

MODULUS ELASTISITAS BETON GEOPOLYMER BERBASIS FLY ASH DARI PLTU AMURANG

Bill Johan Soentpiet

Steenie. E. Wallah, H. Manalip

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email : billjohansoentpiet1998@gmail.com

ABSTRAK

Beton adalah material konstruksi yang umum digunakan untuk saat ini. Beton merupakan hasil pencampuran dari air, semen, agregat halus, agregat kasar, serta bahan tambahan lainnya. Namun saat ini, dampak dari produksi semen pada lingkungan sudah cukup mengkhawatirkan karena dapat meningkatkan kadar karbon dioksida di atmosfer. Untuk itulah dilakukan riset-riset demi meminimalisir penggunaan semen pada beton. Salah satu riset terbaru adalah mengenai beton geopolimer, yakni beton tanpa menggunakan semen. Sebagai gantinya, digunakan fly ash atau abu terbang, yang merupakan sisa pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Dalam Penelitian ini, dilakukan pengujian modulus elastisitas dari beton geopolimer dengan fly ash yang berasal dari PLTU Amurang untuk mendapatkan gambaran yang baik mengenai karakteristik tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan nilai modulus elastisitas beton geopolimer yang didapat dari pengujian laboratorium secara signifikan lebih rendah daripada nilai modulus elastisitas yang didapat dari pendekatan rumus SNI, Sehingga modifikasi rumus SNI dilakukan untuk mendekati nilai hasil pengujian dari laboratorium. Rumus modifikasinya adalah $E_c = 10f'c^2$ untuk umur 7 hari, $E_c = 11f'c^2$ untuk umur 28 hari. Jika memperhitungkan berat volume beton (untuk beton dengan berat volume (w_c) antara 1440 dan 2560 kg/m^3), maka rumusnya adalah $E_c = w_c^{1,5}0,00010f'c^2$ untuk umur 7 hari, dan $E_c = w_c^{1,5}0,00011f'c^2$ untuk umur 28 hari.

Kata kunci : "Beton Geopolymer", "Modulus Elastisitas"

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang umum digunakan saat ini. Beton adalah hasil dari pencampuran material yang tersusun dari air, semen, agregat halus, agregat kasar, serta bahan tambahan lainnya.

Saat ini, produksi semen sudah cukup mengkhawatirkan dampaknya bagi lingkungan. Menurut Mehta (2001), Untuk setiap produksi 1,6 juta ton semen dunia, bertanggung jawab atas 7% emisi gas rumah kaca di atmosfer. Produksi 1 ton portland semen melepaskan kira-kira 1 ton karbon dioksida ke atmosfer. Hal ini tentunya memberikan dampak negatif bagi lingkungan, karena meningkatkan terjadinya pemanasan global.

Untuk itu saat ini, banyak dilakukan penelitian untuk meminimalisasi penggunaan semen dalam beton. Salah satu penelitian terbaru adalah mengenai beton geopolimer. Beton jenis ini menggunakan material geopolimer sebagai bahan pengikat ketimbang menggunakan pasta

semen. Bahan dasar material geopolimer adalah bahan yang banyak mengandung Silikon dan Aluminium. Zat-zat ini banyak ditemukan pada material limbah industri abu terbang (fly ash). Tentunya hal ini makin menguntungkan mengingat di Indonesia saat ini, terdapat cukup banyak pembangkit listrik tenaga uap yang limbahnya merupakan fly ash, yang sifatnya menyebabkan pencemaran udara jika tidak dimanfaatkan.

PLTU II Sulawesi Utara (Amurang), merupakan PLTU yang limbah sampingannya tidak lain adalah abu terbang (fly ash). Untuk itu akan diteliti modulus elastisitas beton geopolimer yang menggunakan fly ash dari PLTU tersebut mengingat modulus elastisitas adalah karakteristik yang penting untuk keperluan desain.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diutarakan sebelumnya, peneliti tertarik untuk mengetahui bagaimana modulus elastisitas beton geopolimer umur 7 dan 28 hari yang berbasis fly

ash dari PLTU Amurang. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan bahan sehingga hal ini penting untuk diteliti demi keperluan desain.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya modulus elastisitas beton geopolimer umur 7 dan 28 hari yang berbasis fly ash dari PLTU Amurang. Juga akan diberikan kuat tekan dari beton geopolimer tersebut, serta hubungan modulus elastisitas dengan variasi kuat tekan beton yang nantinya akan dibandingkan dengan rumus Modulus Elastisitas beton normal hasil pendekatan dari SNI, jika hasilnya tergolong jauh dari hasil laboratorium, maka rumus akan dimodifikasi untuk mendekati hasil dari laboratorium.

