

TINJAUAN TEKNIK DAN EKONOMIS PENGGUNAAN ABU VULKANIK SINABUNG BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA BETON

Muhammad Wirawan Hutagalung¹, Falwan Rizky Gunawan², Drs. Kusumadi³
Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan^{1,2,3}, Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan
muhammadhutagalung@students.polmed.ac.id¹, falwangunawan@students.polmed.ac.id²,
kusumadisipil@gmail.com³

ABSTRAK

Beton sangat berperan penting dalam dunia konstruksi. Beton merupakan bahan konstruksi yang saat ini paling banyak digunakan dalam pembangunan karena memiliki banyak kelebihannya. Beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen portland, agregat kasar, agregat halus dan air. Dalam penelitian ini digunakan Limbah Abu Vulkanik Sinabung sebagai bahan pengganti semen. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada beton. Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton dengan Ø15cm dan tinggi 30cm untuk uji kuat tekan sebanyak 18 sampel dan balok ukuran 15x15x60cm untuk benda uji kuat lentur sebanyak 12 sampel. Sehingga total benda uji 30 sampel. Nilai kuat tekan variasi normal sebesar 25,51 MPa dengan biaya Rp. 884.312/m³, pada variasi 5% mengalami penurunan dan memperoleh nilai kuat tekan sebesar 25,10 MPa dengan biaya Rp. 855.512/m³, dan pada variasi 25% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 21,57 MPa dengan biaya Rp. 740.310/m³. Begitu pula dengan kuat lentur,. Untuk beton normal dengan memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,865 MPa dengan biaya Rp. 884.312/m³, pada variasi 5% memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,60 MPa dengan biaya Rp. 855.512/m³, dan pada variasi 25% memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,730 MPa dengan biaya Rp. 740.310/m³.

Kata Kunci : Beton, Abu Vulkanik Sinabung, Kuat Tekan dan Kuat Lentur

PENDAHULUAN

Beton sangat berperan sangat penting dalam dunia konstruksi. Dapat dikatakan hampir pada setiap bangunan yang didirikan seperti gedung bertingkat, perumahan, jalan, jembatan, bendungan, dan saluran irigasi serta bangunan lainnya yang memerlukan pekerjaan beton. Beton merupakan bahan konstruksi yang saat ini paling banyak digunakan dalam pembangunan karena memiliki banyak kelebihan diantaranya: beton mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, beton mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap api dan biaya perawatannya relatif murah. Secara sederhana, beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen *portland*, agregat kasar, agregat halus, dan air.

Berbagai upaya telah dilakukan penelitian guna memperoleh kemajuan dalam teknologi beton, yaitu penambahan bahan lain/bahan tambah (*admixture*) yang bertujuan mengurangi pemakaian semen agar lebih ekonomis, namun tidak menghilangkan sifat dari karakteristik beton tersebut. Dengan demikian, perlu adanya pengembangan teknologi bahan untuk mengurangi hal tersebut tersebut dan dapat dijadikan bahan alternative lain yaitu limbah abu vulkanik Gunung Sinabung. Sebagai usaha mencari manfaat dari bencana tersebut maka diupayakan untuk memanfaatkan limbah abu vulkanik yang berasal dari Gunung Sinabung tersebut sebagai bahan yang berguna. Abu vulkanik merupakan bahan material vulkanik yang disemburkan ke udara saat terjadi letusan gunung berapi. Abu vulkanik mengandung Silika (SiO₂), Oksigen (O₂), serta zat-zat lainnya seperti Besi (Fe), Mangan (Mn), Silikat (Si), Aluminium (Al), Kalsium (Ca), Kalium (K), dan Fosfor (P). (Gunawan Budianto:2014)

Mengutip dari MAGMA Indonesia (*Multiplatform Application for Geohazard Mitigation and Assessment in Indonesia*) yang dikelola Badan Geologi, Indonesia memiliki gunung berapi terbanyak didunia sebanyak 127. Dari 127 gunung api, hanya 69 gunung api yang aktif yang dipantau oleh PVMBG. Indonesia terletak pada lempeng tektonik Eurasia dan Australia yang bertubrukan, menyebabkan banyaknya gunung api di Indonesia. Gunung Sinabung salah satu

gunung aktif yang ada ditanah Karo Sumatera Utara, dan terakhir kali erupsi menyemburkan abu vulkanik dengan status siaga pada tanggal 28 Juli 2021. Ada 40 desa yang berada di 3 kecamatan terdampak erupsi Gunung Sinabung. Erupsi Gunung Sinabung sangat mengganggu pernapasan manusia dan abu tersebut belum dapat diolah dengan baik dan menjadi limbah disekitaran gunung dan di kawasan pemukiman. Oleh sebab itu, untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh abu vulkanik maka perlu upaya pemanfaatan abu vulkanik menjadi yang sangat berguna, salah satunya ialah sebagai pengganti semen portland pada campuran beton.

