

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH WIREMESH PADA PANEL MORTAR  
GEOPOLIMER SEBAGAI PERKUATAN GESER BALOK  
BETON BERTULANG**

***THE EFFECT OF WIREMESH ON GEOPOLYMER MORTAR  
PANELS AS SHEAR STRENGTHENING ON REINFORCED  
CONCRETE BEAMS***

**HARI ANGGARA  
D011 18 1009**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**PENGARUH WIREMESH PADA PANEL MORTAR GEOPOLYMER SEBAGAI  
PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**HARI ANGGARA**

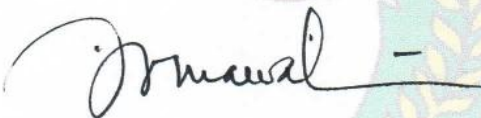
**D011 18 1009**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 September 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

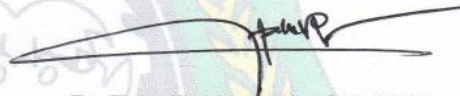
menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

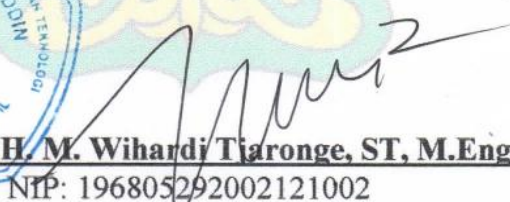


**Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT**  
NIP: 197206192000122001



**Dr.Eng. Fakhruddin, ST, M.Eng**  
NIP: 198702282019031005

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tiaronge, ST, M.Eng**  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Hari Anggara, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Pengaruh Wiremesh Pada Panel Mortar Geopolimer sebagai Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang”**, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 12 Oktober 2022

Yang membuat  
pernyataan,



Hari Anggara  
NIM: D011 18 1009

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul **“PENGARUH WIREMESH PADA PANEL MORTAR GEOPOLIMER SEBAGAI PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG”** merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.** dan **Bapak Dr. Eng. Muhammad Akbar Caronge, S.T., M.Eng.**, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.

5. **Bapak Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.**, 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 **Rasbi** dan ibunda **Enni Hari** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Amma, Jay**, dan **Dinda** sebagai saudara dan teman seumur hidup yang selalu memberikan banyak warna dan dukungan dalam hidup penulis.
3. Paman **Ansar** dan tante **Harianti**, sebagai orangtua kedua saya selama saya berkuliah di teknik sipil sejak hari pertama.
4. **Innah, Radix, Fiqih dan Yusril** selaku rekan kerja dalam penelitian ini, yang selalu membantu dan menjadi teman berdiskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. **Candra, Ucil, Asmud**, sebagai sahabat penulis di dunia perkuliahan. Terima kasih untuk semua pengalaman baru paling menyenangkan yang diberikan selama penulis berkuliah di teknik sipil.
6. **Nadia, Fikri, Fiqih, Hikari**, sebagai rekan kerja di Laboratorium Struktur dan Bahan. Terima kasih untuk semua pengalaman kerja yang sangat berkesan selama penulis berkuliah di teknik sipil.
7. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur**, terkhusus **Wana, Yuyun, Fahmi, Kinah, dan Fitri**. Terima kasih karena telah

menjadi teman berdiskusi yang baik dan telah menghidupkan suasana mukim perkuatan serta membuat penulisan tugas akhir ini menjadi sangat menyenangkan.

8. Kanda **Teguh Priono, S.T.** yang selalu memberikan banyak ilmu dan pengetahuan baru, serta senantiasa memberikan dorongan kepada penulis untuk terus meningkatkan kualitas yang dimiliki penulis.
9. **SEMUT 2018** yang selalu menjadi penyemangat dan teman-teman terbaik penulis.
10. Saudara-saudari **TRANSISI 2019**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2018** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir nanti.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

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

Gowa, Agustus 2022

Penulis

## ABSTRAK

Salah satu aspek penting dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi adalah kekuatan dan stabilitas material konstruksi. Pada umumnya sebagian besar pembangunan gedung bertingkat tinggi menggunakan konstruksi beton. Balok sebagai salah satu komponen struktur yang menggunakan beton sebagai material penyusunnya, sering kali mengalami kegagalan yang menyebabkan struktur dikategorikan tidak aman. Hal tersebut diakibatkan salah satunya karena perubahan fungsi bangunan. Dalam dunia ketekniksipilan, dikenal istilah perkuatan (*strengthening*) sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas elemen struktur dalam menahan beban. Terdapat beberapa jenis perkuatan yang umum digunakan, antara lain *Fiber Reinforced Polimer* (FRP), plat baja eksternal, dan *Concrete Jacketing*. Namun, metode tersebut masih memiliki beberapa kekurangan. Oleh karena itu diusulkan metode perkuatan menggunakan panel mortar. Pada umumnya, mortar menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, namun penggunaan semen dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca di atmosfer. Oleh karena itu digunakan material *geopolymer* berupa *fly ash* sebagai alternatif pengganti semen untuk mengatasi masalah tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku geser serta pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer*. Perilaku geser didiskusikan berdasarkan perilaku beban-lendutan, beban maksimum, beban-regangan baja, dan beban-regangan beton. Tahapan penelitian terbagi atas dua yaitu pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* dan pengujian geser balok beton bertulang. Pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* menggunakan sampel kubus 50x50x50 mm, diuji pada umur 3, 7, dan 28 hari. Mortar *geopolymer* dibuat dengan bahan dasar *fly ash* serta aktivator berupa Natrium Hidroksida dan Natrium Silikat. Sementara itu, pengujian geser balok menggunakan sampel balok 150x300 mm dengan panjang 2300 mm sebanyak 3 buah yang terdiri dari balok kontrol, balok dengan perkuatan mortar *geopolymer*, serta balok dengan perkuatan mortar *geopolymer* disertai dengan *wiremesh* masing-masing sebanyak 1 buah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* disertai dengan penambahan *wiremesh* dapat meningkatkan beban maksimum dan kekakuan pada balok, serta mengubah perilaku balok menjadi lebih duktail. Dari mode kegagalan, balok yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* disertai dengan penambahan *wiremesh* mengalami kegagalan lentur.

**Kata kunci:** *Perkuatan, panel mortar, geopolymer, wiremesh.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Tujuan Penelitian .....	6
D. Manfaat Penelitian.....	6
E. Batasan Masalah .....	6
F. Sistematika Penulisan .....	7
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
A. Penelitian Terdahulu .....	9
B. Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang.....	13
C. Retak Pada Balok Beton Bertulang .....	19
D. Kegagalan Pada Balok Beton Bertulang.....	22
E. Mortar.....	23
F. Mortar <i>Geopolymer</i> .....	29
G. Panel Mortar <i>Geopolymer</i> .....	31
H. Material Penyusun Panel Mortar Geopolimer .....	32
I. Serat PVA .....	39
J. Wiremesh .....	40
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>42</b>
A. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	42
B. Bagan Alir Penelitian .....	42



C.	Alat dan Bahan Penelitian .....	43
C.1.	Pengujian kuat tekan mortar geopolymer .....	43
C.2.	Pengujian karakteristik mekanis mortar .....	44
C.3.	Pengujian karakteristik mekanis tulangan .....	44
C.4.	Pengujian karakteristik mekanis beton.....	45
C.5.	Pengujian geser balok .....	46
D.	Benda Uji .....	49
D.1.	Panel Mortar <i>Geopolymer</i> .....	49
D.2.	Pengujian Geser balok .....	56
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....		61
A.	Kuat Tekan Mortar <i>Geopolymer</i> .....	61
B.	Kuat Tarik Belah Mortar <i>Geopolymer</i> .....	63
C.	Karakteristik Mekanis Beton .....	64
D.	Karakteristik Mekanis Tulangan.....	66
E.	Pengujian Geser Balok.....	67
E.1	Hubungan Beban Lendutan.....	67
E.2	Beban Maksimum.....	71
E.3.	Hubungan Beban-Regangan .....	73
F.	Pola Retak dan Model Kegagalan .....	76
F.1.	Pola Retak dan Mode Kegagalan Balok CB.....	76
F.2.	Pola Retak dan Mode Kegagalan Balok GM-NW-200.....	78
F.3.	Pola Retak dan Mode Kegagalan Balok GM-W-200 .....	80
G.	Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimental .....	85
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....		92
A.	Kesimpulan .....	92
B.	Saran .....	93
DAFTAR PUSTAKA.....		94