Batasan Penelitian

1. Pengukuran modulus elastisitas beton geopolimer yang dilakukan merupakan pengukuran modulus elastisitas statis.
2. Pengukuran modulus elastisitas beton dilakukan pada benda uji silinder 10/20 cm umur 7 dan 28 hari
3. Pemeriksaan kuat tekan dilakukan pada benda uji silinder 10/20 cm pada umur 7 dan 28 hari.
4. Variasi kuat tekan dibatasi cukup 6 variasi saja.
5. Agregat halus yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Girian.
6. Agregat kasar yang digunakan merupakan kerikil yang berasal dari Kema.
7. Abu terbang (fly ash) yang digunakan berasal dari PLTU Amurang.
8. Superplastisizer merek SikaCim
9. Natrium Hidroksida Merek Tjiwi Kimia
10. Natrium Silikat dari PT Intraco
11. Jika perlu untuk memodifikasi rumus, maka Modifikasi rumus dilakukan 2 cara, cara 1 adalah dengan hanya memodifikasi koefisien pada rumus SNI, Cara 2 adalah memodifikasi koefisien pada rumus dengan memvariasikan pangkat pada variabel $f'c$ menjadi pangkat 1, 2, 3 dan 4, kemudian dipilih hasil yang paling mendekati.

Manfaat Penelitian

1. Memperoleh gambaran mengenai modulus elastisitas pada beton geopolimer dengan fly ash yang berasal dari PLTU Amurang, dimana modulus elastisitas beton adalah sifat beton yang perlu diketahui untuk

keperluan desain sehingga dapat dilihat kelayakan beton yang diuji sebagai material konstruksi.

2. Menambah pengetahuan tentang sifat mekanik beton geopolimer, terutama mengenai modulus elastisitas beton.
3. Sebagai bekal untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai beton geopolimer.

LANDASAN TEORI

Beton geopolimer adalah jenis beton yang dibuat tanpa menggunakan Semen Portland (SP) sebagai bahan pengikat. Sebagai pengganti semen portland, digunakan fly ash yang kaya akan silika dan alumina dicampur dengan cairan alkalin untuk dijadikan bahan pengikat (Sumajouw & Dapas, 2013).

Seperti beton yang menggunakan semen, pada beton geopolimer, agregat menempati volume yang terbesar, kira-kira 75% sampai 80% dari total massa. Silikon dan aluminium yang terkandung dalam fly ash teraktivasi oleh kombinasi dari natrium hidroksida dan natrium silikat, untuk membentuk pasta geopolimer, yang mengikat agregat dan material-material lain yang tidak dapat bereaksi (Hardjito, dkk., 2004).

Material Pembentuk Beton Geopolymer

Abu Terbang (Fly ash)

Abu terbang (fly ash) merupakan abu yang mempunyai sifat pozzolan yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasi pada suhu 1560° C (SNI 03-2460-1991). Fly ash adalah hasil pembagian residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang diangkut oleh sejenis pipa atau cerobong asap dari area pembakaran ke tempat pembuangan (ACI 116R). Beton geopolimer berbasis abu terbang dibuat dengan menggunakan bahan dasar abu terbang rendah kalsium (low-calcium fly ash) yang menurut kategori ASTM berada pada kelas F (Sumajow & Dapas, 2013).

Cairan Alkalin (Alkaline Activators)

Cairan Alkalin yang dimaksud merupakan kombinasi cairan natrium silikat dan natrium hidroksida (Hardjito, dkk 2005) digunakan untuk membantu terjadinya reaksi kimia dengan aluminium dan silika yang terdapat pada abu terbang (Sumajow & Dapas, 2013). Larutan natrium hidroksida (NaOH) dipersiapkan dengan cara melarutkan NaOH padat yang masih dalam

bentuk serpihan atau butiran pil ke dalam air (Hardjito & Rangan, 2005).

Superplastisizer

Superplastisizer adalah bahan tambahan yang berfungsi untuk meningkatkan workability dari beton geopolymer segar (Hardjito & Rangan, 2005). Dalam penelitian ini digunakan Superplastisizer yang diproduksi oleh PT.Sika Indonesia yaitu SikaCim Concrete Additive, yang mengandung Naphthalene Formaldehyde Sulfonate termodifikasi, yang berfungsi mereduksi hingga 20% penggunaan air serta meningkatkan 40% kuat tekan beton umur 28 hari (PT Sika Indonesia).

Agregat Kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi 1/4 in. (6 mm) (Murdock & Brook, 1991). Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No.1 1/2 inci).

Agregat Halus

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika (Nawy,1998). Menurut SNI 1970-2008, agregat halus adalah hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4).