Hary Godman Manalu (2018) melakukan penelitian dengan judul “Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dengan Pengujian Kuat Tekan Beton”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton per variasi berbeda, 10%= 15.740 MPa, 20%= 14.232 MPa, 30%= 13.383 MPa dengan umur beton 28 hari.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hubungan kekuatan beton dengan biaya dalam penggunaan abu vulkanik Gunung Sinabung sebagai bahan pengganti sebagian semen pada campuran beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang banyak digunakan pada pembangunan konstruksi (bangunan gedung, jembatan dan jalan raya, saluran irigasi, bendungan dll). Beton adalah material yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen *portland* atau tidak menggunakan bahan tambah (SK.SNI T-15-1990-03:1). Bahan semen dan air disatukan akan membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi.

Untuk mencapai kuat tekan beton perlu diperhatikan masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan. Perencana bisa mengembangkan pemilihan material yang layak sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang direncanakan oleh perencana. Untuk itu diperlukan susunan gradasi butiran yang baik. Nilai kuat tekan beton yang dicapai ditentukan oleh mutu bahan agregat (Dipohusodo, 1994).

Disamping kualitas bahan penyusunannya, kualitas pelaksanaan pun menjadi penting dalam pembuatan beton. Kualitas pekerjaan suatu konstruksi sangat dipengaruhi oleh pelaksanaan pekerjaan beton (Jakson, 1997).

Billy Wijaya (2018) melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Dasar Terhadap Kuat Lentur Beton Geopolimer”. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan bahwa kuat lentur rata-rata pada curing time 24 jam mencapai 4.53 MPa, pada saat *curing time* 4 jam kuat lentur rata-ratanya 2.779 MPa, pada saat *curing time* 8 jam mengalami kenaikan kuat lentur menjadi 3.289 MPa, dan pada saat *curing time* 12 jam meningkat menjadi 3.793 MPa. Hasil yang diperoleh, kuat lentur maksimum pada *curing time* 24 jam.

Herman Sinaga (2019) melakukan penelitian dengan judul “Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagian Bahan Campuran Semen Pada Beton”. Hasil penelitian ini menunjukkan berdasarkan persentase variasi; 10% = 301.5 kg/cm², 20%= 279 kg/cm², dan 30% = 250.34 kg/cm². Penurunan kuat tekan pada persentase 10% AVGS hanya 2.8% dari kuat tekan beton normal. Dalam hal ini 10% dari berat semen, masih bisa dipergunakan dalam konstruksi.

Hary Godman Manalu (2018) melakukan penelitian dengan judul “Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dengan Pengujian Kuat Tekan Beton”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton per variasi berbeda, 10%= 15.740 MPa, 20%= 14.232 MPa, 30%= 13.383 MPa dengan umur beton 28 hari.

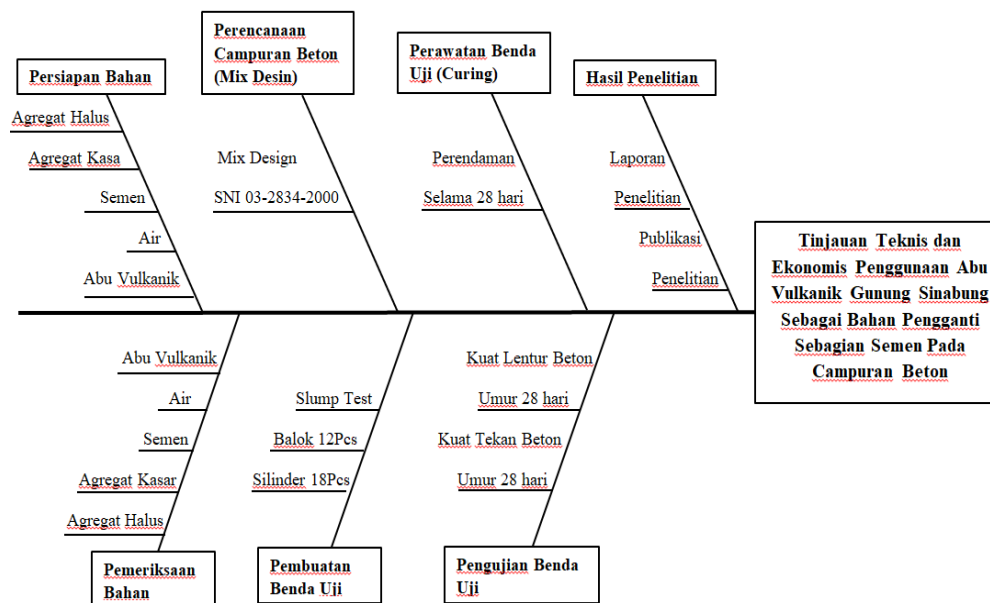
Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

