

TEKNOLOGI BETON TERAK NIKEL SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA BETON DENGAN VARIASI W/C

Nini Hasriyani Aswad
Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Haluoleo
Kampus Hijau Bumi Tridharma Anduonohu
Kendari 93721
ninihaswad@gmail.com

La Ode Muhamad Nurakhsamad Arsyad
Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Haluoleo
Kampus Hijau Bumi Tridharma Anduonohu
Kendari 93721
arsyadjr@gmail.com

Abstract

Pemanfaatan terak nikel sebagai agregat dalam teknologi beton ternyata dapat menaikkan berat isi beton normal dari 2200 – 2500 kg/m³ menjadi 2800 – 3000 kg/m³. Perubahan tersebut menjadi sangat signifikan untuk aplikasi beton berat. Aplikasi beton berat ini antara lain seperti pemberat pipa dalam laut, bendungan dan tetra pod pada pantai untuk melindungi pinggir pantai dari abrasi oleh ombak.

Peningkatan kualitas beton terak nikel terutama kekuatan ikatan antara pasta dan agregat dapat terjadi karena agregat terak nikel mengandung senyawa sementik yang secara kimiawi dapat bereaksi dengan senyawa Calcium Hydroxide hasil reaksi hidrasi semen dan air. Dalam penelitian ini dibuat empat kombinasi agregat pada campuran beton yaitu beton 1 (normal) (agregat halus pasir, agregat kasar batu), beton 2 (50% agregat kasar slag dan 50% agregat kasar batu, agregat halus pasir), beton 3 (65% agregat kasar slag dan 35% agregat kasar batu, agregat halus pasir) dan beton 4 (100% agregat kasar slag, agregat halus pasir). Masing-masing kombinasi dibuat dalam dua w/c yaitu 0,45 dan 0,55.

Dari hasil pengujian kuat tekan, beton 1 memberikan nilai kuat tekan 25,5 MPa (w/c 0,45) dan 15,42 MPa (w/c 0,55) pada umur 28 hari, beton 2 memberikan nilai kuat tekan 30,23 MPa (w/c 0,45) dan 25,7 MPa (w/c 0,55) pada umur 28 hari, beton 3 memberikan nilai kuat tekan 31,88 MPa (w/c 0,45) dan 26,73 MPa (w/c 0,55) pada umur 28 hari sedangkan beton 4 memberikan nilai kuat tekan 38,87 MPa (w/c 0,45) dan 27,76 MPa (w/c 0,55) pada umur 28 hari.

Kata Kunci: Substitusi parsial semen, Slag Nikel, Beton

PENDAHULUAN

Penggunaan limbah menjadi bahan dasar pembentukan beton, merupakan suatu jawaban terhadap pembangunan yang berwawasan lingkungan. Terak nikel sebagai bahan konstruksi menjawab perihal wawasan lingkungan tersebut, dimana agregat terak nikel yang merupakan produk limbah padat dapat digunakan sebagai agregat pada campuran beton, disisi lain penggunaan limbah padat tersebut dapat menggantikan atau mengurangi penggunaan batu alam, sehingga dari kedua sisi aspek wawasan lingkungan terpenuhi.

Terak nikel merupakan salah satu limbah padat dari perusahaan penambangan dan pengolahan nikel yang berbentuk bongkahan. Salah satu perusahaan penambangan nikel yakni PT. Aneka Tambang (ANTAM), Tbk (persero) yang terletak di Pomalaa, kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara, mengolah bahan baku bijih nikel lateritik dan dapat menghasilkan limbah terak nikel kategori *medium* dan *low slag* sebanyak 300 – 400 ton terak per-hari per-tanur listrik yang harus dibuang.

Sampai sekarang potensi terak nikel berpori (*low slag*) masih belum diketahui, demikian halnya dengan pemanfaatannya masih sangat terbatas. Di wilayah Pomalaa misalnya, terak nikel hanya dijadikan sebagai material timbunan untuk pekerjaan perkerasan jalan, padahal jumlah yang tersedia cukup banyak. Dan bila dibuang begitu saja, justru akan menimbulkan masalah baru, yakni masalah pencemaran lingkungan.

Berdasarkan asumsi tersebut dan permasalahan yang ada, maka penulis berkeinginan meneliti terak nikel (*nickel slag*) sebagai bahan substitusi material agregat halus pada campuran beton. Penggunaan terak nikel diharapkan mempunyai potensi untuk menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih baik.

Terak Nikel

Terak nikel merupakan limbah buangan dari industri pengolahan nikel berbentuk batuan alam, yang terdiri dari terak nikel padat dan berpori. Berdasarkan bentuknya terak nikel dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *high*, *medium*, dan *low slag*. Terak nikel kategori *high slag* diperoleh lewat proses pemurnian di *converter* berbentuk pasir halus berwarna cokelat tua, sedangkan kategori *medium* dan *low slag* diperoleh lewat tungku pembakaran (*furnace*). Terak nikel *medium slag* umumnya berbentuk terak padat berwarna cokelat tua dan terak nikel berpori berwarna cokelat kekuning-kuningan, namun tidak semua terak padat termasuk *medium slag*, demikian halnya dengan terak berpori tidak semuanya termasuk kategori *low slag*. Metode sederhana yang dapat digunakan dilapangan untuk membedakan tipe *medium* dan *low slag* yaitu dengan menggunakan besi magnet. Terak nikel tipe *medium slag* jika didekatkan dengan besi magnet akan tertarik dan lengket pada besi magnet sedangkan tipe *low slag* tidak ada reaksi sama sekali.