Berat Volume Beton

Berat Volume atau berat isi beton adalah berat beton per satuan volume beton. Berat isi teoritis beton biasanya ditentukan di laboratorium. Nilainya diasumsikan tetap untuk semua campuran yang dibuat dengan komposisi dan bahan yang identik. Hal ini diperhitungkan dengan cara berat total material dalam campuran (kg) dibagi dengan total volume absolut (m³). Berat isi teoritis beton (kg/m³) dihitung pada keadaan bebas udara (SNI 1973-2008).

Menurut SNI 03-2847-2002, Beton ringan adalah beton yang memiliki berat isi tidak lebih dari 1900 kg/m³, sedangkan beton normal adalah beton yang memiliki berat isi 2200 kg/m³ - 2500 kg/m³. Menurut ACI 318M-11, beton ringan adalah beton yang memiliki berat 1440 kg/m³ -1840 kg/m³, sedangkan beton normal

adalah beton yang memiliki berat isi diantara 2155 kg/m³ dan 2560 kg/m³, dan biasanya diambil pada kisaran 2320 kg/m³ sampai 2400 kg/m³.

Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang (Murdock & Brook, 1991). Beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik serta perbandingan semen dan agregat (McCormac, 2003).

Modulus elastisitas beton hasil pengujian laboratorium dengan benda uji silinder dapat dihitung dengan menggunakan rumus menurut ASTM C 469 - 02:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \quad (1)$$

dengan:

- E = modulus elastisitas (kg/cm²)
- S₂ = tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg/cm²)
- S₁ = tegangan pada saat nilai kurva regangan $\epsilon_1 = 0,000050$ (kg/cm²)
- ϵ_2 = nilai kurva regangan yang terjadi pada saat S₂

Modulus Elastisitas beton juga dapat dihitung dengan rumus empiris menurut SNI 2847-2013 yaitu $E_c = 4700\sqrt{f'c}$ untuk beton normal, atau $E_c = wc^{1,5}0,043\sqrt{f'c}$ untuk nilai wc antara 1440 dan 2560 kg/m³, f'c dalam MPa.

Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut (Mulyono,2005).

Nilai-nilai kuat tekan beton seperti yang diperoleh dari hasil pengujian sangat dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk dari elemen uji dan cara pembebanannya (McCormac, 2003). Nilai kekuatan beton dengan benda uji silinder dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (SNI 1974-2011).

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dimana :

- f'_c = Kuat Tekan Beton (MPa)
- P = Gaya tekan aksial (N)
- A = luas penampang melintang benda uji (mm^2)

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat eksperimental, yang dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.

Tahapan Penelitian

Tahap-tahap pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
2. Persiapan alat dan bahan yang digunakan
3. Pemeriksaan sifat-sifat material
4. Trial Mix
5. Membuat Proporsi Campuran Rencana
6. Membuat Benda Uji
7. Perawatan benda uji
8. Pengujian Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan
9. Menganalisis data
10. Membuat Kesimpulan dan Saran

Komposisi Campuran

Komposisi campuran ditunjukkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Komposisi 1 campuran beton geopolymer dan Perlakuannya

Bahan	Berat (kg / m ³)
batu pecah split 10-20 mm	1294
Pasir	554
Fly Ash	476
NaOH 12 M	144
Sodium Silikat	360
superplasticizer	12,2
Perlakuan	
Perlakuan 1 (P1)	Curing 24 jam pada suhu 90°C. f'_c rencana 30 MPa (dari hasil trial mix).

Tabel 2. Komposisi 2 campuran beton geopolymer dan Perlakuannya

Bahan	Volume (kg / m ³)
batu pecah split 10-20 mm	1294
Pasir	554
Fly Ash	476
NaOH 14 M	120
Sodium Silikat	300
superplasticizer	12,2
Perlakuan	
Perlakuan 1 (P2)	Curing 24 jam pada suhu 90°C. f'_c rencana 40 MPa (dari hasil trial mix).

Tabel 3. Komposisi 3 campuran beton geopolymer dan Perlakuannya

Bahan	Volume (kg / m ³)
batu pecah split 10-20 mm	1294
Pasir	554
Fly Ash	476
NaOH 10 M	120
Sodium Silikat	300
superplasticizer	12,2
Perlakuan	
Perlakuan 1 (P3)	Curing 24 jam pada suhu 90°C. f'_c rencana 35 MPa (dari hasil trial mix).
Perlakuan 2 (P5)	Curing 24 jam pada suhu 60°C. f'_c rencana 20-25 MPa (tidak dilakukan trial mix)