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Modus kegagalan dan pola retak dari balok yang diuji.....	9
<b>Gambar 2.</b> Perkuatan gesar balok beton bertulang dengan HCPs .....	10
<b>Gambar 3.</b> Pola retak pada kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan HCPs serta CFRP dengan teknik <i>Near Surface Mounted</i> (NSM).....	12
<b>Gambar 4.</b> Balok perkuatan TRGM dengan angkur strip baja .....	13
<b>Gambar 5.</b> Setup pengujian lentur balok .....	13
<b>Gambar 6.</b> Perlawanan terhadap geseran sebelum penambahan panel perkuatan .....	15
<b>Gambar 7.</b> Perlawanan terhadap geseran setelah penambahan panel perkuatan .....	17
<b>Gambar 8.</b> Perlawanan terhadap geseran setelah penambahan panel perkuatan yang disertai dengan <i>wiremesh</i> .....	18
<b>Gambar 9.</b> Jenis retakan pada beton .....	20
<b>Gambar 10.</b> Diagram keruntuhan balok.....	23
<b>Gambar 11.</b> Ikatan polimerisasi pada <i>geopolymer</i> secara umum .....	29
<b>Gambar 12.</b> <i>Fly Ash</i> .....	33
<b>Gambar 13.</b> Natrium Hidroksida (NaOH).....	35
<b>Gambar 14.</b> Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).....	36
<b>Gambar 15.</b> <i>Superplasticizer polycarboxylate (Plastiment Vz)</i> .....	38
<b>Gambar 16.</b> Boraks .....	38
<b>Gambar 17.</b> <i>Polyvinyl Alcohol</i> .....	40
<b>Gambar 18.</b> <i>Wiremesh</i> .....	41
<b>Gambar 19.</b> Diagram alir pengujian kuat tekan mortar <i>geopolymer</i> .....	42
<b>Gambar 20.</b> Diagram alir pengujian geser balok beton bertulang .....	43
<b>Gambar 21.</b> Dimensi benda uji .....	44
<b>Gambar 22.</b> <i>Universal Testing Machine (UTM)</i> .....	45
<b>Gambar 23.</b> Dimensi benda uji .....	46
<b>Gambar 24.</b> <i>Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)</i> .....	46

<b>Gambar 25.</b> Alat ukur regangan baja tulangan .....	47
<b>Gambar 26.</b> Alat ukur regangan beton .....	47
<b>Gambar 27.</b> Alat uji pembebanan.....	48
<b>Gambar 28.</b> Komposisi mortar <i>geopolymer</i> .....	49
<b>Gambar 29.</b> Partikel <i>fly ash</i> hasil pengujian SEM .....	50
<b>Gambar 30.</b> NYCON-PVA RECS 15 .....	52
<b>Gambar 31.</b> Proses pembuatan bekisting panel mortar <i>geopolymer</i> .....	53
<b>Gambar 32.</b> Material yang digunakan.....	54
<b>Gambar 33.</b> Pencampuran material .....	54
<b>Gambar 34.</b> Pembuatan Panel mortar geopolimer .....	55
<b>Gambar 35.</b> Benda uji kubus dan silinder .....	56
<b>Gambar 36.</b> Dimensi benda uji balok .....	57
<b>Gambar 37.</b> Pabrikasi benda uji balok beton bertulang .....	58
<b>Gambar 38.</b> Pemasangan panel mortar <i>geopolymer</i> pada balok beton bertulang .....	58
<b>Gambar 39.</b> <i>Setup</i> benda uji .....	60
<b>Gambar 40.</b> Penimbangan benda uji .....	61
<b>Gambar 41.</b> Pengujian benda uji .....	61
<b>Gambar 42.</b> Kuat tekan mortar <i>geopolymer</i> .....	62
<b>Gambar 43.</b> Penimbangan benda uji .....	63
<b>Gambar 44.</b> Pengujian kuat Tarik belah .....	63
<b>Gambar 45.</b> Uji kuat tekan.....	65
<b>Gambar 46.</b> Hubungan beban-lendutan variasi .....	68
<b>Gambar 47.</b> Beban maksimum.....	72
<b>Gambar 48.</b> Hubungan beban-regangan tulangan tarik.....	73
<b>Gambar 49.</b> Hubungan beban-regangan tulangan geser .....	74
<b>Gambar 50.</b> Hubungan beban-regangan beton .....	75
<b>Gambar 51.</b> Pola retak pada balok kontrol (CB) .....	76
<b>Gambar 52.</b> Retak awal balok kontrol (CB) .....	77
<b>Gambar 53.</b> Retak awal daerah geser.....	77
<b>Gambar 54.</b> Lebar retak diagonal.....	78

<b>Gambar 55.</b> Retak utama pada balok CB.....	78
<b>Gambar 56.</b> Pola retak dan model kegagalan balok GM-NW-200 sebelum panel dilepas .....	78
<b>Gambar 57.</b> Pola retak dan model kegagalan balok GM-NW-200 setelah panel dilepas .....	79
<b>Gambar 58.</b> Retak awal pada balok GM-NW-200 .....	79
<b>Gambar 59.</b> Retak awal pada panel mortar <i>geopolymer</i> .....	80
<b>Gambar 60.</b> Kehancuran pada balok GM-NW-200 .....	80
<b>Gambar 61.</b> Pola retak dan model kegagalan balok GM-W-200 sebelum panel dilepas .....	81
<b>Gambar 62.</b> Pola retak dan model kegagalan balok GM-W-200 setelah panel dilepas .....	81
<b>Gambar 63.</b> Retak awal pada balok GM-W-200 .....	81
<b>Gambar 64.</b> Retak pada panel mortar <i>geopolymer</i> .....	83
<b>Gambar 65.</b> Bentang Geser Balok Beton Bertulang Setelah Panel dilepas .....	84
<b>Gambar 66.</b> <i>Concrete crushing</i> pada balok GM-W-200 .....	84

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Lebar retak maksimum yang diizinkan (ACI 224R-01) .....	22
<b>Tabel 2.</b> Persyaratan spesifikasi proporsi mortar .....	27
<b>Tabel 3.</b> Persyaratan spesifikasi sifat mortar .....	28
<b>Tabel 4.</b> Karakter fisik PVA.....	39
<b>Tabel 5.</b> Komposisi kimia <i>fly ash</i> (persen terhadap berat) .....	49
<b>Tabel 6.</b> Klasifikasi <i>fly ash</i> berdasarkan ASTM C 618 [1] .....	50
<b>Tabel 7.</b> Properti dari PVA fiber .....	52
<b>Tabel 8.</b> Komposisi campuran mortar <i>geopolymer</i> .....	53
<b>Tabel 9.</b> Variasi benda uji balok.....	56
<b>Tabel 10.</b> Mix desain beton normal per m <sup>3</sup> .....	57
<b>Tabel 11.</b> Kuat tekan mortar <i>geopolymer</i> .....	62
<b>Tabel 12.</b> Hasil pengujian tarik belah mortar <i>geopolymer</i> pada umur 28 hari .....	64
<b>Tabel 13.</b> Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari .....	65
<b>Tabel 14.</b> Hasil pengujian kuat tarik baja .....	66
<b>Tabel 15.</b> Rekapitulasi hubungan beban-lendutan.....	69
<b>Tabel 16.</b> Kontribusi kapasitas geser balok beton bertulang.....	72
<b>Tabel 17.</b> Rekapitulasi perbandingan kapasitas hasil eksperimen dan analitis .....	90

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Pembangunan infrastruktur gedung bertingkat tinggi di Indonesia telah berkembang sangat pesat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk. Hal ini merupakan suatu solusi permasalahan keterbatasan ruang akibat kepadatan penduduk di daerah perkotaan. Salah satu aspek penting dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi adalah kekuatan dan stabilitas material konstruksi. Pada umumnya sebagian besar pembangunan gedung bertingkat tinggi menggunakan konstruksi beton. Menurut Harrer (2017) beton telah menjadi material komposit yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi modern. Penggunaan beton sebagai material konstruksi mulai meningkat setelah beton bertulang (*reinforced concrete*) dikembangkan pada abad ke-19.

Beton bertulang merupakan material yang sebagian besar digunakan pada konstruksi bangunan, baik besar maupun kecil. Beton bertulang terdiri dari campuran beton yang dikombinasikan dengan tulangan baja, dimana beton berfungsi menahan gaya tekan yang diakibatkan oleh beban yang diberikan sedangkan tulangan baja berfungsi untuk menahan gaya tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Balok sebagai salah satu komponen struktur yang menggunakan beton bertulang sebagai material penyusunnya, sering kali mengalami kegagalan yang menyebabkan struktur dikategorikan tidak aman. Hal tersebut diakibatkan

salah satunya karena perubahan fungsi bangunan. Berdasarkan hal tersebut diperlukan evaluasi kekuatan struktur bangunan sehingga dapat menentukan perlakuan yang dapat diberikan pada elemen struktur bangunan yang mengalami kegagalan.

