

Penggunaan *Blast Slag Nickel* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Geopolimer

Mega Paembonan ^{*1}, Frans Phengkarsa ^{*2}, Suryanti Rapang Tonapa ^{*3}

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia megapaembonan@gmail.com

^{*2,3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia
² fphengkarsa@hotmail.com ^{*2} suryantirt@gmail.com*

Corresponding Author: suryantirt@gmail.com

Abstrak

Beton geopolimer merupakan beton yang menggunakan bahan polimer sebagai pengikat antar agregat. Salah satu bahan polimer adalah *fly ash*. *Blast slag nickel* adalah limbah dari pabrik industri yang menghasilkan nikel. Pada pengujian kuat tekan beton didapatkan nilai hasil pengujian tertinggi diperoleh pada umur 28 hari untuk variasi 17,5 % yaitu sebesar 33,498 Mpa, untuk variasi 15% sebesar 32,272 Mpa, dan untuk variasi 0% sebesar 31,045 Mpa. Pengujian kuat tarik belah beton didapatkan nilai hasil pengujian tertinggi diperoleh pada variasi 17,5% sebesar 2,972 Mpa, variasi 15% sebesar 2,760 Mpa, dan variasi 0% sebesar 2,619 Mpa. Pengujian modulus elastisitas beton didapatkan nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada variasi 17,5% sebesar 37287,135 Mpa, variasi 15% sebesar 35900,552 Mpa, dan variasi 0% sebesar 32113,473 Mpa Penggunaan *blast slag nickel* sebagai pengganti agregat kasar serta penggunaan *fly ash* pada pasta beton geopolimer mempengaruhi nilai dari kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Dimana semakin banyak variasi *fly ash* yang digunakan maka nilai yang dihasilkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton semakin meningkat.

Kata kunci: *Blast Slag Nickel, Fly Ash, Beton Geopolimer.*

Abstract

Geopolymer concrete is concrete that uses polymeric materials as a binder between aggregates. One of the polymer materials is fly ash. Blast slag nickel is waste from industrial plants that produce nickel. In the concrete compressive strength test, the highest test value was obtained at the age of 28 days for the 17,5% variation, which was 33,498 Mpa, for the 15% variation, it was 32,272 Mpa, and for the 0% variation, it was 31,045 Mpa. The split tensile strength test of concrete obtained the highest test value obtained at the 17,5% variation of 2,972 Mpa, the 15% variation of 2,760 Mpa, and the 0% variation of 2,619 Mpa. Testing the elastic modulus of concrete obtained the highest modulus of elasticity obtained at 17,5% variation of 37287,135 Mpa, 15% variation of 35900,552 Mpa, and 0% variation of 32113,473 Mpa The use of nickel blast slag as a substitute for coarse aggregate and the use of fly ash on geopolymer concrete paste affects the values of compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete. Where the more variations of fly ash used, the resulting value of compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete increases.

Keywords: *Blast Slag Nickel, Fly Ash, Geopolymer Concrete*

PENDAHULUAN

Beton adalah bahan bangunan yang umumnya digunakan dalam dunia konstruksi. Dalam pembuatan beton diperlukan agregat kasar, agregat halus, air dan semen, kemudian dicampurkan untuk membuat beton. Dalam pembuatan beton, semen merupakan bahan yang digunakan sebagai pengikat antara

agregat. Seiring berjalannya waktu, ketersediaan semen akan semakin berkurang serta penggunaan semen terus menerus juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Maka itu diperlukan cara untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan cara membuat beton geopolimer. Dalam pembuatan beton geopolimer campurannya terdiri dari agregat dan pasta (*fly ash* ditambahkan dengan bahan alkali aktivator).