Tabel 4. Komposisi 4 campuran beton geopolymer dan Perlakuannya

Bahan	Volume (kg / m ³)
batu pecah split 10-20 mm	1294
Pasir	554
Fly Ash	476
NaOH 14 M	120
Sodium Silikat	300
superplasticizer	0
Perlakuan	
Perlakuan 1 (P4)	Curing 96 jam pada suhu 90°C. f'_c rencana 15-20 MPa (tidak dilakukan trial mix).
Perlakuan 2 (P6)	Curing 48 jam pada suhu 60°C. f'_c rencana 25-30 MPa (tidak dilakukan trial mix)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Untuk Agregat kasar dari Kema, Modulus Kehalusan butir sebesar 2,027, berat jenis kering sebesar 2,68, berat jenis SSD sebesar 2,72, berat volume padat sebesar 1408 kg/m³, berat volume gembur sebesar 1288 kg/m³, absorpsi maksimum sebesar 1,47% kadar air sebesar 1,30%, keausan sebesar 18,58%.

Untuk Agregat Halus dari Girian, Modulus Kehalusan butir sebesar 3,396, berat jenis kering sebesar 2,04, berat jenis SSD sebesar 2,29, absorpsi maksimum sebesar 11,92%, berat volume padat sebesar 1243 kg/m³, berat volume gembur sebesar 1172 kg/m³, kadar air sebesar 6,29%, zat organik warna nomor 1, kadar lumpur sebesar 0,24%.

Berat Volume Beton Geopolymer

Hasil pengujian berat volume beton Geopolymer diperlihatkan pada Tabel 5. di halaman berikut.

Tabel 5 Hasil Pengujian Berat Volume Beton Geopolymer

No	Kode Variasi	Umur	Berat Volume (wc)
		(hari)	kg/m ³
1	P1	7	2256,39
2	P2	7	2214,35
3	P3	7	2255,85
4	P4	7	2182,24
5	P5	7	2230,16
6	P6	7	2214,15
7	P1	28	2265,95
8	P2	28	2286,87
9	P3	28	2231,89
10	P4	28	2235,54
11	P5	28	2208,24
12	P6	28	2283,56

Kuat Tekan Beton Geopolymer

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolymer

No	Kode Variasi	Umur	f _c rencana	Beban mesin (P)	f _c
		(Hari)	(MPa)	(kN)	(MPa)
1	P1	7	30	261,08	33,24
2	P2	7	40	297,53	37,88
3	P3	7	35	271,08	34,51
4	P4	7	15-20	182,90	23,29
5	P5	7	20-25	196,95	25,08
6	P6	7	25-30	244,25	31,10
7	P1	28	30	249,55	31,77
8	P2	28	40	312,13	39,74
9	P3	28	35	249,65	31,79
10	P4	28	15-20	158,30	20,16
11	P5	28	20-25	236,13	30,06
12	P6	28	25-30	266,00	33,87

Keterangan :

P1 = Komposisi 1 (tabel 1) dengan lama curing 24 jam suhu 90°C

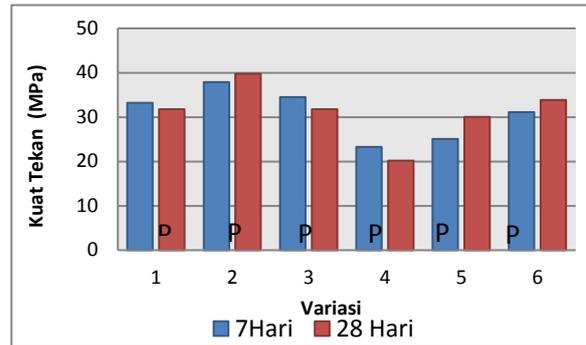
P2 = Komposisi 2 (tabel 2) dengan lama curing 24 jam suhu 90°C

P3 = Komposisi 3 (tabel 3) dengan lama curing 24 jam suhu 90°C

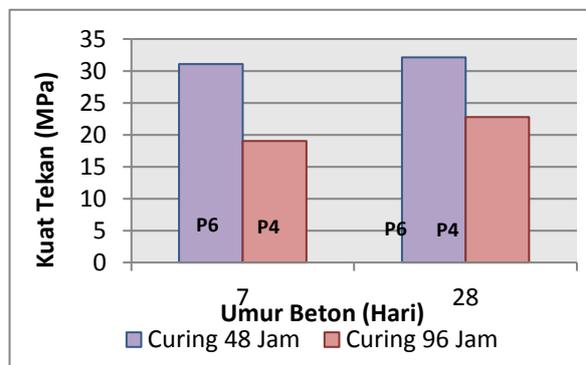
P4 = Komposisi 4 (tabel 4) dengan lama curing 96 jam suhu 90°C

