

Penggunaan Limbah *Zeolite* dan *Bentonite* pada Campuran Beton Ditinjau Terhadap Sifat Mekanik Beton

Putri Shinta Permatasari¹, Wahyu Kartini², Sumaidi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

(¹Permatasari63@gmail.com; ²wahyu.ts@upnjatim.ac.id; ³Sumaidiwijaya@gmail.com)

ABSTRAK

Ketersediaan semen untuk bahan campuran beton terus berkurang maka dibutuhkan alternatif untuk permasalahan tersebut dengan menggunakan limbah *zeolite* dan *bentonite* untuk mengurangi jumlah semen pada campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik pada beton dengan material limbah *zeolite* dan *bentonite*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah percobaan (eksperimen), dengan komposisi variasi penambahan *zeolite* dan *bentonite* sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Faktor air semen yang direncanakan 0,55 untuk menjaga *workability* dari campuran beton digunakan *superplasticizer* dengan kadar 0,5% pengujian pada umur 28 hari. Hasil pengujian *zeolite* dan *bentonite* terhadap porositas, kuat tekan, dan modulus elastisitas pada beton normal secara berurut yaitu 7,66% ; 21,89 MPa ; 19560.61 MPa. Hasil pengujian *zeolite* dan *bentonite* terhadap porositas, kuat tekan, dan modulus elastisitas pada persentase optimal dengan substitusi *zeolite* secara berurut yaitu 7,45% ; 23,12 MPa ; 24265.78 MPa. Hasil pengujian *zeolite* dan *bentonite* terhadap porositas, kuat tekan, dan modulus elastisitas pada persentase optimal dengan substitusi *bentonite* secara berurut yaitu 7,70% ; 22,93MPa ; 23096.70 MPa. Pada penelitian ini variasi *zeolite* 5% dan *bentonite* 5% merupakan persentase optimal terhadap sifat mekanik beton.

Kata Kunci : Semen, sifat mekanik beton, *zeolite*, *bentonite*

ABSTRACT

The availability of cement for the concrete mixture continues to decrease, so an alternative way to solve this problem is to use zeolite and bentonite waste to reduce the amount of cement in the concrete mixture. This study aims to determine the mechanical properties of concrete with zeolite and bentonite waste materials. The method used in this research is experimental (experiment), with the composition of variations in the addition of zeolite and bentonite as much as 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% of the weight of cement. The cement water factor is planned to be 0.55 to maintain the workability of the concrete mixture using a superplasticizer with a concentration of 0.5%, testing at the age of 28 days. The results of zeolite and bentonite tests on porosity, compressive strength, and modulus of elasticity in normal concrete are 7.66%; 21.89 MPa; 19560.61 MPa. The results of zeolite and bentonite testing on porosity, compressive strength, and modulus of elasticity at the optimal percentage with zeolite substitution are 7.45%; 23.12 MPa; 24265.78 MPa. The results of zeolite and bentonite testing on porosity, compressive strength, and modulus of elasticity at the optimal percentage with bentonite substitution were 7.70%; 22.93MPa; 23096.70 MPa. In this study, the variation of 5% zeolite and 5% bentonite is the optimal percentage of the mechanical properties of concrete.

Keywords : Cement, concrete mechanical properties, *zeolite*, *bentonite*

I. PENDAHULUAN

Beton adalah sebuah bahan bangunan yang terbuat dari kombinasi agregat halus, agregat kasar, air dan semen. [1] Beton digunakan sebagai bahan bangunan karena mempunyai beberapa kelebihan yaitu kuat terhadap gaya tekan, mudah dicetak, ekonomis, tahan air, tahan lama, tahan api, dan dapat di cor di tempat. Namun beton juga mempunyai kelemahan yaitu dalam menahan gaya tarik, daktilitas rendah, volume tidak stabil [2]. Perlunya

pengembangan yang lebih inovatif terhadap material pembentuk beton yang tentunya perlu diperhatikan pemakaian biaya yang lebih murah, sesuai dengan fungsi konstruksinya, dan pengaruhnya terhadap manusia dan lingkungan. Salah satu pengembangan tersebut dengan menggunakan material yang dapat dipakai sebagai bahan substitusi semen, karena penggunaan semen pada campuran beton yang banyak akan merusak alam karena bahan semen adalah batu kapur yang bisa merusak alam dan