ASTM (1995,494) *Slag* adalah Produk Non-metal yang merupakan material berbentuk halus sampai balok – balok besar, dari hasil pembakaran yang didinginkan. Menurut (Lewis, 1982) Keuntungan penggunaan limbah padat (*slag*) dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan.
- Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton.
- Mengurangi variasi kekuatan tekan beton.
- Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut.
- Mengurangi serangan alkali-silika.
- Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu.
- Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton.
- Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume.
- Mengurangi porositas dan serangan klorida.

Menurut (Cain, 1994:505) Faktor-faktor untuk menentukan sifat penyemenan (*cementitious*) dalam *slag* adalah komposisi kimia, konsentrasi alkali dan reaksi terhadap sistem, kandungankaca dalam *slag*, kehalusan dan temperatur yang ditimbulkan selama proses hidrasiberlangsung.

Terak sebagian besar terdiri dari silika (SiO_2) lebih dari 55%, magnesium (MgO) kira-kira 30%, senyawa kapur (CaO) kira-kira 6%, besi (Fe) kira-kira 4,5%, alumina (Al_2O_3) lebih dari 2%. Dengan komposisi silika yang cukup besar pada terak nikel, diharapkan proses hidrasi yang terjadi antara pasta semen dan agregat akan membentuk interface yang lebih sempurna, sehingga kehancuran beton tidak terjadi pada interface, atau walaupun terjadi kehancuran pada interface diperlukan energi yang cukup tinggi, dengan kata lain akan diperoleh kekuatan beton yang cukup tinggi.

Pabrik Feronikel milik PT. Aneka Tambang, Tbk (persero) berdasarkan kebutuhan pemasaran memproduksi *shot* dan *ingot* dengan menggunakan proses *pyrometallurgy* yaitu proses meleburkan bijih menjadi metal dengan memanfaatkan suhu yang tinggi untuk mendapatkan metalnya. Dalam proses peleburan, PT. Antam, Tbk (persero) Unit Bisnis Pertambangan Nikel Pomalaa menggunakan electric furnace (tanur listrik) dengan suhu \pm

(900 - 1200) °C yang beroperasi secara terus menerus selama 1 x 24 jam dalam sehari semalam. Proses peleburan adalah proses saat kalsin dari proses kalsinasi pada *rotary kiln* diolah dalam tanur listrik untuk memisahkan *crude FeNi* dengan *slag* melalui proses reduksi. Proses ini dibagi menjadi dua bagian yaitu transportasi kalsin dan proses peleburan. Sebelumnya akan dibahas mengenai *electric smelting furnace*.

Dengan elektroda yang bersuhu tinggi maka akan terjadi reaksi reduksi yang menyebabkan terjadinya pemisahan antara *metal* cair dan terak (*slag*). *Metal* sebagai hasil dari reduksi akan berada di bawah dari permukaan leburan sedangkan terak di atas permukaan leburan. Hal ini dikarenakan *metal* cair memiliki berat jenis yang lebih besar (6,7) - (7) dibanding *slag* (2,8) - (3). *Metal* cair akan diteruskan ke tahap selanjutnya sedangkan *slag* akan dibuang.

Kuat Tekan Beton

Sifat yang paling penting dari 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. Kekuatan tekan beton dapat dicapai sampai 1000 kg/cm² atau lebih, tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta kualitas perawatan. Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm². Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dengan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 101,6 mm dan tinggi 200 mm. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam MPa atau kg/cm². Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar *ASTM C 39* atau menurut yang disyaratkan PBI 1989.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Keterangan : f_c' = kuat tekan (Mpa)

P = gaya tekan (N)

A = luas (mm²)

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992):

1. Pengaruh mutu semen portland.
2. Pengaruh dari perbandingan adukan beton.
3. Pengaruh air untuk membuat adukan
4. Pengaruh umur beton.
5. Pengaruh waktu pencampuran.
6. Pengaruh perawatan.
7. Pengaruh bahan campuran tambahan.

Mix Design

Beberapa metode dalam perancangan beton:

- **Metode ACI (American Concrete Institute) Method**, mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan dilapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).
- **Metode Road Note No.4**, cara perancangan ini ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pengerjaan.
- **Metode SK.SNI T-15-1990-03/Current British Method (D0E)**, disusun oleh *British Departement of Environment* pada tahun 1975 untuk menggantikan Road Note.4 di Inggris. Untuk kondisi di Indonesia telah diadakan penyesuaian pada besarnya variasi kuat tekan beton.
- **Metode campuran Coba-coba**, cara coba-coba dikembangkan berdasarkan cara metode ACI, Road Note No.4 dan SK.SNI T-15-1990-03, setelah dilakukan pelaksanaan dan evaluasi. Cara ini berusaha mendapatkan pori-pori yang minimum atau kepadatan beton yang maksimum artinya bahwa kebutuhan agregat halus maksimum untuk mendapatkan kebutuhan semen minimum.

