

# PENGARUH SUBSTITUSI SLAG NIKEL DAN FLY ASH TERHADAP KUAT TEKAN BETON SEBAGAI PEMECAH GELOMBANG

Sukarman<sup>1</sup>, Erlina Yanuarini<sup>2</sup>, Lilis Tiyani<sup>3</sup>, Shofie Rania Salsabila<sup>4</sup>, Viona Seren<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta,

<sup>1,2,3</sup>Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok 16425

e-mail : sukarman@sipil.pnj.ac.id; erlina.yanuarini@sipil.pnj.ac.id; lilis.tiyani@sipil.pnj.ac.id; shofiers@gmail.com; vionaseren24@gmail.com

## Abstrak

Slag nikel adalah limbah buangan dari proses pengelolaan sisa bijih nikel yang tidak memiliki nilai ekonomis. Berdasarkan dari segi visual, slag nikel mempunyai bentuk fisik yang menyerupai agregat kasar maupun halus. Komposisi kimia pada slag nikel terbanyak yaitu silika dengan persentase 41,47% yang diharapkan dapat memperkuat proses hidrasi dan menaikkan kuat tekan beton. Perawatan beton merupakan salah satu hal yang dapat memengaruhi kekuatan beton. Perawatan beton pada umumnya menggunakan air yang terbebas dari kandungan kimia dan lainnya yang dapat memengaruhi kualitas beton. Beton pada bangunan-bangunan yang berada disekitar laut akan mengalami kontak langsung dengan air laut, sedangkan air laut mengandung unsur garam dan kandungan kimia yang tinggi yang sehingga dapat menyebabkan penurunan kualitas beton. Penurunan kualitas beton ini akan memengaruhi sifat mekanis beton terutama pada kuat tekan beton itu sendiri. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kuat tekan beton substitusi slag nikel kasar pada perendaman air laut. Metode pada penelitian ini yaitu menggunakan metode eksperimental dengan membuat benda uji beton sebanyak 48 buah dengan 4 variasi yaitu B.BP, L.BP, B.SN, dan L.SN dengan pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan umur 7,14, dan 21 hari persentase tertinggi nilai kuat tekan beton sebesar 58,25%; 50,06%; 35,93%; pada variasi B.SN terhadap variasi B.BP, sedangkan pada umur 28 hari variasi L.SN mengalami peningkatan kuat tekan beton sebesar 18,54% terhadap variasi B.BP.

Kata kunci: Air laut; kuat tekan; perendaman; slag nikel; substitusi

## Abstract

*Nickel slag is effluent from the nickel ore waste management process which has no economic value. Based on the visual aspect, nickel slag has a physical form that resembles coarse or fine aggregate. The chemical composition of most nickel slag is silica with a percentage of 41.47% which is expected to strengthen the hydration process and increase the compressive strength of concrete. Concrete treatment is one of the things that can affect the strength of concrete. Concrete treatment generally uses water that is free from chemicals and other substances that can affect the quality of concrete. Concrete in buildings located around the sea will experience direct contact with seawater, while seawater contains elements of salt and high chemical content which can cause a decrease in the quality of concrete. This decrease in the quality of concrete will affect the mechanical properties of the concrete, especially the compressive strength of the concrete itself. Therefore, this study aims to identify the effect of using nickel slag as a substitute for coarse aggregate with seawater immersion on the compressive strength of concrete. The method in this study is using the experimental method by making 48 concrete specimens with 4 variations, namely B.BP, L.BP, B.SN, and L.SN with testing the compressive strength of concrete at the age of 7, 14, 21, and 28 days. The results of the compressive strength test at the age of 7, 14, and 21 days, the highest percentage of the*

*compressive strength of concrete was 58.25%; 50.06%; 35.93%; on the variation of B.SN to the variation of B.BP, while at the age of 28 days the variation of L.SN experienced an increase in the compressive strength of concrete by 18.54% against the variation of B.BP.*