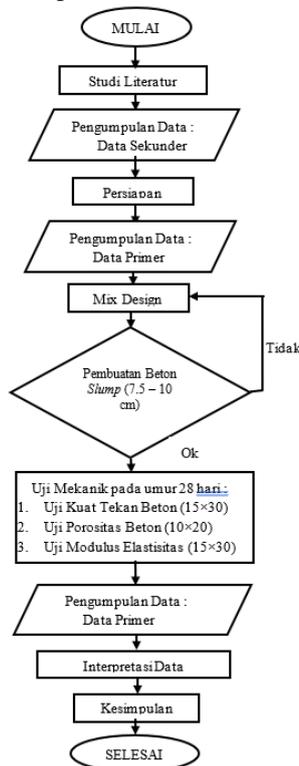
bisa habis, serta pembuatan semen akan menyebabkan gas CO₂ yang besar sehingga merusak ozon.

Zeolite adalah satu kelompok berkerangka *aluminosilikat* yang terjadi di alam dengan kapasitas tukar kation yang tinggi, *adsorpsi* tinggi dan bersifat *hidrasi-dehidrasi* [3]. Pasir *bentonite* adalah salah satu jenis lempung yang sebagian besar terdiri dari mineral *monmorilonit* dan sebagian kecil mineral *beideit* serta beberapa mineral yang berupa *feldspar*, kuarsa, dan mineral bijih [4]. Sifat *zeolite* dan *bentonite* yang sama dengan semen yang akan berpengaruh pada sifat mekanik pada beton.

II. METODE

2.1 Diagram Alir

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode trial-and-error dengan mensubstitusi *zeolite* dan *bentonite* untuk setiap sampel seiring dengan meningkatnya variasi pada beton.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah

1. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement* tipe I (semen gresik).
2. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari Merak dengan ukuran 10 – 20 mm.

3. Agregat halus yang digunakan adalah pasir dari Lumajang.
4. Air yang digunakan berasal dari air PDAM Laboratorium Bahan dan Konstruksi Prodi Teknik Sipil UPN “Veteran” Jawa Timur.
5. *Zeolite* merupakan suatu senyawa *alumina silika* terhidrasi yang mengandung kation atau alkali tanah [5]. *Zeolite* dapat dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu vulkanik dan memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator. [3]



Gambar 2. *Zeolite*

6. *Bentonite* merupakan sumberdaya bahan galian non logam. Cadangan *bentonite* di Indonesia diperkirakan lebih dari 380 juta ton yang tersebar di pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan Tengah, dan Sulawesi Selatan [4]



Gambar 3. *Bentonite*

2.3 Pengujian Material Beton

1. Pengujian bahan pasir
 - a. Pengujian ayakan pasir (ASTM C 1366-95A)
 - b. Pengujian kelembapan pasir (ASTM C 566-89) [6]
 - c. Pengujian berat jenis pasir (ASTM C 128-78) [7]
 - d. Pengujian air resapan pasir (ASTM C 128-93) [7]
 - e. Pengujian berat volume pasir (ASTM C 29-91) [8]
2. Pengujian bahan batu pecah
 - a. Pengujian ayakan batu pecah (ASTM C 1366-95A)
 - b. Pengujian kelembapan batu pecah (ASTM C 566-89) [9]
 - c. Pengujian berat jenis batu pecah (ASTM C 128-78) [7]
 - d. Pengujian air resapan batu pecah (ASTM C 128-93) [7]
 - e. Pengujian berat volume batu pecah (ASTM C 29-91) [8]

Setelah itu baru didapat data primer yang berisi dari data uji diatas

2.4 Mix Design

Setelah dilakukan pengujian material yang akan digunakan pada penelitian ini, selanjutnya akan dilakukan perhitungan *mix design* guna untuk merencanakan komposisi beton dengan perhitungan metode *ACI* (*American Concrete Institute*) dengan faktor air semen 0,55. Adapun komposisi campuran beton ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi *Mix Design* Air, Semen, dan Agregat

	Air (kg)	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)
Komposisi tiap 1 m ³	172,34	334,54	978,80	761,29

(Sumber : Hasil Penelitian)

2.5 Pembuatan Beton (Eksperimen)

Pada penelitian ini dibutuhkan eksperimen langsung untuk membuat beton menggunakan bahan campuran yang ramah lingkungan yaitu dengan memakai *zeolite* dan *bentonite* dengan persentase sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Pada saat pembuatan beton dibutuhkan ketepatan pada nilai *slump* 7,5-10 cm, jika tidak memenuhi maka *mix design* ulang. Setelah itu dilakukan perawatan dengan cara merendam beton dalam air selama 28 hari.

