



Penggunaan Limbah Nikel Sebagai Material Substitusi Agregat Kasar Pada Beton K.250

Muhammad Muhsar^{1*}, Abdul Kadir², Sulaiman³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

*Corresponding Author: muhammadmusyan26@gmail.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Concrete, Nickel slag, Compressive strength

How to cite:

Muhammad Muhsar, Abdul Kadir, Sulaiman (2021). Penggunaan Limbah Nikel sebagai Material Substitusi Agregat Kasar pada Beton K.250

Sultra Civil Engineering Journal, Vol. 2(1)

Abstracting and Indexing:

- Google Scholar

ABSTRACT

The purpose of this study was to Analyze the characteristics of the aggregates used in concrete mixtures and analyze how much increase in compressive strength of concrete with a variation of nickel slag substitution 0%, 5%, 15%, 25% compared with normal concrete. The characteristics of the material examined are water content, sludge content, specific gravity and absorption, volume weight, abrasion with los angeles machines, and filter analysis. While the large increase in compressive strength of concrete can be tested at the age of 7 days, 14 days, 28 days and 35 days.

From the results of the analysis of the characteristics of nickel slag waste in concrete mixes meet the test standards in concrete mixtures, with a moisture content of 0.86%, sludge content of 0.44%, specific gravity of 2.94 gr / cm³, volume weight of 1.76 gr / cm³, abrasion 36.07%. And a large increase in compressive strength of concrete with a variation of nickel slag substitution of 0%, 5%, 15%, 25% compared to normal concrete is increasing. The highest percentage increase in concrete compressive strength is found in concrete compressive strength between a variation of 15% with a variation of 25% at 14 days concrete age, with a percentage increase in value of 13.13%.

Copyright © 2021 SCiEJ. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Pembangunan merupakan upaya yang dilakukan secara terus-menerus yang diarahkan pada peningkatan taraf hidup masyarakat dan kesejahteraan secara umum. Dalam pelaksanaannya, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memacu adanya pengembangan kreatifitas setiap orang sebagai modal agar pembangunan dapat dilaksanakan secara lebih baik. Semakin berkembangnya pembangunan-pembangunan di Indonesia membuat berkurangnya lahan-lahan hijau. Selain itu, banyaknya kegiatan industri dan konstruksi membuat sumber utama masalah lingkungan hidup dan berkontribusi secara signifikan terhadap penipisan sumber daya alam.

Seiring dengan hal tersebut, peningkatan mutu, efisiensi, dan produktivitas dari setiap kegiatan pembangunan terutama yang terkait dengan sektor fisik mutlak harus dilakukan, seperti halnya sektor bangunan yang menggunakan beton yang saat ini terus mengalami

peningkatan. kegiatan tersebut cukup besar, sehingga limbah juga dihasilkan setiap hari. Disisi lain, kurangnya kesadaran masyarakat akan lingkungan merupakan suatu masalah yang harus diperhatikan. Karena kebutuhan agregat dalam campuran

Beton cukup besar sementara tingkat ketersediaan material akan semakin sulit diperoleh, maka perlu dipikirkan untuk memanfaatkan sumber alternative bahan terbuang seperti slag nikel untuk dikombinasikan dengan agregat alami. Pemikiran ini dapat menjadi solusi dalam penyelesaian masalah lingkungan dengan mereduksi keberadaan limbah slag nikel serta menghasilkan kontruksi beton yang lebih murah. (Wahyuni, D. 2018)

Slag nikel adalah produk atau limbah dari industri PT.Antam Persero Tbk , Produksi dari terak selama kurun waktu periode 2011-2012 sekitar 1 juta ton terak/tahun, dengan kandungan nikel dalam umpan pengolahan biji nikel adalah antara 1,80% sampai 2,00% (Mustika, 2016). Sebagai limbah buangan hasil pengelohan biji nikel, 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 meyerupai kerikil/batu pecah, dimana dapat digunakan untuk bahan agregat dalam campuran beton.

Menghadapi permasalahan diatas yaitu produksi agregat kasar slag yang tinngi dan rusaknya ekosistem alam akibat tambang batu pecah maka kami melakukan penelitian guna memanfaatkan agregat kasar slag nikel PT.Antam Persero sebagai substitusi agregat kasar yang kami tuangkan dalam penelitian kami.

2. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan bahan kontruksi yang banyak digunakan seiring dengan perkembangan beton dalam hal kontruksi bangunan sering juga digunakan sebagai bahan struktur dan dapat digunakan untuk hal lainnya. Beton didefinisikan sebagai sebuah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil/ batu pecah), semen, air, dan bahan tambahan lain (*admixtures*) bila diperlukan dan apabila beton telah mengeras, bila campuran beton belum mengeras (*plastis*) bahan tersebut disebut spesi beton. (Revisdah, 2015).

Secara umum dalam volume beton terkandung $\pm 68\%$ agregat, $\pm 11\%$ semen, $\pm 17\%$ air, dan $\pm 4\%$ udara. Untuk keperluan perancangan dan pelaksanaan struktur beton maka perlu diketahui sifat-sifat umum dari beton yaitu kekuatan, keawetan (*Durability*), modulus elastisitas, kelecekan (*Workability*), susut, pemisahan agregat kasar (*Segregation*), *bleeding*. Semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif (*adhesive*) dan kohesif (*cohesive*) yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Semen merupakan bahan yang jadidan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidraulic. (Revisdah, 2015). Ada dua macam semen, yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis. Semen Portland termasuk semen hidrolis, yang dimaksud semen hidrolis adalah semen yang akan mengeras bila bereaksi dengan air, tahan terhadap air dan stabil didalam air setelah mengeras. Sedangkan semen non-hoidrolis adalah semen yang dapat mengeras di udara tetapi tidak stabil dalam air. Campuran antara semen dan air disebut pasta semen, jika ditambahkan agregat kasar akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton segar. (Badan Standarisasi Nasional, 2004).

Semen terdiri dari senyawa – senyawa kimia sebagai komponen penyusunnya, dengan sifat- sifat yang berbeda, dengan adanya perbedaan sifat dari masing-masing komponen ini, dapat dibuat berbagai macam jenis semen dengan hanya mengubah kadar masing-masing komponen sesuai dengan tujuan pemakaian semen. Semen Portland dibagi menjadi lima jenis kategori sesuai dengan tujuan pemakaiannya, yaitu :

- Tipe I, Semen *Portland* untuk konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. Aplikasi: Untuk beton normal
- Tipe II, Semen *Portland* untuk konstruksi yang memilik ketahanan terhadap sulfat dan panas

hidrasi yang sedang. Aplikasi : Untuk konstruksi bangunan dan beton yang berhubungan terus-menerus dengan air kotor dan air tanah

- Tipe III, Semen *Portland* untuk konstruksi dengan syarat kekuatan awal yang tinggi. Aplikasi : Untuk pekerjaan beton didaerah bersuhu rendah atau pada umumnya dipakai ketika acuan harus dibongkar secepat mungkin, atau ketika struktur harus dipakai.
- Tipe IV, Semen *Portland* yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah, pengerasan dan peningkatan kekuatannya lambat. Aplikasi: Untuk pembuatan beton massa (volume/ukuran besar), dengan tebal lebih dari 2 m.
- Tipe V, Semen *Portland* yang memiliki ketahanan tinggi terhadap sulfat dan tahan terhadap agresi bahan – bahan kimia. Aplikasi : Untuk beton yang berhubungan dengan air laut.

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat aduk dalam beton dapat juga didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi atau pengkurus, dipakai bersama dengan bahan perekat, dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu yang disebut adukan beton.(Rini, 2018).

- Agregat Kasar
Sifat-sifat mekanik agregat
 - a. Daya Lekat (*Bond*)
 - b. Kekuatan
 - c. Kekerasan
 - d. Keuletan (*Toughless*)Sifat-sifat kimiawi agregat
 - a. Berat Jenis (*Specific Graviy*)
 - b. Berat Volume (*Bulk Density*)
 - c. Porositas dan absorpsi
 - d. Kadar air

- Agregat Halus

Menurut SNI 1970-2008, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75mm (No.4). Agregat halus berfungsi mengisi pori-pori yang ada diantara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan beton. Selain itu gradasi agregat halus juga berpengaruh terhadap kualitas beton. Bila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) volume poriakan besar. Sebaliknya bila butir-butir agregat bervariasi volume pori akan kecil. Hal ini karena butiran yang lebih kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga beton memiliki kemampuan yang tinggi.