Dalam penelitian ini digunakan metode yang ketiga, yaitu metode SKSNI T-15-1990-03/Current British Method (D0E).

Metode Penggabungan Agregat

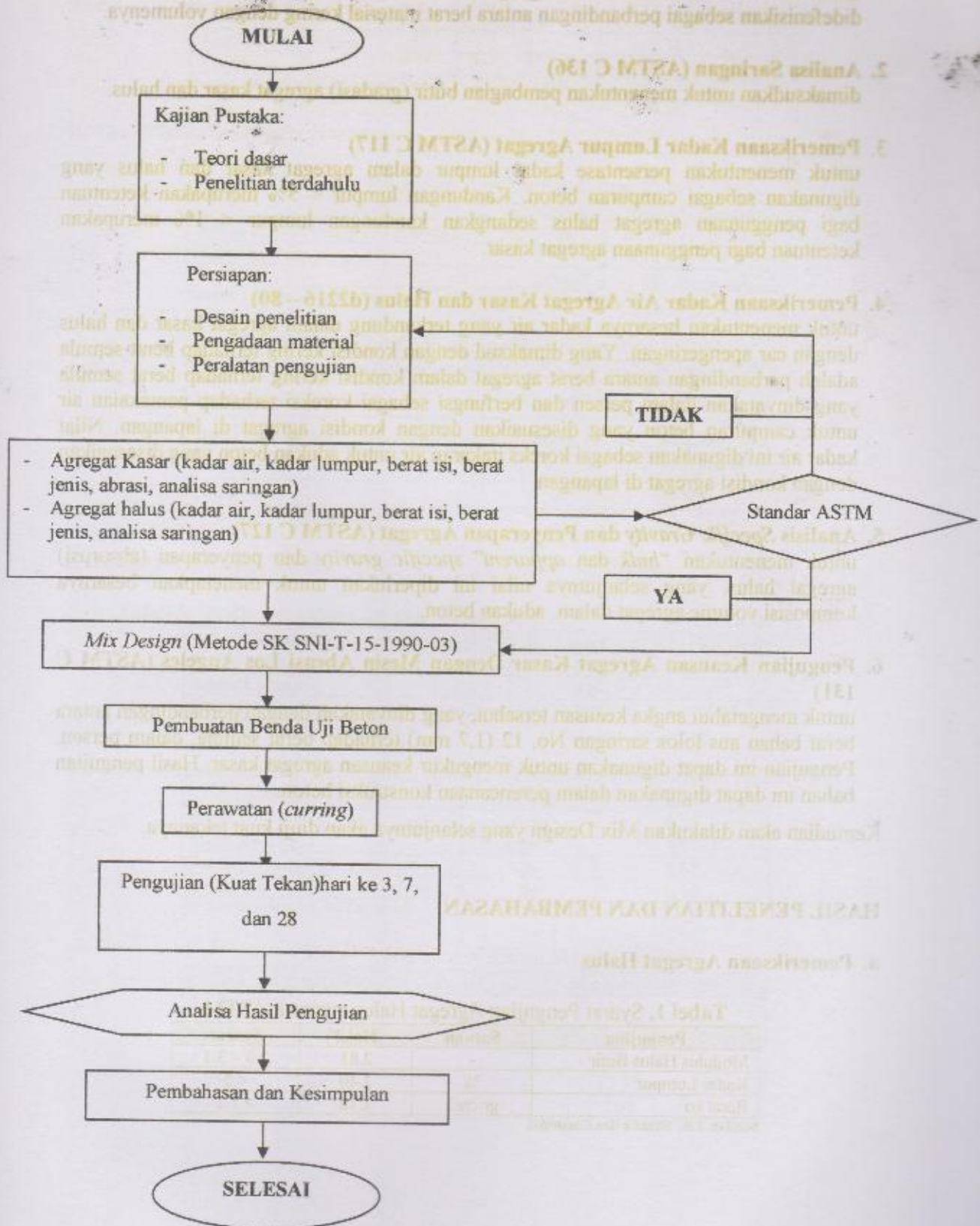
1. Metode Modulus Halus Butir (MHB) dengan menggunakan grafik agregat gabungan SKSNI T-15-1990-03.
2. Metode Analitis Gradasi Maksimum
3. Metode Grafis (PBI 1971)

Metode ini adalah metode penggabungan agregat kasar dan agregat halus menjadi agregat gabungan yang mengacu pada PBI 1971, metode ini memiliki keterbatasan yaitu tidak dapat digunakan untuk menggabungkan dua jenis agregat kasar atau dua jenis agregat halus.

