

PANEL DINDING BETON GEOPOLIMER DENGAN PERKUATAN WIREMESH

Andini Pratiwi Putri¹, Iman Satyarno², Ashar Saputra³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
Email: andini.pratiwi.p@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan *fly ash* berbasis geopolimer sangat cocok untuk memperluas aplikasi pracetak khususnya panel dinding pada lingkungan asam sulfat. Panel berbahan abu terbang ini dapat dijadikan pertimbangan karena memiliki keunggulan diantaranya kekerasan tinggi, ramah lingkungan, tidak menghasilkan gas karbon (CO_2), tahan pada temperatur panas antara 600-800° C, tahan lingkungan asam, dan tidak memerlukan perawatan panas. Untuk pembuatan struktur panel pracetak menggunakan bahan pengisi berupa mortar berbahan geopolimer dengan komposisi NaOH 14 molar, rasio NaOH/ Na_2SiO_3 sebesar 1 :2, rasio alkaline : *fly ash* sebesar 35%, dan menggunakan variasi *wiremesh* sebagai perkuatan, dengan ukuran benda uji panel 800x400x40 mm. Hasil yang didapat kuat tekan umur 1 hari sebesar 11.27 MPa umur 28 hari 60,84 MPa, dengan nilai modulus 28 hari sebesar 13808 MPa. Pengujian kuat tarik 1 hari sebesar 1,02 MPa dan 28 hari sebesar 2,95 MPa Pengujian kuat lentur didapatkan 3,52 MPa tanpa perkuatan dan 4,52 dengan perkuatan.

Kata kunci: *Geopolymer, fly ash, dinding pracetak, panel, wiremesh, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik, kuat lentur*

ABSTRACT

Geopolymer-based fly ash development is perfect for expanding precast applications especially wall panels in sulfuric acid environments. Panels made of fly ash can be considered because it has the advantage of high hardness, environmentally friendly, does not produce carbon gas (CO_2), resistant to heat temperature between 600-800°C, resistant to acidic environment, and not require hot maintenance. To create the structure of precast panels using mortar filling material with geopolymer with composition NaOH 14 molar, ratio of NaOH/ Na_2SiO_3 is 1:2, ratio alkaline ratio: fly ash 35%, and use wiremesh variation, size of panel 800x400x40 mm. Results obtained compressive strength of 1 day 11,27 MPa, age 28 Days 60,84 MPa, modulus elasticity 28-day 13808 MPa. Result tensile strength 1-day 1,02 MPa and 28 days 2,95 MPa, flexural strength panel 3,52 MPa without wiremesh and 4,52 with wiremesh.

Keywords: *Geopolymer, fly ash, precast wall, panels, wiremesh, compressive strength, modulus elasticity, tensile strength, flexural strength*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan konstruksi karena memiliki karakteristik material yang handal dalam segi kekuatan, dan kemudahan dalam pekerjaannya. Akan tetapi untuk beton normal memiliki banyak kekurangan diantaranya durabilitas yang buruk pada lingkungan agresif asam sulfat, dan proses produksinya melepaskan gas CO_2 ke atmosfer sehingga dapat menimbulkan pemanasan global. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi polimerisasi mulai dikembangkan dan memberikan inovasi terbaru di dunia industri beton sebagai bahan alternatif pengganti beton. Penggunaan beton berbahan geopolimer juga dapat mengurangi dampak pemanasan global yang terjadi akibat pelepasan gas CO_2 .

Beton geopolimer merupakan material sintesa bahan-alam anorganik melalui proses polimerisasi dimana bahan utama dalam pembuatan

geopolimer adalah unsur silika dan aluminium yang direaksikan secara kimia dengan larutan alkali sehingga menghasilkan pasta geopolimer. Pasta geopolimer ini ketika digabungkan dengan agregat akan menghasilkan beton geopolimer (Hardjito dkk, 2002).

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_2 sekitar 80%.