Dalam dunia ketekniksipilan, salah satu bentuk kemajuan teknologi bahan konstruksi saat ini adalah metode perkuatan struktur (*strengthening*). Metode perkuatan merupakan salah satu upaya penanggulangan yang relevan untuk meningkatkan kinerja struktur beton bertulang eksisting agar memenuhi persyaratan standar. Dalam penerapannya, perkuatan pada elemen struktur diaplikasikan baik pada struktur baru maupun struktur lama. Perkuatan pada struktur baru, diaplikasikan ketika terjadi kegagalan desain, atau mutu yang tidak tercapai selama konstruksi. Sementara pada struktur lama, perkuatan diaplikasikan pada elemen struktur yang terpengaruh oleh kondisi lingkungan, umur bangunan, perubahan fungsi bangunan maupun perubahan standarisasi. Perkuatan diperlukan apabila terjadi kerusakan yang menyebabkan degradasi sehingga mengakibatkan tidak terpenuhinya persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik seperti kekuatan, kekakuan, dan daktilitas, kestabilan serta ketahanan terhadap kinerja tertentu (Triwiyono, 1998).

Terdapat beberapa tipe perkuatan yang sering digunakan, salah satunya yaitu metode pelat baja eksternal terikat. Metode ini telah terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan struktural, namun kelemahannya adalah ketahanan terhadap korosi dan api. Metode terkenal

lainnya yaitu penggunaan *Fiber Reinforced Polimer (FRP)*. FRP memiliki banyak kelebihan yaitu rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, mudah diaplikasikan, ketahanan korosi yang memadai dan meminimalkan perubahan geometri (bentuk). Namun, meskipun memiliki banyak kelebihan FRP tidak banyak digunakan. Hal ini dikarenakan resin organik (epoksi) yang digunakan untuk mengikat seratnya memiliki ketahanan yang buruk terhadap paparan suhu tinggi, pengaplikasian yang tidak efisien di lingkungan yang lembab, ketidakcocokan dengan substrat beton, serta kemungkinan kegagalan mendadak tanpa peringatan. Metode perkuatan terkenal lainnya adalah *Concrete Jacketing*. Metode ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain mampu meningkatkan daktilitas dan kekuatan struktur (kapasitas aksial, kapasitas lentur, dan kemampuan geser). Adapun kurangan dari metode ini yaitu adanya penambahan beban akibat penambahan volume beton dan tulangan, selain itu jika penempatan *concrete jacketing* ini tidak diperhatikan dengan baik maka dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata. Oleh karena itu, diperlukan metode perkuatan baru yang dapat menutupi kekurangan yang telah ada, yaitu penggunaan panel mortar *geopolymer*.

Mortar pada umumnya menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama. Namun penggunaan efek industri semen ini dapat menghasilkan gas CO<sub>2</sub> yang dikenal emisi gas rumah kaca. Menurut Malhotra, V.M., (2002), produksi satu ton semen membebaskan sekitar satu ton CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Pada tahun 2016, produksi semen dunia



menghasilkan sekitar 2,2 miliar ton CO<sub>2</sub>, setara dengan kontribusi sekitar 8% terhadap emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dunia (Rodgers, L., 2018). Oleh karena itu diperlukan alternatif lain yang dapat menggantikan semen sebagai bahan pengikat.

Beton tanpa semen atau beton *geopolymer* merupakan beton geosintetik yang reaksi pengikatannya terjadi melalui reaksi polimerisasi dan bukan melalui reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional (Davidovits, 2005). *Geopolymer* sendiri pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits, dan digambarkan sebagai material non-semen yang dibuat dari aluminosilikat pengaktif alkali termasuk limbah industri (abu terbang, terak tanur sembur) atau metakaolin pada suhu kalsinasi rendah. Salah satu jenis *geopolymer* yaitu berasal dari bahan utama limbah industri *fly ash* yang kaya dengan unsur Alumina (Al) dan Silika (Si). Fly ash merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Studi tentang penggunaan *geopolymer* telah diperluas ke berbagai pengaplikasian pada elemen struktur yakni pada beton bertulang, kolom, kolom tabung baja isi beton (CFT), panel dinding beton bertulang, slab dan bantalan rel kereta api pracetak. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan mengeksplorasi penggunaan mortar *geopolymer* sebagai teknik perkuatan geser pada balok dengan menggunakan panel mortar *geopolymer* yang diangkur atau *anchored geopolymer mortar (GM) panel* dengan tambahan serat PVA (*Poly-Vinyl Alcohol*) dan juga *wiremesh*.

Pada dasarnya, balok beton bertulang memiliki dua kapasitas geser yaitu kapasitas geser oleh beton ( $V_c$ ) dan kapasitas geser akibat adanya tulangan geser/sengkang ( $V_s$ ). Sehingga apabila balok diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* yang disertai dengan penambahan serat PVA, maka kapasitas geser balok akan meningkat dengan adanya penambahan kapasitas geser oleh panel ( $V_p$ ). Selain itu, penambahan *wiremesh* pada panel mortar *geopolymer* juga berpotensi besar dapat meningkatkan kapasitas geser balok akibat adanya penambahan kapasitas geser oleh *wiremesh* ( $V_w$ ). Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan kapasitas geser dari balok yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* disertai dengan penambahan *wiremesh* dan tanpa *wiremesh*.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penting untuk dilakukan penelitian secara eksperimental yaitu **“PENGARUH WIREMESH PADA PANEL MORTAR GEOPOLYMER SEBAGAI PERKUATAN GESER BALOK BETON BERTULANG”**

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku penambahan *wiremesh* pada panel mortar *geopolymer* sebagai media perkuatan geser balok beton bertulang.
2. Bagaimana pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* dengan penambahan *wiremesh* dan tanpa *wiremesh*.

### C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis perilaku penambahan *wiremesh* pada panel mortar *geopolymer* sebagai media perkuatan geser balok beton bertulang.
2. Menganalisis pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* dengan penambahan *wiremesh* dan tanpa *wiremesh*.

### D. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan memberi sejumlah manfaat sebagai berikut:

1. *Fly ash* merupakan limbah *by product* yang terus mengalami peningkatan kuantitas untuk memenuhi kebutuhan industri. Disaat yang sama, penggunaan semen berdampak pada kerusakan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberi solusi dalam upaya pencegahan kerusakan lingkungan dan khususnya industri beton agar menjadi acuan dalam perencanaan beton ramah lingkungan berbasis *fly ash*.
2. Menjadi bahan referensi bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan beton ramah lingkungan (*Green Concrete*) berbasis *fly ash*.

### E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Percobaan dilakukan terhadap benda uji Balok Beton Bertulang yang diperkuat dengan panel mortar *geopolymer* disertai dengan penambahan *wiremesh* 5 mm dan tanpa *wiremesh*.
2. Panel mortar geopolimer diproduksi dengan mencampurkan *fly ash*, pasir, NaOH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, *superplasticizer*, dan boraks.
3. *Fly Ash* kelas C sebagai pengganti semen berasal dari PLTU Bosowa, Jeneponto, Sulawesi Selatan, Indonesia.
4. Pengujian kuat tekan mortar *geopolymer* berdasarkan penambahan serat PVA pada umur 3, 7, dan 28 hari.
5. Benda uji diberi beban lentur dengan beban dua titik secara monotonik menggunakan alat uji statik dengan kapasitas 1500 kN.
6. Pembebanan hingga benda uji mengalami keretakan pada beban maksimum.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Agar tulisan ini lebih terarah, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bab ini, Pokok-Pokok bahasan dalam bab ini adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

## BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pengujian karakteristik mortar *geopolymer* dan pengujian geser balok.

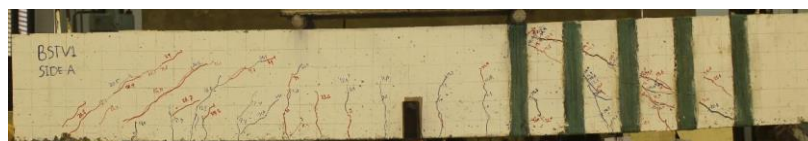
## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

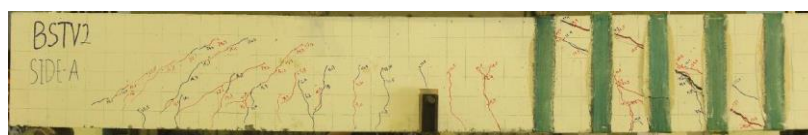
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

T. Saidi (2020) melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah lapisan serat abaka sebagai bahan FRP alami untuk perkuatan geser balok beton bertulang. Dua balok diperkuat geser yang terikat secara eksternal dengan jumlah lapisan NFRP yang berbeda dan juga balok kontrol disiapkan. Pengujian dilakukan dengan menerapkan dua beban aksial pada balok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan satu lapisan dan dua lapisan komposit serat abaca sebagai bahan NFRP untuk balok yang diperkuat geser meningkat 9,78% dan 9,92% beban maksimum. Bahan NFRP komposit serat abaca berkontribusi masing-masing 11% dan 18,57% dari total beban geser maksimum untuk laminasi satu lapisan dan dua lapis masing-masing. Selain itu, perkuatan geser balok yang terikat secara eksternal mempengaruhi pola retak dan nilai defleksi.



