

“STUDI PENELITIAN ABU AMPAS TEBU DAN SERBUK LIMBAH KERAMIK PADA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH BATUBARA”

Lucky Alvaro Adam S. ¹, Ir. Ester Priskasari, MT. ², Mohammad Erfan, ST., MT. ³

¹²³⁾ *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: luckyalvaroadam@gmail.com

ABSTRACT

Concrete is generally composed of aggregates, water and cement and can also be provided with admixtures if needed. Cement has been used as the main material for concrete that serves to bind aggregates, but on the other hand cement production also produces CO₂ gas which causes global warming. An effort to effectively reduce the risk of global warming is to reduce the use of cement for making concrete in construction and infrastructure projects. For this effort, the use of geopolymer concrete is an option as an efficient alternative to cement. Geopolymers are environmentally safe materials consisting of natural materials such as silica tetraoxide (SiO₄) and alumina tetraoxide (AlO₄) synthesized through a polymerization process, elements that can be found in industrial by-products such as fly ash, bagasse ash, palm kernel shell ash and rice husk ash. Bagasse ash is the residue of combustion from sugar factory boilers at temperatures > 600°C, through this combustion a high silica element is produced. Ceramics is a type of product made with clay as the main material that is formed and burned at a temperature of 600° Celsius to more than 1300° Celsius so that there is a change in the nature of the clay to become stronger. In this study, bagasse ash and ceramic waste powder were used with levels of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. The hypothetical test results prove that there is an effect of using bagasse ash and ceramic waste powder in geopolymer concrete.

Keywords: bagasse ash; geopolymer concrete; fly ash; ceramic waste.

ABSTRAK

Beton secara umum tersusun dari agregat, air dan semen serta dapat pula diberikan admixture jika dibutuhkan. Semen selama ini digunakan sebagai material utama beton yang berfungsi untuk mengikat agregat, namun disisi lain produksi semen juga menghasilkan gas CO₂ yang mengakibatkan pemanasan global. Upaya untuk mengurangi resiko pemanasan global secara efektif adalah dengan mengurangi penggunaan semen untuk pembuatan beton pada proyek konstruksi dan infrastruktur. Untuk upaya tersebut, penggunaan beton geopolimer menjadi pilihan sebagai alternatif penggunaan semen yang efisien. Geopolimer adalah bahan yang aman bagi lingkungan yang terdiri dari bahan alami seperti dari silika tetraoksida (SiO₄) dan alumina tetraoksida (AlO₄) yang disintesis melalui proses polimerisasi, elemen yang dapat ditemukan dalam produk sampingan industri seperti abu terbang, abu ampas tebu, abu cangkang sawit dan abu sekam padi. Abu ampas tebu merupakan sisa pembakaran dari ketel uap pabrik gula pada suhu > 600°C, melalui pembakaran tersebut dihasilkan unsur silika yang tinggi. Keramik merupakan jenis produk yang dibuat dengan bahan utama tanah liat yang dibentuk dan dibakar dengan suhu 600° Celcius hingga lebih dari 1300° Celcius sehingga terjadi perubahan sifat tanah liat menjadi lebih kuat. Pada penelitian ini digunakan abu ampas tebu dan serbuk limbah keramik dengan kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Dari hasil pengujian hipotetis membuktikan bahwa terdapat pengaruh dari penggunaan abu ampas tebu dan serbuk limbah keramik pada beton geopolimer.

Kata kunci: abu ampas tebu; beton geopolimer; fly ash; limbah keramik.

1. PENDAHULUAN

Beton adalah material yang menjadi kebutuhan untuk konstruksi, beton umumnya terdiri dari material berupa agregat, air dan semen, serta apabila dibutuhkan dapat diberi bahan tambahan (*admixture*). Semen merupakan material yang secara kimiawi aktif setelah bereaksi dengan air, fungsi utama dari semen sebagai material pengikat (*binder*) dalam campuran beton. Namun disisi lain produksi semen menghasilkan banyak gas karbon dioksida (CO₂) yang menimbulkan global warming.

Upaya untuk mengurangi resiko pemanasan global secara efektif adalah dengan mengurangi penggunaan semen untuk pembuatan beton pada proyek konstruksi dan Untuk upaya tersebut, penggunaan beton geopolimer menjadi pilihan sebagai alternatif penggunaan semen yang efisien. Geopolimer adalah bahan yang aman bagi lingkungan yang terdiri dari bahan alami seperti dari silika tetraoksida (SiO₄) dan alumina tetraoksida (AlO₄) yang disintesis melalui proses polimerisasi, elemen yang dapat ditemukan dalam produk sampingan industri seperti abu terbang, abu ampas tebu, abu cangkang sawit dan abu sekam padi

Abu ampas tebu merupakan hasil sampingan dari industri pabrik gula yang diperoleh melalui proses pembakaran tungku pabrik gula pada suhu 600-700°C, sehingga dihasilkan unsur silika yang. Dalam kajian geopolimer yang memakai inovasi limbah yang melimpah, digunakan juga serbuk keramik dari hasil sisa sisa pabrik dan industri keramik Dinoyo Kec. Lowokwaru Kota Malang Jawa Timur. Keramik sendiri merupakan jenis produk yang dibuat dengan bahan utama tanah liat yang dibentuk dan dibakar dengan suhu 600° Celcius hingga lebih dari 1300° Celcius sehingga terjadi perubahan sifat tanah liat menjadi lebih kuat.