Girsang, Febrina (2017) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Sinabung sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton”. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata untuk normal 210.9 kg/cm^2 , Variasi abu vulkanik 20% = 177.1 kg/cm^2 , Variasi abu vulkanik 50% = 113.2 kg/cm^2 untuk umur 28 hari.

METODE PENELITIAN

Rancangan Kegiatan

Rancangan kegiatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Kegiatan

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Laboratorium Beton Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji dari berbagai pengujian mulai dari pemeriksaan/pengujian bahan sampai hasil kuat tekan dan kuat lentur sesuai SNI 03-2834-2000 yang sudah diuji di Laboratorium Beton Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan.

Teknik Analisis Data

Data yang terkumpul akan digunakan untuk *Mix Design* pada beton. *Mix Design* beton dalam penelitian menggunakan metode SNI 03-2834-2000 : Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal serta mengikuti prosedur yang telah ditetapkan. Data yang diperoleh dari penelitian ini kemudian dianalisa menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan hasil *Mix Design* dan hasil Kuat Tekan dan Kuat Lentur pada Beton, untuk mencari nilai ekonomis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Sebelum pembuatan benda uji dilakukan, terlebih dahulu harus merencanakan campuran beton. *Mix design* bertujuan untuk dapat menentukan proporsi kebutuhan perencanaan beton dalam 1 m^3 . Perhitungan rencana campuran beton normal (*mix design*) menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana yaitu $f_c'25 \text{ MPa}$. Berikut akan langkah perhitungan serta daftar isian *mix design* menggunakan SNI 03-2834-2000 yang dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Mix Design SNI 03-2834-2000

No.	Uraian	Tabel/Grafik Perhitungan	Nilai
1.	Kuat Tekan yang disyaratkan ($f'c$)	Ditetapkan	25 MPa, 28 hari
2.	Deviasi Standar rencana (Sr)	Tabel 1	7 MPa
3.	Nilai tambah atau margin (M)	Ditetapkan	$1,64 \times 7 = 11,48$ MPa
4.	Kek. Rata-rata ditargetkan (fcr)	Ditetapkan	$= 36,48$ MPa
5.	Jenis Semen	Ditetapkan	$=$ PCC Tipe 1
6.	Jenis Agregat : Kasar	Diketahui	Batu Pecah
	Halus	Diketahui	Alami
7.	Faktor Air Semen (FAS)	Tabel 2, Grafik 1 atau 2	$= 0,51$
8.	Faktor Air Semen Maksimum	Ditetapkan	$= 0,60$
9.	Slump	Ditetapkan	$= 50 - 75$ mm
10.	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	$= 20$
11.	Kadar Air Bebas	Tabel 4	$= 205$
12.	Jumlah Semen	11 : (7 atau 8)	$= 401,96$
13.	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	$= 401,96$ kg/m ³
14.	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	$= 325$ kg/m ³
15.	FAS yang disesuaikan	(11:14) Bila kadar semen minimum	
16.	Susunan butir Agregat Halus	Grafik 3 s/d 6	$=$ Zona 3 BS
17.	Persen Agregat Halus	Grafik 13 s/d 15	$= 34$ %
18.	Persen Agregat Kasar	100% - 17	$= 66$ %
19.	BJ Agregat Gabungan (SSD)	Diketahui	$= 2,64$
20.	Berat Isi Beton Basah	Grafik 16	$= 2375$ kg/m ³
22.	Kadar Agregat Gabungan	20 - 11 - 13	$= 1768,04$ kg/m ³
22.	Kadar Agregat Halus	18 x 21	$= 601,03$ kg/m ³
23.	Kadar Agregat Kasar	21 - 22	$= 1166,91$ kg/m ³

