



BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN KEKUATAN AWAL YANG TINGGI

¹ Muammar Makmur, ² Edward Ngii, ³ Ahmad Syarif Sukri,
⁴ Rahmat, ⁵ Akbar Haryadi, ⁶ Chaerul Adam, ⁷ Fauziah Kudus
^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo Kendari

Koresponden Author : edward.ngii@uho.ac.id

Info Artikel	ABSTRAK
Diajukan : 18 Juni 2019 Diperbaiki : 21 Juni 2019 Disetujui : 24 Juni 2019	<p>Saat ini, beton sebagai komponen utama pembangunan infrastruktur termasuk dalam produk yang paling banyak dikonsumsi di dunia, sehingga, menimbulkan masalah lingkungan dan berkontribusi secara signifikan terhadap penipisan sumber daya alam. Selain itu, kegiatan industri juga sebagai pemicu dalam pencemaran lingkungan karena dalam proses produksinya menghasilkan saMPah atau limbah. Salah satu contoh terdapat pada PT. Antam di Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Dalam proses produksinya menghasilkan limbah berupa <i>slag</i> nikel yang jumlahnya sangat banyak. Bersama dengan itu kebutuhan akan inovasi terhadap perkembangan konstruksi semakin tinggi, salah satunya yaitu beton dengan kekuatan awal yang tinggi yang penerapannya dapat digunakan pada elemen-elemen struktur pracetak.</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kuat tekan awal beton yang dihasilkan dengan menggunakan <i>slag</i> nikel FeNi tipe 3 dan 4 sebagai pengganti agregat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Untuk pengganti agregat kasar digunakan <i>slag</i> nikel FeNi tipe 3 dan agregat halus digunakan <i>slag</i> nikel FeNi Tipe 4 dan menggunakan <i>Admixture</i> berupa Consol N10 LC sebesar 1% dari berat semen. Adapun metode <i>mix design</i> yang digunakan mengacu pada SNI 03-2834-2002 [1].</p> <p>Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan awal beton pada umur 3 hari masing-masing 17,57 MPa, 20,34 MPa, dan 21,55 MPa dan pada umur 7 hari masing-masing sebesar 39,23 MPa, 40,09 MPa, dan 41,33MPa.</p> <p>Kata Kunci : Beton, <i>Slag</i> Nikel, Kuat Tekan Awal Tinggi</p>

ABSTRACT

At present, concrete as a major component of infrastructure that included in the most consumed products in the world. Importantly, it causes environmental problems and contributes significantly to the depletion of natural resources. In addition, industrial activities are also a trigger in environmental pollution because in the production process produces waste. One example is PT. Antam in Kolaka Regency, Southeast Sulawesi. In the production process it produces a very big amount of nickel slag. In Addition, the need for innovation towards the development of construction is increasingly high, one of them is the concrete with a high initial strength whose application can be used in precast structural elements.

This study aims to know initial compressive strength of the concrete by using nickel slag FeNi type 3 and 4 as aggregate substitute. The method used was experimental method. Nickel slag FeNi type3 used as coarse aggregate and nickel slag FeNi Type 4 as fine aggregate and used Admixture Consol N10 LC 1% of the weight of cement. The mix design method used refers to SNI 03-2834-2002.

The results in this study show that the initial compressive strength of concrete at the age of 3 days was 17.57 MPa, 20.34 MPa, and 21.55 MPa and at 7 days was 39.23 MPa, 40, 09 MPa, and 41.33 MPa.

Keywords : Concrete, Nickel Slag, High Initial Compressive Strength

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Keberadaan infrastruktur yang memadai, merupakan kunci untuk meningkatkan peringkat daya saing Indonesia. Oleh karena itu, dalam rangka meningkatkan daya saing Indonesia di tengah persaingan global, pemerintah terus berupaya untuk mempercepat program pembangunan infrastruktur di segala bidang, mulai dari pembangunan jembatan, jalan, bendungan, saluran irigasi, air bersih, perkantoran, perumahan dan penataan kawasan, serta infrastruktur prioritas lainnya.