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas diperlukan adanya penelitian 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 geopolimer merupakan inovasi terbaru dalam teknologi konstruksi. Hardjito dkk (2004) menyebutkan keunggulan menggunakan geopolimer diantaranya kekerasan tinggi, ramah lingkungan, tidak menghasilkan gas karbon (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.

Rajendran dan Nagan (2015) melakukan penelitian terkait pengaruh kekuatan tekan geopolimer terhadap variasi NaOH yang digunakan. Bahan penelitian menggunakan variasi NaOH 8M, 10M, 12M, 14M, rasio perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ dipertahankan 1:1. Dilakukan pengujian kuat tekan dengan benda uji kubus ukuran 50x50x50 mm dan umur pengujian 28 hari. Hasil didapatkan kuat tekan tertinggi dengan penggunaan NaOH 14M sebesar 60,02 MPa.

Cornelis, (2018) menjelaskan dalam penelitiannya menggunakan *fly ash* tipe C yang mengandung kalsium oksida yang tinggi sekitar 8-15% berat. Kalsium oksida ini berperan meningkatkan pengaturan waktu menjadi cepat. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan benda uji kubus ukuran 50x50x50 mm dengan konsentrasi 10 M NaOH, rasio natrium silikat : natrium hidroksida yaitu 2, rasio alkali : *fly ash* sebesar 35%, rasio volume pasta : volume rongga agregat halus 1,5 dan alkali untuk rasio *cementitious* (A) 0,35. Hasil penelitian menyebutkan nilai kuat tekan pada 28-hari yang dihasilkan sebesar 53,7 MPa.

Hardjito, dkk (2004) melakukan penelitian tentang pengaruh ketahanan beton geopolimer terhadap sulfat. Penelitian ini menggunakan parameter NaOH 8M, dan 14M, rasio massa perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3 : \text{NaOH}$ 0,4 dan 2,5, dan rasio massa alkalin dengan *fly ash* dijaga konstan 0,35. Untuk mengevaluasi ketahanan geopolimer terhadap serangan sulfat serangkaian tes berupa perendaman benda uji dalam sodium sulfat 5% untuk periode waktu tertentu. Hasil tes dilakukan setelah 12 minggu paparan, tidak ada perubahan yang signifikan terhadap kuat tekan, massa dan panjang benda uji.

Sreevidya dkk (2014) melakukan penelitian tentang analisa kekuatan lentur dengan bahan *ferrocement* menggunakan ukuran 760x150x30 mm. *Wiremesh* yang digunakan *woven mesh*, *welded mesh* dan *expanded mesh* dengan variasi masing-masing mesh berjumlah satu layer, dua layer. Pengujian dilakukan setelah umur benda uji 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan *woven mesh* mengalami retak saat beban mencapai 1 kN untuk lapisan ganda dan untuk lapisan tunggal terjadi pada 0,8 kN. Untuk *expanded mesh* retak awal terjadi pada 1 kN untuk lapisan ganda dan untuk lapisan tunggal terjadi di 0,8 kN. Untuk *welded mesh* retak awal terjadi pada 1,4 kN double lapisan dan untuk lapisan tunggal terjadi di 1 kN. Dari penelitian ini dapat dianggap sebagai *welded mesh* dapat memberikan peningkatan yang signifikan dalam perilaku lentur dibandingkan menggunakan *expanded mesh* dan *woven mesh*.

Shofi dkk (2016) melakukan penelitian tentang analisa kekuatan lentur dengan bahan *ferrocement*. *Wiremesh* yang digunakan yaitu

woven mesh, *welded mesh* dan *expanded mesh*. Peneliti menyebutkan penggunaan *expanded mesh* mengalami retak untuk lapisan ganda terjadi saat 2,2 kN dan untuk lapisan tunggal terjadi saat 1,8 kN. Untuk *woven mesh* retak awal untuk lapisan ganda terjadi pada 2 kN dan untuk lapisan tunggal terjadi pada 1,8 kN. Untuk *welded mesh* retak awal double lapisan terjadi pada 2,8 kN dan untuk lapisan tunggal terjadi pada 2,2 kN. Dari penelitian ini dapat dianggap sebagai *welded mesh* dapat memberikan peningkatan kekuatan yang signifikan dalam perilaku lentur dibandingkan menggunakan *expanded mesh* dan *woven mesh*.