Penelitian tentang *fly ash* sebagai bahan pengganti Semen, penelitian ini menggunakan variasi *fly ash* sebesar 5%, 7,5%, 10%, 12,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi terjadi pada umur beton 28 hari dengan penggunaan variasi *fly ash* 12,5% mengalami peningkatan sebesar 27,95% dari beton normal [1]. Perbandingan Komposisi Slag Nikel Pomalaa dan Batu Pecah Moramo untuk Menentukan Kuat Tekan Optimum Beton”. Menunjukkan bahwa penggunaan *slag nikel* sebagai agregat kasar dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% didapat nilai kuat tekan sebesar 17,61 Mpa, 13,65 Mpa, 17,24 Mpa, 17,34 Mpa, dan 21,95 Mpa. Dimana nilai kuat tekan optimum terdapat pada variasi slag nikel 100% dan batu pecah Moramo sebesar 0% [2]. Penelitian yang menggunakan variasi persentase *slag nikel* dengan proporsi campuran variasi slag nikel 0%, 50%, dan 70% dari berat agregat kasar. Hasil penelitian tersebut didapatkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton meningkat seiring dengan penambahan presentase limbah padat (*slag nikel*) dalam bentuk campuran beton [3]. Pengaruh Limbah Nikel (*Slag*) Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Mutu Beton. Dari hasil penelitian limbah nikel (*slag*) sebagai pengganti agregat kasar menunjukkan bahwa kuat desak beton dengan menggunakan agregat kasar limbah nikel (*slag*) cenderung meningkat dibandingkan beton dengan menggunakan agregat kasar batu pecah, peningkatan terjadi seiring penambahan persentase limbah nikel (*slag*). Kuat tekan optimal diperoleh pada variasi limbah nikel (*slag*) 100% [4]. Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Menggunakan Variasi Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar. Hasil dari penelitian yang dilakukan, diperoleh nilai kuat tekan optimum pada kandungan terak nikel 30%. Nilai kuat tekan mengalami peningkatan pada variasi 15% dan 30%, namun mengalami penurunan pada variasi 50%, 70% dan 100%. Nilai modulus elastisitas rata-rata beton diperoleh mengalami peningkatan diawal dan terjadi penurunan diakhir [5]. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly Ash*). Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terhadap sejumlah benda uji berbentuk kubus $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ dengan variasi curing time: 4 jam, 8 jam, 12 jam dan 24 jam menggunakan oven. Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan beton terhadap *curing time*. *Trend* menunjukkan bahwa semakin lama curing time maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan. Terlihat juga bahwa kuat tekan optimum dihasilkan pada curing time 24 jam [6]. Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen. Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh grafik hubungan antara kuat tekan beton *geopolymer* terhadap perbandingan aktivator. Untuk beton *geopolymer* 75 : 25, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$ sebesar 135,407 kg/cm². Untuk beton *geopolymer* 70 : 30, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$ sebesar 141,037 kg/cm². Dan untuk beton *geopolymer* 65 : 35, kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 4:2$ sebesar 98,593 kg/cm². Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan aktivator $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH}$ yang digunakan dalam campuran beton, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing – masing beton [7]. Pengaruh Penggunaan Slag Nikel Pada Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Geopolimer. Hasil penelitian diperoleh nilai kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan slag nikel pada umur 7 dan 28 hari sebesar 17,942 MPa dan 21,738 MPa, sedangkan beton diperoleh kuat tekan berturut-turut sebesar 9,960MPa dan 16,643 MPa. Peningkatan kuat tekan dengan penggunaan *slag nikel* sebesar 21,157%. Nilai kuat lentur rata-rata beton geopolimer yang menggunakan *slag nikel* 3,928 MPa, sedangkan balok kontrol sebesar 3,324 MPa. [8]. Studi Eksperimental Beton Geopolimer Dengan Memanfaatkan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Semen Dan Serat

Mat Sebagai Aditif. Berdasarkan pengujian kuat tekan, rasio perbandingan sodium silikat dengan sodium hidroksida 0,5 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan rasio 1,5. Untuk proses curing dengan cara tidak dioven menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan proses *curing* dengan cara dioven. Penggunaan serat mat diketahui dapat meningkatkan daktilitas material geopolimer [9]. Penelitian Beton Geopolymer Dengan *Fly Ash* Untuk Konstruksi Beton. Pengujian absorpsi dilakukan pada umur beton 28 hari. Pengujian absorpsi pada penelitian ini berdasarkan ASTM. Sedangkan pengujian tekan kuat dilakukan pada umur beton 7, 14, 28 dan 56 hari. Dari hasil pengujian absorpsi, beton geopolimer tergolong dalam kategori absorpsi rendah. Sedangkan dari hasil tes tekan yang kuat, beton geopolymer dapat mencapai 25 MPa dan dengan biaya produksi yang kompetitif terhadap beton konvensional [10].

METODOLOGI PENELITIAN

1. Lokasi Pengambilan Material

Material yang digunakan yaitu agregat halus berasal dari Sungai Jeneberang, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1) sedangkan material *blast slag nickel* yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar merupakan sisa limbah industri dari PT. Huadi Nickel-Alloy Indonesia, Kabupaten Bantaeng, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Agregat



Gambar 2. Lokasi Pengambilan *Blast Slag Nickel*

2. Persiapan Bahan

- Semen *Portland Cement Composite* (PCC) dari PT. Semen Tonasa.
- Agregat yang berasal dari Sungai Jeneberang, Gowa, Sulawesi Selatan.
- Blast Slag Nickel* yang berasal dari PT. Huadi Nickel-Alloy Indonesia, Bantaeng, Sulawesi Selatan.
- Fly Ash* yang digunakan dari PT. Makassar Tene, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.
- Alkali Aktivator (*Sodium Hidroksida dan Sodium Silikat*), yang didapatkan di toko bahan kimia.
- Air yang digunakan berasal dari sumur di Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar.