Pembangunan Infrastruktur yang begitu pesat oleh pemerintah Indonesia selain memiliki dampak positif sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi juga akan memiliki dampak negatif jika tidak dilaksanakan dengan cara yang tepat salah satunya belum optimalnya perlindungan terhadap lingkungan hidup dan sumber daya alam dari pembangunan tersebut.

Kegiatan industri menjadi salah satu pemicu dalam pencemaran lingkungan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1984 Tentang Perindustrian, industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi, dan barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri [2]. Pemerhatian terhadap keberlanjutan industri sangatlah penting karena selain menghasilkan barang yang memiliki nilai jual juga menghasilkan limbah dari proses pengolahannya. Definisi dari limbah industri sendiri adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga) yang tidak memiliki nilai ekonomis dan keberadaannya dapat merusak lingkungan.

Kegiatan industri dan konstruksi yang cukup besar sehingga jumlah limbah yang dihasilkan setiap hari semakin mengawatirkan. Bersama dengan itu kebutuhan akan inovasi terhadap perkembangan konstruksi semakin tinggi, salah satunya yaitu beton dengan kekuatan awal yang tinggi dan ramah lingkungan yang dapat mereduksi sisa buangan yang penerapannya dapat digunakan pada elemen-elemen struktur pracetak.

Slag nikel adalah salah satu jenis sisa dari proses industri yaitu dari proses peleburan bijih

nikel setelah melalui proses pembakaran dan penyaringan. Salah satu perusahaan yang mengolah bijih nikel adalah PT. Aneka Tambang Pomalaa (PT. ANTAM POMALAA) yang terletak di Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Proses peleburan bijih nikel tersebut menghasilkan limbah berupa *slag* yang jumlahnya sangat besar dan dapat berpotensi menimbulkan masalah lingkungan serta gangguan kesehatan pada masyarakat. Banyaknya limbah buangan yang berupa *slag* Nikel dari PT. Aneka Tambang Pomalaa kini harus ditangani atau dikelola dengan benar sehingga dapat bermanfaat bagi masyarakat khususnya masyarakat sekitaran PT. Aneka Tambang Pomalaa.



Gambar 1. Limbah Buangan *Slag* Nikel

Sebagai limbah buangan hasil pengolahan bijih nikel, selama ini *slag* nikel hanya digunakan sebagai bahan timbunan oleh masyarakat yang dianggap sudah tidak memiliki manfaat lagi. Tetapi, jika dilihat secara visual, bentuk fisik dari *slag* nikel menyerupai agregat baik yang halus menyerupai pasir dan kasar yang menyerupai kerikil, dimana dapat digunakan untuk bahan agregat dalam campuran beton.



Gambar 2. *Slag* Nikel sebagai Timbunan di Pantai

Banyaknya limbah buangan yang berupa *slag* nikel dari PT. Aneka Tambang Pomalaa

kini harus ditangani atau dikelola dengan benar sehingga dapat bermanfaat bagi masyarakat khususnya masyarakat sekitaran PT. Aneka Tambang Pomalaa.

Sehingga dari permasalahan di atas, untuk mengatasi hal tersebut peneliti bermaksud untuk mencari sumber alternatif lain sebagai pengganti bahan komposisi pembuatan beton yang lebih ramah lingkungan dan sebagai inovasi akan kebutuhan beton dengan kekuatan awal yang tinggi.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat dipaparkan sesuai dengan latar belakang yang telah dijelaskan adalah :

1. Berapa besar kekuatan beton pada umur 3 hari dan 7 hari dengan menggunakan *slag* nikel sebagai agregat kasar dan halus?
2. Berapakah nilai *slump* yang dihasilkan dengan menggunakan *slag* nikel sebagai agregat kasar dan halus?