P5 = Komposisi 3 (tabel 3) dengan lama curing 24 jam suhu 60°C

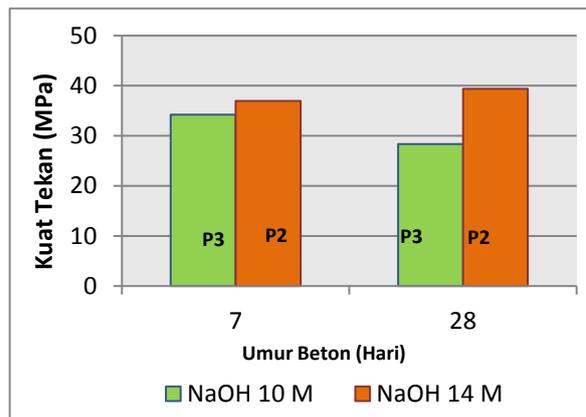
P6 = Komposisi 4 (tabel 4) dengan lama curing 48 jam suhu 90°C



Gambar 1. Diagram hubungan variasi dengan kuat tekan beton geopolymer pada umur 7 dan 28 hari



Gambar 2. Diagram hubungan umur beton dengan kuat tekan beton geopolymer pada curing 48 jam dan 96 jam



Gambar 3. Diagram hubungan umur beton dengan kuat tekan beton geopolymer pada molaritas NaOH 10M dan 14M

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan dalam rentang umur 7 hari ke 28 hari berfluktuasi dengan tidak terlalu signifikan pada tiap variasi.

Dari gambar 1 juga yang disajikan dapat dilihat bahwa Untuk proporsi P6 yang memiliki lama curing 48 jam serta tanpa penggunaan

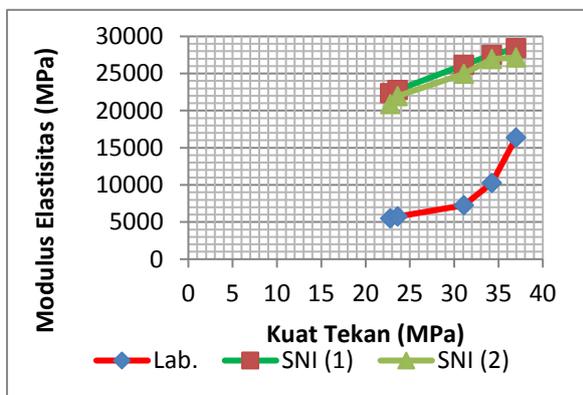
superplasticiser, hasil kuat tekan tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan proporsi lain yang memiliki lama curing 24 jam. Tetapi dari gambar 4.2, dapat dilihat penurunan kuat tekan yang cukup signifikan terjadi pada proporsi P4 yang memiliki lama curing 96 jam. Hal ini menunjukkan bahwa curing terlalu lama yang dalam penelitian ini mencapai 96 jam, dapat menyebabkan penurunan kuat tekan beton. Untuk variasi P2 dan P3, perbedaannya hanya terletak pada kemolaran NaOH. Untuk P2 digunakan NaOH 14M, sedangkan P3 digunakan NaOH 10M. Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan kemolaran cukup berpengaruh pada nilai kuat tekan. P2 yang menggunakan NaOH 14M menghasilkan angka kuat tekan yang lebih tinggi dari P3 yang menggunakan NaOH 10M.

Modulus Elastisitas Beton Geopolymer

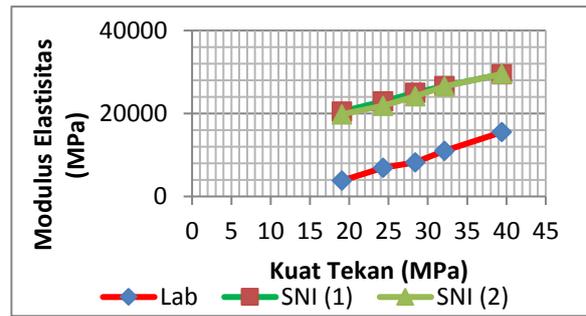
Dalam pembahasan ini, yang dimaksud rumus SNI (1) adalah $E_c = 4700\sqrt{f_c}$, sedangkan rumus SNI (2) adalah $E_c = wc^{1.5}0043\sqrt{f_c}$