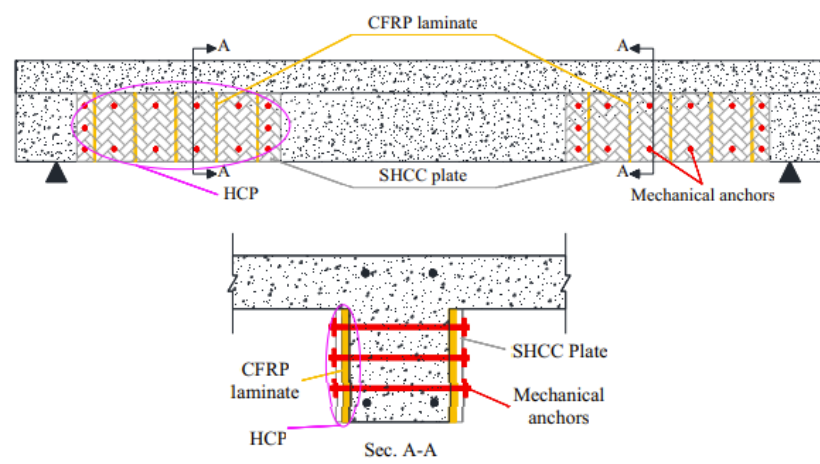
(a) 1 Lapis NFRP



(b) 2 Lapis NFRP

**Gambar 1.** Modus kegagalan dan pola retak dari balok yang diuji

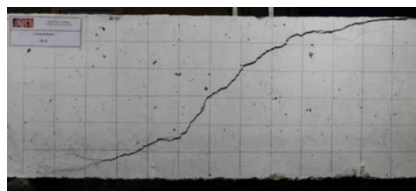
H. Bahgi dkk (2016) melakukan penelitian terdahulu tentang efisiensi dari Pelat Komposit Hibrida (HCPs) dalam meningkatkan kekuatan geser dan kekakuan balok beton bertulang. HCP sendiri adalah pelat tipis yang berasal dari penguatan regangan komposit semen (SHCC) yang diperkuat dengan laminasi *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan diterapkan pada sisi balok beton bertulang sesuai dengan *teknik Near Surface Mounted* (NSM).



**Gambar 2.** Perkuatan geser balok beton bertulang dengan HCPs

Dikarenakan kondisi ikatan yang terjadi antara laminasi SHCC dan CFRP sangat baik, maka perkuatan ini memberikan kapasitas kuat tarik yang diperlukan untuk HCP. Pengujian terhadap efisiensi HCP sebagai metode perkuatan geser, dilakukan pengujian terhadap total 17 balok RC. tujuh balok uji memiliki penampang berbentuk persegi panjang dan 10 balok uji lainnya memiliki penampang T. Pengaruh presentasi dan kemiringan laminasi CFRP terhadap efektifitas perkuatan geser HCP juga diselidiki. dalam penelitian ini, lakukan 2 metode pengaplikasian HCP pada balok

beton, yaitu : (1) menggunakan perekat berupa epoksi; dan (2) menggunakan angkur mekanik sebagai tambahan pada perekat epoksi. Hal ini menunjukkan bahwa ketika hanya perekat epoksi yang digunakan, kontribusi penguatan geser HCPs dibatasi oleh kekuatan tarik substrat beton dari balok yang diperkuat. Ketika angkur mekanik diterapkan selain perekat epoksi, potensi penguatan geser HCPs sepenuhnya dimobilisasi. Kapasitas beban maksimum balok yang diperkuat dengan HCPs adalah 105% dan 157% lebih tinggi dari yang sesuai balok penampang persegi panjang dan T, masing-masing, tanpa setiap penguatan geser (balok kontrol). Selain itu, hasil yang diperoleh menunjukkan efisiensi HCPs untuk geser memperbaiki balok beton bertulang yang rusak. Beban yang membawa kapasitas balok yang rusak diperkuat dengan teknik HCPs adalah 96% dari kapasitas balok yang tidak rusak diperkuat dengan HCPs yang identik.



(a) Pola retak pada kegagalan balok R-C-R

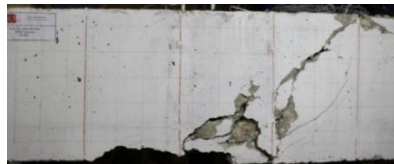


(b) Pola retak pada kegagalan balok R-75-R

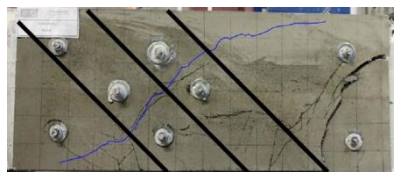




(c) Pola retak pada kegagalan balok R-SP



(d) Pola retak pada kegagalan balok R-NSM-4L 90

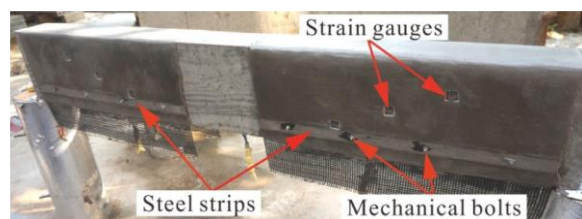


(e) Pola retak pada kegagalan pada permukaan lateral balok R-D-3L45-B

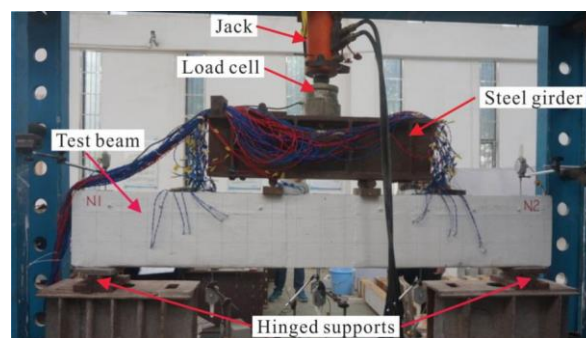
**Gambar 3.** Pola retak pada kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan HCPs serta CFRP dengan teknik *Near Surface Mounted* (NSM).

Hai Yan Zhang dkk (2019) melakukan penelitian tentang perilaku mekanik perkuatan geser balok beton dengan mortar *Geopolymer* perkuatan tekstil (*textile reinforced geopolymer mortar/TRGM*). Penelitian ini memperlihatkan hasil pengujian beban statik pada sepuluh balok beton bertulang, yang terdiri atas delapan balok perkuatan geser dengan mortar *Geopolymer* perkuatan tekstil, satu balok perkuatan geser dengan tekstil dan resin *epoxy*, dan satu balok tanpa perkuatan. Data dari hasil pengujian menunjukkan peningkatan kapasitas geser pada satu dan dua lapisan dari perkuatan TRGM dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan masing-masing 47% dan 106%. Selain itu, kapasitas geser dapat meningkat 15-

21% ketika angkur strip baja digabungkan. TRGM sangat dipercaya sebagai solusi dalam retrofit dan perkuatan beton bertulang, karena sangat tahan terhadap api, tahan terhadap korosi, dan tahan cuaca yang baik. Gambar 3a menunjukkan balok perkuatan TRGM dengan angkur strip baja dan Gambar 3b menunjukkan *setup* pengujian lentur balok.



**Gambar 4.** Balok perkuatan TRGM dengan angkur strip baja



**Gambar 5.** Setup pengujian lentur balok

## **B. Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang**

### **a) Kapasitas Geser Sebelum Penambahan Panel Perkuatan**

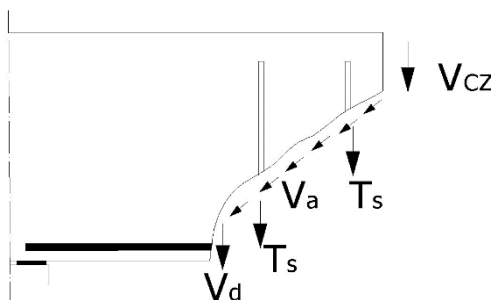
Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, umumnya kerusakan terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Pada bentang geser yang lebih pendek, kerusakan timbul akibat kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah, sedangkan untuk balok tanpa tulangan geser

dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal. Terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan geser merupakan peringatan awal kerusakan geser.

