-----------------|---------------|----------------|
| | | GN (mm) | GN (mm) |
| 2D10 | 13 April | 17.3 | 7.41 |
| 2D10 | 14 April | 14.09 | 8.13 |
| 3D10 | 31 Maret | 45.79 | 9.58 |
| 3D10 | 1 April | 49.25 | 8.29 |
| 3D10 | 20 April | 22.5 | 13.4 |
| 3D12 | 7 April | 17.13 | 9.81 |

4.6 Momen Kurvatur Balok

Kurvatur ialah gradient regangan profil elemen yang dihitung dengan menggunakan rumus

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{x} \quad (4.3)$$

Dimana :

ε_c = Regangan Beton bagian atas

x = tinggi garis netral (daerah tekan) , mm

Kurvatur ialah sudut yang dibentuk oleh regangan beton dan kedalaman garis netral. Kurvatur dihitung pada saat kondisi awal beton retak (*crack*), kondisi ketika tulangan baja meleleh (*yield*), beton mencapai kekuatan maksimalnya (*ultimate*), dan sampai beton hancur yang diambil dari 85%

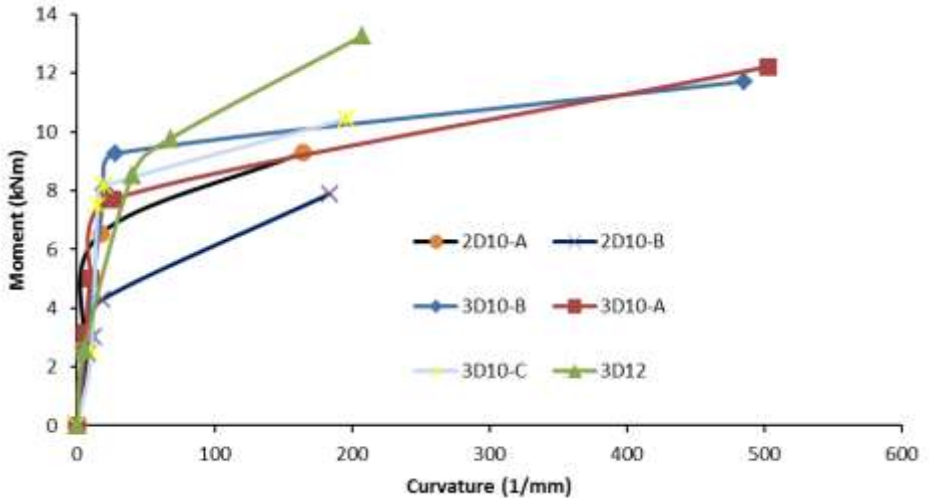
P_{maks} (*failure*). Pada tabel 4.23 ditunjukkan perhitungan momen kurvatur tiap benda uji

Tabel 4. 30 Perhitungan Momen Kurvatur Benda Uji

| Balok | 2D10-A | | 2D10-B | | 3D10-B | |
|-----------------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| Kondisi | Kurvatur | Momen | Kurvatur | Momen | Kurvatur | Momen |
| | $10^{-6}/\text{mm}$ | kNm | $10^{-6}/\text{mm}$ | kNm | $10^{-6}/\text{mm}$ | kNm |
| <i>crack</i> | 4.95 | 2.66 | 7.48 | 2.45 | 5.84 | 2.61 |
| <i>yield</i> | 17.16 | 6.53 | 17.88 | 4.28 | 27.71 | 9.26 |
| <i>ultimate</i> | 164.51 | 9.30 | 183.80 | 7.89 | 485.70 | 11.72 |

| Balok | 3D10-A | | 3D10-C | | 3D12 | |
|-----------------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| Kondisi | Kurvatur | Momen | Kurvatur | Momen | Kurvatur | Momen |
| | $10^{-6}/\text{mm}$ | kNm | $10^{-6}/\text{mm}$ | kNm | $10^{-6}/\text{mm}$ | kNm |
| <i>crack</i> | 6.39 | 3.15 | 10.07 | 2.43 | 5.30 | 2.60 |
| <i>yield</i> | 26.10 | 7.71 | 19.55 | 8.15 | 67.89 | 9.77 |
| <i>ultimate</i> | 502.67 | 12.22 | 195.80 | 10.44 | 207.40 | 13.26 |

Momen kurvatur seluruh benda uji disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.21