Menurut Antoni dan Paul Nugraha dan (2007), apabila air yang digunakan tidak memenuhi syarat yang ditentukan dapat menyebabkan gangguan pada hidrasi dan pengikatan, gangguan pada kekuatan dan ketahanan, perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan, porosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton, dan bercak bercak pada permukaan beton.

- Limbah Slag Nikel

Berdasarkan bentuknya, slag nikel dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu high, medium dan low slag. Terak nikel yang masuk kategori high diperoleh dari proses pemurnian di dalam converter tersebut berbentuk pasir halus berwarna coklat tua, sedangkan yang material kategori medium dan low slag diperoleh lewat tungku pembakaran (Mustika, 2016). Ampas nikel tersebut limbah buangan dari industri pengolahan nikel membentuk liquid panas yang kemudian mengalami pendinginan sehingga membentuk batuan alam yang terdiri dari *slag* padat dan *slag* yang berpori.

Sebagai limbah buangan hasil pengolahan bijih nikel, slag hanya digunakan sebagai bahan timbunan yang kurang memiliki nilai ekonomis. Jika dilihat secara visual, bentuk fisik dari slag nikel ini menyerupai agregat , baik agregat halus maupun agregat kasar yang bisa

digunakan sebagai bahan campuran beton yang dapat mengurangi limbah yang sudah menumpuk tiap tahunnya.

Sifat yang paling penting dalam beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik (Fajrul, 2016).

$$F = P/A \quad (1)$$

dimana :

P = Kuat tekan

F = Gaya maksimum dari mesin tekan

A = Luas penampang benda uji

Beberapa studi terdahulu yang dijadikan referensi diantaranya Mustika (2016), Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton, dengan variable penelitian adalah komposisi campuran campuran yang di gunakan adalah campuran beton dengan perbandingan semen : agregat halus : agregat kasar 1 : 2 : 3 dalam perbandingan berat dengan faktor air semen di tetapkan adalah sebesar 0,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan penggunaan agregat alami, terak nikel yang digunakan hanya sebagai agregat kasar, atau agregat halus saja dan gabungan agregat kasar dan agregat halus akan 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%.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah hasil penelitian yang telah di laksanakan pada laboratorium Survey dan Pengujian Bahan Teknik Sipil, terhadap penggunaan limbah nikel sebagai material substitusi agregat kasar pada beton K-250. Berdasarkan hasil pemeriksaan batu pecah ex. Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini ;

Tabel 1. Pemeriksaan agregat kasar moramo

| No | Jenis Pemeriksaan | Hasil Pemeriksaan |
|----|----------------------------------|-------------------|
| 1 | Kadar Air (%) | 1,39 |
| 2 | Kadar lumpur (%) | 0,32 |
| 3 | Berat Jenis | 2,67 |
| 4 | Berat isi (gr/cm ³) | 1,32 |
| 5 | Abrasi (%) | 29,36 |

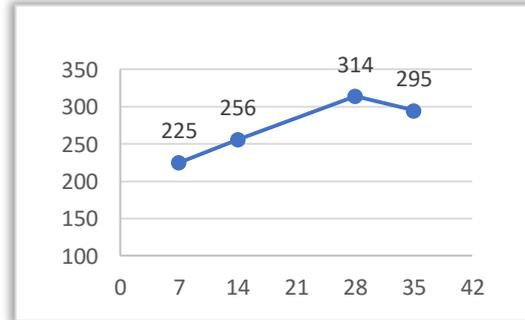
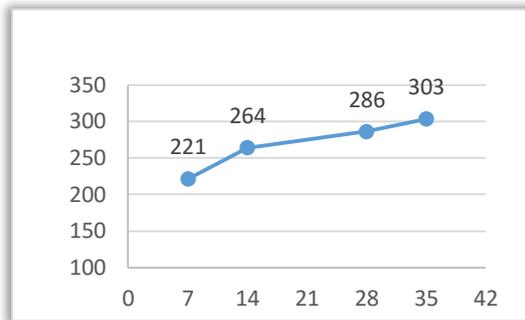
Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat kasar slag nikel feni 3

| No | Jenis Pemeriksaan | Hasil Pemeriksaan |
|----|----------------------------------|-------------------|
| 1 | Kadar Air (%) | 0,86 |
| 2 | Kadar lumpur (%) | 0,44 |
| 3 | Berat Jenis | 2,94 |
| 4 | Berat isi (gr/cm ³) | 1,76 |
| 5 | Abrasi (%) | 36,07 |