Retak miring akibat geser di badan balok bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan sebagai retak geser badan. Retak miring yang terjadi sebagai proses kelanjutan dari retak lentur yang timbul sebelumnya dinamakan sebagai retak geser lentur. Retak jenis terakhir ini dapat dijumpai pada balok beton bertulang biasa maupun prategang. Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung melambat dimulai dari tepi masuk ke dalam balok dengan arah hampir tegak lurus. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai terjadinya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser di ujung salah satu rekatan terdalam, yang terjadi tegangan geser cukup besar dan mengakibatkan terjadinya retak miring. Tulangan baja pada balok beton bertulang lentur arah memanjang bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat, tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen lentur di dalam balok letaknya tidak berada pada tempat terjadinya tegangan tarik diagonal, sehingga diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan

tarik diagonal tersebut di tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994). Menurut Vis dan Kusuma (1995), pergeseran beton ditahan oleh:

- 1). Aksi pasak oleh tulangan memanjang ( $V_d$ )
- 2). Komponen vertikal gaya geser yang terdapat pada retak miring akibat permukaan retakan yang tidak teratur (menghindari butiran – butiran kerikil). Gaya geser ( $V_a$ ) pada retak miring disebut “*interlocking*”
- 3). Komponen vertical gaya geser pada daerah tekan yang belum retak ( $V_{cz}$ ).
- 4). Gaya ( $T_s$ ) yang terdapat dalam tulangan geser



**Gambar 6.** Perlawanan terhadap geseran sebelum penambahan panel perkuatan

Perencanaan penulangan geser menurut SNI 2847:2019

menggunakan persamaan:

$$\phi V_n \geq V_u \text{ atau } V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$V_u$  = gaya geser berfaktor (kN),

$V_c$  = kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton (kN),

$V_s$  = kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN),

$V_n$  = kekuatan geser nominal (kN),

$\phi$  = faktor reduksi.

Untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja menggunakan persamaan:

$$V_n = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2)$$

Untuk gaya geser yang disumbangkan oleh sengkang vertikal ( $V_s$ ) menggunakan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana,

$s$  = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok penampang (mm)

$f_y$  = Kuat leleh tulangan geser (MPa).

Tetapi kuat geser  $V_s$  tidak boleh diambil lebih dari nilai

$$V_s = \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{f'_c} b_w d \dots\dots\dots(4)$$

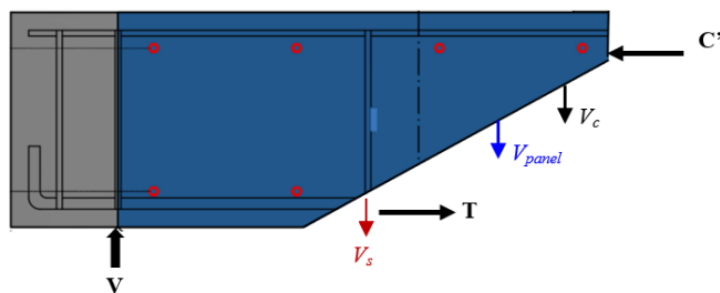
Untuk jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi  $d/2$  untuk struktur non-prategang dan  $(3/4) h$  untuk komponen struktur prategang, atau 600 mm. Ketentuan tulangan geser minimum dapat diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian bahwa komponen struktur tersebut mampu mengembangkan kuat lentur dan geser nominal yang diperlukan tanpa adanya tulangan geser.

Bila hasil analisa diperlukan tulangan geser, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur nonprategang harus dihitung dengan persamaan dibawah.

$$A_v = \frac{75\sqrt{f'c} b_w d}{(1200)f_y} \dots\dots\dots(5)$$

Tetapi  $A_v$  tidak boleh kurang dari  $\frac{1 b_w s}{3 f_y}$ , dengan  $b_w$  dan  $s$  dinyatakan dalam millimeter.

### b) Kapasitas Geser Setelah Penambahan Panel Perkuatan



**Gambar 7.** Perlawanan terhadap geseran setelah penambahan panel perkuatan

Dengan adanya penambahan panel perkuatan, kontribusi dari kapasitas geser yang disumbangkan oleh panel perkuatan tersebut perlu diperhitungkan. Sehingga, persamaan (6) dapat ditulis menjadi

$$\phi V_n \geq V_u \text{ atau } V_n = V_c + V_s + V_p \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

$V_u$  = gaya geser berfaktor (kN),

$V_c$  = kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton (kN),

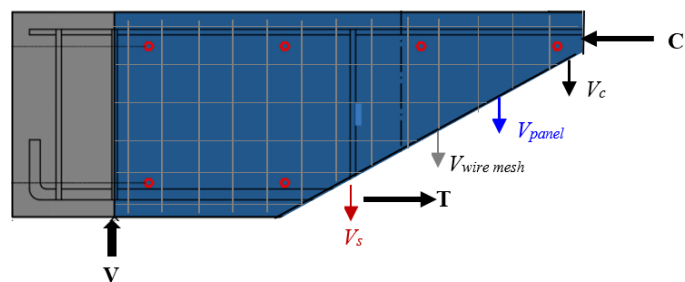
$V_s$  = kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN),

$V_p$  = Kekuatan geser yang disumbangkan oleh Panel Perkuatan (kN)

$V_n$  = kekuatan geser nominal (kN),

$\phi$  = faktor reduksi.

**c) Kapasitas Geser Setelah Penambahan Panel Perkuatan Disertai Dengan Wiremesh**



**Gambar 8.** Perlawanan terhadap geseran setelah penambahan panel perkuatan yang disertai dengan *wiremesh*

Dengan adanya penambahan panel perkuatan yang disertai dengan *wiremesh*, kontribusi dari kapasitas geser yang disumbangkan oleh panel perkuatan tersebut perlu diperhitungkan. Sehingga, persamaan (7) dapat ditulis menjadi:

$$\phi V_n \geq V_u \text{ atau } V_n = V_c + V_s + V_p + V_w \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

$V_u$  = gaya geser berfaktor (kN),

$V_c$  = kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton (kN),

$V_s$  = kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN),

$V_p$  = Kekuatan geser yang disumbangkan oleh Panel Perkuatan (kN)

$V_w$  = Kekuatan geser yang disumbangkan oleh Wiremesh (kN)

$V_n$  = kekuatan geser nominal (kN),

$\phi$  = faktor reduksi.

### C. Retak Pada Balok Beton Bertulang

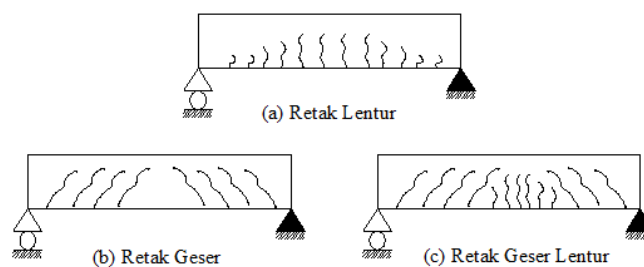
Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan. Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok (lihat Gambar 9(a)). Retak lentur adalah retak vertikal yang memanjang dari sisi tarik balok dan mengarah ke atas sampai daerah sumbu netralnya. Jika balok memiliki web yang sangat tinggi, jarak retak akan sangat dekat, dengan sebagian retak terjadi bersamaan sampai di atas tulangan, dan sebagian lagi tidak sampai ke tulangan. Retak ini akan lebih lebar di pertengahan balok daripada di bagian dasarnya.
2. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang di mana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil (lihat Gambar 9(b)). Retak miring dapat disebabkan karena gaya geser yang dapat terjadi pada bagian web balok beton bertulang baik sebagai retak bebas atau perpanjangan dari retak lentur. Retak geser web kadang-kadang dapat



terjadi pada web-web penampang prategang, terutama dapat terjadi pada penampang dengan flens yang besar dan web yang tipis.

3. Retak geser-lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi kerekatan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dan retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya (lihat Gambar 9(c)).



**Gambar 9.** Jenis retakan pada beton

Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari *modulus of rupture* beton  $f_r = 0,70 \sqrt{f_c}$ . Apabila beban ditambah sehingga tegangan tarik mencapai  $f_r$ , maka retak kecil akan terjadi. Apabila tegangan tarik sudah lebih besar dari  $f_r$ , maka penampang akan retak.

Ada tiga kasus yang dipertimbangkan dalam masalah retak yaitu:

- a) Ketika tegangan tarik  $f_t < f_r$ , maka penampang dipertimbangkan untuk tidak terjadi retak. Untuk kasus ini  $I_g = \frac{1}{12} b \cdot h^3$ .
- b) Ketika tegangan tarik  $f_t = f_r$ , maka retak mulai timbul. Momen yang timbul disebut momen retak dan dihitung sebagai berikut:

$$M_{cr} = f_r \frac{I_g}{c}, \text{ dimana } c = \frac{h}{2}$$

- c) Apabila momen yang bekerja sudah lebih besar dari momen retak, maka retak penampang sudah meluas. Untuk perhitungan digunakan momen inersia retak ( $I_{cr}$ ), transformasi balok beton yang tertekan, transformasi dan tulangan  $n.A_s$ .