4. Metode Grafis (SKSNI T-15-1990-03)

Seperti halnya metode grafis PBI 1971, metode ini juga tidak dapat digunakan untuk menggabungkan dua jenis agregat kasar atau dua jenis agregat halus, tetapi digunakan hanya untuk menggabungkan agregat kasar dan halus. Meski demikian metode ini memiliki keunggulan dari metode grafis PBI 1971 yaitu relatif sederhana dalam pengerjaannya.

METODE PENELITIAN



Pengujian dan Analisa Fisik Bahan-Bahan Beton yang dilakukan yaitu:

- 1. Pemeriksaan Berat Volume Agregat (ASTM C 29)**
untuk menentukan berat volume agregat kasar, halus, atau campuran keduanya yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya.
- 2. Analisa Saringan (ASTM C 136)**
dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dan halus.
- 3. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat (ASTM C 117)**
untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat kasar dan halus yang digunakan sebagai campuran beton. Kandungan lumpur $< 5\%$ merupakan ketentuan bagi penggunaan agregat halus sedangkan kandungan lumpur $< 1\%$ merupakan ketentuan bagi penggunaan agregat kasar.
- 4. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar dan Halus (d2216 – 80)**
untuk menentukan besarnya kadar air yang terkandung dalam agregat kasar dan halus dengan cara pengeringan. Yang dimaksud dengan kondisi kering terhadap berat semula adalah perbandingan antara berat agregat dalam kondisi kering terhadap berat semula yang dinyatakan dalam persen dan berfungsi sebagai koreksi terhadap pemakaian air untuk campuran beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat di lapangan. Nilai kadar air ini digunakan sebagai koreksi itakaran air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat di lapangan.
- 5. Analisis *Specific Gravity* dan Penyerapan Agregat (ASTM C 127)**
untuk menentukan "*bulk* dan *apparent*" *specific gravity* dan penyerapan (absorpsi) agregat halus, yang selanjutnya nilai ini diperlukan untuk menetapkan besarnya komposisi volume agregat dalam adukan beton.
- 6. Pengujian Keausan Agregat Kasar Dengan Mesin Abrasi Los Angeles (ASTM C 131)**
untuk mengetahui angka keausan tersebut, yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen. Pengujian ini dapat digunakan untuk mengukur keausan agregat kasar. Hasil pengujian bahan ini dapat digunakan dalam perencanaan konstruksi beton.

Kemudian akan dilakukan Mix Design yang selanjutnya akan diuji kuat tekannya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

a. Pemeriksaan Agregat Halus

Tabel 1. Syarat Pengujian Agregat Halus menurut ASTM

| Pengujian | Satuan | Hasil | Syarat |
|---------------------|--------------------|-------|-----------|
| Modulus Halus Butir | - | 2.81 | 2.3 – 3.1 |
| Kadar Lumpur | % | 2.40 | < 5 |
| Berat Isi | gr/cm ³ | 1.72 | > 1.2 |

Sumber: Lab. Struktur dan Konstruksi

Tabel 2. Pemeriksaan Agregat Halus menurut ASTM

| Jenis Pengujian | Satuan | Hasil |
|-------------------------|--------------------|-------|
| Berat Jenis Kering Oven | gr/cm ³ | 2.40 |
| Berat Jenis SSD | gr/cm ³ | 2.51 |
| Absorpsi/penyerapan | % | 4.63 |
| Kadar Air | % | 2.06 |

Sumber: Lab. Struktur dan Konstruksi

b. Pemeriksaan Agregat Kasar**Tabel 3.** Syarat Pengujian Agregat Kasar menurut ASTM

| Pengujian | Satuan | Hasil | Syarat |
|---------------------------------|--------------------|-------|--------|
| Abrasi dengan Mesin Los Angeles | % | 25.79 | < 27 |
| Kadar Lumpur | % | 0.48 | < 1 |
| Berat Isi | gr/cm ³ | 1.49 | > 1.2 |

Sumber: Lab. Struktur dan Konstruksi

Tabel 4. Pemeriksaan Agregat Kasar menurut ASTM

| Jenis Pengujian | Satuan | Hasil |
|-------------------------|--------------------|-------|
| Berat Jenis Kering Oven | gr/cm ³ | 2.72 |
| Berat Jenis SSD | gr/cm ³ | 2.74 |
| Absorpsi | % | 0.58 |
| Kadar Air | % | 0.38 |

Sumber: Lab. Struktur dan Konstruksi

c. Pemeriksaan Slag Nikel**Tabel 5.** Syarat Pengujian Agregat Halus (Slag Nikel Pomalaa) menurut ASTM

| Pengujian | Satuan | Hasil | Syarat |
|---------------------|--------------------|-------|-----------|
| Modulus Halus Butir | - | 3.07 | 2.3 – 3.1 |
| Kadar Lumpur | % | 0.80 | < 5 |
| Berat Isi | gr/cm ³ | 1.97 | > 1.2 |