Penelitian ini berujuan untuk mengetahui pengaruh abu ampas tebu dan limbah keramik terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur dari beton geopolimer berbasis *fly ash* batubara, diharapkan bahan alternatif yang digunakan dapat menghasilkan beton geopolimer yang berkualitas dan ramah lingkungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Geopolimer

Beton Geopolimer merupakan material baru yang tidak membutuhkan semen portland selaku pengikat. Sebagai gantinya, bahan semacam fly ash yang mempunyai isi Silika (Si) serta Aluminium (AL) diaktifkan oleh larutan alkali untuk menciptakan binder. Sehingga beton geopolimer bisa tercipta tanpa memakai semen Portland,

(Davidovits, 1997).

Pasta geopolimer mengikat agregat halus serta material yang lain buat membentuk beton geopolimer. Konstruksi beton geopolimer umumnya dicoba dengan memakai tata cara beton konvensional pada biasanya. Semacam halnya beton, material agregat membentuk 75-80% dari bahan beton geopolimer. Silika serta alumina dalam abu terbang berkalsium rendah diaktifkan dengan mengombinasikan larutan natrium hidroksida serta natrium silikat buat membentuk pasta geopolimer yang mengikat agregat serta bahan yang lain yang tidak bereaksi

Material

a. Alkali Aktifator

Alkali aktifator bertindak sebagai katalis dalam reaksi yang memungkinkan pembentukan ikatan baru dan polimerisasi.(Nodehi & Taghvae, 2022)

Alkali aktifator yang digunakan untuk geopolimer biasanya merupakan kombinasi dari hidroksil, biasanya natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan silikat kaca, terdiri dari natrium silikat (Na₂SiO₃) atau kalium silikat (K₂SiO₃). (Turner & Collins, 2013)

Satuan dari larutan cair yang terdiri dari pelarut dan zat terlarut, untuk menyatakan konsentrasi alkali adalah ukuran mol terlarut dalam larutan. (Nodehi & Taghvae, 2022) :

$$M = \frac{n}{V} \dots\dots\dots(2,1)$$

Dengan :

- M = Molaritas
- n = Massa relatif molekul
- v = Volume larutan

b. Fly Ash

Fly ash merupakan bagian dari sisa abu pembakaran Berupa bubuk halus dan ringan, diperoleh dari Bahan pembakaran gas campuran Batubara di boiler pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Fly ash dimekanisasi oleh sistem Deposisi elektrostatis (Hidayat, 1986) Fly ash adalah campuran mineral yang berasal dari Batubara yang tidak terpakai. Bahan Memiliki kandungan semen yang tinggi, Memiliki sifat pozzolan (Himawan dan Darma, 2000: 25) Fly ash dapat digolongkan menjadi tiga kelas sebagai berikut.

Tabel 1 Persyaratan kandungan kimia *fly ash*

Senyawa	Kelas N	Kelas F	Kelas C
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , min, %	70	70	50
SO ₃ , maks, %	4	5	5
Kadar air, maks, %	3	3	3
Hilang pijar, maks, %	10	6	6

Sumber: (SNI 2460: 2014 hal. 3)

Tabel 2 Tabel komposisi kimia *fly ash* tipe C (PLTU Paiton)

No	Compound	Hasil Uji
1	Al ₂ O ₃	11,00 %
2	SiO ₂	25,30 %
3	SO ₃	0,60 %
4	K ₂ O	1,40 %
5	CaO	30,06 %
6	TiO ₂	1,46 %
7	V ₂ O ₅	0,05 %
8	Cr ₂ O ₃	0,077 %
9	MnO	0,49 %
10	Fe ₂ O ₃	25,60 %
11	NiO ₂	0,05 %
12	CuO	0,062 %
13	ZnO	0,02 %
14	SrO	0,94 %
15	ZrO ₂	0,10 %
16	MoO ₃	0,80 %
17	In ₂ O ₃	0,10 %
18	BaO	0,55 %
19	Eu ₂ O ₃	0,20 %
20	Yb ₂ O ₃	0,02 %
21	Re ₂ O ₇	0,20 %
22	HgO	0,16 %

Sumber: Hasil Analisa pada Lab. FMIPA UM, 2022

c. Abu Ampas Tebu

Tebu merupakan tanaman yang digunakan sebagai bahan baku oleh pabrik gula, batang tebu di peras dengan mesin pemeras di pabrik gula.

Selanjutnya, Abu Ampas Tebu ialah sisa hasil pembakaran dari ampas tebu. Ampas tebu sendiri merupakan hasil limbah buangan yang berlimpah dari proses pembuatan gula. Pembakaran ampas tebu memiliki unsur yang bermanfaat untuk peningkatan kekuatan beton, karena menurut abu ampas tebu mempunyai sifat pozzolan dan mengandung silica yang menonjol

Tabel 3 Komposisi kimia abu ampas tebu (P. G. Kebonagung)

No	Compound	Hasil Uji
1	SiO ₂	82,20 %
2	K ₂ O	5,13 %
3	CaO	6,10 %
4	TiO ₂	0,40 %
5	V ₂ O ₅	0,02 %
6	Cr ₂ O ₃	0,029 %
7	MnO	0,25 %
8	Fe ₂ O ₃	5,51 %
9	CuO	0,056 %
10	ZnO	0,03 %
11	SrO	0,05 %

12	Eu ₂ O ₃	0,10 %
13	Re ₂ O ₇	0,07 %

Sumber: Hasil Analisa pada Lab. FMIPA UM, 2022

d. Limbah Keramik

Keramik terbuat dari tanah liat atau lempung yang mengalami proses pengerasan dengan pembakaran pada temperatur tinggi. Seperti penelitian oleh (Mulyati dan Putra) yang mengkaji tentang penggunaan limbah keramik.