*Keywords: Compressive strength; nickel slag; sea water; soaking; substitution*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur beberapa tahun ke belakang dilaksanakan secara besar-besaran di Indonesia, bangunan tepi laut dan pesisir pantai merupakan salah satu dalam perkembangan tersebut. Proses pembangunan fisik di Indonesia sedang giat dilakukan, beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena beton tersusun dari bahan-bahan yang mudah didapatkan di pasaran yaitu semen, pasir, kerikil dan air, disamping sifatnya yang fleksibel terhadap bentuk dan harga yang relatif murah. Hunggurami dkk (2014), beton sudah banyak diterapkan pada pembangunan di bidang teknik sipil, baik pada bangunan gedung, jembatan, dermaga, maupun konstruksi lainnya [1]. Hal tersebut sejalan dengan Syamsuddin dkk (2011), mayoritas volume bahan bangunan menggunakan beton karena sifatnya yang mudah dibentuk sesuai dengan desain bangunan yang diinginkan serta bahannya yang relatif mudah didapat dan didistribusikan [2].

Saat ini penerapan beton sebagai pemecah gelombang sering mengalami kerusakan, yang disebabkan oleh faktor alam, dalam hal ini yakni faktor air laut terhadap sifat beton. Menurut Syamsuddin (2011) Dalam proses pembuatan bangunan di daerah pantai, kontak dengan air laut terkadang tidak dapat dihindari. Air laut sendiri memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan klorida (Cl) yang terdapat pada air laut yang merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton [2]. Mutu beton merupakan sifat penting dan utama yang menjadi acuan, dan bahan yang dapat menghalangi proses lekatan/ikatan pada saat pengerasan merupakan penghalang terbentuknya beton yang bermutu, diantaranya adalah unsur garam tersebut.

Berdasarkan ukuran butiran dan karakteristik slag nikel, memiliki ukuran butiran 4,75 – 40 mm, limbah tersebut dapat dijadikan alternatif bahan pengganti agregat kasar pada beton di lingkungan laut. Hal tersebut sejalan dengan Singh, G. (2015), menyimpulkan bahwa penggunaan butiran slag (Granulated Blast Furnace Slag / GBFS ) sebagai pengganti pasir dengan persentase tertentu memberi keuntungan dari aspek ekonomi dan meningkatkan kinerja beton jangka panjang di lingkungan normal dan laut [3]. Namun pemanfaatan limbah industri seperti slag nikel sebagai material konstruksi belum banyak dilakukan karena ketersediaan data yang masih terbatas maupun adanya batasan penggunaan limbah tersebut yang masih ditengarai sebagai material beracun kategori B3 (Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun). Sementara fly ash memiliki sifat fisik dan kemampuan yang sama dengan semen. Kumar dkk (2015) menambahkan fly ash ke dalam campuran beton, hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan beton dan durabilitas beton di lingkungan air laut [4]. Menurut Ahmad dkk (2020) Sehingga pemanfaatan fly ash dan slag nikel diharapkan menjadi solusi pengurangan penggunaan semen dan pasir sungai untuk mencegah kerusakan ekosistem sungai akibat eksploitasi yang tidak terkendali [5].

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan kajian terhadap slag nikel dan fly ash sebagai bahan substitusi dalam pembuatan beton ramah lingkungan untuk pemecah gelombang, serta pengaruh perendaman (*curing*) terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kuat tekan beton dengan substitusi slag nikel sebagai agregat kasar pada perendaman air laut pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari.

## II. METODE PENELITIAN

### Slag Nikel

Slag nikel merupakan salah satu limbah padat dari hasil penambangan dan proses pengolahan nikel. Jumlah slag nikel kian hari kian menumpuk, karena setiap proses pemurnian satu ton produk nikel menghasilkan limbah padat 50 kalinya, setara 50 ton. Sehingga dari hasil limbah yang cukup banyak. Menurut Kaselle & Allo (2021), adapun keuntungan penggunaan limbah padat (slag) dalam campuran beton antara lain meliputi: mempertinggi kekuatan

tekan beton; menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton; mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut; mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu; memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton; mengurangi porositas dan serangan klorida [6].