Sumber: Lab. Struktur dan Konstruksi

Tabel 6. Pemeriksaan Agregat Halus (Slag Nikel Pomalaa) menurut ASTM

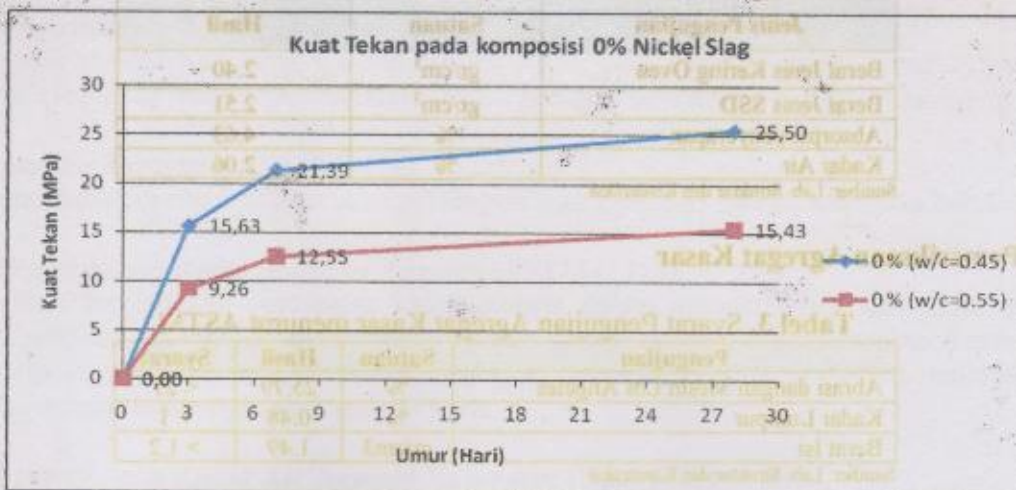
| Jenis Pengujian | Satuan | Hasil |
|-------------------------|--------------------|-------|
| Berat Jenis Kering Oven | gr/cm ³ | 2.50 |
| Berat Jenis SSD | gr/cm ³ | 2.57 |
| Absorpsi/penyerapan | % | 2.67 |
| Kadar Air | % | 0.14 |

Sumber: Lab. Struktur dan Konstruksi

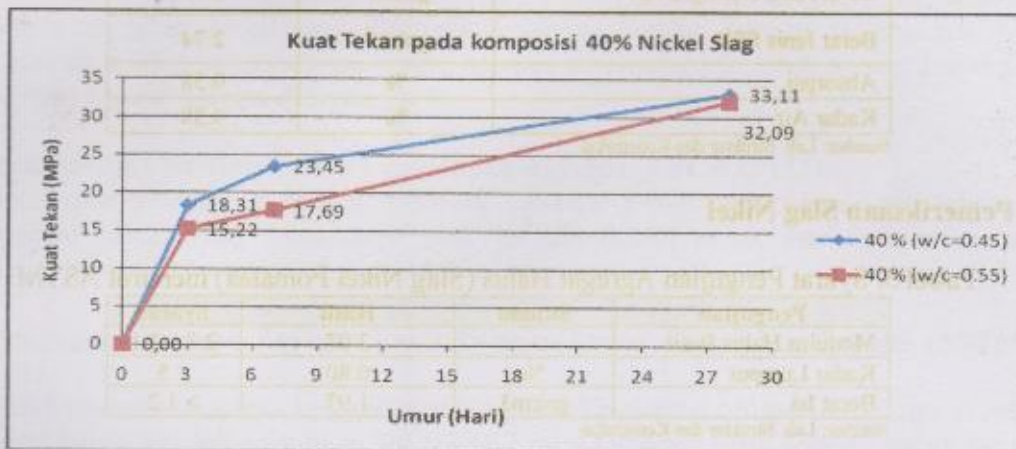
Tabel 7. Komposisi Kimia Slag Nikel

| Senyawa | Jumlah (%) |
|--|------------|
| Silika (SiO ₂) | 41,47 |
| Alumina (Al ₂ O ₃) | 2,58 |
| Ferro Oksida (Fe ₂ O ₃) | 30,44 |
| Magnesia (MgO) | 22,75 |
| Alkalis (Na ₂ O + K ₂ O) | 0,68 |