Penambahan limbah serbuk keramik yang mengandung kapur dapat berfungsi sebagai pendukung abu terbang yang juga berfungsi sebagai pozzolan pengganti semen, namun fungsi utama kapur adalah plastis, dapat mengeras dan memberikan kekuatan mengikat, menghasilkan daya rekat yang bagus (Purnama & Sudibyo, 2018)

Tabel 4 Tabel komposisi Limbah Keramik

No	Compound	Hasil Uji
1	Al ₂ O ₃	12,0
2	SiO ₂	51,0
3	P ₂ O ₅	0,57
4	K ₂ O	3,25
5	CaO	12,1
6	TiO ₂	1,51
7	V ₂ O ₅	0,05
8	Cr ₂ O ₃	0,053
9	MnO	0,17
10	Fe ₂ O ₃	13,0
11	CuO	0,064
12	ZnO	1,74
13	ZrO ₂	3,90
14	BaO	0,34
15	Eu ₂ O ₃	0,23

Sumber: Hasil Analisa pada Lab. FMIPA UM, 2023

e. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat dengan besar butir sebesar 0,075 - 5 mm, agregat halus juga sering disebut pasir. Syarat mutu agregat halus adalah sebagai berikut. (Departemen Pekerjaan Umum : 1982)

f. Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil alam ataupun batu pecah, hasil pemecahan batu gunung dengan alat pemecah batu/stone crusher. Besar butir agregat maksimum, tidak boleh lebih besar dari 1/5 jarak terkecil bidang- bidang samping dari cetakan, 1/3 tebal plat atau 3/4 dari jarak minimum tulangan. (Departemen Pekerjaan Umum : 1982)

g. Air

Air yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2002. Air yang berfungsi sebagai pelarut agar beton segar mudah

tercampur, air pada beton geopolimer berfungsi melarutkan NaOH dan Na₂SiO₃ sehingga menjadi larutan alkali dan mudah tercampur dengan abu terbang dan agregat.

Pengujian Kekuatan Beton

a. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Nilai kuat tekan beton dihasilkan dari uji silinder beton (diameter 15 cm, tinggi 30 cm). Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah SNI 1974 - 2011, dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

- P = Beban maksimum (N).
- A = Luas penampang (mm²).

b. Uji Kuat Tarik Lentur

Kuat tarik lentur beton adalah kemampuan balok beton tanpa tulangan berpenampang 15 cm x 15 cm dengan panjang 60 cm untuk memikul tegangan tarik lentur akibat momen lentur yang diletakkan pada dua perletakan. Satuan untuk menyatakan kuat tarik lentur beton dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa).

Pembebanan pada balok beton dilakukan hingga balok beton mengalami keruntuhan dengan menggunakan dua titik pembebanan (SNI 4431:2011)

$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots(2,3)$$

Dengan :

- σ = Kuat lentur benda uji (MPa)
- P = Beban tertinggi yang dilanjutkan oleh mesin uji
- L = Adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
- b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
- a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tujuan Penelitian Secara Operasional

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan abu ampas tebu dan limbah keramik terhadap kekuatan beton geopolimer berbasis fly ash dengan uji kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari, serta kuat tarik lentur 28 hari

Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat Penelitian

- Pengujian bahan dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
- Pembuatan benda uji beton dan balok dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
- Pengujian sifat mekanis beton dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
- Pengujian kandungan silika XRF dilaksanakan di Laboratorium Sentral FMIPA Universitas Negeri Malang.

b. Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan dalam proses pengerjaan penelitian dan analisis data hasil penelitian dimulai pada bulan September 2023 sampai dengan bulan Januari 2024.

Metode Penelitian

Studi penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

- a. Studi pustaka, bertujuan untuk mengkaji hubungan variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk merumuskan hipotesis penelitian.
- b. Studi eksperimen, dilakukan di laboratorium untuk mendapat data-data yang diperlukan. Data-data tersebut dianalisa secara statistik untuk menguji hipotesis sehingga didapat kesimpulan akhir.

Populasi dan Sampel

Tabel 5 Variasi Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 dan 28 hari

Jenis Pengujian	FA %	AAT %	Serbuk Keramik %	Dimensi Sampel (mm)	Jumlah Sampel	Umur 7 & 28 Hari
Kuat Tekan	100	0	0	100x200	6	12
Kuat Tekan	95	2,5	2,5	100x200	6	12
Kuat Tekan	90	5	5	100x200	6	12
Kuat Tekan	85	7,5	7,5	100x200	6	12
Kuat Tekan	80	10	10	100x200	6	12
Kuat Tekan	75	12,5	12,5	100x200	6	12

Tabel 6 Variasi Uji Kuat Tarik Lentur Umur 28 hari

Jenis Pengujian	FA %	AAT %	Serbuk Keramik %	Dimensi Sampel (mm)	Jumlah Sampel	Umur 28 Hari
Kuat Tekan	100	0	0	600x150x150	2	2
Kuat Tekan	95	2,5	2,5	600x150x150	2	2
Kuat Tekan	90	5	5	600x150x150	2	2
Kuat Tekan	85	7,5	7,5	600x150x150	2	2
Kuat Tekan	80	10	10	600x150x150	2	2
Kuat Tekan	75	12,5	12,5	600x150x150	2	2

Alat Penelitian

- Timbangan
- Saringan
- Mesin Los Angeles
- Piknometer dan gelas ukur
- Cetakan silinder (d : 10 cm, t : 20 cm)
- Cetakan Balok (p : 63cm, l : 15cm, t : 15cm)
- Kerucut Abrahams
- Mesin pengaduk beton
- Mesin penguji tekan
- Peralatan lainnya seperti loyang, ember, kuas, sendok semen, mistar dan lain-lain.