Tabel 2. Benda Uji Beton

Perlakuan	Persentase Penambahan <i>Zeolite</i> dan <i>Bentonite</i>	Ukuran 15×30	Ukuran 10×20
1	0%	4	3
2	5%	8	6
3	10%	8	6
4	15%	8	6
5	20%	8	6

(Sumber : Hasil Penelitian)

2.6 Pengujian *Slump*

Pengujian *Slump* digunakan untuk mengetahui tingkat kekentalan suatu campuran beton. Hal ini berkaitan dengan tingkat kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*). Semakin tinggi nilai *slump* maka semakin cair adukan beton tersebut sehingga adukan beton akan semakin mudah dikerjakan. Hasil pengujian *slump* pada adukan beton dengan faktor air semen 0,55 dan *superplasticizer* 0,5% dengan substitusi *zeolite* dan *bentonite*.

2.7 Uji Kuat Tekan Beton

Kuat tekan rencana penelitian ini direncanakan 23 Mpa. Umur rencana beton 28 hari. Setelah uji kuat tekan beton, maka didapatkan data untuk perbandingan setiap benda uji. dilakukan pengujian benda uji beton silinder ukuran 15 cm x 30 cm.

Persamaan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium dituliskan dengan persamaan.

$$f'c = P / A \quad (1)$$

keterangan :

$f'c$: kuat tekan beton (MPa)

P : beban tekan (N)

A : luas penampang benda uji (mm²)

2.8 Uji Porositas Beton

Uji porositas dimulai dengan dilakukan perendaman selama 28 hari, Tahap setelah itu dilakukan penimbangan selanjutnya beton dikeringkan dengan cara di oven selama 24 jam, Setelah itu ditimbang kembali. Adapun rumus untuk menghitung nilai porositas pada mortar adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \left\{ \frac{(wb-wk)}{vb} \right\} \times (1/\text{Pair}) \times 100\% \quad (2)$$

Dengan,

wb : berat sampel setelah direndam (gram)

wk : berat sampel kondisi kering (gram)

vb : volume benda uji (cm³)

Pair : massa jenis air (gr/cm³)

2.9 Uji Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 15×30 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 496- 94(2) sebagai berikut:

$$Ec = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3)$$

dimana :

Ec = Modulus Elastisitas Beton (kg/m³)

σ_2 = Tegangan pada 40% (MPa)

σ_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1 (MPa)

ε_2 = nilai kurva regangan yang terjadi pada saat σ_2 (mm)

ε_1 = regangan sebesar 0,00005 (mm)

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 [10] pasal 3.1.5 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, maka :

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c} \quad (4)$$

Dari parameter tegangan-tegangan beton ada dua hal yang menarik untuk dikaji lebih lanjut, yaitu *poisson ratio* dan modulus elastisitas. *Poisson ratio* didefinisikan sebagai

perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial pada bagian yang dibebani secara uni aksial.

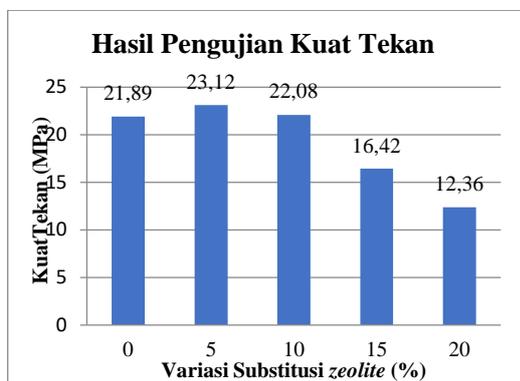
III PEMBAHASAN

Analisis Pengujian Beton Keras

Analisis pengujian beton keras terbagi atas analisis pengujian kuat tekan dan porositas pada umur 28 hari.