Tabel 7. Nilai Modulus Elastisitas Hasil Laboratorium dan penggunaan rumus SNI

No	Kode Variasi	Umur (Hari)	Berat Volume (wc) kg/m ³	f _c (MPa)	E _c Laboratorium (MPa)	Ec SNI	
						(1) (MPa)	(2) (MPa)
1	P1	7	2256,39	31,78	13373,49	26492,01	25980,41
2	P2	7	2214,35	36,97	16368,20	28407,78	27166,82
3	P3	7	2255,85	34,25	10262,23	27489,80	26948,76
4	P4	7	2182,24	22,77	5489,23	22339,35	20871,63
5	P5	7	2230,16	23,61	5749,65	22777,50	21960,55
6	P6	7	2214,15	31,10	7261,08	26169,37	24945,35
7	P1	28	2265,95	28,66	12360,14	25118,60	24782,48
8	P2	28	2286,87	39,41	15496,63	29493,84	29511,91
9	P3	28	2231,89	28,38	8227,81	25022,19	24150,09
10	P4	28	2235,54	19,04	3807,15	20474,21	19802,52
11	P5	28	2208,24	24,29	6946,48	22929,07	21807,25
12	P6	28	2283,56	32,11	11023,92	26601,96	26552,73



Gambar 4. Grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton geopolymer umur 7 hari dan modulus elastisitas dengan rumus pendekatan SNI.



Gambar 5. Grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton geopolymer umur 28 hari dan modulus elastisitas dengan rumus pendekatan SNI.

Dari grafik yang disajikan, dapat dilihat bahwa perbedaan yang signifikan antara nilai modulus elastisitas hasil pengujian laboratorium dengan nilai modulus elastisitas hasil perhitungan menggunakan rumus pendekatan SNI. Untuk itu, dirancang rumus pendekatan yang baru dengan memodifikasi rumus-rumus pendekatan SNI sehingga nantinya angka modulus elastisitas yang didapat mendekati angka modulus elastisitas yang diperoleh dari laboratorium. Modifikasi rumus dilakukan 2 cara, cara 1 adalah dengan hanya memodifikasi koefisien pada rumus SNI.

Rumus SNI (1) $E_c = 4700\sqrt{f_c}$ (MPa)

Dimodifikasi menjadi $E_c = 1742\sqrt{f_c}$ untuk umur 7 hari

$E_c = 1758\sqrt{f_c}$ untuk umur 28 hari.

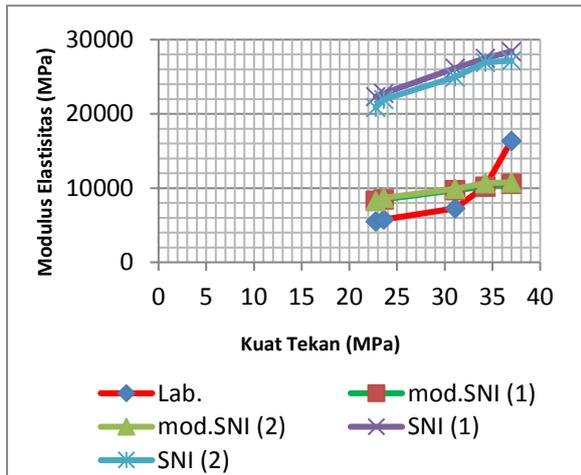
Rumus SNI (2) $E_c = wc^{1.5}0043\sqrt{f_c}$
wc dalam kg/m³; f_c dalam MPa

Dimodifikasi menjadi $E_c = wc^{1.5}0,017\sqrt{f_c}$ untuk umur 7 hari

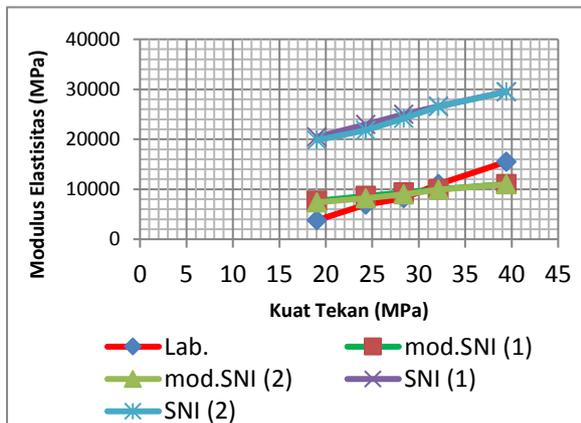
$E_c = wc^{1.5}0,016\sqrt{f_c}$ untuk umur 28 hari.

Tabel 8. Nilai Modulus Elastisitas Hasil Laboratorium dan penggunaan rumus SNI yang dimodifikasi dengan cara 1