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mendesain dan mengetahui seberapa besar kuat tekan beton pada umur 3 hari dan 7 hari dengan menggunakan *slag* nikel sebagai agregat.
2. Dapat mengetahui nilai *slump* yang dihasilkan dengan menggunakan *slag* nikel sebagai agregat kasar dan halus.

Penelitian Terdahulu

Telah dilakukan beberapa penelitian tentang penggunaan *slag* sebagai bahan bangunan, diantaranya Sugiri [3] yang melakukan penelitian tentang penggunaan *slag* nikel sebagai agregat dan campuran semen untuk beton mutu tinggi. Tujuannya untuk mengetahui kuat tekan beton yang menggunakan *slag* nikel baik sebagai agregat halus maupun agregat kasar. Benda uji dibuat dalam tiga variasi yakni beton normal, beton dengan agregat halus *slag* nikel, dan beton dengan agregat kasar *slag* nikel. Umur pengujian untuk semua variasi mulai 3, 14, 28, 56, dan 90 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton normal pada umur tersebut di atas berturut-turut sebesar 12,07 MPa, 22,06 MPa, 22,43 MPa, 30,38 MPa,

dan 31,09 MPa. Dengan umur yang sama untuk beton yang menggunakan *slag* nikel sebagai agregat halus diperoleh kuat tekan sebesar 11,60 MPa, 17,44 MPa, 22,73 MPa, 39,21 MPa, 80,16 MPa, sedangkan kuat tekan beton yang menggunakan *slag* nikel sebagai agregat kasar yaitu 14,15 MPa, 27,27 MPa, 30,97 MPa, 35,38 MPa, dan 37,04 MPa.

Penelitian Leonardus dan Valentino [4] tentang penggunaan *slag* nikel sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton dengan variasi *slag* nikel 0%, 20%, dan 40% terhadap volume agregat kasar (batu pecah) memberikan hasil bahwa terjadi peningkatan kuat tekan pada beton dari variasi tanpa kadar *slag* atau kadar 0% ke kadar *slag* 40% dengan kuat tekan berturut-turut sebesar 353,06 kg/cm², 412,02 kg/cm², dan 459,99 kg/cm². Jadi, adanya *slag* nikel sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton secara signifikan meningkatkan kekuatan beton.

Rifaldi dan Peke [5] melakukan penelitian tentang kuat tekan mortar yang menggunakan *slag* nikel sebagai agregat halus (pengganti pasir). Variasi benda uji dibedakan atas variasi pasir 100% : *slag* 0% (MP), pasir 50% : *slag* 50% (MPS), pasir 0% : *slag* 100 (MS). Pengujian dilakukan pada umur 3 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan mortar meningkat seiring dengan pertambahan umur. Peningkatan kuat tekan mortar dari MP (pasir 100% : *slag* 0%) ke MPS (pasir 50% : *slag* 50%) lebih besar dibanding dari MPS (pasir 50% : *slag* 50%) ke MS (pasir 0% : *slag* 100%). Mortar yang menggunakan *slag* nikel (gradasi zona 1) memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mortar yang menggunakan pasir (gradasi zona 4). Jadi mortar dengan variasi *slag* nikel mempengaruhi kuat tekan mortar. Semakin banyak jumlah *slag* nikel yang ditambahkan pada mortar maka semakin tinggi pula kuat tekan yang dihasilkan.

Wayan Mustika, I M. Alit K. Salain, I K. Sudarsana [6] melakukan penelitian tentang Penggunaan Terak Nikel sebagai Agregat Dalam Campuran Beton. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 48 buah yang diuji pada umur 28 hari dengan beberapa variasi campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan penggunaan agregat alami, terak nikel yang digunakan hanya sebagai agregat kasar, sebagai agregat halus saja dan gabungan agregat kasar dan agregat halus

mengakibatkan nilai *slump* berturut-turut turun 39,47%, meningkat sebesar 55,26 %, dan meningkat sebesar 34,21%. Sebagai agregat kasar, terak nikel meningkatkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah berturut-turut sebesar 42,27%, 19,37% dan 23,46%. Sebagai agregat halus, terak nikel mengakibatkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah turun berturut-turut sebesar 16,75%, 6,70% dan 24,58%. Sebagai gabungan agregat kasar dan halus, terak nikel meningkatkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah berturut-turut sebesar 10,31%, 9,26% dan 6,70%.