Material Penyusun Dinding

1. Alkalin Activator

Alkalin activator merupakan bahan kimia yang dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi. Selama proses curing (pengerasan) ikatan tersebut akan membentuk jaringan polimer yang berikatan silang. Aktivator yang umum digunakan adalah larutan *sodium silikat* dan *sodium hidroksida* (Utomo, 2012).

Sodium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai media cairan bahan campuran untuk membuat material geopolimer, *sodium hidroksida* ini berfungsi mereaksikan unsur Si-Al membentuk ikatan ion yang kuat saat polimerisasi.

Sodium silikat (Na_2SiO_3) juga digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat material geopolimer, *sodium silikat* ini berfungsi mempercepat reaksi polimerisasi sehingga berpengaruh kepada kuat tekan yang dihasilkan beton. Bentuk dari *sodium silikat* dapat berupa cairan atau padatan.

2. Air

Air berfungsi untuk melarutkan *sodium hidroksida* dan *sodium silikat*. Menurut Tjokrodinuljo (2012) air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi standart persyaratan diantaranya harus bersih, tidak mengandung lumpur dan benda lainnya, tidak mengandung garam mineral dan senyawa sulfat.

3. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut Shah dan Kejin *fly ash* terdiri dari ikatan (*amorf*) alumina-silikat dan ikatan kristal dimana apabila dicampur dengan alkali dapat mengaktifkan hidrasi dan membentuk ikatan polarisasi.

4. Agregat halus

Agregat halus merupakan bahan mineral alami berupa butiran yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Kekuatan suatu beton dipengaruhi oleh kualitas dari masing-masing agregat yang menempati 70% volume mortar atau beton. Agregat halus menurut ACI 549 1R-93 yaitu agregat yang telah memenuhi standart bersih bebas dari materi yang merusak, bebas dari lumpur dan tanah liat.

5. 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 ayam didasarkan pada kekuatan luluh f_y tetapi tidak boleh melebihi 100.000 psi (690 MPa). Tipe *wiremesh* dengan kabel berjarak dekat dengan bukaan heksagonal atau persegi adalah penguatan yang paling umum digunakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi eksperimental dengan percobaan langsung di laboratorium.

Peralatan Pembuatan Benda Uji

1. Timbangan kapasitas 150 kg
2. Molen
3. Mesin penggetar
4. Cetakan kubus
5. Cetakan *catbone*
6. Cetakan silinder diameter 150 mm
7. Cetakan panel

Peralatan Pengujian

1. *Flow Table Test*
2. UTM (*Universal Testing Machine*)
3. CTM (*Compression Testing Machine*)
4. *Flexural Strength*
5. Mesin Uji Tarik
6. *Dial Gauge*
7. *LVDT*
8. *Data Logger*

Benda Uji

Adapun jenis dan kebutuhan benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

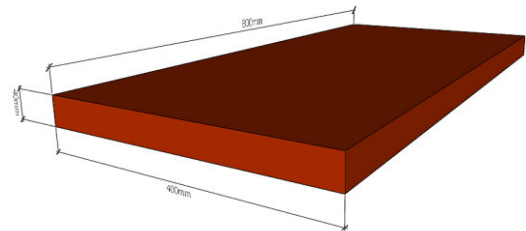
Tabel 1. Kebutuhan Pembuatan Benda Uji

Pengujian	Benda Uji	Varia si si kawat	Umur (hari)
Fly ash (kg)	Agregat halus (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	NaOH (kg) Pellet Aquades
1138,48	927,75	266,44	62,17 71,05
Kuat Tekan Mortar	Kubus 50x50 mm	0	1 & 28
Kuat Tarik	<i>Catbone</i>	0	1 & 28
Modulus Elastisitas	Silinder 150/300mm	0	1 & 28
Kuat Lentur	Panel 800x400x40	0 & 1	28