Beton bertulang akan mengalami retak yang disebabkan oleh kekuatan tarik beton yang cukup rendah. Retak tidak dapat dicegah dan dihindari namun dapat dibatasi ukurannya dengan menyebar atau mendistribusikan tulangan pada beton. Nilai lebar retak maksimum yang dapat diterima sangat bervariasi yaitu dari sekitar 0,004 sampai 0,016 dan nilai ini sangat tergantung pada lokasi terjadinya retak, jenis struktur, tekstur permukaan beton, iluminasi, dan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi terjadinya retak pada balok beton bertulang.

Komite ACI 224, dalam laporannya tentang retak memperlihatkan sejumlah perkiraan lebar retak maksimum yang dapat diizinkan untuk batang beton bertulang dalam berbagai situasi dan kondisi yang terjadi seperti pada beton bertulang yang bersentuhan dengan udara kering, udara lembab, tanah, larutan bahan kimia, air laut, dan percikan air laut serta digunakan pada struktur penahan air. Tabel 1 (Jack C. Mc Cormac, 2004) memperlihatkan lebar retak maksimum yang dapat diizinkan berdasarkan lebar retak yang ditentukan oleh Komite ACI 224 dalam berbagai situasi dan kondisi yang ada diantaranya udara kering, udara lembab, air laut maupun percikan air laut dan lain-lain.

**Tabel 1.** Lebar retak maksimum yang diizinkan (ACI 224R-01)

Kondisi Paparan Balok	Lebar Retak	
	In	mm
Udara kering atau membran pelindung	0.016	0,41
Kelembaban, udara lembab, tanah	0.012	0.30
Larutan bahan kimia	0.007	0.18
Air laut dan percikan air laut	0.006	0.15
Struktur penahan air	0.004	0.10

#### D. Kegagalan Pada Balok Beton Bertulang

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya beton bertulang. Ada tiga kemungkinan yang biasa terjadi penyebab kegagalan balok beton bertulang (Nawy, Edward G., 2010):

##### 1) Kondisi *Balanced Reinforced*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan.

Kondisi regangan:  $\varepsilon_c = 0.003$  dan  $\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$

Pada kondisi ini berlaku:  $\rho = \rho_{balance}$  dan  $\varepsilon_s = \varepsilon_c$

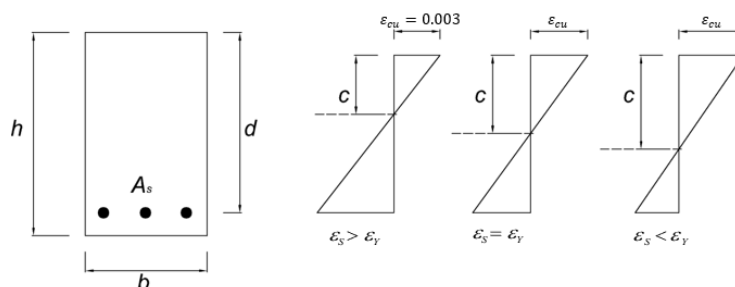
##### 2) Kondisi *Over-Reinforced*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya penampang beton terlebih dahulu sebelum baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku:  $\rho > \rho_{balance}$  dan  $\varepsilon_s < \varepsilon_c$

### 3) Kondisi *Under-Reinforced*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya. Pada kondisi ini berlaku:  $\rho < 75\% \rho_{balance}$  dan  $\epsilon_s > \epsilon_c$ . Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi *under-reinforced*.



**Gambar 10.** Diagram keruntuhan balok

## E. Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland), dan air dengan komposisi tertentu. Mortar yang baik harus mempunyai sifat seperti murah, tahan lama (awet), mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang dan diratakan), melekat baik dengan pasangan batu, cepat kering dan mengeras, tahan terhadap rembesan air, serta tidak timbul retak-retak setelah dipasang (Tjokrodimuljo, 1996).

Menurut ASTM C270, tujuan utama dari mortar dalam pasangan adalah untuk mengikat unit-unit pasangan menjadi satu kesatuan agar

bekerja sebagai elemen integral yang memiliki karakteristik kinerja fungsional yang diinginkan. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halus. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil.

Mortar ditinjau dari bahan pembentuknya dapat dibedakan menjadi empat tipe, yaitu: mortar lumpur (*mud mortar*), mortar kapur, mortar semen, dan mortar khusus. Selanjutnya tipe-tipe mortar tersebut diuraikan sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 1996 dalam Veliyati, 2010):

- a. Mortar lumpur adalah mortar dibuat dari campuran pasir, tanah liat/lumpur dan air. Pasir, tanah liat dan air tersebut dicampur sampai rata dan mempunyai konsistensi yang cukup baik. Jumlah pasir harus diberikan secara tepat untuk memperoleh adukan yang baik. Terlalu sedikit pasir menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras sebagai akibat besarnya susutan pengeringan dan juga dapat menyebabkan adukan kurang dapat melekat. Mortar ini biasa dipakai sebagai bahan tembok atau bahan tungku api.
- b. Mortar kapur, dibuat dari campuran pasir, kapur dan air. Kapur dan pasir mula-mula dicampur dalam keadaan kering, kemudian ditambahkan air. Air ditambahkan secukupnya agar diperoleh adukan yang cukup baik (mempunyai konsistensi baik). Selama proses pengerasan kapur mengalami susutan, sehingga jumlah pasir dipakai dua kali atau tiga kali volume kapur. Mortar ini biasanya digunakan untuk pembuatan tembok bata.

- c. Mortar semen, dibuat dari campuran pasir, semen portland, dan air dalam perbandingan campuran yang tepat. Perbandingan antara volume semen dan volume pasir antara 1:3 hingga 1:6 atau lebih besar. Mortar ini kekuatannya lebih besar daripada mortar lumpur dan mortar kapur, karena mortar ini biasanya dipakai untuk tembok, pilar kolom atau bagian lain yang menahan beban. Karena mortar ini kedap air, maka dapat dipakai pula untuk bagian luar dan bagian yang berada di bawah tanah. Semen dan pasir mula-mula dicampur secara kering sampai merata di atas tempat yang rata dan kedap air. Kemudian sebagian air yang diperlukan ditambahkan dan diaduk kembali, begitu seterusnya sampai air yang diperlukan tercampur sempurna.
- d. Mortar khusus, yang mana dibuat dengan menambahkan *asbestos*, *fibers*, *jute fibers* (serat rami), butir-butir kayu, serbuk gergaji kayu dan sebagainya. Mortar ini digunakan untuk bahan isolasi panas atau peredam suara. Mortar tahan api, diperoleh dengan menambahkan bubuk bata api dengan *aluminuos* semen, dengan membandingkan volume satu aluminous semen dan bubuk bata api. Mortar ini biasa dipakai untuk tungku api dan sebagainya.

Berdasarkan ASTM C270 (SNI 6882:2014), *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry* (Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Unit Pasangan Bata), mortar untuk adukan pasangan dapat dibedakan atas 5 tipe, yaitu:

a. Mortar tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar. Kuat tekan minimumnya 17,2 MPa.

b. Mortar tipe S

Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar tipe S juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran pembuangan dan mainhole. kuat tekan minimumnya adalah 12,4 MPa.

c. Mortar tipe N

Tipe N merupakan mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, workabilitas, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa.

d. Mortar tipe O

Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh. Mortar tipe ini sering digunakan untuk pekerjaan setempat, memiliki workabilitas yang baik dan biaya yang ekonomis. Kuat tekan minimumnya adalah 2,4 MPa.

e. Mortar tipe K

Mortar tipe K memiliki kuat tekan dan kuat lekat lentur yang sangat rendah. Mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kapur. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa. Spesifikasi masing - masing tipe sesuai ASTM C270 diperlihatkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini:

**Tabel 2.** Persyaratan spesifikasi proporsi mortar

Mortar	Tipe	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)							Kapur Padam atau kapur Pasta	Rasio agregat (Pengukuran pada kondisi lembab atau gembur)
		Semen Portland/ semen campur	Semen Mortar			Semen Pasangan				
			M	S	N	M	S	N		
	M	1	...	...	...	...	...	...	1/4	
	S	1	...	...	...	...	...	...	> 1/4 sampai 1/2	
	N	1	...	...	...	...	...	...	> 1/2 sampai 1 1/4	



