

## Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Beton Pemberat Pipa Gas Lepas Pantai

Saptahari Sugiri<sup>1)</sup>  
Biemo W. Soemardi<sup>2)</sup>  
Gde Pradnyana Sutha<sup>3)</sup>  
Louis<sup>4)</sup>

### Abstrak

Terak nikel merupakan produk limbah industri nikel yang banyak terdapat di Soroako, Sulawesi Selatan dan merupakan hasil limbah industri nikel PT. INCO. Dalam seminggu limbah terak nikel yang dihasilkan mencapai 48679 ton. Terak nikel memiliki bobot yang berat sehingga sangat cocok digunakan sebagai bahan agregat beton pemberat pipa. Dengan semakin berkembangnya eksplorasi gas lepas pantai, maka penggunaan beton pemberat pipa gas semakin meningkat, dan oleh karenanya terak nikel menjadi sangat potensial untuk digunakan sebagai agregat beton pemberat karena bobotnya yang berat dan jumlah terak nikel yang sangat banyak. Berdasarkan hasil penelitian beton pemberat agregat terak nikel, dengan metoda ACI didapat kuat tekan 50.77 Mpa, kemudian campuran tersebut memenuhi persyaratan absorpsi beton dibawah 5% yaitu 0.69% dan berat jenis beton pipa pemberat terak nikel didapat 3267 kg/m<sup>3</sup>.

**Kata-kata kunci :** Terak Nikel, agregat, beton pemberat pipa.

### Abstract

Nickel slag is a by-product from "PT INCO", a nickel mining industry in Soroako, South Celebes. The quantity of nickel slag product can reach to 48679 tons per week. Nickel slag has a very heavy weight thus making it suitable for use as aggregate material in concrete for weighted pipes. The rapid expansion of offshore gas explorations has given rise to the need and development of weighted pipes, and therefore nickel slag is very potential for use as aggregate in concrete for weighted pipes due to its heavy weight and abundance as by-product. Research studies on concrete for weighted pipes using nickel slag aggregate using ACI method resulted in a compression strength of 50.77 Mpa. Furthermore the mixture complies with the requirement for concrete absorption to be lower than 5% which is 0.69%, and the specific gravity is 3267 kg/m<sup>3</sup>.

**Keywords :** Nickel Slag, aggregate, concrete for weighted pipes.

## 1. Pendahuluan

Penggunaan beton pemberat pipa pada saat ini semakin berkembang terutama dengan semakin banyaknya eksplorasi gas di lepas pantai dan distribusi gas antar pulau melalui pipa. Beton pemberat pipa diperlukan untuk dapat mempertahankan posisi pipa selama masa layanan, karena besarnya gaya-gaya yang bekerja pada pipa tersebut, terutama gaya apung pada saat pipa dalam kondisi kosong. Berat pipa baja dan beton pemberat harus dapat menahan semua gaya yang bekerja termasuk gaya apung yang memungkinkan pipa dapat terapung. Dari pengalaman pada tahun 1975 bagian dari pipa *Brent-Cormorant Line* sepanjang 1500 meter kehilangan sebagian dari lapisan pemberatnya sehingga terapung selama konstruksi di Sound of Yeell di Shetlands [Palmer A.C. 1985].

Penggunaan beton pemberat pipa saat ini, menggunakan *iron ore* sebagai agregat, baik agregat halus maupun agregat kasar. PT. KHI Pipe Industries, Cilegon Banten, sebagai salah satu perusahaan pembuat pipa yang dilapisi pelapis beton pemberat, menggunakan agregat *iron ore* untuk pembuatan beton pemberat pipa [Sugiri & Louis, 2003].

Terak nikel merupakan limbah industri nikel berupa bongkahan dan memiliki bobot yang besar, sehingga dimungkinkan untuk digunakan sebagai material pengganti *iron ore* untuk beton pemberat pipa. Terak nikel dapat ditemukan dan diperoleh dari limbah industri nikel PT. INCO di Soroako Provinsi Sulawesi Selatan. Jumlah terak nikel yang dihasilkan setiap minggu mencapai 48679 ton terdiri dari dua bentuk struktur berpori dan padat. Jumlah ini sangat besar sehingga dapat digunakan untuk agregat beton

1. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
2. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
3. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil FTSP-ITB.
4. Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Paulus, Makassar.