Tabel 3. Hasil pemeriksaan agregat halus Pasir Pohara

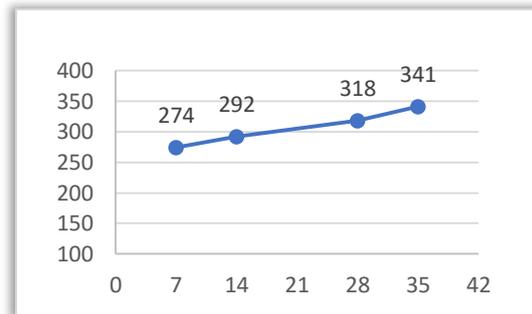
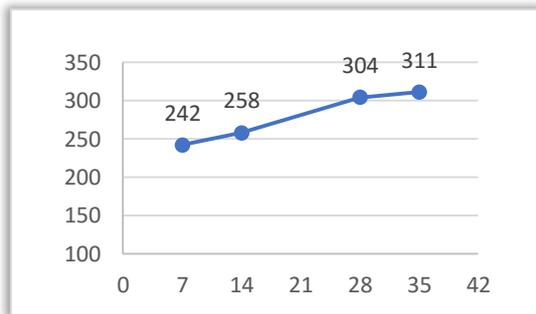
| No | Jenis Pemeriksaan | Hasil Pemeriksaan |
|----|----------------------------------|-------------------|
| 1 | Kadar Air (%) | 1,28 |
| 2 | Kadar lumpur (%) | 2,66 |
| 3 | Berat Jenis | 2,60 |
| 4 | Berat isi (gr/cm ³) | 1,48 |

Grafik hasil kuat tekan beton normal dan hasil substitusi 5% slag nikel feni 3 dengan berbagai umur beton dapat di lihat pada Gambar 1 dan 2.



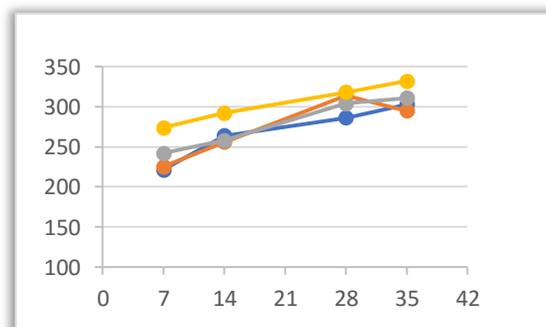
Gambar 1. Grafik kuat tekan beton normal **Gambar 2.** Grafik kuat tekan beton 5% slag nikel

Grafik hasil kuat tekan beton normal substitusi 15% dan 25% slag nikel feni 3 dengan berbagai umur beton dapat di lihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton 15% **Gambar 4.** Grafik kuat tekan beton 25%

Adapun perbandingan kuat tekan beton dengan berbagai variasi campuran dan umur beton sebagaimana terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan kuat tekan dengan variasi campuran