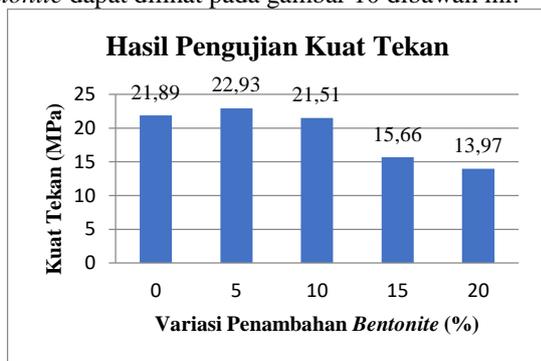
3.1 Analisis Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui ketahanan maksimum terhadap beban aksial. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm sebanyak 27 benda uji yang terdiri dari 9 variasi. Variasi yang diujikan meliputi beton normal, beton dengan substitusi *zeolite* sebesar 5%,10%,15% dan 20% terhadap berat semen, serta beton dengan substitusi *bentonite* sebesar 5%,10%,15% dan 20% terhadap berat semen.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Substitusi *Zeolite*
(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan grafik hasil pengujian kuat tekan beton di atas, maka didapatkan nilai penurunan kuat tekan beton dengan substitusi *zeolite* terhadap beton normal. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan substitusi *bentonite* dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini.

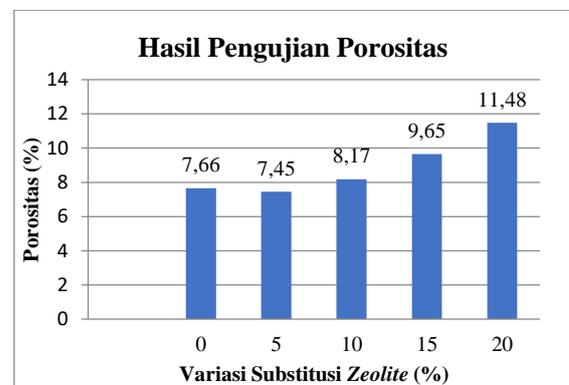


Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Substitusi *Zeolite*
(Sumber : Hasil Penelitian)

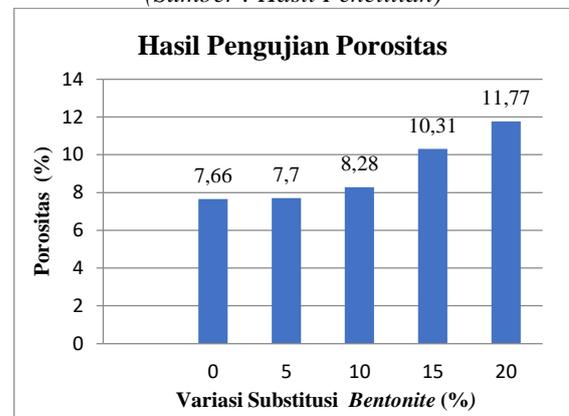
Dapat disimpulkan bahwa dengan adanya substitusi *zeolite* dan *bentonite* pada variasi 5% pada beton dapat meningkatkan kuat tekan beton. Akan tetapi dengan substitusi *zeolite* dan *bentonite* 20% pada beton mengalami penurunan. Hal ini disebabkan komposisi beton terutama pada semen yang memiliki pengaruh utama pada kuat tekan tergantikan dengan *zeolite* dan *bentonite* akibat substitusi yang terlalu banyak sehingga daya ikat yang dimiliki oleh beton berkurang.

3.2 Analisis Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan terhadap 27 benda uji berbentuk silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm untuk setiap variasi. Setelah melakukan perendaman selama 28 hari, benda uji ditimbang berat dalam air, berat oven, dan berat kondisi SSD. Hasil porositas pada beton dengan faktor air semen 0,55 didapatkan sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Porositas dengan Substitusi *Zeolite*
(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Porositas dengan Substitusi *Bentonite*

(Sumber : Hasil Penelitian)

Pada gambar diatas menunjukkan hasil dari pengujian porositas pada beton dengan factor air semen 0,55 semakin meningkat dengan adanya penambahan *zeolite* dan *bentonite*.

3.3 Analisis Hubungan Tegangan – Regangan Berdasarkan Pengujian Modulus Elastisitas

Berbagai penelitian mengenai modulus elastisitas dibidang beton dilakukan sebagai upaya untuk menjawab tuntutan pemakaian beton yang semakin meningkat serta mengetahui kondisi terkini dan kualitas material. Pada penelitian ini Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan pembebanan secara konstan, dan digunakan *compressometer extensometer* serta *data logger* untuk mencatat regangan yang terjadi saat pengujian benda uji.