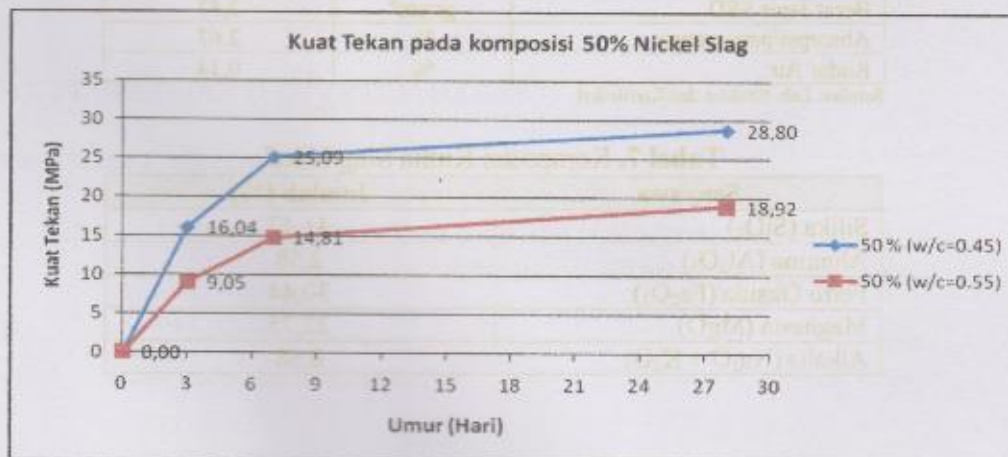
d. Pengujian Kuat Tekan



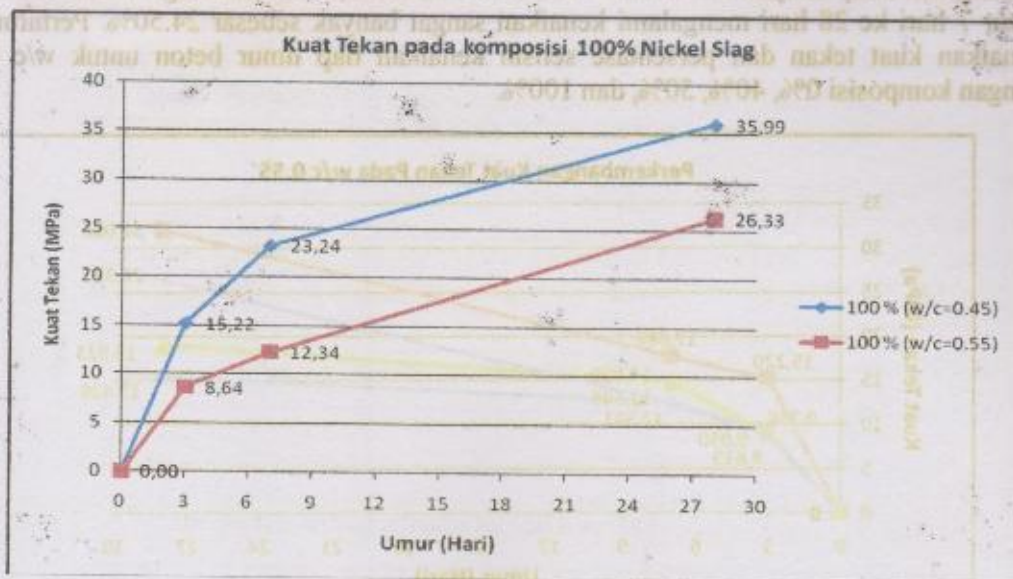
Gambar 1. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Umur Beton Pada Komposisi 0% Nickel Slag.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Umur Beton Pada Komposisi 40% Nickel Slag.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Umur Beton Pada Komposisi 50% Nickel Slag.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Umur Beton Pada Komposisi 100% Nickel Slag.

Pada gambar 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan bahwa semakin lama umur beton maka kenaikan kuat tekan setiap *water cement ratio* akan semakin meningkat. Pada ke empat variasi diatas kekuatan tekan beton tertinggi terjadi pada umur beton 28 hari. Kekuatan tekan beton tertinggi secara berurutan adalah (w/c = 0.45) yaitu komposisi 100% *nickel slag* sebesar 35.99 Mpa, komposisi 40% *nickel slag* sebesar 33.11 Mpa, komposisi 50% *nickel slag* sebesar 28.80 Mpa, dan yang terendah komposisi 0% *nickel slag* sebesar 25.50 Mpa, sedangkan pada (w/c = 0.55) komposisi 40% *nickel slag* mempunyai kuat tekan tertinggi sebesar 32.09 Mpa, lalu komposisi 100% *nickel slag* sebesar 26.33 Mpa, komposisi 50% *nickel slag* sebesar 18.92 Mpa, dan yang terendah komposisi 0% *nickel slag* sebesar 15.43 Mpa.



Gambar 5. Grafik Perkembangan Kuat Tekan Beton Pada w/c 0.45

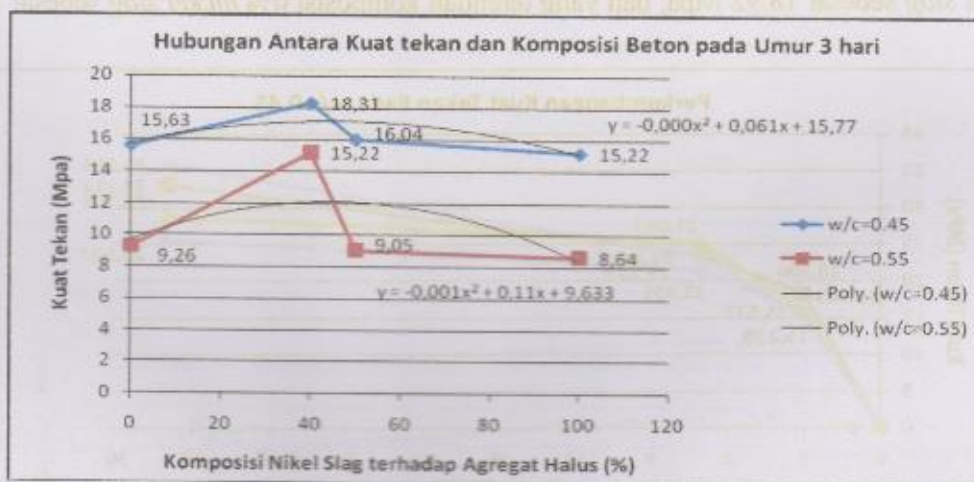
Pada gambar 5 menunjukkan perkembangan kuat tekan beton pada w/c. 0.45 yang menggunakan *nickel slag* dengan komposisi 0%, 40%, 50%, dan 100%. Pada umur 3 hari kenaikan kuat tekan beton rata-rata 52.83%. Umur 7 hari kuat tekan beton masih