Gambar 3. *Fly Ash*



Gambar 4. *Blast Slag Nickel*

3. Pemeriksaan Karakteristik Material

a. Agregat Halus

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No.	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1	Kadar Air	3,843 %	3,00%-5,00%	Memenuhi
2	Zat Organik	No. 1	< No. 3	Memenuhi
3	Kadar Lumpur	0,908 %	0,20%-6,00%	Memenuhi
4	Berat Volume Padat	1578,893 kg/m ³	1400 kg/m ³ -1900 kg/m ³	Memenuhi
5	Berat Volume Gembur	1503,145 kg/m ³	1400 kg/m ³ -1900 kg/m ³	Memenuhi
6	Berat Jenis SSD	2,562	1,60-3,20	Memenuhi
7	Absorsi (Penyerapan)	0,604 %	0,20%-2,00%	Memenuhi
8	Modulus Kehalusan	2,690	2,20-3,10	

b. Agregat Kasar (*Blast Slag Nickel*)

Tabel 2. Hasil Pemeriksian Karakteristik Agregat Kasar (*Blast Slag Nickel*)

No.	Karakteristik	Hasil	Interval SNI	Keterangan
1	Kadar Air	0,664	0,5%-2,00%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0,482	0,20%-1,00%	Memenuhi
3	Berat Volume Padat	1721,786 kg/m ³	1400 kg/m ³ -1900 kg/m ³	Memenuhi
4	Berat Volume Gembur	1686,429 kg	1400 kg/m ³ -1900 kg/m ³	Memenuhi
5	Berat Jenis SSD	2,974	1,60-3,20	Memenuhi
6	Absorsi (Penyerapan)	0,563 %	0,20% - 2,00%	Memenuhi

4. Mix Design Metode ACI (American Concrete Institute)

Tabel 3. Komposisi Campuran Beton 1 m³

Material	Berat (kg/m ³)
Agregat Kasar	1173,728
Agregat Halus	702,323
Semen	417,50
Air	168,921

5. Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang dibuat menggunakan cetakan silinder yang memiliki ukuran berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm. Benda uji yang dibuat sebanyak 54 sampel.

6. Perawatan Benda Uji

Perawatan yang dilakukan terhadap benda uji bertujuan sebagai berikut:

- Agar beton tidak mengalami keretakan pada permukaannya yang diakibatkan karena air yang menguap ke dalam beton.
- Agar beton dapat mencapai mutu beton rencana yang sudah ditentukan.

7. Pengujian Kekuatan Beton

a. Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan pada beton sesuai dengan pedoman yang tertera dalam SNI 1974:2011.

b. Kuat Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian ini dilakukan pada beton sesuai dengan pedoman yang tertera dalam SNI 2491-2014.

c. Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilakukan pada beton sesuai dengan pedoman yang tertera dalam SNI 1974:2011.



Gambar 5. Beton yang telah diuji kuat tekan.



Gambar 6. Beton yang telah diuji kuat tarik belah.