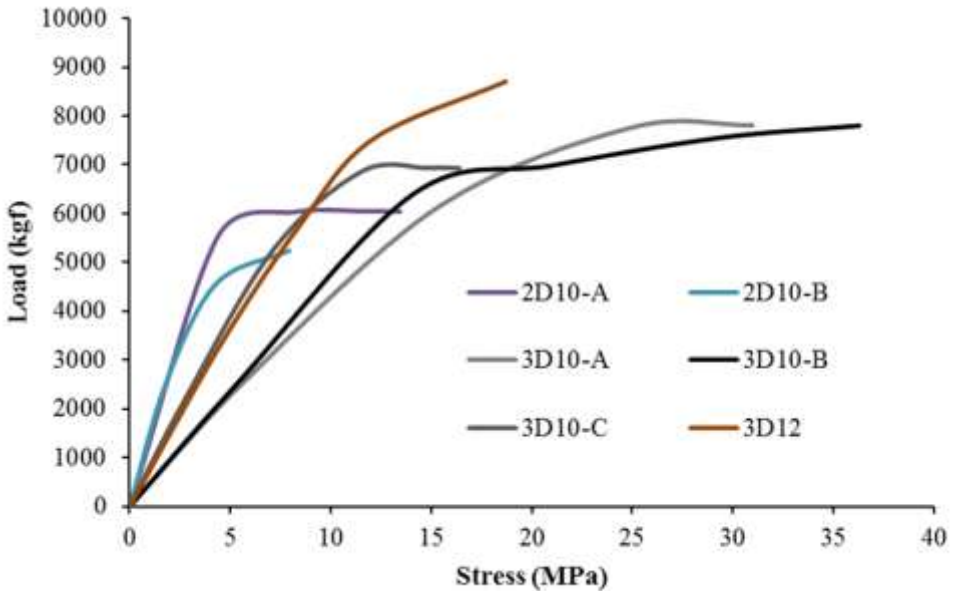


Gambar 4. 24 Momen Kurvatur Tiap Balok

Dari grafik dapat diamati bahwa untuk variasi tulangan yang sama, perilaku dari momen kurvatur relatif sama. Kuat tekan dari beton tidak begitu berdampak besar dalam perilaku setelah lelehnya besi. Namun kekuatan beton sangat berpengaruh dalam fase elastis (sebelum *first crack*). Setelah *first crack*, baja-lah yang banyak berkontribusi pada kekuatan lentur balok

4.7 Tegangan pada Balok

Karena terjadinya retak pada sepanjang penampang balok, maka perhitungan tegangan dengan menggunakan teori elastis tidak memungkinkan lagi. Sehingga, untuk mendapatkan tegangan yang terjadi pada beton, digunakan korelasi antara P yang terjadi pada balok, dan tegangan yang diterima oleh benda uji silinder.



Gambar 4. 25 Grafik Hubungan Beban – Tegangan

Dari grafik pada gambar 4.22 terlihat bahwa dengan sedikit penambahan beban, tegangan dapat bertambah cukup banyak. Hal ini disebabkan karena dengan beban yang sama, retak dapat bertambah besar pada penampang balok, sehingga memperkecil luas penampang dan meningkatkan tegangan yang terjadi.

4.8 Analisa Peranan SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , dan H_2O

Peranan SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , dan H_2O sangat penting dalam penyusunan matriks geopolimer. Oleh karena itu perlu adanya perhitungan terhadap senyawa – senyawa tersebut. Rasio yang dianjurkan untuk pembuatan geopolimer ialah $0,2 < Na_2O/SiO_2 < 0,28$; $3,5 < SiO_2/Al_2O_3 < 4,5$; $15 < H_2O/Na_2 < 17,5$ (Davidovits, 1982).

Dari hasil perhitungan mix design, untuk satu cetakan balok dibutuhkan material seperti pada tabel

Tabel 4. Komposisi Material Geopolimer

| Fly Ash | NaOH | Na_2SiO_3 | SP |
|----------|---------|-------------|--------|
| 12568 gr | 1933 gr | 4833 gr | 251 gr |

4.8.1. Kandungan Fly Ash

Dari tabel 4. Diperoleh massa fly ash untuk pengecoran satu balok ialah 12568 gr. Dari hasil pengujian kandungan kimia XRF fly ash didapatkan

- SiO_2 = 48,47% massa
- Al_2O_3 = 26,05% massa
- Na_2O = 0,47% massa

4.8.3.1 Kandungan SiO_2 dalam Fly Ash

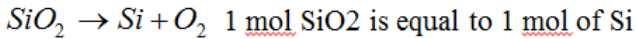
Dari hasil pengujian XRF diperoleh massa SiO_2 = 48,47% massa Fly Ash.