Sumber: SNI 03-2834-2000

Untuk mendapatkan susunan campuran yang sebenarnya yaitu yang digunakan sebagai campuran uji, maka perlu dilakukan koreksi terhadap proporsi campuran beton dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat pada agregat ataupun yang dibutuhkan pada agregat. Melakukan koreksi proposi campuran beton memerlukan data hasil pengujian kadar dan juga daya serap agregat, sehingga perhitungan dan datanya seperti dibawah ini:

1. Daya Serap Agregat Kasar (Da) = 1,01 %
2. Daya Serap Agregat Halus (Ca) = 2,54 %
3. Kadar Air Agregat Kasar (Dk) = 0,58 %
4. Kadar Air Agregat Halus (Ck) = 1,89 %
5. Jumlah Air (A) = 205 kg/m³
6. Jumlah Agregat Halus (C) = 601,13 kg/m³
7. Jumlah Agregat Kasar (D) = 1166,91 kg/m³

$$\begin{aligned} \text{a. Air} &= B - (Ck - Ca) \times C/100 - (Dk - Da) \times D/100 \\ &= 205 - (1,89\% - 2,54\%) \times 601,13/100 - (0,58\% - 1,01\%) \times 1166,91/100 \\ &= 213,93 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Agregat Halus} &= C + (Ck - Ca) \times C/100 \\ &= 601,13 + (1,89\% - 2,54\%) \times 601,13/100 \\ &= 597,22 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Agregat Kasar} &= D + (Dk - Da) \times D/100 \\ &= 1166,91 + (0,58\% - 1,01\%) \times 1166,91/100 \\ &= 1161,93 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Proporsi campuran beton setiap m³ setelah koreksi sebagai berikut:

- a. Semen = 401,96 kg/m³
- b. Agregat Halus = 597,22 kg/m³
- c. Agregat Kasar = 1161,93 kg/m³
- d. Air = 213,93 kg/m³

Komposisi Campuran Beton

Dari hasil *mix design* dan perhitungan koreksi proporsi campuran beton serta perhitungan volume pekerjaan yang telah dilakukan, maka diperoleh komposisi campuran beton normal untuk 3 benda uji silinder dan 2 benda uji balok. Komposisi campuran beton untuk setiap variasi abu vulkanik sinabung sebagai bahan pengganti sebagian semen ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton

Variasi Abu	Benda Uji	Jumlah Sampel	Kebutuhan Bahan (Kg)				
			Air	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Abu
0%	Silinder	3	4,25	7,9	11,87	23,10	0
	Balok	2	7,60	13,56	20,15	33,36	0
5%	Silinder	3	4,25	7,59	11,87	23,10	0,3995
	Balok	2	7,60	12,882	20,15	33,36	0,678
10%	Silinder	3	4,25	7,191	11,87	23,10	0,799
	Balok	2	7,60	12,204	20,15	33,36	1,356
15%	Silinder	3	4,25	6,792	11,87	23,10	1,198
	Balok	2	7,60	11,526	20,15	33,36	2,034
20%	Silinder	3	4,25	6,392	11,87	23,10	1,598
	Balok	2	7,60	10,848	20,15	33,36	2,712
25%	Silinder	3	4,25	5,993	11,87	23,10	1,997
	Balok	2	7,60	10,221	20,15	33,36	3,339