Perhitungan teoritis nilai modulus elastisitas berdasarkan A.M Neville (1995) [11]

$$E_c = (3.32 \times \sqrt{f_c} + 6.9) \times 1000 \text{ MPa}$$

$$E_c = (3.32 \times \sqrt{19.8} + 6.9) \times 1000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 21673.07 \text{ MPa}$$

Perhitungan teoritis nilai modulus elastisitas berdasarkan SNI 2847-2019 [12]

$$E_c = (W_c)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{f_c}$$

$$E_c = (2452.831)^{1.5} \times 0.043 \times \sqrt{f_c}$$

$$E_c = 23243.54 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan nilai modulus elastisitas diatas, nilai hasil selengkapnya dari variasi yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas dengan Substitusi *Zeolite*

Variasi (%)	Ec Pengujian (MPa)	Ec A.M Neville (MPa)	Ec SNI 2847 2019 (MPa)
0	19560.61	21673.07	23243.54
5	24265.78	23569.57	25624.47
10	22568.82	22787.51	24136.76
15	16452.97	20336.77	20509.96
20	12740.25	18486.75	16573.68

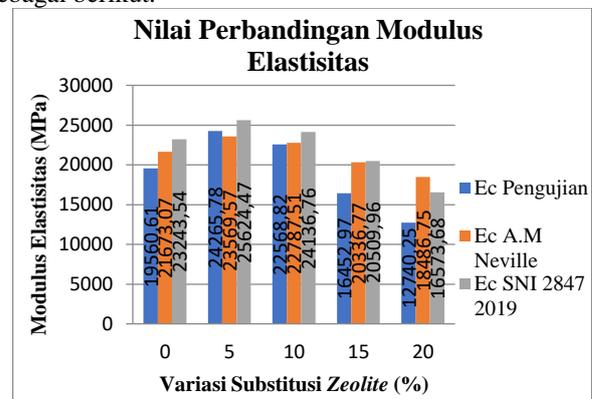
(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas dengan Substitusi *Bentonite*

Variasi (%)	Ec Pengujian (MPa)	Ec A.M Neville (MPa)	Ec SNI 2847 2019 (MPa)
0	19560.61	21673.07	23243.54
5	23331.54	23096.70	24316.40
10	21540.05	22401.24	22172.95
15	15783.79	20017.15	18993.83
20	13363.29	19035.04	17357.95

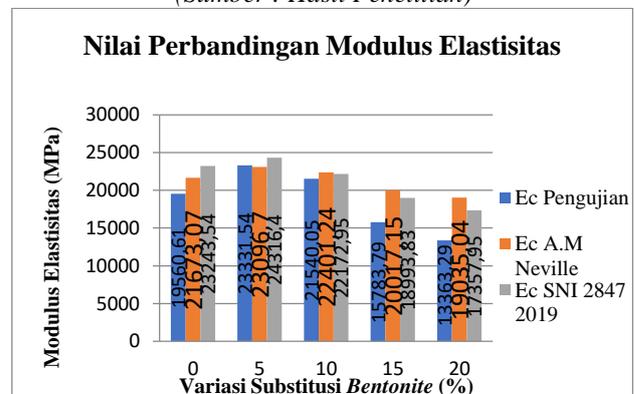
(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan Tabel diatas hasil perhitungan nilai modulus elastisitas dapat dibentuk menjadi sebuah grafik untuk membandingkan setiap variasi *zeolite* dan *bentonite* sebagai berikut.



Gambar 8. Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan substitusi *zeolite*

(Sumber : Hasil Penelitian)



Gambar 9. Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan substitusi *bentonite*

(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan Gambar diatas dapat disimpulkan bahwa pada pengujian modulus elastisitas beton perhitungan teoritis lebih besar dibandingkan hasil pengujian Pada pengujian modulus elastisitas ini pula terdapat variasi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 5% sebagai persentase optimal dan pada variasi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 10%, 15%, dan 20% mengalami penurunan. Pada dasarnya nilai modulus elastisitas akan lebih dipengaruhi dari kualitas agregatnya, semakin baik mutu agregat yang digunakan akan meningkatkan nilai modulus elastisitas beton tersebut. Peningkatan nilai modulus elastisitas tersebut antara lain disebabkan karena adanya jumlah pasta semen yang diperlukan untuk merekatkan agregat dalam adukan tidak mencukupi. Jumlah pasta semen yang cukup sangat diperlukan agar agregat dapat melekat sempurna dalam beton untuk mendukung kekuatannya.