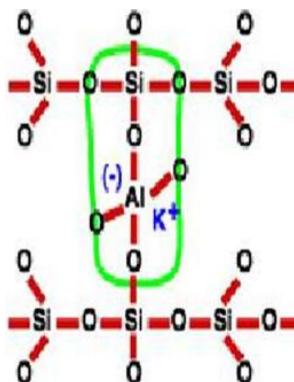
Semen Kapur	O	1	...	...	...	...	...	...	...	> 1 ¼ sampai 2 ½	Tidak kurang dari 2¼ dan tidak lebih dari 3 kali jumlah dari volume terpisah material sementisius
Semen Mortar	M	1	...	...	1	...	...	...	...		
	M	...	1	...	...	...	...	...	...		
	S	½	...	...	1	...	...	...	...		
	S	...	...	1	...	...	...	...	...		
	N	...	...	...	1	...	...	...	...		
	O	...	...	...	1	...	...	...	...		
Semen Pasangan	M	1	...	...	...	...	...	1			
	M	...	...	...	...	1	...	...			
	S	½	...	...	...	...	...	1			
	S	...	...	...	...	...	1	...			
	N	...	...	...	...	...	...	1			
	O	...	...	...	...	...	...	1			

**Tabel 3.** Persyaratan spesifikasi sifat mortar

Mortar	Tipe	Kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari, min, MPa (psi)	Retensi air, min, %	Kadar udara, maks, % <sup>B</sup>	Rasio agregat (diukur dalam kondisi lembab, lepas)
Semen-Kapur	M	17,2 (2 500)	75	12	Tidak kurang dari 2¼ dan tidak lebih dari 3½ jumlah dari volume terpisah material sementisius
	S	12,4 (1 800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14 <sup>C</sup>	
	O	2,4 (350)	75	14 <sup>C</sup>	
Semen Mortar	M	17,2 (2 500)	75	12	
	S	12,4 (1 800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14 <sup>C</sup>	
	O	2,4 (350)	75	14 <sup>C</sup>	
Semen Pasangan	M	17,2 (2 500)	75	18	
	S	12,4 (1 800)	75	18	
	N	5,2 (750)	75	20 <sup>D</sup>	
	O	2,4 (350)	75	20 <sup>D</sup>	

## F. Mortar *Geopolymer*

Pada penelitian ini, mortar sebagai material perbaikan dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan geopolimer sebagai bahan pengikatnya. Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Davidovits pada tahun 1978. Geopolimer merupakan senyawa anorganik alumino silikat yang disintesis dari bahan-bahan yang banyak mengandung Silikon dan Aluminium melalui proses polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini, Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi (Davidovits,1994). Proses polimerisasi adalah suatu reaksi kimia antara aluminosilika oksida ( $\text{Si}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan alkali *polysialate*. Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk tiga struktur dimensional dimana masing-masing terdiri dari bentuk ikatan-ikatan *polymeric Si-O-Al-O (Polysialate)*. Ikatan-ikatan tersebut dibagi dalam tiga jenis yaitu *Polysialate (Si-O-Al-O)*, *Polysialate-Siloxo (Si-O-Al-O-Si-O)* dan *Polysialate-Disiloxo (Si-O-Al-O-Si-O-Si-O)* (lihat Gambar 11) (Sugiri dkk., 2009). Salah satu parameter proses polimerisasi adalah reaktan yang digunakan, yaitu  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{NaOH}$ . (Fansuri dkk., 2008)



**Gambar 11.** Ikatan polimerisasi pada *geopolymer* secara umum

Secara umum, ada tiga peggolongan dalam sintesis geopolimer yaitu aluminosilikat sebagai bahan mentah (*raw material*), kaolin atau metakaolin sebagai filler, geopolimer liquor berupa alkali hidroksida untuk melarutkan alumina dan silika, serta natrium atau kalium silikat sebagai *binder/alkali activator/plasticizer*. Penambahan *filler* berupa kaolin atau metakaolin dilakukan bila laju pelarutan Al pada *raw material* tidak cukup untuk menghasilkan gel dengan komposisi yang diinginkan. (Komnitsas & Zaharaki, 2007)

Dalam konteks pengembangan proses berwawasan lingkungan, keunggulan geopolimer tidak hanya bertumpu pada konsumsi energi yang lebih rendah daripada OPC, tetapi juga pada fleksibilitas bahan baku yang sangat tinggi. Proses sintesis geopolimer praktis dapat memanfaatkan padatan aluminosilikat apapun, dari mineral alami, bahan sintetik, hingga limbah anorganik. Xu & van Deventer (2003) menggolongkan bahan-bahan baku aluminosilikat ini sebagai: (1) bahan-bahan terkalsinasi, misalnya metakaolin, abu layang, ampas peleburan logam (*slag*), dan sebagainya, serta (2) bahan-bahan tak terkalsinasi seperti mineral-mineral kaolinit, feldspar, limbah pengolahan bijih tambang (*tailing*), dan lain-lain.

Geopolimer dapat dikatakan ramah lingkungan karena menggunakan bahan-bahan yang berasal dari limbah industri dan proses pembuatannya tidak memerlukan energi yang banyak, tidak seperti semen yang pembuatannya memerlukan proses pembakaran hingga suhu 800°C. Geopolimer yang berfungsi sebagai binder dapat dibagi menjadi empat

yaitu: semen geopolimer berbahan dasar *slag*, semen geopolimer berbahan dasar *rock*, semen geopolimer berbahan dasar *fly ash* dan semen geopolimer berbahan dasar *ferro-sialate*. ((Davidovits, 2013)

Bahan dasar untuk pembuatan material geopolimer adalah bahan-bahan yang mengandung banyak unsur-unsur *silicon* (Si) dan aluminium (Al) (Hardjito, 2002). Salah satu bahan yang mengandung banyak unsur tersebut adalah *fly ash* yang merupakan abu sisa hasil pembakaran batu bara. *Fly ash* memiliki ukuran butiran yang hampir sama dengan semen sehingga *fly ash* dipilih sebagai bahan pengganti semen.

Dalam penggunaannya sebagai material perbaikan, mortar geopolimer mempunyai beberapa kelebihan diantaranya tahan terhadap serangan asam sulfat, mempunyai rangkai dan susut yang kecil, tahan terhadap reaksi alkali-silika, tahan terhadap api, dan dapat mengurangi polusi udara. Namun selain mempunyai banyak kelebihan, mortar geopolimer juga mempunyai kekurangan yaitu pembuatannya sedikit lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena jumlah material yang digunakan lebih banyak daripada beton konvensional, serta belum ada perhitungan *mix design* yang pasti. (Andoyo, 2006)

### **G. Panel Mortar Geopolymer**

Menurut Duxson dkk (2007), penggunaan beton geopolimer menyebabkan durabilitas beton akan terjaga sehingga memiliki durabilitas kerja jangka panjang, selain itu penggunaan teknologi ini bisa mengurangi CO<sub>2</sub> sekitar 80%. Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas

diperlukan adanya kajian lebih lanjut terhadap aplikasi pemanfaatan menjadi panel beton yang selain memiliki durabilitas yang baik, memiliki kekuatan yang tinggi dan juga ramah lingkungan. Panel dinding berbahan dasar abu terbang merupakan terobosan terbaru dalam teknologi konstruksi. Hardjito dkk (2004) menyebutkan keunggulan menggunakan *geopolymer* diantaranya kekerasan tinggi, ramah lingkungan, tidak menghasilkan gas karbon ( $\text{CO}_2$ ), tahan pada temperatur panas antara 600-800°C, tahan terhadap lingkungan asam, dan tidak memerlukan perawatan panas sehingga dapat mudah digunakan bagi masyarakat luas.

#### H. Material Penyusun Panel Mortar Geopolimer

Material penyusun mortar geopolimer yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash*, aktivator berupa Natrium Hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), *superplasticizer*, dan boraks.

##### 1. Fly Ash

Menurut SNI 03-6414-2002, *Fly ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap berbentuk halus, bundar, dan bersifat pozolanik. *Fly ash* tergolong dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dapat dilihat pada Gambar 9. Komposisi utama dari *fly ash* terdiri dari dari senyawa *silicate glass* yang mengandung silika (Si), Alumina (Al), Ferrum (Fe) dan Kalsium (Ca), juga terdapat magnesium (Mg), potassium (P), sodium (Na), sulfur (S), dan karbon(C) dalam jumlah yang sedikit.



**Gambar 12.** *Fly Ash*

*Fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus oksida silika yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan sodium hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. (Hardjito, 2001). Selain itu secara mekanik, butiran *fly ash* yang lebih halus daripada butiran semen ini akan mengisi ruang kosong (rongga) di antara butiran-butiran agregat halus.

*Fly ash* memiliki sifat pozzolan dengan kandungan silikat dan aluminat yang tinggi sehingga dapat bereaksi dengan air dan kapur padam serta dapat berubah menjadi massa padat yang tidak larut dalam air. (Tjokrodimulyo, 1996). *Fly ash* juga merupakan material ramah lingkungan karena merupakan hasil limbah industri dan tidak menghasilkan gas CO<sub>2</sub> yang dapat merusak atmosfer seperti halnya semen. Oleh karena itu, *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pemakaian semen, baik untuk adukan mortar maupun untuk campuran beton. Adapun kekurangan dari *fly ash* yaitu bersifat getas sehingga perlu penambahan serat untuk

meningkatkan daktilitas dan kapasitas struktur dalam memikul beban.