Sumber: Hasil perhitungan

Pengujian Kuat Tekan Beton

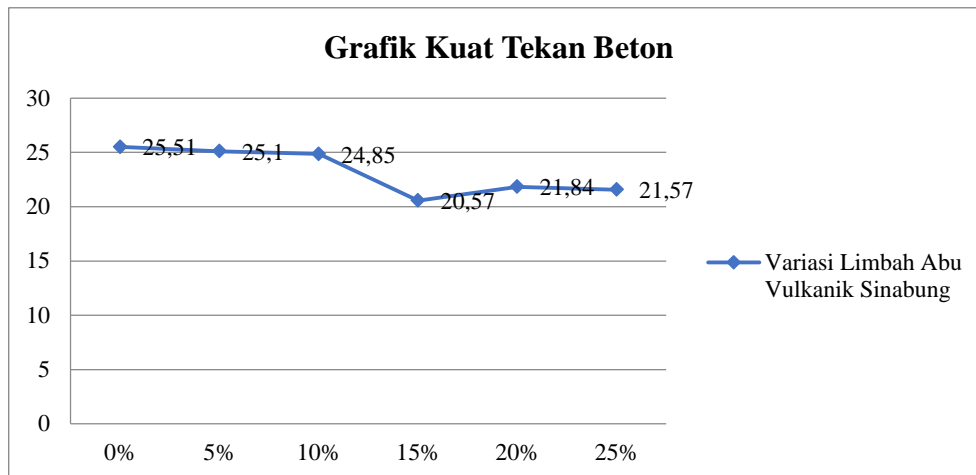
Pengujian kuat tekan beton dilakukan terhadap 18 benda uji silinder pada saat beton umur 28 hari, dimana setiap variasi limbah abu vulkanik gunung sinabung terdiri dari 3 sampel. Berdasarkan pengujian maka diperoleh rekapitulasi data hasil pengujian kuat tekan beton dengan penggantian semen menggunakan limbah abu vulkanik gunung sinabung yang dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Abu Vulkanik Gunung Sinabung	Nilai Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	25,51
5%	25,10
10%	24,85
15%	20,57
20%	21,84
25%	21,57

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 3 diatas maka dapat dilihat hubungan antara kuat tekan beton dengan penggantian semen menggunakan limbah abu vulkanik Gunung Sinabung pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar Grafik 2 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan dari semua variasi limbah abu vulkanik Gunung Sinabung terjadi penurunan, variasi 10% sampai dengan 25% yang tidak sesuai dengan f_c' rencana yaitu 25 MPa.

Gambar diatas menunjukkan kuat tekan beton tertinggi dengan variasi penggunaan limbah abu vulkanik Gunung Sinabung pada variasi 5% yaitu 25,1 MPa dan jika dibandingkan dengan beton normal maka penurunan kekuatan beton sebesar 0.50 MPa. Maka penambahan setiap variasi limbah abu vulkanik Gunung Sinabung akan mempengaruhi kekuatan beton dan mengalami penurunan kekuatan beton. Pada variasi limbah abu vulkanik Gunung Sinabung 10% nilai kuat tekan beton yaitu 24,85 MPa, kemudian pada variasi 15% nilai kuat tekan beton sebesar 20,57 MPa sekaligus menjadi penurunan terbesar.

Pengujian Kuat Lentur Beton

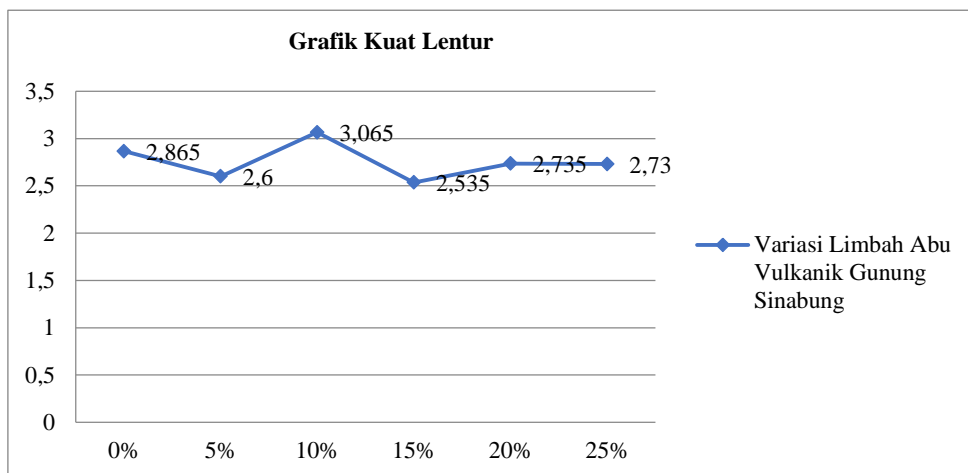
Pengujian kuat lentur beton dilakukan terhadap 12 benda uji balok pada saat beton umur 28 hari, dimana setiap variasi limbah abu vulkanik gunung sinabung terdiri dari 2 sampel. Berdasarkan pengujian maka diperoleh rekapitulasi data hasil pengujian kuat tekan beton dengan penggantian semen menggunakan limbah abu vulkanik gunung sinabung yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Variasi Abu Vulkanik Gunung Sinabung	Nilai Kuat Tekan Lentur (MPa)
0 %	2,865
5 %	2,60
10 %	3,065
15 %	2,535
20 %	2,735
25 %	2,730