3.4 Poisson Ratio

Dari data perubahan panjang arah longitudinal / aksial (ΔL) dan perubahan lebar arah transversal / lateral (Δr) dicari hubungan regangan longitudinal dan regangan transversal. Dengan menggunakan program *microsoft excel* pada analisa regresi linier didapat kurva regangan longitudinal dan regangan transversal. Selanjutnya dari persamaan regresi pada tersebut dapat dihitung nilai *poisson ratio*.

Adapun perhitungan *poisson ratio* dari persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Persamaan regresi } y = 4.1067x - 2E-05$$

$$S2 (\epsilon_2 = 0.000627286)$$

$$Et2 = \frac{0.000627286 + 0.00002}{4.1067} = 0.000158$$

$$S1 (\epsilon_1 = 0.00005)$$

$$Et1 = \frac{0.00005 + 0.00002}{4.1067} = 0.000017$$

$$\mu = \frac{0.000158 - 0.000017}{0.000627286 - 0.00005} = 0.2442$$

Dari perhitungan nilai modulus elastisitas diatas, nilai hasil selengkapnya dari variasi yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Poisson Ratio* dengan Substitusi *Zeolite*

Variasi (%)	Persamaan Regresi Polinomial	<i>Poisson Ratio</i>
0	$y = 4.1723x - 5E-06$	0.2396
5	$y = 4.1067x - 2E-05$	0.2442
10	$y = 4.2323x - 1E-04$	0.2362
15	$y = 4.8198x - 2E-05$	0.2074
20	$y = 5.951x - 6E-06$	0.1680
	Rata-rata	0.2191

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Poisson Ratio* dengan Substitusi *Bentonite*

Variasi (%)	Persamaan Regresi Polinomial	<i>Poisson Ratio</i>
0	$y = 4.1723x - 5E-06$	0.2396
5	$y = 4.1496x - 1E-05$	0.2409
10	$y = 4.3561x + 6E-06$	0.2295
15	$y = 4.8777x - 4E-05$	0.2050
20	$y = 5.3256x - 1E-05$	0.1877
	Rata-rata	0.2205

(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari Tabel 5 dan 6 hasil penelitian untuk nilai *poisson ratio* dapat diketahui bahwa nilai *poisson ratio* rata-rata untuk variasi substitusi *zeolite* 0%, 10%, 15%, 20% adalah 0.2396, 0.2442, 0.2362, 0.2074, 0.1680. Nilai *poisson ratio* rata-rata untuk variasi substitusi *bentonite* 0%, 10%, 15%, 20% adalah 0.2396, 0.2409, 0.2295, 0.2295, 0.1877. Data tersebut memperlihatkan penurunan nilai *poisson ratio* sampai kadar variasi *zeolite* dan *bentonite* maksimum. Variasi *zeolite* dan *bentonite* sampai kadar optimum memberikan pengaruh kekuatan lekatan tekan yang makin baik, sehingga kekuatan untuk menahan beban akan lebih baik.

3.5 Perbandingan Beton dengan Persyaratan SNI 2847 2019

Berdasarkan SNI 2847 2019 [12] regangan tekan beton *ultimate* saat kondisi hancur didapatkan bervariasi dari 0.003 hingga 0.008. Regangan pada saat terjadinya momen *ultimate* untuk komponen struktur dengan proporsi dan material normal berkisar antara 0.003 hingga 0.004. Berikut grafik regangan *ultimate* benda uji.

Adapun perhitungan dari persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$y = 5E+09x^3 - 3E+07x^2 + 38324x + 1.1343$$

$$y = 5E+09(0.003)^3 - 3E+07(0.003)^2 + 38324(0.003) + 1.1343$$

$$y = 19.8 \text{ Mpa}$$

Dari perhitungan diatas, nilai hasil selengkapnya dari variasi yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Perhitungan Regangan Beton dengan Substitusi *Zeolite*

Variasi (%)	Tegangan maks (MPa)	Regangan <i>Ultimate</i> Hasil Uji	Regangan <i>Ultimate</i> SNI	Tegangan yang terjadi	Persentase Pendekatan Nilai Regangan