Gambar 7. Beton yang telah diuji modulus elastisitas

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian

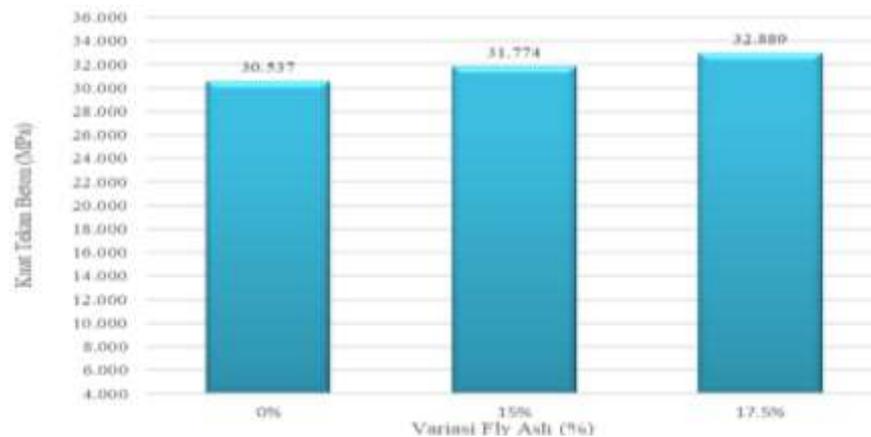
Kuat Tekan Beton

Tabel 4. Hasil Perhitungan Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton	Umur	f'c Aktual (MPa)	Faktor Umur	Konversi ke 28 hari (MPa)	Rata - Rata (MPa)	Rata-rata Konversi 28 Hari	Persentase Kenaikan dari f'c Rencana (%)
BNKT variasi fly ash 0%	3 Hari	12,173	0,40	30,432	29,724	30,537	1,789%
		11,607		29,016			
		11,890		29,724			
	7 Hari	20,099	0,65	30,922	30,486		
		19,533		30,051			
		19,816		30,486			
	21 Hari	29,724	0,95	31,288	30,891		
		28,875		30,394			
		29,441		30,990			
	28 Hari	31,423	1	31,423	31,045		
		30,573		30,573			
		31,139		31,139			
BGKT variasi fly ash 15%	3 Hari	12,739	0,40	31,849	31,139		
		12,173		30,432			
		12,456		31,139			
	7 Hari	20,382	0,65	31,357	31,502		
		20,382		31,357			
		20,665		31,793			
	21 Hari	30,290	0,95	31,884	32,182		
		30,856		32,480			
		30,573		32,182			
	28 Hari	31,989	1	31,989	32,272		
		32,272		32,272			
		32,555		32,555			
BGKT	3 Hari	13,022	0,40	32,555	32,319	32,889	9,631%

variasi <i>fly ash</i> 17,5%	12,739		31,847	
	13,022		32,555	
	21,231		32,664	
7 Hari	20,948	0,65	32,228	32,664
	21,515		33,099	
	31,706		33,374	
21 Hari	31,139	0,95	32,778	33,076
	31,423		33,076	
	32,838		32,838	
28 Hari	33,687	1	33,687	33,498
	33,970		33,970	
	33,970		33,970	

Dari tabel yang ada diatas dapat diketahui bahwa nilai yang dihasilkan pada pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan *blast slag* sebagai pengganti agregat kasar serta penggunaan variasi *fly ash* 15% dan variasi *fly ash* 17,5% mendapatkan hasil yang berbanding lurus.



Gambar 8. Grafik hubungan antara variasi *fly ash* dengan kuat tekan beton

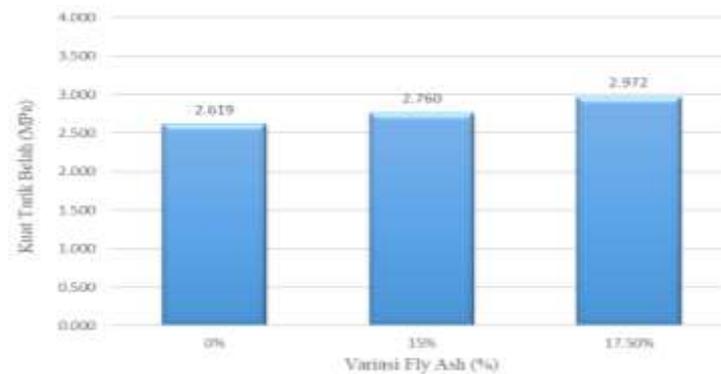
Dari grafik yang ada diatas dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya persentase variasi *fly ash* yang digunakan dapat meningkatkan mutu kuat tekan beton. Dapat dilihat dari nilai kuat tekan beton pada variasi *fly ash* 0%, *fly ash* 15%, *fly ash* 17,5% adalah 30,537 Mpa, 31,774 Mpa, dan 32,889 Mpa yang mencapai kuat tekan rencana yaitu 30 Mpa.

Kuat Tarik Belah Beton

Tabel 5. Hasil Perhitungan Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Beton Kuat Tarik Belah Beton	Beban Maksimum (N)	L (mm)	D (mm)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-Rata Kuat Tarik Belah (MPa)
BNKTB variasi <i>fly ash</i> 0%	185000	300	150	2,619	2,619
	180000			2,548	
	190000			2,689	
BGKTB variasi <i>fly ash</i> 15%	190000	300	150	2,689	2,760
	200000			2,831	
	195000			2,760	
BGKTB variasi <i>fly ash</i> 17,5%	210000	300	150	2,972	2,972
	200000			2,831	
	220000			3,114	

Dari tabel hasil perhitungan pengujian kuat tarik belah beton dapat diketahui bahwa nilai yang dihasilkan terdapat pada variasi *fly ash* 17,5%.