Kemudian dari hasil pengujian laboratorium Tekmira diperoleh kadar reaktif dari SiO₂.

$$SiO_2 = \frac{SiO_2 \text{ reactive}}{SiO_2 \text{ total}} = \frac{33,7\%}{52,4\%} = 64,31\%$$

Hasil kadar reaktif digunakan untuk menghitung SiO₂ yang reaktif dari pengujian XRF

$$SiO_2 = 64,31\% \times 48,47 = 31,17\%$$



Mr SiO₂ = 28+2.16 = 60 gr/mol

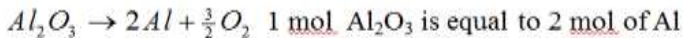
mass of SiO₂ = 31,17% × 12568 = 3917,44gr

mol SiO₂ = $\frac{\text{mass}}{\text{Mr}} = \frac{3917,44\text{gr}}{60 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} = 65,2\text{mol}$

Maka kandungan SiO₂ dalam fly ash = 65,2 mol

4.8.3.2 Kandungan Al₂O₃ dalam Fly Ash

Dari hasil pengujian kandungan kimia XRF diperoleh Al₂O₃ = 26,05% massa



Mr Al₂O₃ = 2.27+3/2(2.16) = 102 gr/mol

mass of Al₂O₃ = 26,05% × 12568 = 3273.964 gr

mol Al₂O₃ = $\frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{3273,964\text{gr}}{102 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}} = 32,1\text{mol}$

Maka kandungan Al₂O₃ dalam flyash = 32,1 mol

4.8.3.3 Kandungan Na₂O dalam Fly Ash

Dari hasil pengujian XRF, kandungan Na₂O = 0.47% massa.

$Na_2O \rightarrow 2Na + \frac{1}{2}O_2$ 1 mol Na₂O is equal to 2 mol of Na

$$Mr Na_2O = 2.23 + 1/2(2.16) = 62 \text{ gr/mol}$$

$$mass \text{ of } Na_2O = 0,47\% \times 12568 = 59,07 \text{ gr}$$

$$mol Na_2O = \frac{massa}{Mr} = \frac{59,07 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}} = 0,952 \text{ mol}$$

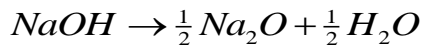
Maka kandungan Na₂O dalam fly ash = 0,952 mol

4.8.2. Kandungan NaOH

NaOH yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer berkonsentrasi 8M. Berikut kebutuhan material untuk setiap pembuatan 1 liter larutan NaOH

- Mass of NaOH flake required = 320 grams
- Mass H₂O needed = 976 gr
- Mass 1 liter = 1296 g NaOH solution

$$\rho NaOH - 8M = \frac{1296 \text{ gr}}{1000 \text{ ml}} = 1,296 \text{ gr/ml}$$



Maka 1 mol NaOH sama dengan ½ mol H₂O atau ½ mol Na₂O. Mr NaOH = 40

$$\text{Mr NaOH} = 1/2(62) + 1/2(18) = 40 \text{ gr/mol}$$

$$\text{volume of NaOH} = \frac{m}{\rho} = \frac{1933 \text{ gr}}{1,296 \text{ gr/ml}} = 1491,5 \text{ ml}$$

$$\text{mol NaOH} = 1491,5 \text{ ml} \times 8 \text{ M} = 11932 \text{ mmol} = 11,93 \text{ mol}$$

$$\text{mass of NaOH}_{\text{flake}} = \text{mol NaOH} \times \text{Mr NaOH} = 11,93 \times 40 = 477,2 \text{ gr}$$

$$\text{mass of H}_2\text{O} = 1933 \text{ gr} - 477,2 \text{ gr} = 1455,8 \text{ gr}$$

4.8.3.1 Kandungan Na₂O dan H₂O dalam NaOH_{flake}

Dari hasil perhitungan diperoleh NaOH flake = 477,2 gr. NaOH yang digunakan mempunyai kemurnian 98%.

$$\text{mass of Na}_2\text{O} = 98\% \times 477,2 = 467,65 \text{ gr}$$

$$\text{mol Na}_2\text{O} = \frac{\text{mass}}{\text{Mr}} = \frac{467,65 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}} = 7,54 \text{ mol}$$

$$\text{mass of H}_2\text{O} = 2\% \times 477,2 = 9,544 \text{ gr}$$

$$\text{mol H}_2\text{O} = \frac{\text{mass}}{\text{Mr}} = \frac{9,544 \text{ gr}}{18 \text{ gr/mol}} = 0,53 \text{ mol}$$

Kandungan Na₂O dalam NaOH flake ialah 7,54 mol dan kandungan H₂O dalam NaOH ialah 0,32 mol