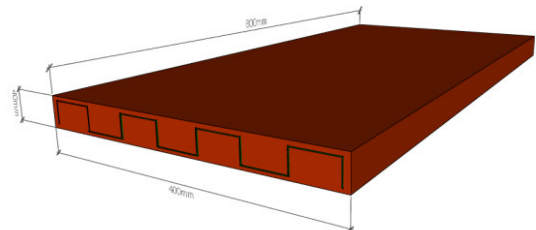
Panel	mm
Kuat Geser	Panel 0 & 1 28 800x400x40 mm

Desain Panel

Pada panel dinding yang akan diuji menggunakan dua variasi yaitu variasi 1 panel dinding tanpa menggunakan perkuatan *wiremesh* dan variasi 2 yaitu panel dinding menggunakan perkuatan *wiremesh*. Untuk ukuran benda uji panel yang digunakan yaitu 800x400x40 mm.



Gambar 1. Desain panel dinding variasi 1



Gambar 2. Desain panel dinding variasi 2

Pengujian Material

Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan pengujian material penyusun geopolimer untuk mengetahui komposisi yang terkandung di dalamnya. Pengujian ini meliputi pengujian pada fly ash, agregat halus, air, NaOH, Na₂SiO₃.

Perhitungan Analisis Campuran

Perencanaan campuran menggunakan komposisi NaOH 14 M, perbandingan fly ash dan alkaline sebesar 1:0,35, perbandingan NaOH : Na₂SiO₃ 1:2, Perbandingan agregat halus dan rongga pasta sebesar 1 :1,5.

Berdasarkan perhitungan menggunakan volume absolut didapatkan hasil perancangan campuran geopolimer yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan bahan per m³

Fly ash (kg)	Agregat halus (kg)	Na ₂ SiO ₃ (kg)	NaOH (kg) Pellet Aquades
1138,48	927,75	266,44	62,17 71,05

Prosedur Pencampuran Mortar

Prosedur pencampuran mortar dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Pembuatan larutan NaOH 14 M dengan cara menimbang pellet NaOH sebesar 14 x 40 (berat molekul NaOH) yaitu 560 gram, kemudian dimasukkan ke dalam 800 ml air dan diaduk hingga semua pellet larut keseluruhan. Kemudian ditambahkan air hingga volume larutan mencapai 1000 ml.
2. Larutan Na(OH) 14 M dan Na₂SiO₃ disiapkan, selanjutnya dicampur dan diaduk hingga membentuk larutan alkali. Larutan ini didiamkan minimal 1 jam sebelum dilakukan pencampuran mortar.
3. Fly ash kemudian ditimbang sesuai kebutuhan kemudian dimasukkan ke dalam mixer dalam keadaan kering.
4. Larutan alkali dituang secara perlahan ke dalam mixer, dan diaduk lebih kurang 5 menit.
5. Agregat halus dimasukkan ke dalam mixer dan diaduk dalam kurun waktu 2 menit.
6. Putaran dihentikan dan mortar siap diuji pada *flow table*.
7. Bahan yang telah diaduk kemudian dimasukkan kedalam cetakan yang telah dioles dengan pelumas.
8. Benda uji diberi kode, kemudian diuji pada umur pengujian.

Tahap Pengujian

1. Uji *Flow Table Test*

Pengukuran workabilitas pada mortar dilakukan menggunakan meja getar atau *flow table test* sesuai ASTM C1437-07. Cara kerja tes ini dengan mengukur tingkat penyebaran campuran ketika menerima hentakan pada *flow table* selama 25 kali dalam 15 detik. Diameter dasar mortar yang telah memesar diukur empat tahap dilokasi yang berbeda dan dicatat.