No	Kode Variasi	Umur (Hari)	Berat Volume (wc) kg/m ³	f _c (MPa)	E _c Laboratorium (MPa)	Ec mod.	
						SNI (1) (MPa)	SNI (2) (MPa)
1	P1	7	2256,39	31,78	13373,49	9820,32	10271,80
2	P2	7	2214,35	36,97	16368,20	10592,57	10771,42
3	P3	7	2255,85	34,25	10262,23	10194,82	10659,68
4	P4	7	2182,24	22,77	5489,23	8311,64	8268,76
5	P5	7	2230,16	23,61	5749,65	8463,66	8698,86
6	P6	7	2214,15	31,10	7261,08	9714,50	9877,14
7	P1	28	2265,95	28,66	12360,14	9412,08	9239,81
8	P2	28	2286,87	39,41	15496,63	11036,70	10985,03
9	P3	28	2231,89	28,38	8227,81	9365,98	8988,03
10	P4	28	2235,54	19,04	3807,15	7671,91	7380,36
11	P5	28	2208,24	24,29	6946,48	8663,76	8182,34
12	P6	28	2283,56	32,11	11023,92	9962,00	9893,84



Gambar 6. Grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton umur 7 hari dan penggunaan rumus modifikasi cara 1



Gambar 7. Grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton umur 28 hari dan penggunaan rumus modifikasi cara 1

Cara 2 adalah memodifikasi koefisien pada rumus dengan memvariasikan pangkat pada variabel f'_c menjadi pangkat 1, 2, 3 dan 4, kemudian dipilih hasil yang paling mendekati dari keempat variasi tersebut.

Pada penelitian ini, f'_c yang dipangkatkan 2 menghasilkan nilai yang paling mendekati.

Rumus SNI (1) $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$

f'_c dalam MPa

Dimodifikasi menjadi $E_c = 10f'^2c^2$ untuk umur 7 hari

$E_c = 11f'^2c^2$ untuk umur 28 hari

Rumus SNI (2) $E_c = wc^{1.5}0043\sqrt{f'_c}$

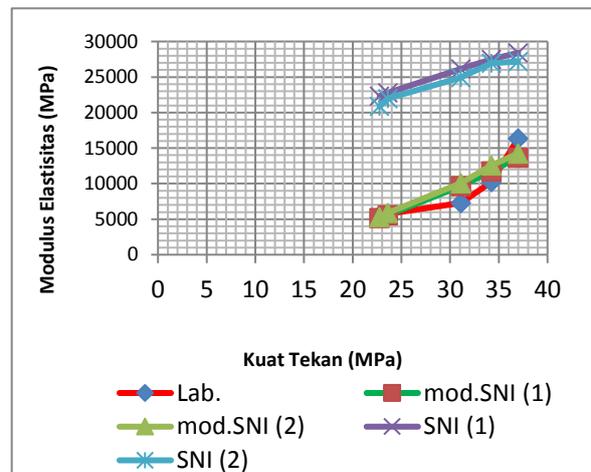
wc dalam kg/m^3 ; f'_c dalam MPa

Dimodifikasi menjadi $E_c = wc^{1.5}0,00010f'^2c^2$ untuk umur 7 hari

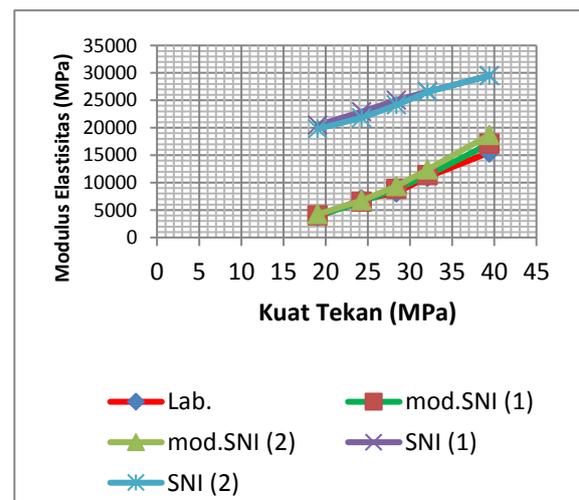
$E_c = wc^{1.5}0,00011f'^2c^2$ untuk umur 28 hari

Tabel 8. Nilai Modulus Elastisitas Hasil Laboratorium dan penggunaan rumus SNI yang dimodifikasi dengan cara 1

No	Kode Variasi	Umur (Hari)	Berat Volume (wc) (kg/m ³)	f'_c (MPa)	E_c Laboratorium (MPa)	E_c SNI (1) mod (MPa)	E_c SNI (2) mod (MPa)
1	P1	7	2256,39	31,78	13373,49	10099,72	10825,05
2	P2	7	2214,35	36,97	16368,20	13671,41	14245,71
3	P3	7	2255,85	34,25	10262,23	11730,72	12568,66
4	P4	7	2182,24	22,77	5489,23	5182,69	5283,34
5	P5	7	2230,16	23,61	5749,65	5572,37	5868,72
6	P6	7	2214,15	31,10	7261,08	9671,40	10076,26
7	P1	28	2265,95	28,66	12360,14	9037,75	9748,47
8	P2	28	2286,87	39,41	15496,63	17087,34	18686,82
9	P3	28	2231,89	28,38	8199,20	8861,97	9344,17
10	P4	28	2235,54	19,04	3807,15	3989,61	4217,00
11	P5	28	2208,24	24,29	6946,48	6488,47	6733,06
12	P6	28	2283,56	32,11	11023,92	11342,35	12377,14