### **Fly Ash**

Menurut PD 14-2018-B, fly ash atau abu terbang berasal dari sisa hasil pembakaran batu bara yang terbawa gas buangan cerobong asap pembangkit listrik tenaga uap. Fly ash memiliki sifat pozzolan, dapat mengikat jika bereaksi dengan air. Dengan memiliki sifat tersebut, fly ash sering digunakan sebagai bahan pengganti atau bahan tambah pada campuran beton [7]. Berdasarkan ACI Committee 232, fly ash memiliki butiran yang halus, sebanyak 5-27% butiran fly ash lolos ayakan No. 325 (45 mm) dengan specific gravity sebesar 2,15-2,8. Komponen utama yang terkandung dalam fly ash, yaitu silica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium ( $\text{CaO}$ ), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, dan belerang terkandung dalam jumlah yang sedikit [8].

Berdasarkan ASTM C 618 fly ash diklasifikasikan atas 2 kelas berdasarkan komposisi kimianya yaitu fly ash tipe F dan C. Dimana fly ash tipe F merupakan hasil dari batu bara bitumen dengan kandungan kalsium yang rendah kurang dari 10%  $\text{CaO}$ . Sedangkan tipe C merupakan hasil dari batu bara sub-bitumen dengan kandungan kalsium yang tinggi di atas 20%  $\text{CaO}$ . Dibandingkan dengan fly ash tipe F, fly ash tipe C lebih mampu meningkatkan mutu kuat tekan beton karena kandungan kalsium yang tinggi dan mampu mengurangi kadar air karena memiliki bentuk partikel yang bulat [9].

### **Air Laut**

Air laut memiliki sifat yang agresif dan korosif. Untuk itu bangunan struktur dan peralatan logam yang dipasang dilaut, seperti jembatan, tiang pancang dermaga, anjungan minyak, ataupun pemecah gelombang dilindungi untuk mengendalikan serangan korosif di lingkungan laut. Menurut Hidayat (2011) air laut mengandung 3,5% garam-garaman yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potassium (1%) dan

sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida [10]. Menurut (Adriani, 2020) intrusi air laut pada struktur sangat tidak dianjurkan untuk terjadi karena dapat menimbulkan risiko korosi. Bentuk-bentuk serangan korosi yang umum terjadi di lingkungan laut adalah korosi merata, korosi galvanik, korosi sumuran (pitting) dan korosi celah (crevice) [11].

Hunggurami dkk (2014), pada bangunan tepi pantai, beton akan bersinggungan dengan air garam yang mengandung  $\text{NaCl}$  yang dapat meresap ke dalam beton sehingga dapat merusak dan bahkan menghancurkan beton. Kerusakan beton terjadi ketika  $\text{NaCl}$  tersebut menguap sehingga di dalam pori-pori beton timbul kristal - kristal yang akan mendesak pori-pori dinding beton. Akibatnya beton pecah menjadi serpihan-serpihan lepas [1].

### **Penelitian Terdahulu**

Pada tahun 2020, Suwindu dkk meneliti karakteristik beton mutu tinggi dengan substitusi slag nikel sebagai agregat kasar. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar persentase slag nikel yang digunakan maka semakin besar pula kenaikan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton tersebut. Nilai kuat tekan dengan substitusi slag nikel sebesar 20% meningkat 3,347% dan slag nikel 30% meningkat sebesar 4,603%. Nilai kuat tarik belah dengan substitusi slag nikel 20% meningkat 30,137% dan untuk slag nikel 30% meningkat sebanyak 46,585%. Nilai kuat lentur dengan substitusi slag nikel 20% meningkat 31,674% dan untuk slag nikel 30% meningkat sebanyak 66,179% [12].

Adhithia dan Pertiwi pada tahun 2020 melakukan penelitian mengenai variasi fly ash sebagai substitusi sebagian semen dan copper slag sebagai substitusi sebagian pasir. Diperoleh hasil pengujian pada umur 56 hari dengan kuat tekan beton normal tertinggi melebihi 42 Mpa, yaitu pada variasi 40% copper slag + 10% fly ash dengan kuat tekan sebesar 58,13 Mpa [13].