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4 diatas maka dapat dilihat hubungan antara kuat tekan beton dengan penggantian semen menggunakan limbah abu vulkanik Gunung Sinabung pada Gambar 3 dibawah ini



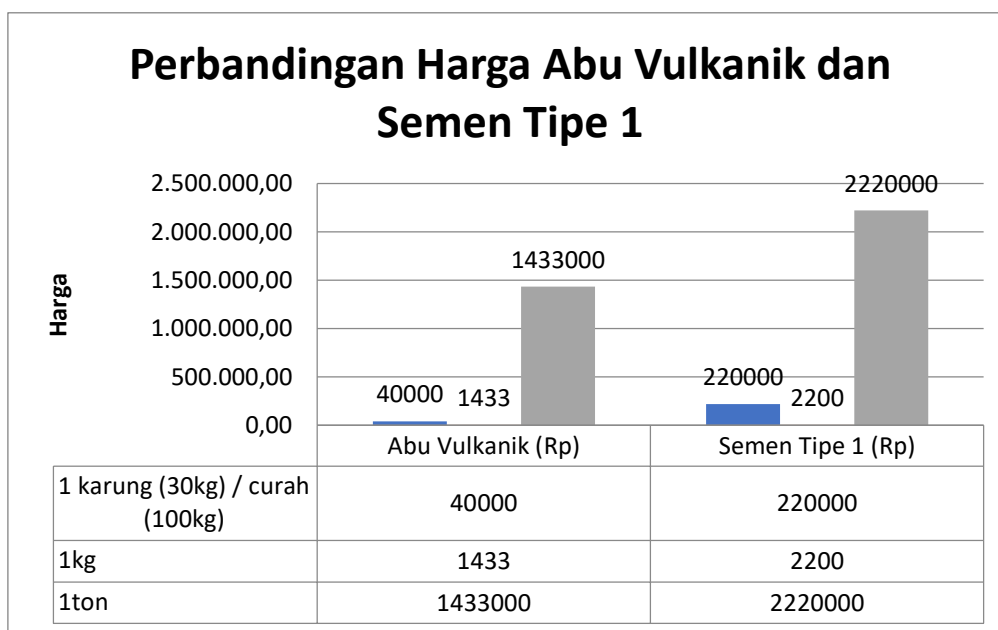
Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Berdasarkan Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa nilai kuat lentur beton normal sebesar 2,865 MPa, dan nilai kuat lentur tertinggi dengan variasi limbah abu vulkanik Gunung Sinabung terdapat pada variasi 10% sebesar 3,065.

Hasil Pengujian kuat lentur beton dengan variasi limbah abu vulkanik Gunung Sinabung mengalami penurunan dan peningkatan, dimana pada variasi 15% terjadi penurunan terbesar yaitu 0,33 MPa dari beton normal dan terjadi peningkatan dari beton normal sebesar 0.2 MPa.

Nilai Ekonomis

Dalam penelitian ini tentu saja harus diperlukan nilai ekonomis dari limbah penelitian yaitu abu vulkanik gunung sinabung. Pentingnya nilai ekonomis berpengaruh kepada pekerjaan pengecoran yang akan dibuat, semakin tinggi persenan penggunaan limbah abu vulkanik dari kekuatan rencana maka ada pengurangan biaya terhadap pekerjaan pengecoran tersebut.



Gambar 4. Perbandingan Harga Abu Vulkanik dan Semen Tipe 1

Pentingnya hubungan antara kekuatan dengan biaya, ketika kekuatan menjadi naik maka biaya menjadi ikut naik begitu juga sebaliknya ketika kekuatan ikut menurun maka biaya menjadi ikut

menurun juga dikarenakan pada penelitian ini menggunakan limbah abu vulkanik Gunung Sinabung mengalami penurunan terhadap kekuatan kuat tekan beton. Berikut tabel hubungan antara kekuatan dengan biaya untuk kuat tekan beton dan kuat lentur 1 m^3 .