4.8.3.2 Kandungan H₂O

Dari hasil perhitungan didapat bahwa H₂O ialah 1455,8 gr

$$\text{mol H}_2\text{O} = \frac{\text{mass}}{\text{Mr}} = \frac{1455,8 \text{ gr}}{18 \text{ gr/mol}} = 80,87 \text{ mol}$$

Maka kandungan $H_2O = \underline{80,87 \text{ mol}}$

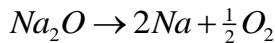
4.8.3. Kandungan Na_2SiO_3

Dari hasil pada tabel 4. Didapatkan massa Na_2SiO_3 dalam beton = 4833 gr.

Dari hasil pengujian kandungan kimia, didapatkan

- $Na_2O = 15 \% \text{ mass}$
- $SiO_2 = 30 \% \text{ mass}$
- $H_2O = 55 \% \text{ mass}$

4.8.3.1 Kandungan Na_2O dalam Na_2SiO_3



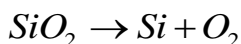
Maka 1 mol Na_2O setara dengan 2 mol Na

$$\text{mass of } Na_2O = 15\% \times 4833 = 724,95 \text{ gr}$$

$$\text{mol } Na_2O = \frac{\text{mass}}{Mr} = \frac{724,95 \text{ gr}}{62 \text{ gr/mol}} = 11,69 \text{ mol}$$

Maka kandungan Na_2O dalam $Na_2SiO_3 = \underline{11,69 \text{ mol}}$

4.8.3.2 Kandungan SiO_2 dalam Na_2SiO_3



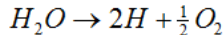
$$\text{Mr } SiO_2 = 28 + 2 \cdot 16 = 60 \text{ gr/mol}$$

$$\text{mass of } SiO_2 = 30\% \times 4833 = 1449.9 \text{ gr}$$

$$\text{mol } SiO_2 = \frac{\text{mass}}{Mr} = \frac{1449.9 \text{ gr}}{60 \text{ gr/mol}} = 24,165 \text{ mol}$$

Maka kandungan SiO_2 dalam $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = \underline{24,165 \text{ mol}}$

4.8.3.3 Kandungan H_2O dalam Na_2SiO_3



$$\text{Mr H}_2\text{O} = 2.1 + 1/2(2.16) = 18 \text{ gr/mol}$$

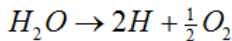
$$\text{mass of H}_2\text{O} = 55\% \times 4933 = 2713,15 \text{ gr}$$

$$\text{mol H}_2\text{O} = \frac{\text{mass}}{\text{Mr}} = \frac{2713,15 \text{ gr}}{18 \text{ gr/mol}} = 150,73 \text{ mol}$$

Maka kandungan H_2O dalam Na_2SiO_3 ialah 150,73 mol

4.8.4. Kandungan Superplasticizer

Dari tabel 4. Didapatkan massa SP dalam beton = 251,36 gram. Karena sebagian besar SP mengandung air, diasumsikan SP sama dengan H_2O



$$\text{Mr H}_2\text{O} = 2.1 + 1/2(2.16) = 18 \text{ gr/mol}$$

$$\text{mol H}_2\text{O} = \frac{\text{mass}}{\text{Mr}} = \frac{251,36 \text{ gr}}{18 \text{ gr/mol}} = 13,964 \text{ mol}$$

Maka kandungan H_2O dalam SP = 13,964 mol

4.8.5. Analisa Perbandingan $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ dalam Beton

$$\text{SiO}_2 \text{ total} = 65,2 \text{ mol} + 24,165 \text{ mol} = 89,365 \text{ mol}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ total} = 32,1 \text{ mol}$$

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{89,365 \text{ mol}}{32,1 \text{ mol}} = 2,78$$

4.8.6. Analisa Perbandingan $\frac{Na_2O}{SiO_2}$ dalam Beton

$$SiO_2 \text{ total} = 65,2 \text{ mol} + 24,165 \text{ mol} = 89,365 \text{ mol}$$

$$Na_2O \text{ total} = 0,952 \text{ mol} + 11,69 \text{ mol} + 7,54 \text{ mol} = 20,182 \text{ mol}$$

$$\frac{Na_2O}{SiO_2} = \frac{20,182 \text{ mol}}{89,365 \text{ mol}} = 0,2258$$

4.8.7. Analisa Perbandingan $\frac{H_2O}{Na_2O}$ dalam Beton

$$H_2O \text{ total} = (0,53 + 80,87) + 150,73 + 13,964 = 246,094 \text{ mol}$$

$$Na_2O \text{ total} = 0,952 \text{ mol} + 11,69 \text{ mol} + 7,54 \text{ mol} = 20,182 \text{ mol}$$