Pada tahun 2018, Elviana dkk meneliti pengaruh air laut terhadap kuat geser balok beton bertulang. Pengujian kekuatan beton dilakukan pada 2 kondisi, yaitu benda uji silinder dalam keadaan basah dan keadaan kering angin suhu ruang (kelembaban sekitar 95%). Diperoleh hasil pengujian pada umur 28 dan 90 hari beton yang direndam dengan air laut mengalami penurunan memiliki nilai kuat tekan sebesar 16,66% (keadaan kering) dan 10,64% (keadaan basah). Selain

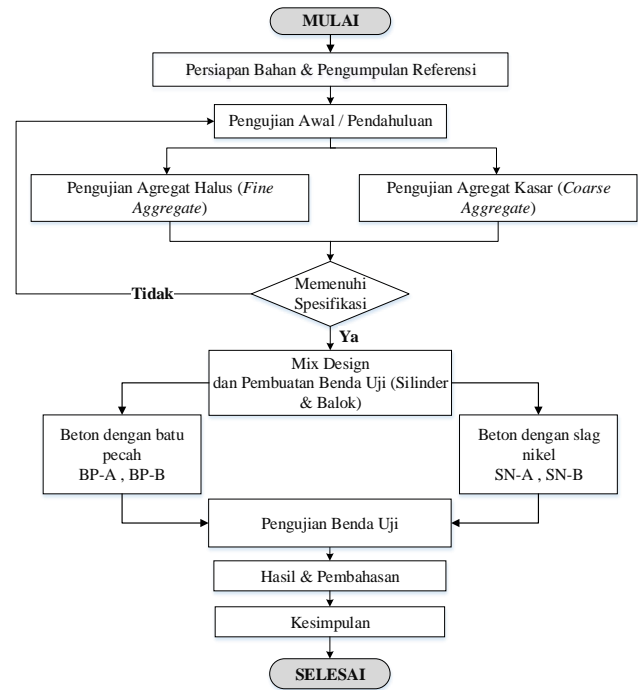
itu, kekuatan geser beton yang direndam dengan air laut juga mengalami penurunan sebesar 3% dan 8,75% (keadaan basah) pada umur 28 hari, dan 12,44% (kondisi kering) dan 12,36% kondisi basah pada umur 90 hari [14].

Nobella pada tahun 2019 membuat beton dengan variasi fly ash sebagai bahan substitusi sebagian semen dan perlakuan curing menggunakan air laut untuk melihat sifat mekanik beton tersebut. Dari penelitian tersebut, diperoleh nilai maksimum kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan absorpsi minimum pada penambahan variasi fly ash sebanyak 10%. Nilai kuat tekan maksimum sebesar 29,46 MPa dengan peningkatan sebesar 31,05%. Nilai kuat tarik belah maksimum sebesar 3,04 MPa dengan peningkatan sebesar 22%. Nilai modulus elastisitas sebesar 23877,79 Mpa dengan peningkatan sebesar 10,97%. Serta menghasilkan beton dengan absorpsi amat minimum sebesar 0,17% dan 0,68% pada durasi 10,5 menit dan 24 jam dengan peningkatan kekedapan sebesar 74,62% dan 32,57% [15].

Penelitian terkait slag baja dan slag nikel juga dilakukan oleh Lian dkk pada tahun 2021. Pada penelitian tersebut, slag baja dan slag nikel digunakan untuk membuat beton mutu tinggi. Slag nikel yang digunakan sebesar 50%, sementara slag baja sebesar 15% s.d 30%, sifat mekanik beton terutama terkait dengan kuat tekan, kuat belah, dan kuat lentur beton mengalami peningkatan [16].

### PERANCANGAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan membuat benda uji. Tahapan pada penelitian ini dimulai dari mempersiapkan alat dan bahan, pengujian material penyusun beton (batu pecah, slag nikel, pasir, dan fly ash), pengecekan syarat-syarat, perancangan mix design, pembuatan benda uji, pengujian beton segar (uji slump, berat isi, dan waktu ikat), perawatan benda uji (air laut dan air tawar), pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Standar pengujian agregat halus dan kasar didasarkan pada ASTM C 29/C 29M – 97; ASTM C 40-99; ASTM C 117-95; SNI-03-1968-1990; SNI-03-1970-2008; SNI-03-1971-1990; SNI-1969-2008 [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23]. Sedangkan standar pengujian kuat tekan pada SNI-1974-2011 [24]. Selanjutnya tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### Benda Uji