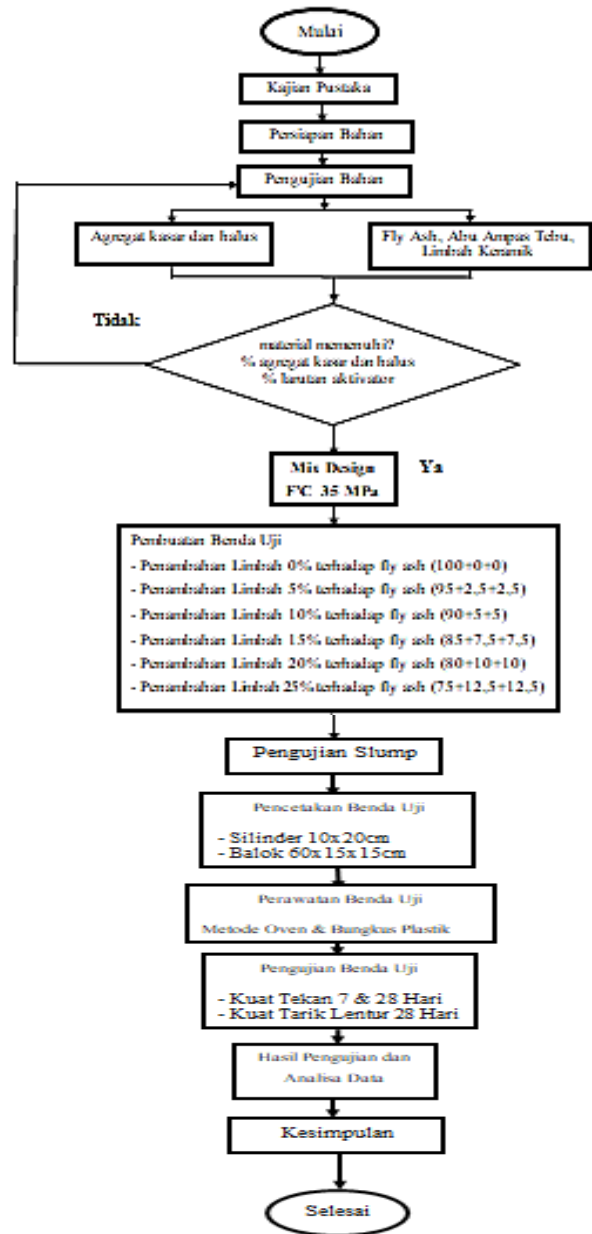
Bahan Penelitian

- Agregat Halus : Pasir Lumajang
- Agregat Kasar : Batu Pecah Pasuruan
- Air : Lab.Beton ITN Malang
- Abu Ampas Tebu : PG. Kebon Agung
- Limbah Keramik : Kec.Dinoyo Malang
- Fly Ash : PLTU Paiton
- NaOH & Na₂SiO₃ : Toko Bahan Kimia

Alur Penelitian

Gambar 1 Bagan alir penelitian

Flowchart Penelitian



4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Konsistensi Normal dan Waktu Ikat

Dari hasil penelitian, pemeriksaan konsistensi pasta geopolimer diperoleh kedalaman penetrasi jarum sebesar 10 mm (mendekati semen) dengan penambahan larutan sebanyak 21,55 %. Pemeriksaan waktu ikat awal pada penetrasi 25 mm diperoleh 21,6% dengan air 64,81 ml waktu ikat akhir adalah 140 menit.

Tabel 7 Konsistensi normal pasta geopolimer

No.	berat semen	penambahan air		Penetrasi (mm)
		ml	%	
1	300	60	20,00	2,5
2	300	61,5	20,50	6,2

3	300	63	21,00	8,5
4	300	64,5	21,50	9,8
5	300	66	22,00	11,3

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 8 Waktu ikat pasta geopolimer

Awal		
No.	Waktu (menit)	Penetrasi (mm)
1	20	50
2	30	45
3	40	38
4	60	22
5	70	Membekas
6	80	Membekas
7	90	Membekas
8	100	Membekas
9	110	Membekas
10	120	Membekas
11	130	Membekas
12	140	Tidak Membekas
Akhir		
140		

Sumber : Hasil Analisa

Campuran Beton Geopolimer

Metode desain campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah (SNI 03-2834-2013), Terkait Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Biasa, juga terkait ACI dan DOE dan metode British 1968.

Sebelum memulai tahap perhitungan untuk mendapatkan jumlah komposisi campuran, ada beberapa hal yang harus diperhatikan saat merancang campuran beton. Salah satunya adalah bahwa campuran harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan

Perhitungan jumlah abu ampas tebu, fly ash dan limbah keramik digunakan pengambilan persentase dari berat semen, semen disini digantikan dengan fly ash, maka akan terjadi pengurangan material fly ash sehingga tidak menambah massa beton, dengan variasi kadar abu ampas tebu dan limbah keramik 0%, 5, 10%, 15%, 20%, dan 25% kadar fly ash 100%, 95%, 90%, 85%, 80% dan 75%,

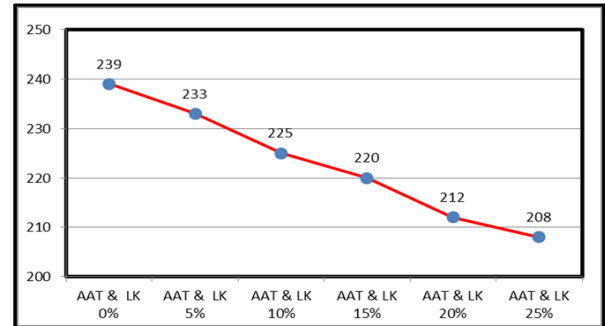
Tabel 9 Komposisi Campuran Benda Uji Silinder 10cm x 20cm