2. Kuat Tekan

Kuat tekan adalah perbandingan dari besarnya beban per satuan luas. Pada pengujian ini didapatkan melalui tata cara pengujian memberikan beban tertentu pada benda uji sampai benda uji hancur. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

dimana :

f_c' : Kuat tekan beton (MPa)

P : Beban maksimum (N)

A : Luas penampang (mm²)

3. Kuat Tarik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar kuat tarik mortar dan luas tarik mortar tersebut. Pengujian ini mengacu pada standart ASTM C307-03. Uji kuat tarik mortar dilakukan dengan membuat benda uji seperti angka delapan dengan cetakan bernama *catbone*. Setelah itu

benda uji dipasang pada mesin uji tarik dan dilaksanakan pengujian hingga benda uji patah atau retak.

$$S = \frac{P}{A}$$

dimana :

S : Tegangan tarik mortar pada leher benda uji (MPa)

P : Beban maksimum (N)

A : Luas penampang pada leher benda uji (mm²)

4. Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas merupakan rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat bahan yang membentuk, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran benda uji. Pengujian ini menggunakan silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk perhitungan modulus elastisitas digunakan standar perhitungan ASTM C469-02 dengan rumus :

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

dimana :

E_c : Modulus elastisitas beton (kg/m³)

σ_2 : Tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg)

σ_1 : Tegangan pada saat nilai kurva ϵ_1 (kg)

ϵ_2 : Nilai kurva regangan pada saat σ_2 (m³)

ϵ_1 : Regangan sebesar 0,00005 (m³)

5. Kuat Lentur

Menurut Singer dan Pytel (1985) regangan lentur adalah tegangan yang disebabkan oleh momen lentur. Hubungan antara keduanya dapat dihitung mengikuti prosedur deformasi elastis dan hukum Hooke yang menetapkan sifat variasi tegangan, kemudian kondisi kesetimbangan membuat hubungan antara tegangan dan beban. Tegangan lentur maksimum dapat diperoleh dengan rumus :

$$f_{maks} = \frac{M_{maks} \cdot y}{I}$$

Perhitungan momen didapatkan dari persamaan berikut :

$$M_{maks} = \frac{1}{8} q L^2 + \frac{1}{6} P L$$

dimana :

f_{maks} : Tegangan lentur maksimum panel (MPa)

M_{maks} : Momen lentur maksimum panel (MPa)

y : Jarak serat terluar terhadap garis netral (mm)

I : Momen inersia penampang (mm^4)
 q : Berat panel per meter panjang
 (kN/m)
 P : Beban terpusat (kN)
 L : Panjang panel antar tumpuan (mm)

Rumus dengan persamaan (2), (3) digunakan sebagai pembanding tegangan lentur dinding beton saat elastis. Apabila digunakan untuk beton komposit harus dilakukan transformasi luasan teoritik antara bahan satu dengan lainnya. Persamaan dapat dihitung dengan rumus erikut :

$$N = \frac{E_s}{E_m}$$

Luasan beton yang ditransformasikan :
 $A = n \times A_s$
 Momen Inersia yang mengalami transformasi :
 $I = n \times I_s$
 dimana :
 E_s : Modulus elastisitas kawat jala (MPa)
 E_m : Modulus elastisitas mortar (MPa)
 A : Luasan beton yang ditransformasikan ke mortar (mm^2)
 A_s : Luasan kawat jala (mm^2)
 I : Momen inersia beton yang telah ditransformasikan ke mortar (mm^4)
 I_s : Momen inersia kawat jala (mm^4)

HASIL UJI

Uji Flow Table Test

Hasil pengujian diameter alir mortar menunjukkan nilai *flow* pada mortar bekisar 109. Nilai *flow* ini kemudian dipertahankan konsistansinya untuk setiap pencampuran yang dilakukan agar memiliki kondisi yang sama.