Benda uji berupa beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 48 buah dengan 4 variasi beton yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Variasi Benda Uji

Kode Beton	Variasi Agregat Kasar	Perendaman	Jumlah
B.BP	Batu pecah	Air tawar	12
L.BP	Batu pecah	Air laut	12
B.SN	Slag nikel	Air tawar	12
L.SN	Slag nikel	Air laut	12

#### Pengujian Material

Material yang diuji ialah agregat kasar (batu pecah), agregat halus (pasir), slag nikel, dan fly ash. Pada agregat kasar, agregat halus, dan slag nikel dilakukan uji berat jenis dan penyerapan air, berat isi, kadar air,

kadar lumpur, dan analisa ayak, sedangkan pada fly ash hanya dilakukan uji berat jenis. Hasil pengujian pada material dapat dilihat pada Tabel 2 – Tabel 5.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar**

Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis	g/cm <sup>3</sup>	2,35
Penyerapan Air	%	5,49
Berat Isi Padat	kg/m <sup>3</sup>	1365,15
Voids Padat	%	41,85
Berat Isi Lepas	kg/m <sup>3</sup>	1288,92
Voids Lepas	%	45,09
Kadar Air	%	5,97
Kadar Lumpur	%	0,87
Analisa Ayak		25 – 9,5 mm

**Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus**

Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis	g/cm <sup>3</sup>	2,61
Penyerapan Air	%	0,7
Berat Isi Padat	kg/m <sup>3</sup>	1561,3
Voids Padat	%	40,13
Berat Isi Lepas	kg/m <sup>3</sup>	1346,3
Voids Lepas	%	48,38
Kadar Air	%	6,94
Kadar Lumpur	%	2,1
Analisa Ayak		Zona 2

**Tabel 4 Hasil Pengujian Slag Nikel**

Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis	g/cm <sup>3</sup>	2,91
Penyerapan Air	%	0,55
Berat Isi Padat	kg/m <sup>3</sup>	1798,63
Voids Padat	%	38,16
Berat Isi Lepas	kg/m <sup>3</sup>	1542,2
Voids Lepas	%	46,97
Kadar Air	%	0,3
Kadar Lumpur	%	0
Analisa Ayak		25 – 9,5 mm

Berdasarkan Tabel 4, diperoleh BJ sebesar 2,91 g/cm<sup>3</sup>. Berat jenis slag nikel ternyata lebih kecil dari pada slag baja. Hal tersebut seperti penelitian terkait slag baja yang pernah dilakukan Yanuarini, E. dkk (2022) yakni sebesar 3,49 g/cm<sup>3</sup>[25].

**Tabel 5. Hasil Pengujian Fly Ash**

Pengujian	Satuan	Hasil
Berat Jenis	g/cm <sup>3</sup>	2,86

### Analisis Rancangan Campuran Beton

Rancangan beton pada penelitian ini mengacu pada peraturan SNI 2834-2000. FAS yang digunakan sebesar 0,55. Berikut jumlah kebutuhan material tiap m<sup>3</sup> untuk setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Kebutuhan Material Tiap m<sup>3</sup>**

Material	Satuan	Benda Uji	
		BP	SN
Air	kg	185	185
Semen	kg	404,69	404,69
Fly Ash	kg	57,81	57,81
Agregat Kasar	kg	1136,81	0
Agregat Halus	kg	475,68	552,38
Slag nikel	kg	0	1320,11

### Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar meliputi uji slump, berat isi, dan waktu ikat awal. Hasil pengujian beton segar dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Hasil Pengujian Beton Segar**

Pengujian	Kode Beton	
	BP	SN
Slump (cm)	18	17
Berat Isi (kg/m <sup>3</sup> )	2300	2585,7
Waktu Ikat Awal (menit)	335,63	340,64

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 – Gambar 5.