Jumlah Bahan	Kadar Variasi Limbah					
	0	5	10	15	20	25
Fly Ash (Kg)	9,60	9,36	8,64	8,16	7,68	7,20
Abu Ampas Tebu (Kg)	0,00	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20
Limbah Keramik (Kg)	0,00	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20

Agregat Halus (Kg)	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27	17,27
Agregat Kasar (Kg)	24,42	24,42	24,42	24,42	24,42	24,42
NaOH (L)	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Na2SiO3 (L)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Jumlah Silinder	12	12	12	12	12	12
Test Slump (mm)	239	233	225	220	212	208

Sumber : Hasil Analisa

Hasil Uji Slump



Gambar 2 Uji Slump

Sumber : Hasil Analisa

Hasil Uji Kuat Tekan dan Tarik Lentur

Tabel 10 Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

No	Kode	Tanggal buat	Tanggal tes	Umur (hari)	Berat (Kg)	Tekanan hancur (KN)	Teg. Hancur (MPa)	Teg. Hancur R ₀ (MPa)	Teg. Hancur R ₀ -rata (MPa)
1	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07/08/2023	14/08/2023	7	3,86	203	39,76	25,85	55,37
2	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07/08/2023	14/08/2023	7	3,88	316	61,90	40,23	
3	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07/08/2023	14/08/2023	7	4,68	302	59,16	38,45	
4	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07/08/2023	14/08/2023	7	3,93	283	55,43	36,03	
5	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07/08/2023	14/08/2023	7	3,86	254	49,75	32,34	
6	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07/08/2023	14/08/2023	7	3,79	338	66,21	43,04	
1	8%AAAT, 8%LK, 98%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,89	297	58,18	37,82	58,57
2	8%AAAT, 8%LK, 98%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,94	296	57,98	37,69	
3	8%AAAT, 8%LK, 98%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	4,05	201	39,37	25,59	
4	8%AAAT, 8%LK, 98%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,92	329	64,45	41,89	
5	8%AAAT, 8%LK, 98%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,95	352	68,95	44,82	
6	8%AAAT, 8%LK, 98%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,85	319	62,49	40,62	
1	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,85	243	47,60	30,94	61,25
2	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,76	328	64,35	41,76	
3	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,89	347	67,97	44,18	
4	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,96	260	50,93	33,10	
5	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,92	332	65,03	42,27	
6	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08/08/2023	15/08/2023	7	3,87	366	71,69	46,60	
1	15%AAAT, 15%LK, 88%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,93	331	64,84	42,14	64,84
2	15%AAAT, 15%LK, 88%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,70	286	56,02	36,41	
3	15%AAAT, 15%LK, 88%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,80	319	62,49	40,62	
4	15%AAAT, 15%LK, 88%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,83	327	64,05	41,63	
5	15%AAAT, 15%LK, 88%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,80	352	68,95	44,82	
6	15%AAAT, 15%LK, 88%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,83	371	72,67	47,34	
1	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,79	319	62,49	40,62	69,25
2	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,90	290	56,81	36,92	
3	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,87	328	64,35	41,76	
4	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,82	312	61,12	39,73	
5	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,91	218	42,70	27,76	
6	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09/08/2023	16/08/2023	7	3,95	348	68,17	44,31	
1	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10/08/2023	17/08/2023	7	3,91	275	53,87	35,01	50,05
2	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10/08/2023	17/08/2023	7	4,04	249	48,77	31,70	
3	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10/08/2023	17/08/2023	7	4,01	237	46,42	30,18	
4	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10/08/2023	17/08/2023	7	3,96	273	53,48	34,76	
5	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10/08/2023	17/08/2023	7	3,89	226	44,27	28,78	
6	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10/08/2023	17/08/2023	7	3,97	273	53,48	34,76	

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 11 Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