Gambar 3. Pengujian *flow*

Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 50x50x50 mm sebanyak tiga buah benda uji yang dilakukan pada umur 1 dan 28 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

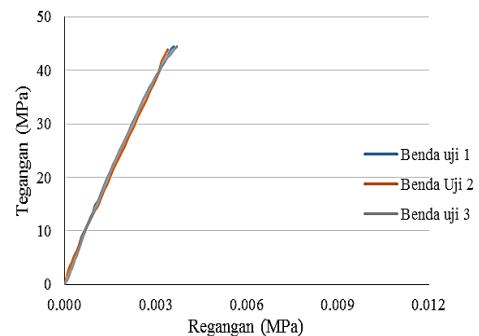
Kode Benda Uji	Umur	Hasil Pengujian f'_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)
GM.K1	1	11,34	11,27
GM.K2	1	11,37	
GM.K3	1	11,09	
GM.K4	28	60,67	60,84
GM.K5	28	60,94	
GM.K6	28	60,91	

Modulus Elastisitas



Gambar 4. Pengujian modulus elastisitas

Pada pengujian modulus elastisitas pada penelitian ini digunakan benda uji berbentuk *silinder* dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak tiga buah pada umur pengujian 28 hari. Diperoleh nilai modulus elastisitas rata-rata pada 28 hari sebesar 13808 MPa.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan dan regangan umur 28 hari

Kuat Tarik



Gambar 6. Pengujian kuat tarik mortar

Pada pengujian kuat tarik pada penelitian ini digunakan benda uji berbentuk *catbone* sebanyak tiga buah benda uji yang dilakukan pada umur 1 dan 28 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Mortar

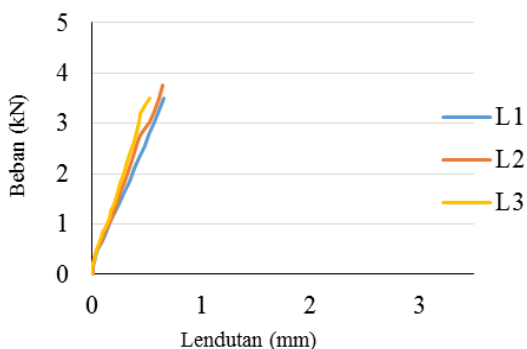
Kode Benda Uji	Umur	Hasil Pengujian Kuat Tarik (MPa)	Rata-Rata (MPa)
GM.T1	1	1,00	1,02
GM.T2	1	1,05	
GM.T3	1	1,02	
GM.T4	28	2,96	2,95
GM.T5	28	2,85	
GM.T6	28	3,03	

Kuat Lentur



Gambar 7. Pengujian kuat lentur panel

Pada pengujian lentur ini adalah dengan diletakkan benda uji diatas dua tumpuan yang sejajar, kemudian dibebani dengan beban merata yang terletak di tengah bentang, serta dilakukan penambahan beban bertahap hingga menyebabkan benda uji patah untuk mendapatkan nilai beban maksimum (P_{max}).

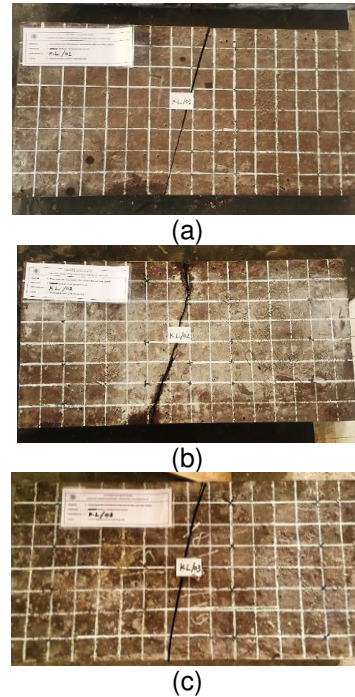


Gambar 8. Grafik hubungan beban dan lendutan benda uji lentur tanpa perkuatan

Hubungan beban dan lendutan benda uji lentur panel dinding tanpa perkuatan ditunjukkan pada Gambar 8. Beban maksimum benda uji L1 yang mampu ditahan panel dinding sebelum