METODE PENELITIAN

1. Metode Pengambilan Data

Adapun data yang diperoleh dari penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan dan diolah sendiri oleh peneliti berupa:

- 1) Pemeriksaan bahan campuran beton.
- 2) Kuat tekan beton.

b. Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung dari objek atau subjek penelitian berupa:

- 1) Data ketersediaan *slag* nikel di PT. Antam.
- 2) Data Harga Satuan Material SeteMPat.

2. Metode Pengujian Material

Metode pengujian material dan pembuatan benda uji mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yang meliputi :

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar [7];
- b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus [8];
- c. Pemeriksaan kadar air agregat [9];
- d. Pemeriksaan berat isi agregat [10];
- e. Pembuatan benda uji [11].

Untuk bahan penyusun beton dengan kekuatan awal yang tinggi meliputi:

- a. Agregat kasar berupa *slag* nikel FeNi tipe 3;
- b. Agregat halus berupa *slag* nikel FeNi tipe 4;
- c. Semen portland tipe 1 merk Tonasa;
- d. *Admixture* berupa Consol N10 LC;
- e. Air.

3. Mix Design

a. Data-data yang tersedia:

- 1) Kuat tekan beton yang disyaratkan adalah $f'c = 25$ MPa;
- 2) Semen Portland yang digunakan = semen Portland biasa (tipe 1);
- 3) Agregat halus = *slag* nikel FeNi tipe 4, dengan gradasi agak kasar;
- 4) Agregat kasar = *slag* nikel FeNi tipe 3, maksimum 20 mm;
- 5) Pengecoran beton dengan nilai *slump* = 10 cm;
- 6) Berat jenis agregat halus = 2,83;
- 7) Berat jenis agregat kasar = 2,83.

b. Langkah-Langkah Mix Design:

- 1) Penetapan Kuat Tekan Beton yang diisyaratkan ($F'c$);

$$F'c = \frac{P}{A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

keterangan :

- $F'c$ = Kuat tekan beton (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas tekan benda uji (mm^2)

- 2) Perhitungan Nilai Tambah (M);
- 3) Kuat Tekan Rata-Rata Perlu ($F'cr$);

$$F'cr = F'c + M \quad \dots\dots\dots (2)$$

keterangan :

- $F'cr$ = Kuat tekan rata-rata perlu (MPa)
- $F'c$ = Kuat tekan beton (MPa)
- M = Nilai tambah (MPa)

- 4) Penetapan Jenis Semen *Portland*;
- 5) Penetapan Jenis Agregat;
- 6) Penetapan Faktor Air Semen;
- 7) Penetapan Nilai *Slump* ;
- 8) Penetapan Besar Butir Agregat Maksimum;
- 9) Jumlah Air yang diperlukan Per Meter Kubik Beton;

$$A = 0,67 \cdot A_h + 0,33 \cdot A_k \quad \dots\dots\dots (3)$$

keterangan :

- A = Jumlah air ($liter/m^3$)
- A_h = Agregat halus
- A_k = Agregat kasar

10) Berat Semen yang Diperlukan;

$$W_{smn} = \frac{1}{fas} W_{air} \dots\dots\dots (4)$$

keterangan :

W_{smn} = Berat semen (kg)

W_{air} = Berat air (kg)

Fas = Faktor air semen

11) Penetapan Jenis Agregat Halus;

12) Proporsi Berat Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran;

13) Berat Jenis Agregat Campuran;

$$B_{j\text{ camp}} = \frac{k_h}{100} \cdot b_{jh} + \frac{k_k}{100} \cdot b_{jk} \dots (5)$$

keterangan :