meningkat cukup banyak dari umur 3 hari sebesar 22.67%. Perkembangan kuat tekan dari umur 7 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sangat banyak sebesar 24.50%. Perhitungan kenaikan kuat tekan dan persentase selisih kenaikan tiap umur beton untuk w/c 0.55 dengan komposisi 0%, 40%, 50%, dan 100%.



Gambar 6 Grafik Perkembangan Kuat Tekan Beton Pada w/c. 0.55

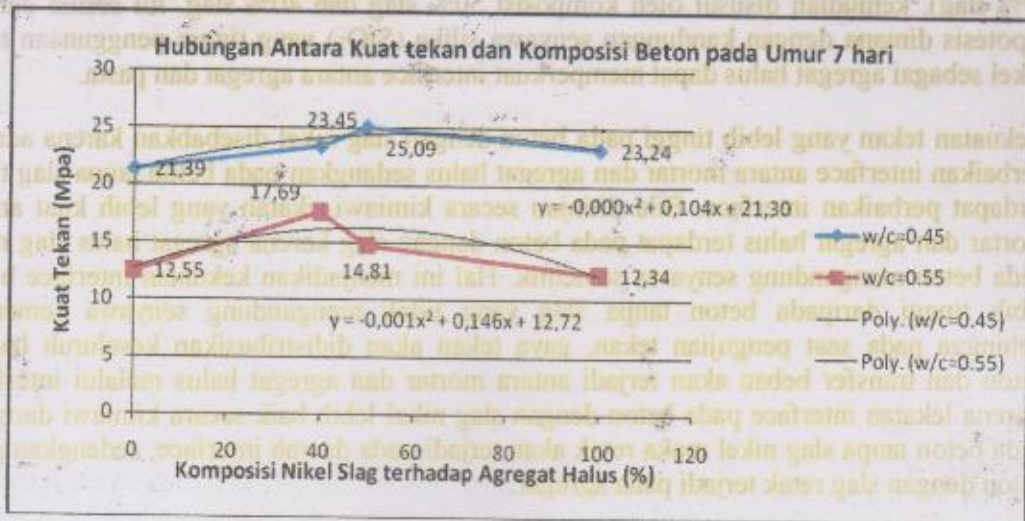
Pada gambar 6 menunjukkan perkembangan kuat tekan beton pada w/c. 0.55 yang menggunakan *nickel slag* dengan komposisi 0%, 40%, 50%, dan 100%. Pada umur 3 hari kenaikan kuat tekan beton rata-rata 45.45%. Umur 7 hari kuat tekan beton masih meningkat cukup banyak dari umur 3 hari sebesar 16.41%. Perkembangan kuat tekan dari umur 7 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sangat banyak sebesar 38.14%. Perhitungan kenaikan kuat tekan dan persentase selisih kenaikan tiap umur beton untuk w/c 0.55 dengan komposisi 0%, 40%, 50%, dan 100%.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Persentase *Nickel slag* Per Agregat halus Umur 3 Hari.

Pada gambar 7 dapat dilihat hubungan antara persentase *nickel slag* per agregat halus terhadap kuat tekan pada setiap *water cement ratio* untuk umur beton 3 hari dimana maksimum peningkatan kuat tekan terjadi pada persentase 40% *nickel slag* yaitu w/c. 0.45 = 18.31 Mpa dan persentase 40% *nickel slag* yaitu w/c. 0.55 = 15.22 Mpa dan terjadi

penurunan kuat tekan pada persentase *nickel slag* 100% yaitu $w/c. 0.45 = 15.22$ Mpa dan $w/c. 0.55 = 8.64$ Mpa.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Persentase *Nickel slag* Per Agregat halus Umur 7 Hari.

Pada gambar 8 dapat dilihat hubungan antara persentase *nickel slag* per agregat halus terhadap kuat tekan pada setiap *water cement ratio* untuk umur beton 7 hari dimana maksimum peningkatan kuat tekan terjadi pada persentase 50% *nickel slag* yaitu $w/c. 0.45 = 25.09$ Mpa dan persentase 40% *nickel slag* yaitu $w/c. 0.55 = 17.69$ Mpa dan terjadi penurunan kuat tekan pada persentase *nickel slag* 100% yaitu $w/c. 0.45 = 23.24$ Mpa dan $w/c. 0.55 = 12.34$ Mpa.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Setiap w/c Terhadap Persentase *Nickel slag* Per Agregat halus Umur 28 Hari.