$$\frac{H_2O}{Na_2O} = \frac{246,094 \text{ mol}}{20,182 \text{ mol}} = 12,19$$

4.8.8. Analisa Perbandingan $\frac{\text{water}}{\text{solid}}$ dalam Beton

$$\text{Water total} = 2713,15 + 1455,8 + 251,36 = 4420,31 \text{ gr}$$

$$\text{Solid total} = 12568 + 477,2 + (1449,9 + 724,95) = 9590,95 \text{ gr}$$

$$\frac{\text{water}}{\text{solid}} = \frac{2375,15 \text{ mol}}{9590,95 \text{ mol}} = 0,46$$

BAB V

KESIMPULAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai saran dan kesimpulan dari hasil pengujian balok.

1. Rasio Tulangan 0.7% memiliki nilai daktilitas paling baik yaitu dengan rata - rata 7.49
2. Hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa dengan bertambahnya rasio tulangan, nilai daktilitas dari balok uji makin berkurang, dengan nilai daktilitas terendah ialah 5.3 (rasio tulangan tarik 1.51%)
3. Hasil pengujian lentur juga menunjukkan dengan bertambahnya rasio tulangan sebesar 50% (dari 0.7% naik ke 1.05%), kapasitas lentur bertambah 40%. Namun jika diberi penambahan lebih lanjut (dari 1.05% ke 1.51%), kapasitas lentur hanya bertambah 8.3%
4. Rasio tulangan maupun kuat tekan tidak begitu mempengaruhi besarnya lendutan ultimate yang terjadi pada balok uji.
5. Grafik momen – kurvatur menunjukkan bahwa variasi tulangan 3D10 (rasio 1.05%) menunjukkan perilaku lentur yang paling baik
6. Dari pengujian silinder, didapatkan bahwa regangan yang terjadi sebelum beton mengalami *crushing* ialah 0.0045, berbeda dengan beton normal yang hanya 0.003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C 136. 2001. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. United State: ASTM International

ASTM C 143. 2015. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. United State : ASTM International

ASTM C 618 – 03. 2003. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. United State: ASTM International

Davidovits, Joseph. 2005. “Properties of Geopolymer Concrete”

Davidovits, Joseph. 1999. “Alkali Activator on Geopolymer Concrete”

Ekaputri, Januarti Jaya, Triwulan. 2013. “Sodium sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer”

Hardjito, Djwantoro, Steeni E Wallah. 2004. “Behaviour of Fly ash-based Geopolymer Concrete”

Hardjito, Djwantoro. 2005. “Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete”., pp 6

Hardjito, Djwantoro, Steeni E Wallah. 2005. “The Development of Fly ash-based Geopolymer Concrete”

Hasbullah, Hasriadi. 2015. “Pengaruh Suhu Perawatan terhadap Perilaku Lentur Balok Beton Geopolimer Bertulang”, pp 50-80

McCormac Jack C., Russel H. Brown, 2004 “Design of Reinforced Concrete” pp 35-65

Nguyen Khoa Tan, Namshik Ann, Tuan Anh Lee, Kihak Lee, 2015. “Theoretical and experimental study on mechanical properties and flexural strength of fly ash-geopolymer concrete” pp 76

PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010. 2010. “Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa”

Sumajouw, M.D.J, B.V Rangan. 2006. “Low Calcium Fly ash-based Geopolymer Concrete : Reinforced Beams and Columns”, pp 14-81

SNI 1969:2008, 2008. Cara Uji Berat Jenis dan penyerapan air agregat kasar. Badan Standarisasi Indonesia

SNI 1970:2008, 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus. Badan Standarisasi Indonesia

Zeitschrift et al. 2015. “Ductility of Structural Concrete”, pp 4-13

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Jonathan Eka Putra, lahir di Surabaya, 30 Juni 1994, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDK Santa Clara Surabaya, SMPK Santa Clara Surabaya, dan SMAK St Louis 1 Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan S-1 Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Karena ketertarikan penulis terhadap bahan bangunan alternatif yang ramah lingkungan, maka penulis melakukan penelitian berikut. Selama studi penulis aktif bekerja wiraswasta, aktif dalam kepanitiaan, juga seringkali mengikuti perlombaan. Prestasi penulis diantaranya ialah Juara III Lomba Kuat Tekan Beton Nasional pada 2014 di Universitas Lampung (Unila)