$B_{j\text{ camp}}$ = Berat jenis campuran (kg/m^3)

k_h = Persen agregat halus (%)

k_k = Persen agregat kasar (%)

b_{jh} = Berat jenis agregat halus (kg/m^3)

b_{jk} = Berat jenis agregat kasar (kg/m^3)

14) Perkiraan Berat Beton;

15) Kebutuhan Berat Agregat Campuran;

$$W_{agr. \text{ cmp}} = W_{btn} - W_{air} + W_{smn} \dots (6)$$

keterangan :

$W_{agr. \text{ cmp}}$ = Berat agregat campuran (kg)

W_{btn} = Berat beton (kg)

W_{air} = Berat air (kg)

W_{smn} = Berat semen (kg)

16) Berat Agregat Halus yang Diperlukan;

$$W_{agr. h} = k_h \cdot W_{agr. \text{ camp}} \dots\dots\dots (7)$$

keterangan :

$W_{agr. h}$ = Berat agregat halus (kg)

$W_{agr. \text{ camp}}$ = Berat agregat campuran (kg)

k_h = Persen agregat halus (%)

17) Berat Agregat Kasar yang Diperlukan;

$$W_{agr. k} = k_k \cdot W_{agr. \text{ camp}} \dots\dots\dots (8)$$

keterangan :

$W_{agr. k}$ = Berat agregat kasar (kg)

$W_{agr. \text{ camp}}$ = Berat agregat campuran (kg)

K_k = Persen agregat kasar (%)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Proporsi Campuran Beton

Proporsi campuran untuk satu benda uji berbentuk silinder (15 x 30 cm) menggunakan SNI 03-2834-2002 [1]. Hasil *mix design* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1. Hasil *Mix design* Beton

Bahan	Volume	Satuan
Semen	3,228	Kg
Slag FeNi Tipe 3	6,108	Kg
Slag FeNi Tipe 4	3,008	Kg
Consol N 10 LC	0,032	Kg
Air	1,033	Liter

Sumber : Hasil Perhitungan, 2019

2. Hasil Uji Tes Slump

Nilai *slump* direncanakan berada pada rentang 7,5 – 15 cm. Pada saat pengujian, besarnya nilai *slump* adalah 10 cm.

3. Hasil Uji Kuat Tekan

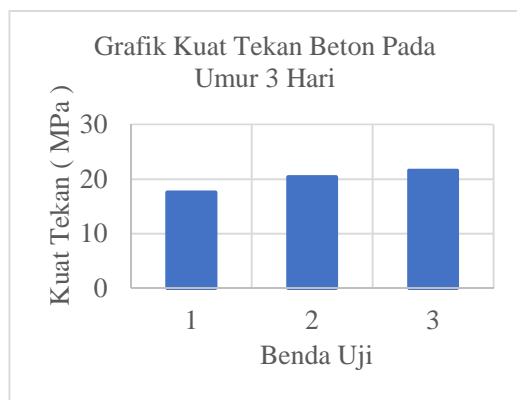
Sampel beton diuji kuat tekan saat berumur 3 hari, dan 7 hari dengan masing-masing 3 buah. Pengujian kuat tekan menggunakan alat (*Universal Testing Machine*).

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3 dan 7 hari dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari

Benda Uji	Hasil Uji (kg)	Luas (cm^2)	Kuat Tekan (kg/cm^2)	Kuat Tekan (MPa)
1	31.033	176,625	175,7	17,57
2	35.926	176,625	203,4	20,34
3	38.063	176,625	215,5	21,55
Rata-Rata			198,2	19,82