					(%)
0	19.8	0.0008	0.003	19.8	26.67
5	25.21	0.0026	0.003	21.82	86.67
10	22.9	0.0025	0.003	20.47	83.33
15	16.38	0.0013	0.003	14.44	43.33
20	12.17	0.0008	0.003	11.14	26.67
Rata-rata		0.0016	0.003		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Tabel 8. Perbandingan Hasil Perhitungan Regangan Beton dengan Substitusi *Bentonite*

Variasi (%)	Tegangan maks (MPa)	Regangan <i>Ultimate</i> Hasil Uji	Regangan <i>Ultimate</i> SNI	Tegangan yang terjadi	Persentase Pendekatan Nilai Regangan (%)
0	19.8	0.0008	0.003	19.8	26.67
5	23.82	0.0025	0.003	20.80	83.33
10	21.8	0.0020	0.003	19.79	66.67
15	15.6	0.0013	0.003	12.80	43.33
20	13.36	0.0009	0.003	11.86	30.00
Rata-rata		0.0015	0.003		

(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari Tabel diatas hasil dapat diketahui bahwa nilai regangan *ultimate* untuk variasi substitusi *zeolite* 0%, 10%, 15%, 20% adalah 0.0008, 0.0026, 0.0025, 0.0013, 0.0008 dengan rata-rata 0.0016. Nilai regangan *ultimate* untuk variasi substitusi *bentonite* 0%, 10%, 15%, 20% adalah 0.0008, 0.0025, 0.0020, 0.0013, 0.00097 dengan rata-rata 0.0015. Beton dengan kuat tekan yang lebih rendah mempunyai kemampuan deformasi (daktilitas) yang lebih tinggi dibandingkan beton yang memiliki kuat tekan tinggi, dan tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan diantara 0.002 dan 0.0025. Dapat dilihat dari data tersebut bahwa pada variasi *zeolite* dan *bentonite* regangan *ultimate* tidak mencapai regangan dengan persyaratan SNI 2847 2019 [12]. Beton dengan substitusi *zeolite* dan *bentonite* tidak dapat diaplikasikan pada gedung atau bangunan yang struktural karena beton termasuk getas. Sifat getas beton perlu dikurangi agar bangunan dari beton tidak runtuh seketika saat terjadi gempa.

IV KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pengujian keduanya dapat dilihat beton mengalami peningkatan dari pengujian porositas dan penurunan pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari. Pada pengujian porositas, beton mengalami peningkatan pada variasi substitusi *zeolite* dan *bentonite* 10% , 15%, dan 20%. Pada pengujian kuat tekan mengalami penurunan pada variasi substitusi *zeolite* dan *bentonite* 10% , 15%, dan 20%. Dapat disimpulkan

bahwa porositas dan kuat tekan memiliki keterkaitan yang sangat penting. Semakin besar nilai porositas maka nilai kuat tekan beton akan mengalami penurunan, karena ruang kosong atau kadar pori dalam beton termasuk faktor utama dalam pengujian kuat tekan. Akan tetapi pemakaian *zeolite* dan *bentonite* harus diperhatikan karena keduanya mampu menyerap air sehingga dapat mempengaruhi reaksi hidrasi semen dan air menjadi terhambat.

2. Berdasarkan pengujian modulus elastisitas beton dapat disimpulkan bahwa terdapat variasi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 5% sebagai persentase optimal dan pada variasi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 10%, 15%, dan 20% mengalami penurunan. Pada dasarnya nilai modulus elastisitas akan lebih dipengaruhi dari kualitas agregatnya, semakin baik mutu agregat yang digunakan akan meningkatkan nilai modulus elastisitas beton tersebut. Peningkatan nilai modulus elastisitas tersebut antara lain disebabkan karena adanya jumlah pasta semen yang diperlukan untuk merekatkan agregat dalam adukan tidak mencukupi. Jumlah pasta semen yang cukup sangat diperlukan agar agregat dapat melekat sempurna dalam beton untuk mendukung kekuatannya. Pada pengujian modulus elastisitas beton selaras dengan pengujian kuat tekan beton. Dari data perhitungan *poisson ratio* memperlihatkan penurunan sampai kadar variasi *zeolite* dan *bentonite* maksimum.
3. Berdasarkan hasil penelitian terhadap kuat tekan dan porositas beton, persentase optimal substitusi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 5%. Benda uji dengan substitusi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 5% memiliki nilai porositas yang terendah dibandingkan benda uji lainnya yaitu 7,49% dan 7.60%, sedangkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 23,12 MPa dan 22,93 MPa. Pada pengujian modulus elastisitas ini terdapat variasi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 5% sebagai persentase optimal dan pada variasi *zeolite* dan *bentonite* sebesar 10%, 15%, dan 20% mengalami penurunan. Pada pengujian modulus elastisitas beton selaras dengan pengujian kuat tekan beton. Dari data perhitungan *poisson ratio* memperlihatkan penurunan sampai kadar variasi *zeolite* dan *bentonite* maksimum. Variasi *zeolite* dan *bentonite* sampai kadar optimum memberikan pengaruh kekuatan lekatan tekan yang makin baik, sehingga kekuatan untuk menahan beban akan lebih baik.
4. Dari hasil perbandingan regangan *ultimate* diketahui bahwa nilai regangan *ultimate* untuk variasi substitusi *zeolite* 0%, 10%, 15%, 20%