Gambar 9. Kuat Tarik Belah Beton vs Variasi Fly Ash

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa penggunaan persentase variasi *fly ash* dapat mempengaruhi kekuatan beton, dimana nilai kuat tarik belah semakin meningkat seiring bertambahnya persentase variasi *fly ash* yang digunakan. Dari grafik diketahui nilai kuat tarik belah untuk persentase variasi 0% sebesar 2,619 Mpa, persentase 15% sebesar 2,760 Mpa, dan persentase 17,5% sebesar 2,972 Mpa.

Modulus Elastisitas Beton

Tabel 6. Hasil Perhitungan Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Beton Kuat Lentur	Kuat Tekan 28 Hari (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rata-rata Modulu Elastisitas (Mpa)
BNML variasi <i>fly ash</i> 0%	31,423	33647,4591	32113,473
	30,573	29899,8731	
	31,139	32793,0882	
BGML variasi <i>fly ash</i> 15%	31,989	35495,5489	35900,552
	32,272	35962,5685	
	32,552	36243,5394	
BGML variasi <i>fly ash</i> 17,5%	32,838	36396,7243	37287,135
	33,687	37626,5032	
	33,970	37838,1787	

Berdasarkan tabel hasil perhitungan pengujian modulus elastisitas beton didapatkan nilai modulus elastisitas maksimum terdapat pada variasi *fly ash* 17,5%.

2. Pembahasan Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan beton yang terdiri dari kuat tekan beton, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas didapatkan hasil yang berbeda-beda seperti berikut.

- a) Pada pengujian kuat tekan beton didapatkan nilai hasil pengujian tertinggi diperoleh pada umur 28 hari untuk variasi 17,5 % yaitu sebesar 33,498 Mpa, untuk variasi 15% sebesar 32,272 Mpa, dan untuk variasi 0% sebesar 31,045 Mpa. Persentase kenaikan kuat tekan beton pada variasi 0% sebesar 1,789%, variasi 15% sebesar 5,913%, dan variasi 17,5% sebesar 9,631% dari mutu beton yang direncanakan yaitu 30 Mpa.
- b) Pada pengujian kuat tarik belah beton mengalami kenaikan dan didapatkan nilai hasil pengujian tertinggi diperoleh pada variasi 17,5% sebesar 2,972 Mpa, variasi 15% sebesar 2,760 Mpa, dan variasi 0% sebesar 2,619 Mpa.

- c) Pada pengujian modulus elastisitas beton mengalami kenaikan dan didapatkan nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada variasi 17,5% sebesar 37287,135 Mpa, variasi 15% sebesar 35900,552 Mpa, dan variasi 0% sebesar 32113,473 Mpa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai “Penggunaan *Blast Slag Nickel* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Geopolimer”. Dapat diambil kesimpulan yaitu : Penggunaan *blast slag nickel* sebagai pengganti agregat kasar serta penggunaan *fly ash* pada pasta beton geopolimer mempengaruhi nilai dari kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton. Dimana semakin banyak persentase variasi *fly ash* yang digunakan maka nilai yang dihasilkan pada kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ekaputri, J, J, Triwulan dan Damayati O,. 2013. “*Sifat Mekanik Beton Geopolimr Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Power Paiton Sebagai Material Alternatif*”. Jurnal PONDASI. vol 13 no 2 hal, 124-134. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] Setiawati, Mira. 2018, “*Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton*”. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Jakarta.
- [3] Sriyani, Rini. 2018, “*Perbandingan Komposisi Slag Nikel Pomalaa dan Batu Pecah Moramo untuk Menentukan Kuat Tekan Optimum Beton*”. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo, Kendari.
- [4] Tandi, Isak. 2019 “*Pengaruh Slag Nikel Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton*”. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar
- [5] R. Oskar Patriawan, Hafid Faisal. 2003, “*Pengaruh Limbah Nikel (Slag) Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Terhadap Mutu Beton*”. Universitas Islam Indonesia.
- [6] Ekawati, Dian. 2020, “*Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton Menggunakan Variasi Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar*”. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.
- [7] Manuahe, Riger. 2014’ “*Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)*”. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [8] Prasetyo, Ginanjar Bagus. 2015, “*Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen*”. Program Studi Tekni Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [9] Kaselle, Hermana. 2021, “*Pengaruh Penggunaan Slag Nikel Pada Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Geopolimer*”. Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar.
- [10] Gandina, Nisa Latifah. 2020, “*Studi Eksperimental Beton Geopolimer Dengan Memanfaatkan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Dan Serat Mat Sebagai Aditif*”. Program Studi Teknik Sipil Universitas Komputer, Bandung.
- [11] Sutanto,E.,&Hartono,B.2005, “*Penelitian Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Untuk Konstruksi Beton*”. Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Surabaya.