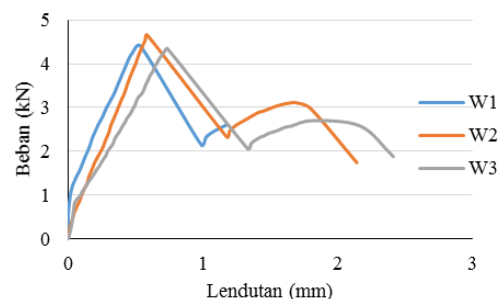
mengalami keruntuhan yaitu 3.49 kN , benda uji L2 sebesar 3.75 kN dan benda uji L3 sebesar 3.50 kN. Setelah mengalami beban maksimum benda uji mengalami keruntuhan.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan pola keruntuhan yaitu terjadi keretakan di daerah terlemah kemudian panel terbelah menjadi dua bagian secara langsung. Pola kerusakan ketiga benda uji mengalami pola keruntuhan yang sama yaitu berada pada tengah bentang. Pola keruntuhan benda uji tanpa perkuatan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. (a) Pola kerusakan benda uji L1, (b) Pola kerusakan benda uji L2, (c) Pola kerusakan benda uji L3

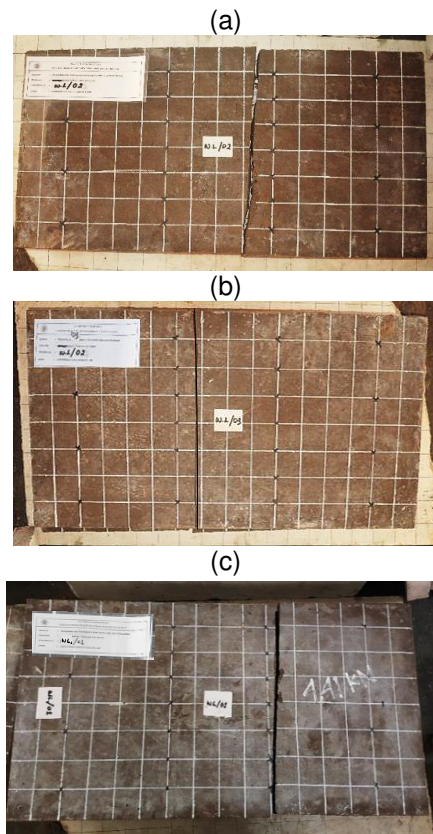
Hubungan beban dan lendutan uji lentur panel berbahan geopolimer dapat dilihat pada Gambar 9. Beban maksimum benda uji W1 yang mampu ditahan panel dinding sebelum mengalami keruntuhan yaitu 4,41 kN , benda uji W2 sebesar 4,66 kN dan benda uji W3 sebesar 4,35 kN.



Gambar 10. Grafik hubungan beban dan lendutan benda uji lentur menggunakan perkuatan

Dari grafik dapat diamati bahwa tahap pertama linier, berhenti karena adanya retak pada

mortar kemudian beban meningkat terus dan membawa beban tambahan karena adanya perkuatan. Saat perkuatan berupa *wiremesh* tidak dapat menahan beban maka terjadilah keruntuhan pada panel. Pola kerusakan ketiga benda uji mengalami pola keruntuhan yang sama, pola keruntuhan benda uji dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. (a) Pola kerusakan benda uji W1, (b) Pola kerusakan benda uji W2, (c) Pola kerusakan benda uji W3

Pada **Gambar 11**. Dapat dilihat pola keruntuhan panel saat pengujian berada tidak tepat di tengah bentang. Hal ini dikarenakan benda uji mengalami kerusakan berupa serat yang terputus di bagian terlemah panel, sehingga menimbulkan retak dan pecah pada bentang tertentu. Berikut hasil pengujian dinding panel geopolimer pada **Tabel 5**

Tabel 5. Hasil pengujian tegangan lentur

Kode Bend a Uji	f'max (MPa)	Rata-Rata	Ket.
L1	3,44	3,52	Non-Wiremesh
L2	3,68		
L3	3,45		
W1	4,22	4,28	Wiremesh
W2	4,45		
W3	4,17		

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur panel didapatkan nilai tegangan lentur dinding panel tanpa menggunakan perkuatan sebesar 3,52 MPa dan dinding panel menggunakan 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%.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian sifat-sifat mekanis dinding panel geopolimer dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan dari material mortar pada umur 1 hari sebesar 11,27 MPa dan pada waktu 28 hari sebesar 60,84 MPa.
2. Dari uji modulus elastisitas dapat kesimpulan bahwa nilai modulus elastisitas pada umur 28 hari sebesar 13808 MPa.
3. Kuat tarik geopolimer pada umur 1 hari memperoleh rerata sebesar 1,02 MPa dan 28 hari sebesar 2,95 MPa
4. 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.
5. 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.