**Gambar 2. Kuat Tekan Rata-rata Umur 7 Hari**



Gambar 3. Kuat Tekan Rata-rata Umur 14 Hari



Gambar 4. Kuat Tekan Rata-rata Umur 21 Hari



Gambar 5. Kuat Tekan Rata-rata Umur 28 Hari

Berdasarkan Gambar 2, pada umur 7 hari nilai kuat tekan beton tertinggi dihasilkan oleh variasi B.SN yaitu sebesar 17,4 MPa, sedangkan terendah dihasilkan oleh variasi B.BP yaitu sebesar 11 MPa. Pada beton variasi L.BP, B.SN, dan L.SN mengalami peningkatan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 14,43%; 58,25%; 46,74% terhadap beton variasi B.BP.

Berdasarkan Gambar 3, pada umur 14 hari nilai kuat tekan beton tertinggi dihasilkan oleh variasi B.SN yaitu sebesar 24,4 MPa, sedangkan terendah dihasilkan oleh variasi B.BP yaitu sebesar 16,3 MPa. Pada beton variasi B.SN dan L.SN mengalami peningkatan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 50,06% dan 29,66%, sedangkan beton variasi L.BP terjadi penurunan yaitu sebesar 5,33% terhadap beton variasi B.BP.

Berdasarkan Gambar 4, pada umur 21 hari nilai kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh variasi B.SN yaitu sebesar 24,3 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah dihasilkan oleh variasi B.BP yaitu sebesar 17,9 MPa. Pada beton variasi L.BP, B.SN, dan L.SN mengalami peningkatan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 3,79%; 35,93%; 32,24% terhadap beton variasi B.BP.

Berdasarkan Gambar 5, pada umur 28 hari nilai kuat tekan beton tertinggi dihasilkan oleh variasi L.SN yaitu sebesar 23,5 MPa, sedangkan terendah dihasilkan oleh variasi L.BP yaitu sebesar 18,3 MPa. Pada beton variasi B.SN dan L.SN mengalami peningkatan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 7,51% dan 18,54%, sedangkan beton variasi L.BP terjadi penurunan yaitu sebesar 7,98% terhadap beton variasi B.BP.

Penggunaan slag nikel pada beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian nilai kuat tekan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari, nilai kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton yang menggunakan slag nikel sebagai agregat kasarnya. Kandungan terbesar pada slag nikel yaitu silika (SiO<sub>2</sub>), unsur ini akan memperkuat proses hidrasi antara agregat dengan pasta sehingga menaikkan kekuatan beton. Selain itu, unsur silika (SiO<sub>2</sub>) dapat meningkatkan kedapatan beton sehingga air dan ion-ion agresif seperti yang terkandung pada air laut tidak dengan mudah masuk melalui proses pozzolanik sebab nilai penyerapan air yang besar pada beton dapat memengaruhi keawetan dan durabilitas sehingga menyebabkan penurunan kekuatan beton [13].

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari diperoleh persentase tertinggi secara berturut-turut sebesar 58,25%; 50,06%; 35,93%; 18,54% terhadap variasi B.BP. Persentase

tertinggi pada umur 7, 14, dan 21 hari dihasilkan oleh variasi B.SN, sedangkan pada umur 28 hari dihasilkan oleh variasi L.SN. Persentase nilai kuat tekan terendah pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari secara berturut-turut sebesar 14,43%; -5,33%; 3,79%; -7,98% terhadap variasi B.BP yang dihasilkan oleh variasi L.BP. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari, substitusi slag nikel sebagai agregat kasar pada perawatan perendaman air laut dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton sampai dengan 18,54% terhadap beton batu pecah dengan perawatan perendaman air tawar.