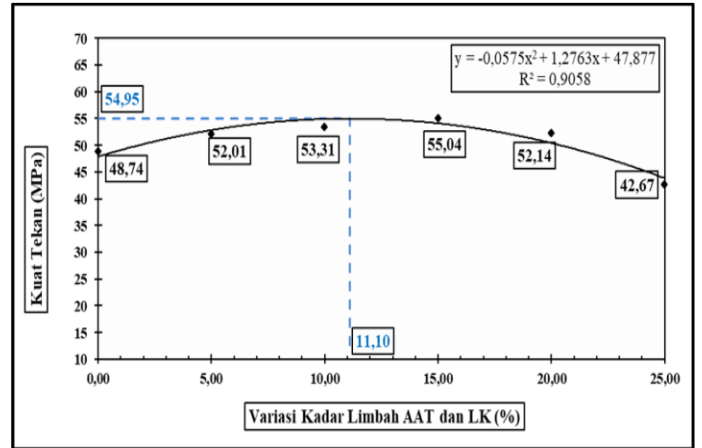
No.	Kode	Tanggal buat	Tanggal tes	Umur (hari)	Berat (Kg)	Tekanan hancur (KN)	Teg. Hancur (MPa)	Teg. Hancur Rill (MPa)	Teg. Hancur Rata-rata (MPa)
1	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07.08.2023	04.09.2023	28	3,93	272	34,63	34,63	36,22
2	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07.08.2023	04.09.2023	28	3,88	327	41,63	41,63	
3	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07.08.2023	04.09.2023	28	3,66	343	43,67	43,67	
4	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07.08.2023	04.09.2023	28	3,94	232	29,54	29,54	
5	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07.08.2023	04.09.2023	28	3,84	265	33,74	33,74	
6	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	07.08.2023	04.09.2023	28	3,79	268	34,12	34,12	
1	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,94	343	43,67	43,67	40,47
2	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,97	339	43,16	43,16	
3	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	4,05	204	25,97	25,97	
4	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,96	337	42,91	42,91	
5	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,95	344	43,80	43,80	
6	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,85	340	43,29	43,29	
1	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,85	313	39,85	39,85	43,14
2	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,76	350	44,56	44,56	
3	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,94	347	44,18	44,18	
4	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,84	345	43,95	43,95	
5	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,84	340	43,29	43,29	
6	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	08.08.2023	05.09.2023	28	3,87	338	43,04	43,04	
1	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,93	331	42,14	42,14	40,98
2	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,70	286	36,41	36,41	
3	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,89	319	40,62	40,62	
4	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,83	327	41,63	41,63	
5	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,80	337	42,91	42,91	
6	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,83	331	42,14	42,14	
1	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,88	341	43,42	43,42	37,14
2	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,90	285	36,29	36,29	
3	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,89	290	36,92	36,92	
4	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,95	331	42,14	42,14	
5	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,91	220	28,01	28,01	
6	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	09.08.2023	06.09.2023	28	3,90	283	36,03	36,03	
1	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10.08.2023	07.09.2023	28	3,91	265	33,74	33,74	33,61
2	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10.08.2023	07.09.2023	28	4,04	272	34,63	34,63	
3	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10.08.2023	07.09.2023	28	3,99	348	44,31	44,31	
4	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10.08.2023	07.09.2023	28	3,89	276	35,14	35,14	
5	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10.08.2023	07.09.2023	28	3,96	219	27,88	27,88	
6	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	10.08.2023	07.09.2023	28	3,97	204	25,97	25,97	

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 12 Kuat Tarik Letur Balok Umur 28 Hari

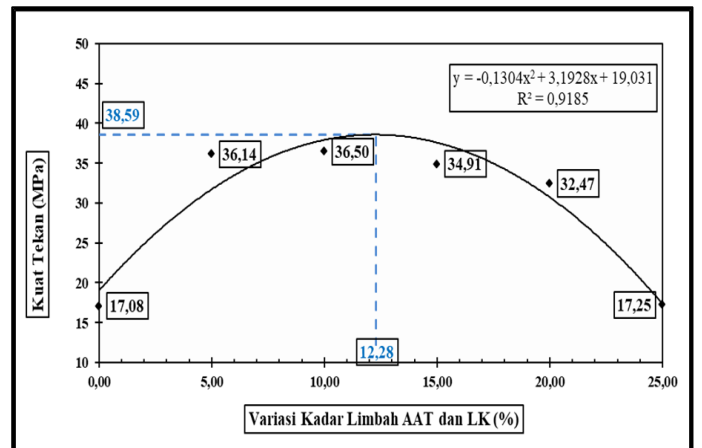
No.	Variasi	Dimensi			Tanggal buat	Tanggal test	Umur (hari)	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Teg. Hancur (MPa)	Teg. Hancur Rata-rata (MPa)
		Dia (cm)	T (cm)	L (cm)							
1	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	635.00	15.00	15.00	19/11/2023	17/12/2023	28	34,76	38	5,07	4,80
2	0%AAAT, 0%LK, 100%FA	620.00	15.00	15.00	19/11/2023	17/12/2023	28	34,89	34	4,53	
1	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	635.00	15.00	15.00	20/11/2023	18/12/2023	28	34,74	44	5,87	5,53
2	5%AAAT, 5%LK, 95%FA	620.00	15.00	15.00	20/11/2023	18/12/2023	28	34,86	39	5,20	
1	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	635.00	15.00	15.00	26/11/2023	24/11/2023	28	34,84	40	5,33	5,17
2	10%AAAT, 10%LK, 90%FA	620.00	15.00	15.00	26/11/2023	24/11/2023	28	34,47	37,5	5,00	
1	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	635.00	15.00	15.00	01/12/2023	29/12/2023	28	34,51	40	5,33	5,00
2	15%AAAT, 15%LK, 85%FA	620.00	15.00	15.00	01/12/2023	29/12/2023	28	34,45	35	4,67	
1	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	635.00	15.00	15.00	02/12/2023	30/12/2023	28	34,73	32	4,27	3,83
2	20%AAAT, 20%LK, 80%FA	620.00	15.00	15.00	02/12/2023	30/12/2023	28	34,66	25,5	3,40	
1	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	635.00	15.00	15.00	07/01/2024	04/01/2024	28	34,53	25	3,33	3,23
2	25%AAAT, 25%LK, 75%FA	620.00	15.00	15.00	07/01/2024	04/01/2024	28	34,62	23,5	3,13	

Sumber : Hasil Analisa



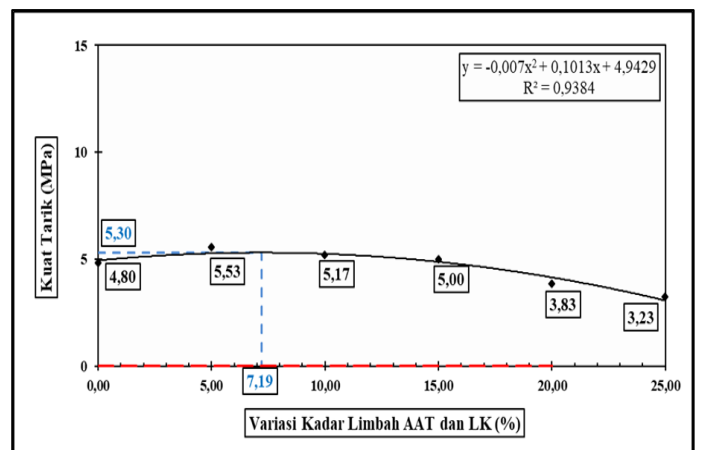
Gambar 3 Hubungan Penggunaan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Sumber : Hasil Analisa