Sumber : Hasil Perhitungan, 2019

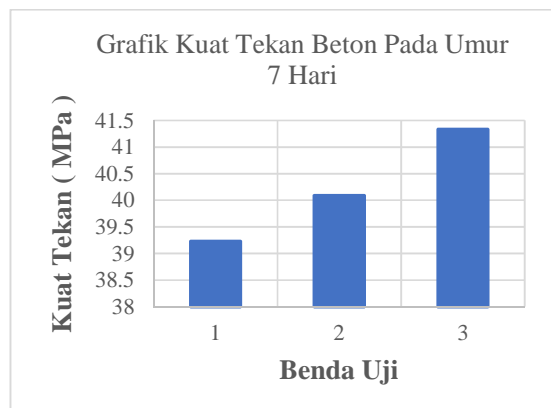


Gambar 3. Kuat Tekan Beton Pada Umur 3 Hari
Sumber : Hasil Perhitungan, 2019

Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Benda Uji	Hasil Uji (kg)	Luas (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	69.290	176,625	392,3	39,23
2	70.809	176,625	400,9	40,09
3	72.999	176,625	413,3	41,33
Rata-Rata			402,2	40,22

Sumber : Hasil Perhitungan, 2019



Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Beton Pada Umur 7 Hari
Sumber : Hasil Analisa, 2019

Kuat tekan beton dengan menggunakan *slag* nikel FeNi tipe 3 dan tipe 4 sebagai pengganti agregat dapat meningkatkan kuat tekan. Pengaruh *slag* nikel sebagai bahan substitusi agregat kasar dan halus mengakibatkan terjadi reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam *slag* nikel. Penggunaan *slag* nikel memperlihatkan dua pengaruh di dalam beton yaitu sebagai agregat kasar dan halus juga sebagai bahan pozzolan.

Penggunaan *slag* nikel FeNi tipe 3 dan tipe 4 sebagai agregat dalam campuran beton dapat memberikan keuntungan, yaitu bernilai ekonomis karena bahan yang digunakan dalam membuat beton berupa limbah buangan. Terkhusus buat PT. Aneka Tambang Pomalaa serta warga sekitar, penelitian ini merupakan salah satu solusi dalam mengatasi limbah buangan *slag* nikel yang hingga saat ini semakin banyak.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil uji *slump* diperoleh sebesar 10 cm.
2. Kuat tekan rata-rata beton pada umur 3 hari masing-masing 17,57 MPa, 20,34 MPa, dan 21,55 MPa dan pada umur 7 hari masing-masing sebesar 39,23 MPa, 40,09 MPa, dan 41,33 MPa.

B. Saran

Sebaiknya Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi penggunaan *slag* nikel FeNi tipe 3 dan 4 agar dapat menghasilkan kuat tekan optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 03-2834-2002, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional, 2002.
- [2] *Undang-Undang No. 5 Tahun 1984 Tentang Perindustrian*. Jakarta, 1984.
- [3] S. Sugiri, "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dan Campuran Semen Untuk Beton Mutu Tinggi," *J. Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, vol. 1, no. 1, 2005.
- [4] Leonardus dan W. Valentino, "Pengaruh Slag Nikel sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton," Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2014.
- [5] M. Rifaldi dan S. Peke, "Uji Tekan Mortar dengan Menggunakan Slag Nikel sebagai Pengganti Agregat Halus," Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2016.
- [6] W. Mustika, I. M. Alit K. Salain, I. K. Sudarsana, "Penggunaan Terak Nikel sebagai Agregat dalam Campuran Beton," *J. Spektran*, vol. 4, no. 2, pp. 36–45, 2016.

- [7] SNI 03-1970-1990, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*. Departemen Pekerjaan Umum, Standar Nasional Indonesia, 1990.
- [8] SNI 03-1969-1990, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*, Departemen Pekerjaan Umum, Standar Nasional Indonesia, 1990.
- [9] SNI 03-1971-1990, *Kadar Air dalam Agregat. Pengelompokan Kekasaran Pasir*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1990.
- [10] SNI 03-1973-1990, *Metode Pengujian Berat Isi Beton*. Jakarta, 1990
- [11] SNI 03-2493-1991. *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Pusjatan-Balitbang Pekerjaan Umum, 1991.

Halaman ini sengaja di kosongkan