### REFERENSI

- [1] E. Hunggurami, S. Utomo, and A. Wadu, "Pengaruh Masa Perawatan (Curing) menggunakan Air Laut terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton," *J. Tek. Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 103–110, 2014.
- [2] R. Syamsuddin, A. Wicaksono, and F. F. M., "Pengaruh Air Laut Pada Perawatan (Curing) Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton Dengan Variasi Faktor Air Semen Dan Durasi Perawatan." *J. Rekayasa Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 68–75, 2011.
- [3] G. Singh, S. Das, A. A. Ahmed, S. Saha, and S. Karmakar, "Study of Granulated Blast Furnace Slag as Fine Aggregates in Concrete for Sustainable Infrastructure," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 2272–2279, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.316.
- [4] M. K. CS, A. K. S, A. K, and D. J. Roy, "Strength and Durability Studies on Fly Ash Concrete in Sea Environment," *Int. J. Core Eng. Manag.*, vol. 2, no. 5, pp. 141–150, 2015.
- [5] A. S. Bahri, I. Rita, A. S. Hamid, and A. A. Amiruddin, "Perilaku Mekanik Beton yang Mengandung Fly Ash dan Pasir Slag Nikel Pengganti Agregat Halus," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil* 2020, vol. 2459–9727, no. 1985, pp. 279–284, 2019.
- [6] H. Kaselle and R. B. Allo, "Pengaruh Penggunaan Slag Nikel Pada Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Geopolimer," *J. Appl. Civ. Environ. Eng.*, vol. 1, no. 2, p. 67, 2021, doi: 10.31963/jacee.v1i2.2999.
- [7] Kementerian Umum Dan Perumahan Rakyat, "Penggunaan abu terbang dalam campuran beton sedikit semen portland," *Dinas Pekerj. Umum dan Perumah. Rakyat*, no. September, 2019.
- [8] ACI Commiitte 232, "The Use of Fly Ash in Concrete."
- [9] ASTM C 618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," *ASTM Int.*, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1520/C0618.
- [10] R. R. Hidayat, "Rancang Bangun Alat Pemisah Garam dan Air Tawar Menggunakan Energi Matahari," *Skripsi*, p. 65, 2011.
- [11] Adriani, "Pemanfaatan Air Laut Sebagai Sumber Cadangan Energi Listrik," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 02, pp. 22–33, 2020
- [12] K. S. Suwindu and D. Sandy, "Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Substitusi Slag Baja dan Slag Nikel Sebagai Agregat Kasar," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–15, 2020, doi: 10.52722/pcej.v2i1.115.
- [13] Ferdian Adhitia and Dewi Pertiwi, "Pengaruh Variasi Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dengan Copper Slag Pengganti Sebagian Pasir Untuk Beton Mutu 42 Mpa," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 9, no. 1, pp. 80–86, 2020, doi: 10.22225/pd.9.1.1676.80-86.
- [14] Elviana, A. Saputra, and D. Sulisty, "The Influence of Sea Water Content on the Shear Strength of Reinforced Concrete Beams," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1625, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1625/1/012027.
- [15] M. F. Nobella, "Pengaruh Variasi Fly Ash Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton Dengan Perlakuan Curing Air Laut," 2019, [Online]. Available: <http://e-journal.uajj.ac.id/17538/>.
- [16] Y. L. Tiranda, H. Parung, and D. Sandy, "Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi Dengan Kombinasi Slag Nikel Dan Slag Baja,"

- Paulus Civ. Eng. J., vol. 3, no. 1, pp. 55–62, 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i1.204.
- [17] ASTM, “ASTM C 29/C 29 M – 97 (2003),” vol. 97, pp. 3–4, 2003.
- [18] ASTM, “Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete,” pp. 6–7, 2011, doi: 10.1520/C0040.
- [19] ASTM, “ASTM C 117 - 95,” no. No 200, pp. 1–5.
- [20] SNI 03-1968, “Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar,” Badan Standar Nas. Indones., pp. 1–5, 1990.
- [21] SNI 1970-2008, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus,” Badan Standar Nas. Indones., pp. 7–18, 2008, [Online]. Available: <http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195>.
- [22] SNI 03-1971-1990, “Metode Pengujian Kadar Air Agregat,” Badan Standarisasi Nas., vol. 27, no. 5, p. 6889, 1990.
- [23] SNI 1969-2008, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar,” Badan Standar Nas. Indones., p. 20, 2008.
- [24] SNI 1974-2011, “Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder,” Badan Stand. Nas. Indones., p. 20, 2011.
- [25] E. Yanuarini, A. Indianto, Sukarman, and R. Anggriawan, “Pengaruh Substitusi Slag Baja Terhadap Kuat Tekan Beton Porous Non Pasir,” *Portal*, vol. 14, no. 1, 2022, <http://dx.doi.org/10.30811/portal.v14i1.2728>