Gambar 4 Hubungan Penggunaan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Sumber : Hasil Analisa



Gambar 5 Hubungan Penggunaan Kadar Limbah Terhadap Kuat Tarik Lentur Balok Umur 28 Hari

Sumber : Hasil Analisa

Grafik regresi kuat tekan beton selama 28 hari menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan beton pada 5% dan 10%, sementara penurunan nilai kuat tekan beton pada 0%, 20%, dan 25%. Ketika jumlah abu ampas tebu dan limbah keramik yang ditambahkan lebih rendah, kuat tekan beton yang dihasilkan lebih besar, tetapi jika jumlah abu ampas tebu terlalu tinggi, kuat tekannya akan menurun. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penambahan kandungan kimia silika dari bahan limbah yang terlalu banyak ditambahkan bila dibandingkan dengan alumina.

Menurut hasil analisis regresi pada beton umur ke-7 hari, persamaan $\hat{Y} = -0,0575x^2 + 1,2763x - 47,877$ dengan koefisien determinasi (R^2) **0,905** dan koefisien korelasi (R) **0,910**. Ini menunjukkan bahwa prosentase penggunaan abu ampas tebu memengaruhi **90,5%** perubahan nilai kuat tekan beton, sementara itu, faktor lain memengaruhi sisa variabel. Karena koefisien korelasi mencapai **0,910**, korelasi diantara variabel sangat kuat sebab terdapat dikisaran antara 0,80 hingga 1,00.

Menurut hasil analisis regresi pada beton umur ke-28 hari, persamaan $\hat{Y} = -0,1304x^2 + 3,1928x - 19,031$, dengan koefisien determinasi (R^2) **0,918** dan koefisien korelasi (R) **0,923**. Ini menunjukkan bahwa prosentase penggunaan abu ampas tebu memengaruhi **91,8%** perubahan nilai kuat tekan beton, sementara itu, faktor lain memengaruhi sisa variabel. Karena koefisien korelasi mencapai **0,923**, korelasi diantara variabel sangat kuat sebab terdapat dikisaran antara 0,80 hingga 1,00.

Menurut hasil analisis regresi pada balok umur ke-28 hari, persamaan $\hat{Y} = -0,007x^2 + 0,1013x - 4,9429$, dengan koefisien determinasi (R^2) **0,938** dan koefisien korelasi (R) **0,943**. Ini menunjukkan bahwa prosentase penggunaan abu ampas tebu memengaruhi **93,8%** perubahan nilai kuat tekan beton, sementara itu, faktor lain memengaruhi sisa variabel. Karena koefisien korelasi mencapai **0,943**, korelasi diantara variabel sangat kuat sebab terdapat dikisaran antara 0,80 hingga 1,00.

Pengujian hipotesis pada beton umur 7 hari menunjukkan bahwa nilai t yang dihitung adalah **11,129** dan nilai t tabel adalah **3,182**, keduanya dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Analisis regresi menunjukkan signifikansi karena thitung lebih besar dari ttabel, yaitu **11,129** lebih besar dari **3,182**. Dengan data ini, dapat disimpulkan bahwa H_a diterima dan H_0 ditolak. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu ampas tebu sebagai pengganti *fly ash* pada beton geopolimer memiliki pengaruh yang signifikan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengujian interval kepercayaan, hipotesis dan analisis regresi kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari menunjukkan bahwa penggunaan abu ampas tebu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tekan beton geopolimer yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa thitung = 11,129 lebih besar dari t tabel = 3,182, Koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh adalah 97,6% dan nilai dari koefisien korelasi (R) sebesar 0,988. Oleh karena itu, hipotesis alternatif (H_a) dapat diterima, sedangkan hipotesis nol (H_0) tidak diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh dari pemanfaatan abu ampas tebu dan limbah keramik pada beton geopolimer

- Nilai rata-rata kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan dari penggunaan abu ampas tebu dan limbah keramik dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada umur 7 hari didapatkan nilai kuat tekan beton geopolimer berturut-turut sebesar 55,37 MPa, 58,57 MPa, 61,25 MPa, 64,38 MPa, 59,25 MPa dan 50,05 MPa
- Nilai rata-rata kuat tekan beton geopolimer yang dihasilkan dari penggunaan abu ampas tebu dan limbah keramik dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tekan beton geopolimer berturut-turut sebesar 36,22 MPa, 40,47 MPa, 43,14 MPa, 40,98 MPa, 37,14 MPa dan 33,61 MPa
- Nilai rata-rata kuat tarik lentur balok geopolimer yang dihasilkan dari penggunaan abu ampas tebu dan limbah keramik dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% pada umur 28 hari didapatkan nilai kuat tarik lentur balok geopolimer berturut-turut sebesar 4,80 MPa, 5,53 MPa, 5,16 MPa, 5,00 MPa, 3,83 MPa dan 3,23 MPa
- Untuk presentase optimum penggunaan abu ampas tebu pada beton geopolimer, didapat kurva hasil pengujian analisis regresi menunjukkan nilai prosentase optimal penggunaan abu ampas tebu dan limbah keramik pada beton geopolimer umur 7 hari adalah **11,78%** dan untuk umur 28 hari adalah **12,44%**. Untuk balok pada umur 28 hari adalah **7,19%**