Klasifikasi *fly ash* menurut ASTM C618-93 yaitu:

a. Kelas C

*Fly ash* yang mengandung  $\text{CaO} > 10 \%$ , dihasilkan dari pembakaran batubara *lignite* atau sub bitumen. *Fly ash* tipe ini memiliki kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50 \%$ .

b. Kelas F

*Fly ash* yang mengandung  $\text{CaO} < 10 \%$ , dihasilkan dari pembakaran batubara *anthracite* atau bitumen. *Fly ash* tipe ini memiliki kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70 \%$ .

c. Kelas N

Pozzolan alam / pozzolan yang telah dikalsinasi atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chertz* dan *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, dapat diproses melalui pembakaran atau tidak. Selain itu juga berbagai hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Unsur utama dalam proses geopolimerisasi adalah Si dan Al. Oleh karena itu *fly ash* yang bisa digunakan sebagai campuran mortar geopolimer adalah *fly ash* yang memiliki kandungan CaO rendah serta kandungan Si dan Al lebih dari 50 %. Dari ketiga tipe *fly ash* di atas, yang memenuhi persyaratan tersebut adalah *fly ash* tipe C dan tipe F. *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* tipe C yang berasal dari PLTU Bosowa Jeneponto, Sulawesi Selatan.

## 2. Aktivator

Aktivator digunakan untuk mengaktifkan *fly ash* agar mempunyai sifat mengikat. Aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

### 1. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium Hidroksida atau biasa dikenal dengan soda api berfungsi sebagai aktivator dalam reaksi polimerisasi, bersifat basa kuat sebagai reaktan alkalin. Natrium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Natrium hidroksida yang dijual di pasaran berbentuk serbuk dengan kandungan natrium hidroksida 98%, maka dari itu perlu dijadikan larutan.



**Gambar 13.** Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan karena pada proses pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. Larutan natrium hidroksida dalam penelitian ini akan menggunakan molaritas 8M berdasarkan hasil penelitian yang



dilakukan oleh Ekaputri dkk (2013). Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya selama 24 jam sebelum pemakaian. (Hardjito,2004)

## 2. Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Natrium silikat merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang sering digunakan dalam industri kimia. Natrium Silikat atau *water glass* berperan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi pada *fly ash*. Campuran *fly ash* dengan natrium silikat jika diamati dalam ukuran mikroskopis, terlihat bahwa campuran *fly ash* dan natrium silikat membentuk ikatan yang sangat kuat namun terjadi banyak retakan (Andoyo,2006).



**Gambar 14.** Natrium Silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Natrium silikat tersedia dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan dimana untuk campuran beton lebih banyak digunakan dengan bentuk larutan. Natrium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya, Natrium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, *coating*, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industri, seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa Natrium silikat dapat digunakan untuk

bahan campuran dalam beton. (Hartono & Sutanto, 2005 (dalam Andoyo, 2006))

### 3. Superplasticizer

*Superplasticizer (high range water admixtures)* adalah bahan tambah (admixture) yang dapat meningkatkan kelecakan (*workability*) dari campuran. *Superplasticizer* terutama digunakan pada beton mutu tinggi karena dapat mengurangi air sampai 30%. *Superplasticizer* dapat 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 adalah *superplasticizer naphthalene*, *superplasticizer polycarboxylate*, dan *superplasticizer sodium glukonat*. *Superplasticizer naphthalene* cocok untuk cuaca panas, memiliki nilai slump yang baik, bisa digunakan untuk *ready mix* atau pekerjaan dengan jangka waktu panjang. *Superplasticizer sodium glukonat* memiliki kemampuan untuk mengurangi kadar air pada beton biasa, memperlambat *setting time* beton dan meningkatkan *workability*.

*Superplasticizer polycarboxylate* (PCE) adalah *superplasticizer* yang paling efektif. PCE mampu 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. *Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian adalah *Superplasticizer polycarboxylate (Plastiment Vz)*.



**Gambar 15.** *Superplasticizer polycarboxylate (Plastiment Vz)*

#### 4. Boraks

Boraks merupakan senyawa yang bisa digunakan sebagai salah satu aktivator atau senyawa tambahan dalam pembuatan mortar geopolimer. Boraks yang digunakan memiliki senyawa kimia *Sodium Tetraborate Pentahydrate* ( $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ ).



**Gambar 16.** Boraks

Boraks merupakan senyawa yang berbentuk kristal lunak yang apabila dilarutkan dalam air akan terurai menjadi natrium hidroksida dan asam borat. Perbandingan dari campuran boraks terhadap alkali aktivator

lainnya memberi pengaruh terhadap kekuatan mortar geopolimer yang dihasilkan. Boraks juga bisa digunakan untuk memperlambat *setting time* pada sebuah mortar geopolimer. (Mackenzie et al., 2005).

## I. Serat PVA

PVA (*Polyvinyl Alcohol*) merupakan salah satu polimer yang larut dalam air dan memiliki kemampuan membentuk serat yang baik, biokompatibel, memiliki ketahanan kimia, dan *biodegradable*. Pada penelitian (Shalumon, 2010), PVA dapat berinteraksi dengan natrium alginat melalui metode *electrospinning* membentuk komposit. Selain itu juga diketahui bahwa PVA dapat membentuk gel dengan berbagai pelarut. Pemanfaatan polimer hidrofilik seperti *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dan *Polyvinyl Pirrolidon* (PVP) sebagai bahan biomaterial menarik perhatian dikarenakan bersifat nonkarsinogenik dan memiliki biokompatibilitas yang tinggi. Tabel 4 menunjukkan karakter fisik dari PVA (*Polyvinyl Alcohol*) (Ogur, 2005)

**Tabel 4.** Karakter fisik PVA

Karakter	Nilai
Densitas	1.19-1.31 g/cm <sup>3</sup>
Titik leleh	180-240°C
Titik didih	228°C
Suhu penguraian	180°C

Adapun Serat *Polyvinyl Alcohol* (PVA) atau PVA fiber adalah jenis serat sintetis, yang terbuat dari bahan yang berkualitas tinggi. Serat PVA memiliki tingkat polimerisasi yang tinggi dan diproses khusus dengan teknologi canggih. Serat PVA juga memiliki kuat tarik yang tinggi, modulus

tinggi, elongasi rendah, ketahanan terhadap aus, asam, dan alkali, tahan cuaca yang baik, tidak beracun, tidak menimbulkan polusi dan tidak merusak kulit manusia, serta tidak berbahaya bagi tubuh manusia. Tujuan utama penambahan serat PVA pada mortar *geopolymer* adalah untuk mengurangi panjang dan lebar retak yang terjadi sehingga dapat meningkatkan daktilitas struktur.



**Gambar 17.** *Polyvinyl Alcohol*

#### **J. Wiremesh**

Wiremesh adalah suatu bahan penulangan baja yang terbuat dari kawat baja yang dilas dan memiliki jarak antar kawat yang seragam yang digunakan dalam perkuatan dalam beton (Sari, 2011). Menurut ACI 549.1R-93 kawat anyam yang digunakan untuk perkuatan memiliki persyaratan bersih dan bebas dari debu, karat lepas, lapisan cat, minyak, atau zat serupa. Desain kekuatan kawat anyam didasarkan pada kekuatan luluh  $f_y$  tetapi tidak boleh melebihi 100.000 psi (690 MPa). Tipe *wiremesh* dengan kabel berjarak dekat dengan bukaan persegi adalah penguatan yang paling umum digunakan seperti terlihat pada Gambar 18.



**Gambar 18.** *Wiremesh*

Andini dkk (2020) melakukan penelitian terkait panel dinding geopolimer dengan perkuatan wiremesh. Hasil uji kuat lentur pada panel dinding menunjukkan benda uji tanpa perkuatan sebesar 3,52 MPa dan nilai kuat lentur pada panel dengan perkuatan sebesar 4,28 MPa; Hasil analisa data yang dilakukan pada pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi peningkatan kuat lentur antara panel tanpa perkuatan terhadap panel menggunakan perkuatan sebesar 21,5%. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan wiremesh dapat menambah kuat lentur pada panel.

Sasongko (2016) melakukan penelitian mengenai kuat geser dinding panel dengan perkuatan *wiremesh*. Dari hasil pengujian laboratorium didapatkan kuat geser dinding panel tanpa perkuatan sebesar 1353,93kN/m<sup>2</sup>. Sedangkan dinding panel dengan perkuatan didapatkan sebesar 2286,67kN/m<sup>2</sup>. Kuat geser dinding panel dengan perkuatan mengalami peningkatan sebesar 1,68 kali lipat dari dinding panel tanpa perkuatan. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan wiremesh dapat menambah kuat geser pada panel.