Tabel 5. Hubungan Antara Kekuatan dengan Biaya Untuk Kuat Tekan

Variasi Abu Vulkanik Gunung Sinabung	Hasil Kuat Tekan Beton (MPa)	Perbandingan Biaya (Rp)
0%	25.51	884.312
5%	25.10	855.512
10%	24.85	826.712
15%	20.57	797.911
20%	21.84	769.111
25%	21.57	740.310

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Hubungan Antara Kekuatan dengan Biaya Untuk Kuat Tekan

Variasi Abu Vulkanik Gunung Sinabung	Hasil Kuat Lentur Beton (MPa)	Perbandingan Biaya (Rp)
0%	2.865	884.312
5%	2.60	855.512
10%	3.065	826.712
15%	2.535	797.911
20%	2.735	769.111
25%	2.730	740.310

Sumber: Hasil perhitungan

SIMPULAN

Pengaruh Campuran Abu Vulkanik Gunung Sinabung mempengaruhi kuat tekan dan kuat lentur dengan nilai ekonomisnya. Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan nilai kuat tekan mengalami penurunan dan biaya mengalami penurunan juga. Untuk beton normal dengan memperoleh nilai kuat tekan sebesar 25,51 MPa dengan biaya Rp. 884.312 / m^3 , pada variasi 5% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 25,10 MPa dengan biaya Rp. 855.512 / m^3 , pada variasi 10% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 24,85 MPa dengan biaya Rp. 826.712/ m^3 , pada variasi 15% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 20,57 MPa dengan biaya Rp. 797.911, pada variasi 20% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 21,84 MPa dengan biaya Rp. 769.111/ m^3 , dan pada variasi 25% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 21,57 MPa dengan biaya Rp. 740.310/ m^3 . Begitu pula dengan kuat lentur, Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan nilai kuat lentur mengalami penurunan dan biaya mengalami penurunan juga. Untuk beton normal dengan memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,865 MPa dengan biaya Rp. 884.312 / m^3 , pada variasi 5% memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,60 MPa dengan biaya Rp. 855.512 / m^3 , pada variasi 10% memperoleh nilai kuat lentur sebesar 3,065 MPa dengan biaya Rp. 826.712/ m^3 , pada variasi 15% memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,535 MPa dengan biaya Rp. 797.911, pada variasi 20% memperoleh nilai kuat lentur sebesar 2,735 MPa dengan biaya Rp. 769.111/ m^3 , dan pada variasi 25% memperoleh nilai kuat tekan sebesar 2,730 MPa dengan biaya Rp. 740.310/ m^3 ..

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih Kepada Politeknik Negeri Medan melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2834-2000). (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standardisasi Nasional.

Konferensi Nasional Sosial dan Engineering Politeknik Negeri Medan Tahun 2022

- Standar Nasional Indonesia (SNI 1974-2011). (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 4431-2011). (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*, Badan Standardisasi Nasional.
- Abdul Rohman Anshory, Sri Sumarni, & Roemintoyo. (2019). Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti Sebagian Semen Agregat Halus Pada Beton Normal Sebagai Pendukung Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton. *Universitas Sebelas Maret Surakarta*, 50-61.
- F. Zulkarnain. (2017). Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sumatera Utara Untuk Infrastruktur Perumahan Penduduk di Kawasan Bencana. *Seminar Nasional Strategi Pengembangan Infrastruktur ke-3 (SPI-3)*, 125-130.
- Febrina Girsang. (2017). Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Universitas Medan Area*.
- Giano , N. T., Steenie , E., & H. Manalip. (2018). Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Geopolymer Berbasis Abu Vulkanik. *Jurnal Sipil Statik Vol. 6 No. 9*, 657-664.
- Hary Godman , M. (2022). Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dengan Pengujian Kuat Tekan Beton. *Universitas HKBP Nomensen*, 60-66.
- Hungguram, E. d. (2017). Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. *Kupang: Universitas Nusa*.
- Sinaga, H. (2019). Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Campuran Semen Pada Beton. *Jurnal UHN*.
- Wijaya, B. (2018). Pemanfaat Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Dasar Terhadap Kuat Lentur Beton Geopolimer. *Universitas Sumatera Utara*.
- Yulius Rief Alkhalyn Cok Panondang, Zulfahmi. (2017). Kuat Tekan Beton Polimer Berbahan Abu Vulkanik Gunung Sinabung dan Resin Epoksi. *Unimal*.
- Hungguram, E. d. (2017). Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. *Kupang: Universitas Nusa*.