a. Pemeriksaan Material

- **Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan**
Berat jenis yang digunakan untuk pembuatan beton adalah *bulk specific gravity* pada keadaan SSD (*saturated surface dry*). Agregat yang nilai berat jenisnya antara 2,5 s/d 3.2 gr/cm³ akan menghasilkan beton berberat jenis tinggi. Apabila berberat jenis tinggi, maka beton yang di hasilkan memiliki kuat tekan yang tinggi pula. Pemeriksaan yang dilakukan pada benda uji, kemudian di rata-rata pada kondisi kering permukaan didapat berat jenis pasir pohara 2,60 gr/cm³. Sedangkan untuk pemeriksaan berat jenis batu pecah ex. Moramo Kec. moramo Kab. Konawe Selatan 2,67 gr/cm³. Sedangkan untuk slag nikel didapatkan nilai 2,94 gr/cm³. Sehingga material tersebut memenuhi syarat dan layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton.
- **Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat**
Apabila kita mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Untuk analisa saringan lolos No. 200, agregat kasar $\leq 1\%$ sedangkan agregat halus senilai $\leq 5\%$ dan adapun hasil yang didapat dari penelitian tersebut, analisa saringan No. 200 agregat kasar senilai 0,32% dan untuk analisa saringan No. 200 agregat halus yaitu 2,66%. Sedangkan untuk slag nikel didapatkan nilai 0,44%. Nilai ini menunjukkan bahwa kadar lumpur dari kedua material baik agregat kasar dari Moramo maupun agregat halus yang berasal dari Pohara sesuai dengan yang ditentukan dalam SNI
- **Pemeriksaan Kadar Air Agregat**
Pemeriksaan kadar air dari agregat kasar dan agregat halus yang telah diuji mendapatkan nilai sebesar 1,28% untuk agregat kasar dan 1,39% untuk agregat halus. Sedangkan untuk slag nikel didapatkan nilai 0,86%. Dan nilai ini memenuhi standar spesifikasi kadar air yaitu 3%-5%. Dengan demikian perhitungan campuran adukan beton perlu menambah ataupun mengurangi jumlah air kedalam campuran. Kadar air pada agregat perlu di ketahui untuk menghitung jumlah air yang perlu dalam campufuran adukan beton sesuai nilai fas. Selain kadar air mempengaruhi pengembangan volume agregat halus. Agregat halus berbutir halus mengalami pengembangan volume yang lebih besar daripada agregat halus berbutir kasar.
- **Pemeriksaan Berat isi/ Volume Agregat**
Pada percobaan berat isi agregat ini dilakukan dalam 2 percobaan yaitu percobaan lepas dan percobaan padat memenuhi standar spesifikasi berat isi/volume yaitu 1,4 gr/cm³ s/d 1.9 gr/cm³. Dari pengujian berat isi yang telah dilakukan di Laboratorium Survey dan Pengujian Bahan Teknik Sipil, hasil pengujian tersebut memperoleh nilai berat isi agregat kasar sebesar 1,40 gr/cm³ dan 1,55 gr/cm³ untuk agregat halus. Sedangkan untuk slag nikel didapatkan nilai 1,76 gr/cm³. Porositas atau kepadatan mempengaruhi daya lekat antara agregat dan pasta semen. Dengan demikian agregat kasar ini dapat di gunakan dalam pembuatan beton, karena kepadatan agregta menyebabkan volume pori beton kecil dan kekuatan beton akan bertambah.
- **Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat**
Dalam pengujian analisa saringan dari 2000 gram sampel yang dimasukan ke dalam saringan telah di dapat nilai presentase dari setiap susunan saringan, seperti terlihat pada Tabel 4. Untuk agregat halus sehingga dari nilai tersebut diperoleh nilai gradasi saringan agregat halus yang menunjukkan berada pada batas gradasi daerah II = pasir agak kasar. seperti yang bisa dilihat pada
- **Pemeriksaan Keausan Agregat**
Pengujian abrasi untuk agregat kasar dilakukan dengan mesin abrasi *Los Angles* dengan memasukan 5000 gram sampel yang terbagi dalam 4 kelompok. kelompok I : material lolos saringan No. 37,5 mm (1 ½ ") dan tertahan 25,4 mm (1 ") sebanyak 1250 gram sampel, berikutnya kelompok II : material lolos saringan 25,4 mm (1 ") dan tertahan 19 mm (3/4 ") sebanyak 1250 gram, kemudian kelompok III : material lolos saringan 19 mm (3/4 "), dan terakhir kelompo IV : material lolos saringan 12,5 mm (1/2 ") dan tertahan

9,5 mm (3/8 ") sebanyak 1250 gram. Setelah diuji dengan mesin *Los Angle* menggunakan 12 bola baja (cara " A") pada 500 putaran, diperoleh berat agregat yang tertahan pada saringan No. 12 yaitu 3532,1 gram. Maka diperoleh nilai keausan 29,36%. Spesifikasi keausan menurut SNI yaitu 20%-40% beton mutu sedang-mutu tinggi dan < 20% beton mutu rendah, edangkan untuk slag nikel didapatkan nilai 36,07%. Sehingga batu Moramo dan slag nikel feni 3 layak digunakan sebagai bahan penyusun beton.