Pada gambar 9 dapat dilihat hubungan antara persentase *nickel slag* per agregat halus terhadap kuat tekan pada setiap *water cement ratio* untuk umur beton 28 hari dimana maksimum peningkatan kuat tekan terjadi pada persentase 100% *nickel slag* yaitu $w/c. 0.45 = 35.99$ Mpa dan persentase 40% *nickel slag* yaitu $w/c. 0.55 = 32.09$ Mpa. Dari hasil pengujian kuat tekan beton terlihat bahwa kenaikan kekuatan beton yang paling tinggi terjadi pada campuran yang menggunakan slag nikel sebagai agregat halus (100%

slag) yakni pada umur 28 hari. Nilai kekuatan tekan yang paling rendah dimiliki oleh campuran yang menggunakan agregat halus alam pasir dan agregat kasar alam batu pecah (0% slag), kemudian disusul oleh komposisi 50% slag dan 40% slag. Ini sesuai dengan hipotesis dimana dengan kandungan senyawa silika (SiO_2) yang tinggi penggunaan terak nikel sebagai agregat halus dapat memperkuat interface antara agregat dan pasta.

Kekuatan tekan yang lebih tinggi pada beton dengan slag nikel disebabkan karena adanya perbaikan interface antara mortar dan agregat halus sedangkan pada beton tanpa slag tidak terdapat perbaikan interface. Bila ditinjau secara kimiawi, ikatan yang lebih kuat antara mortar dan agregat halus terdapat pada beton dengan slag karena agregat halus slag nikel pada beton mengandung senyawa sementik. Hal ini menjadikan kekuatan interface beton lebih tinggi daripada beton tanpa slag yang tidak mengandung senyawa sementik. Sehingga pada saat pengujian tekan, gaya tekan akan didistribusikan keseluruhan bagian beton dan transfer beban akan terjadi antara mortar dan agregat halus melalui interface. Karena lekatan interface pada beton dengan slag nikel lebih baik secara kimiawi daripada pada beton tanpa slag nikel maka retak akan terjadi pada daerah interface, sedangkan pada beton dengan slag retak terjadi pada agregat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap beton dengan berbagai parameter (kombinasi agregat dan waktu pengujian) diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini telah dihasilkan kekuatan tekan tertinggi pada umur beton 28 hari dengan komposisi 100% *nickel slag* w/c 0.45, yaitu mencapai kuat tekan sebesar 35.994 MPa dalam benda uji silinder (101.6 mm x 200 mm). Perkembangan kuat tekan dari umur 7 hari ke 28 hari mengalami kenaikan sangat banyak yaitu pada w/c 0.55 sebesar 38.14% dan pada w/c 0.45 sebesar 24.50%.
2. Pada umur beton 3 hari dan 7 hari kenaikan kuat tekan tertinggi dimiliki oleh komposisi 40% *nickel slag*. Ini disebabkan oleh penggabungan agregat dari gradasi yang paling terbaik, sehingga pada saat pemadatan pori-pori yang terbentuk cukup sedikit. Sedangkan untuk beton dengan komposisi 100% *nickel slag* mempunyai proses reaksi hidrasi yang lambat sehingga peningkatan kuat tekannya hanya terjadi pada umur 28 hari.
3. Peningkatan maksimum kuat tekan beton terjadi pada kadar *nickel slag* 100% akibat reaksi SiO_2 *nickel slag* dengan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari proses hidrasi C_3S dan C_2S untuk menghasilkan gel CSH baru (gel CSH-2) yang mempertinggi mutu beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, A. 2009. *Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag sebagai Agregat Halus dan Agregat kasar dengan Aplikasi Superplasticizer dan Silicafume*. Tesis Program Magister, Universitas Diponegoro.
- Badan Standarisasi Nasional. 2003. *Tata Cara perencanaan Campuran beton, SK SNI T-15-1990-03*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Josowidagdo, L. 2003. *Pemanfaatan Limbah Terak: Studi Kasus di Pabrik Feronikel, Pomalaa, Sulawesi Tenggara*. Fakultas Teknik Ubinus, Jakarta.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi, Yogyakarta.
- Sugiri, S. Lelyani, K. K. 2005. *Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat dan Campuran Semen pada Beton Mutu Tinggi*. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Nini Hasriyani Aswad, S.. 2012. *Pengaruh slag Nikel Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Kekuatan Beton* Jurnal Sipilains, Fakultas Teknui sipil Khairun, Ternate
- Sugiri, S. Hanafi, A. 1998. *Kontribusi Nickel Slag-Cement terhadap Kekuatan dan Durabilitas Beton Kinerja Tinggi*. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Tamburaka, R. S. E. 2006. "Pengaruh Penggunaan Limbah Copper Slag Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Sebagai Cementitious Material". Jurnal Metropilar, Kendari.