SARAN

1. Dari hasil penelitian perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi perkuatan *wiremesh* yang digunakan agar memperoleh nilai kuat lentur yang optimum.
2. Untuk penggunaan *wiremesh* untuk pengujian pada panel geopolimer menggunakan *wiremesh* dengan ukuran diameter yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penyusun sampaikan kepada Prof.Ir. Iman Satyarno, M.E., Ph.D dan Ashar Saputra, S.T.,M.T.,Ph.D selaku fasilitator dalam membimbing sehingga dapat terselesaikannya penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

ACI COMMITTEE 549.1R-93. *State-of-the-Art Report On Ferrocement*. ACI 549R-93 Code American Concrete Institute.USA.

- ASTM C307-03. *Standard Test Methods for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing*.
- ASTM C469-02. *Standard Test Methods for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*.
- ASTM C618-03. ASTM E72-05. *Standard Test methods of Conducting Strength Test of panels for Building Construction*.
- ASTM C1437-07. *Standard Test Methods of Flow of Hydraulic Cement Mortar*.
- Remigildus Cornelis. (2018). *The Investigation On Setting Time And Strength Of High Calcium Fly Ash Based Geopolymer*. 1662-7482, Vol. 881, Pp 158-164.
- Remigildus Cornelis. (2018). *Perilaku Mekanik Dan Kimia Beton Geopolimer Fly Ash Tipe C*. Disertasi Universitas Gadjah Mada.
- Duxson P., Fernández-Jiménez A., Provis J. L., Lukey G. C., Palomo A., dan van Deventer J. S. J. (2007) "Geopolymer technology: the current state of the art," *J Mater Sci*, (4), hal. 2917–2933. doi: 10.1007/s10853-006-0637-z.
- Hardjito. D, dkk. 2002. *Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications*. Geopolymer Conference. Australia.
- Hardjito. D, dkk. 2004. *On The Development Of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. ACI Materials Journal, V. 101, No. 6, November-Desember 2004.
- Rajendran, M dan Nagan, S. *Geopolymer Ferrocement Panels Under Flexural Loading*. *Sci Eng Compos Mater* 2015; 22(3): 331–341.
- Dian Maya Sari. 2011. *Beton Ringan dari Limbah Styrofoam dengan Perkuatan Wiremesh di Tengah Plesteran*. Tesis Universitas Gadjah Mada.
- Pugar Septia. 2015. *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH Dan Rasio Naoh:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor, Suhu Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer*. Tugas Akhir Universitas Indonesia.
- Shah S. P dan Kejin Wang. *Development Of "Green" Cement For Sustainable Concrete Using Cement Kiln Dust And Fly Ash*. Department of Civil Engineering, Northwestern University, A130 Tech Institute, 2145 Sheridan Road, Evanston, IL 60208, USA.
- Singer, L.F., dan Pytel, A. (1998). *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh-Strength of Materials)*. Jakarta :Erlangga.
- Sreevidya,V, dkk.2014. *Flexural Behavior of Geopolymer Ferrocement Elements*. *Asian Jurnal of Civil Engineering Vol.15, No.4 (Pages 563-574)*.
- Sofi,A, dkk.2016. *Geopolymer Ferrocement Slabs-An Experimental Investigation*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*.
- Kardiyono Tjokrodinuljo. 2012. "Teknologi Beton", Jilid III, Penerbit KMTS FT UGM.
- Teguh Utomo. 2017. *Analisa Kuat Tekan Beton Geopolimer Dengan Bahan Alternatif Abu Sekam Padi Dan Kapur Padam*. Tugas Akhir Universitas Muhammadiyah Purworejo.