Saran

- Untuk penelitian beton geopolimer, penentuan komposisi material bahan pengganti semen, sebaiknya ditentukan berdasarkan komposisi kandungan unsur kimia dari material yang didapatkan dari analisa XRF. Sehingga jumlah bahan yang ditambahkan akan lebih sesuai dengan kebutuhan. Faktor umur juga mempengaruhi kuat

- tekan beton *Curing* beton geopolimer diupayakan menggunakan oven dengan suhu yang stabil agar didapatkan beton geopolimer dengan hasil yang maksimum.
- b. Untuk penelitian beton geopolimer selanjutnya dapat dilakukan pengembangan dari variasi molaritas NaOH, suhu perawatan beton dan faktor air semen. beton geopolimer diupayakan menggunakan oven dengan suhu yang stabil agar didapatkan beton geopolimer dengan hasil yang maksimum.
 - c. Pemilihan jenis agregat sebaiknya dilakukan secara baik dan teliti, sehingga kualitas dari agregat yang digunakan sangat baik dan dapat menghasilkan kuat tekan beton sesuai dengan perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1982). *PUBI - 1982 (Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. (1990a). *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (1990b). *SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (1991). *SNI 03-2531-1991 Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (1996). *SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan NO. 200 (0,075 MM)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (1997). *SNI 03-4429-1997 Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*. Bandung: Pusjatan Balitbang.
- Anonim. (1998). *SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2004). *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2006). *ACI 234R-2006 Guide for the Use of Silica Fume in Concrete*. American Concrete Institute.
- Anonim. (2008a). *SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2008b). *SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>
- Anonim. (2008c). *SNI 2417-2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2009). *ACI 234 - TN2 Silica Fume Concrete : Industrial Applications*. American Concrete Institute.
- Anonim. (2011). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2013). *SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Anonim. (2014a). *SNI 2460-2014 Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton (ASTM C618-08a, IDT)*. Jakarta:
- Davidovits, J. (2013). *Geopolymer Cement*. Journal Institut Geopolymer, 1–11. www.geopolymer.org
- Davidovits, J. (1994). Properties of Geopolymer Cements. Journal First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, 131–149. www.geopolymer.org
- Davidovits, J. (2013). *Geopolymer Cement*. Journal Institut Geopolymer, 1–11. www.geopolymer.org
- Gemelly Katrina. (2014). Pemanfaatan limbah kulit kerang sebagai substitusi pasir dan abu ampas tebu sebagai substitusi semen pada campuran beton mutu K-225. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3), 308–313.
- Id, S. (2018). *the_compressive_strength.docx*.
- Ilyas, Y. A., Yanti, G., & Putri, L. D. (2022). Studi Beton Geopolimer Dengan Bahan Dasar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5(2), 83–92. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i2.2096>
- Mathofani, & Aziz. (2023). *pengaruh penggunaan abu ampas tebu dan silica fume terhadap kekuatan beton geopolimer berbasis fly ash*.
- Purnama, S. A., & Sudibyo, T. (2018). Pengaruh Limbah Keramik dan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Bata Beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 3(3), 161–170. <https://doi.org/10.29244/jsil.3.3.161-170>
- Pratama, S. W. I., Rauf, N., & Juarlin, E. (2014). *Pembuatan dan Pengujian Kualitas Semen*

- Portland Yang Diperkaya Silikat Abu Ampas Tebu (Fabrication and Quality Test of Cement Portland With Enriched by Silicate Sugarcane Bagasse Ash).* Jurnal Fisika FMIPA Unhas, 1–5.
- Ratu Giri, F., Olivia, M., & Romey Sitompul, I. (2020). *Pengaruh Variasi Penambahan Naoh Pada Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Terbang Dengan Opc Sebagai Tambahan.* Jom FTEKNIK, 7(0), 1–8. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/26506>
- Trisna, V. D., & Wardhono, A. (2022). *Pengaruh Kadar Solid Larutan Aktivator Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) Dan Naoh 12 M Pada Kondisi Ss/Sh 1,5 Dan 3,5 Pada Temperatur Normal.* Jurnal Deformasi, 7.
- Turner, L. K., & Collins, F. G. (2013). *Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete.* Journal Construction and Building Materials, 43, 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>
- Wardhono, A. (2019). *Pengaruh Pemanasan Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang Kelas C.* Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 1(1), 1. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v1n1.p1-7>
- Wulandari, K., Sarasanty, D., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., & Islam, U. (2022). *PEMANFAATAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN Hasil Dan Pembahasan Hasil Perencanaan Bahan Tambahan Limbah Keramik Data Hasil Pengujian.* 1(1), 354–359.
- Yakobus; Radar. (2023). *studi eksperimental beton geopolimer mutu tinggi dengan memanfaatkan abu cangkang sawit dan fly ash.*
- Yusnar, C., Pengajar, S., Teknik, J., Politeknik, S., & Lhokseumawe, N. (2013). *Karakteristik Durabilitas Beton Agropolimer Kombinasi Dengan Memanfaatkan Limbah Abu Sekam Padi , Abu Ampas Tebu Dan Kapur Sebagai Bahan Alternatif.* 159–164.
- Zein Alfatory, M., Sri Sunarsih, E., & Sri Agustin, R. (2019). *the Influence Study of Ceramic Powder and Fly Ash As Substitutional Material of Concrete on Specific Gravity and Compression Strength.* 5(Desember), 68–77.