b. Tahap Pembagian Komposisi Benda Uji

Dalam penelitian ini penguji melakukan pengujian dengan sampel benda uji sebanyak 3 buah untuk tiap-tiap variasi persentase substitusi limbah slag nikel pada beton beton K.250 dengan usia perendaman 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 35 hari. Sehingga benda uji yang dibuat sebanyak 48 buah. Untuk kebutuhan adukan percobaan dapat dilihat pada lampiran (*Mix Design*).

c. Tahap Pembagian Komposisi Benda Uji

Pembuatan benda uji dalam pengujian kali ini, benda uji yang dibuat sebanyak 48 buah (7 hari, 14 hari, 28 hari dan 35 hari) dengan kuat tekan beton rencana yakni K250. Pembuatan benda uji ini dilakukan dengan menggunakan mixer dan sudah di desain (*mix design*). Adapun proses pembuatannya adalah semen dan agregat halus diaduk hingga rata menggunakan mixer dan kemudian agregat kasar dimasukkan dan diaduk hingga semua bahan tercampur rata, kemudian ditambahkan air yang sesuai dengan komposisi berdasarkan *mix design*. Sebelum dimasukkan ke dalam cetakan kubus, diambil nilai *slump test* dengan menggunakan kerucut abras dan diukur dengan menggunakan mistar. Setelah itu, benda uji dimasukkan kedalam cetakan kubus dan dipadatkan secara manual dengan menggunakan penumbuk besi dan palu karet kemudian di getarkan menggunakan mesin penggetar, kemudian beton disimpan selama 24 jam. Setelah berumur 24 jam beton lalu dikeluarkan dalam cetakan dan direndam kedalam bak perendaman yang berisi air selama 7, 14, 28 dan 35 hari.

d. Tahap Perawatan Benda Uji

Tahap perawatan benda uji dalam penelitian ini adalah setelah berumur 7, 14, 28 dan 35 hari. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman berisi air kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel, setelah itu benda uji atau beton ditimbang dan siap untuk dilakukan tes kuat tekanya.

e. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan setelah umur beton mencapai umur 7,14, 28 dan 35 hari. Pengujian kuat tekan beton untuk rancangan K.250 diperkirakan dapat mencapai kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari. Dari hasil kuat tekan beton dengan menggunakan dan tidak menggunakan limbah nikel dapat dilihat pada Tabel dan Grafik di atas untuk kuat tekan beton K.250.

4. Kesimpulan

Karakteristik limbah slag nikel pada campuran beton memenuhi spesifikasi atau standar pada campuran beton, dengan nilai kadar air sebesar 0,86 %, kadar lumpur 0,44 %, berat jenis 2,94 gr/cm³, berat volume 1,76 gr/cm³, abrasi 36,07 %. Besar peningkatan kuat tekan beton dengan variasi substitusi slag nikel 0% atau beton normal (13640 gram) batu pecah moramo, 5% (680 gram) slag nikel, 15% (2050 gram) slag nikel, 25% (3410 gram) slag nikel mengalami peningkatan kuat tekan. Persentase kenaikan kuat tekan beton paling tinggi terdapat pada kuat tekan beton antara variasi substitusi slag nikel 15% (2050 gram) slag nikel dengan variasi 25% (3410 gram) slag nikel pada umur beton 7 hari, dengan nilai persentase kenaikan sebesar 13,22%.

Referensi

- Antoni., Paul Nugraha. 2007. Teknologi Beton, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2004. Semen Portland, SNI 15-2049-2004. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Fajrul. 2016. Pengujian batu gunung batu api Kec. Tinanggea Kab.Konselsebagai bahan campuran beton. Kendari
- Mustika. 2016. Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton. Bali.
- Revisdah, R., & Setiawati, M. 2015. Pengaruh Air Soda Terhadap Kuat Tekan Beton. *Prosiding Semnastek*. Palembang.
- Rini. 2018. Pengaruh Campuran Serat Pisang Terhadap Beton. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UPMI, Medan
- SNI 1970-2008. Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta
- Wahyuni, D. E., Sriyani, R., & Kadir, A. 2018. Perbandingan Komposisi Slag Nikel Pomalaa Dan Batu Pecah Moramo Untuk Menentukan Kuat Tekan Optimum Beton. *Stabilita. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(3), 43-48.