Gambar 8. Grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton umur 7 hari dan penggunaan rumus modifikasi cara 2



Gambar 9. Grafik hubungan modulus elastisitas dan kuat tekan beton umur 28 hari dan penggunaan rumus modifikasi cara 2

Dari tabel dan grafik yang disajikan dapat dilihat angka modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SNI yang dimodifikasi, lebih mendekati angka hasil pengujian laboratorium jika dibandingkan dengan menggunakan rumus yang belum dimodifikasi, dalam penelitian ini, nilai dari modifikasi cara 2 adalah yang paling mendekati. Angka modulus elastisitas hasil pengujian laboratorium sangat bergantung pada pembacaan jarum dial yang masih dilakukan secara manual. Semakin teliti pembacaan, maka angka modulus elastisitas semakin akurat.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Angka modulus elastisitas beton geopolimer hasil pengujian laboratorium secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan angka modulus elastisitas beton normal hasil perhitungan menggunakan rumus SNI-2847:2013 yang belum dimodifikasi.
2. Rumus SNI perlu dilakukan modifikasi untuk mendekati hasil pengujian yang didapat dari laboratorium. Rumus hasil modifikasinya adalah (Soentpiet B.J, 2018), yakni $E_c =$

$10f'c^2$ untuk umur 7 hari, $E_c = 11f'c^2$ untuk umur 28 hari. Jika memperhitungkan berat volume beton (untuk beton dengan berat volume antara 1440 dan 2560 kg/m³), maka rumusnya adalah $E_c = wc^{1,5}0,00010f'c^2$ untuk umur 7 hari, dan $E_c = wc^{1,5}0,00011f'c^2$ untuk umur 28 hari.

3. Durasi perawatan beton geopolimer yang terlalu lama, dalam penelitian ini mencapai 96 jam pada suhu 90°C dapat menyebabkan penurunan angka kuat tekan yang cukup signifikan jika dibandingkan lama perawatan 48 jam pada suhu yang sama.
4. Karena workabilitas beton geopolimer yang kecil, maka beton geopolimer tidak cocok untuk dikerjakan langsung di lapangan, dan sebaiknya dibuat sebagai beton pracetak.

Saran

1. Fly ash yang digunakan sebaiknya di uji X-Ray Fluoresence untuk mengetahui persentase zat kimia yang terkandung didalamnya.
2. Karena workabilitas beton geopolimer yang kecil, dalam hal ini cepat mengeras/melekat, sebaiknya proses mixing yang dilakukan tidak boleh terlalu lama, juga peralatan mixing sebaiknya langsung dibersihkan setelah mixing selesai.

DAFTAR PUSTAKA

ACI 116R, *Cement and Concrete Terminology*.

ACI 318M-11, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*.

ASTM C469-02, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International, West Conshohocken, Pa., 2001

Badan Standardisasi Nasional.,2011. *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*,Badan Standardisasi Nasional,Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional.,2011. *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional,Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional.,2008. *SNI 1970:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus* ,Badan Standardisasi Nasional,Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional.,2008.*SNI 1973:2008 Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*,Badan Standardisasi Nasional,Jakarta.

Hardjito, D., Rangan, B.V.,2005. *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*,Research Report GC 1 Curtin University of Technology, Perth Australia

- Hardjito,D., Wallah, S.E., Sumajow,D.M.J.,Rangan B.V.,2004. *On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*, Technical paper No.101-M52,ACI Material Journal,Vol.101,No.6, November-December, American Concrete Institute
- Mehta, P. K., 2001. *Reducing the Environmental Impact of Concrete*, Concrete International, V.23, No.10, Oct.2001,pp 61-66
- McCormac, J. C., 2003. *Desain Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Mulyono,T., 2005. *Teknologi Beton*, Penerbit ANDI, Bandung
- Murdock, L. J., Brook, K.M., 1991. *Bahan dan Praktek Beton*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Nawy,E.G.,1998.*Beton Bertulang:Suatu Pendekatan Dasar*,PT Refika Aditama, Bandung
- PT Sika Indonesia, *Product Data Sheet SikaCim Concrete Additive: High Water Reducing*, PT Sika Indonesia, Bogor
- Standar Nasional Indonesia., 2002.*SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*
- Sumajouw, D. M. J., Dapas, S. O., 2013. *.Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer*, Penerbit ANDI, Yogyakarta

Halaman ini sengaja dikosongkan