adalah 0.0008, 0.0026, 0.0025, 0.0013, 0.0008 dengan rata-rata 0.0016. Nilai regangan *ultimate* untuk variasi substitusi *bentonite* 0%, 10%, 15%, 20% adalah 0.0008, 0.0025, 0.0020, 0.0013, 0.00097 dengan rata-rata 0.0015. Dapat dilihat dari data tersebut bahwa pada variasi *zeolite* dan *bentonite* regangan *ultimate* tidak dapat mencapai regangan dengan persyaratan SNI 2847 2019 yaitu berkisar 0.003 hingga 0.004. Beton dengan kuat tekan yang lebih rendah mempunyai kemampuan deformasi (daktilitas) yang lebih tinggi dibandingkan beton yang memiliki kuat tekan tinggi, dan tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan diantara 0.002 dan 0.0025 (Robinsyah, 2008:8). Sifat tegangan-regangan dari beton adalah tergantung dari kekuatan, umur beton, kecepatan pembebanan, sifat dari agregat dan semen, jenis dan ukuran dari benda uji, alat pengujian dan ketelitian. Beton dengan substitusi *zeolite* dan *bentonite* tidak dapat diaplikasikan pada gedung atau bangunan yang structural karena beton termasuk getas. Sifat getas beton perlu dikurangi agar bangunan dari beton tidak runtuh seketika saat terjadi gempa.

Pada pengujian terhadap sifat mekanik beton, *zeolite* dan *bentonite* jika diaplikasikan pada beton normal hanya mampu mengalami peningkatan mutu beton pada variasi 5% dan tidak signifikan jika dibandingkan dengan beton normal. Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif sehingga semen dapat dikatakan sebagai perekat agregat halus dan agregat kasar sedangkan *zeolite* dan *bentonite* kurang memiliki sifat merekatkan dengan baik. Dengan demikian *zeolite* dan *bentonite* pada beton normal tidak begitu berpengaruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Jakarta: ANDI, 2003.
- [2] Kartini, W., dan Arifin, *Teknologi Beton*. Surabaya: Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, 2017.
- [3] Kusdarto, "Potensi Zeolit Di Indonesia," *J. Zeolit Indones.*, vol. 7, no. 1411–6723, p. 2, 2008.
- [4] R. Djmaluddin and S. A. Sasmita, "PENGARUH BETON SERAT YANG MENGGUNAKAN BENTONIT TERHADAP KEKUATAN PERKERASAN KAKU," vol. 3, no. 1, pp. 92–98, 2014.
- [5] M. R. Poerwadi, A. Zacoeb, R. Syamsudin, and J. M. T. Haryono, "PENGARUH PENGGUNAAN MINERAL LOKAL ZEOLIT ALAM TERHADAP KARAKTERISTIK SELF-COMPACTING CONCRETE (SCC)," pp. 1–10, 2005.
- [6] ASTM C127, *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. West Conshohocken, PA. United States, 2015.
- [7] A. C. 128, *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. West Conshohocken, PA. United States, 2015.
- [8] A. C. 29, *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*. West Conshohocken, PA. United States, 2017.
- [9] ASTM C 566, *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. West Conshohocken, PA. United States, 2013.
- [10] SK SNI 15-1991-03, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung," *Sk Sni T15-1991-03*, p. 520, 1991.
- [11] A. . Neville, *Properties of Concrete*. England: Pearson Education Limited, 2011.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)," *Badan Stand. Nas.*, no. 8, p. 695, 2019.