pemberat pipa gas lepas pantai. Terak nikel itu sendiri berwarna coklat tua dan terdiri dari unsur silikat 26.43% dan ferro 43.03% yang merupakan bagian paling dominan [Sugiri & Khosoma, 1997]. Unsur silikat sangat berperan besar dalam memperbaiki interface antara agregat dan pasta semen.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Parameter beton pemberat

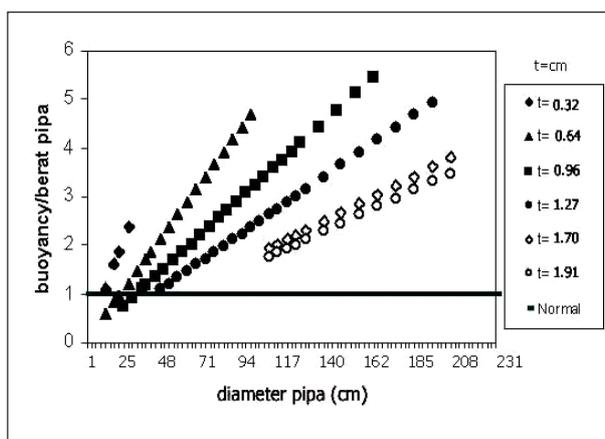
Persyaratan Beton pemberat pipa harus memenuhi parameter-parameter tertentu, diantaranya adalah berat jenis beton, absorpsi beton dan kuat tekan beton. Khusus untuk perusahaan pengguna pipa yang dilapisi beton pemberat seperti Perusahaan Gas Negara (PGN) dan PT. Total Indonesia memberikan batasan-batasan pada parameter beton tersebut seperti pada **Tabel 1** di bawah ini [PGN 2001, PT. Total Indonesia 1997].

### 2.2 Tebal beton pemberat

Tebal beton pemberat pipa yang diperlukan tergantung dari ketebalan dinding pipa, diameter pipa, gaya yang bekerja pada pipa dan berat jenis beton yang digunakan. Pipa yang tidak dilapisi dengan beton pemberat apabila diturunkan ke dalam air dalam kondisi kosong akan mengalami gaya apung akibat air (*buoyancy effect*). Pada **Gambar 1** diperlihatkan perbandingan antara berat pipa dengan gaya apung yang bekerja pada pipa, dalam kondisi pipa kosong.

**Tabel 1. Batasan spesifikasi parameter beton pemberat pipa**

Pengguna	Berat Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	Absorpsi (%)	Kuat Tekan, (MPa)	
			7 hari	28 hari
PGN	3365	5	28	41
PT. Total Indonesia	3000	5	30	38



**Gambar 1. Hubungan diameter pipa terhadap gaya apung**

Berdasarkan **Gambar 1** di atas gaya apung dipisahkan oleh garis normal, artinya pipa yang berada di bawah garis normal beratnya dapat mengimbangi gaya apung yang bekerja, sedangkan yang diatas garis normal adalah pipa yang akan mengalami gaya apung jika tidak dilapisi beton pemberat. Oleh sebab itu pipa yang berada diatas garis normal, perlu dilapisi beton pemberat pipa. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung tebal beton pemberat pipa adalah :

$$Tb = \frac{\sqrt{4W_v - \pi(Di)^2(Dc)} - Di}{2}$$

$$S.G = \frac{Wp + Wc}{Ww}$$

dimana :  $Tb$  = tebal lapisan beton, [cm]

$W_v$  = berat pipa, [kg/m<sup>3</sup>]

$Dc$  = densitas beton, [kg/m<sup>3</sup>]

$Dw$  = densitas air, [kg/m<sup>3</sup>]

$Di$  = diameter dalam lapisan beton, [cm]

$S.G$  = *Specific Gravity*

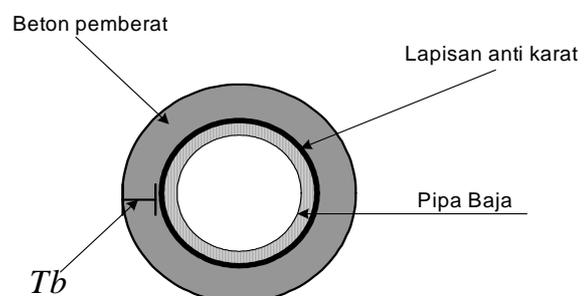
$Wp$  = berat pipa, [kg]

$Wc$  = berat beton, [kg]

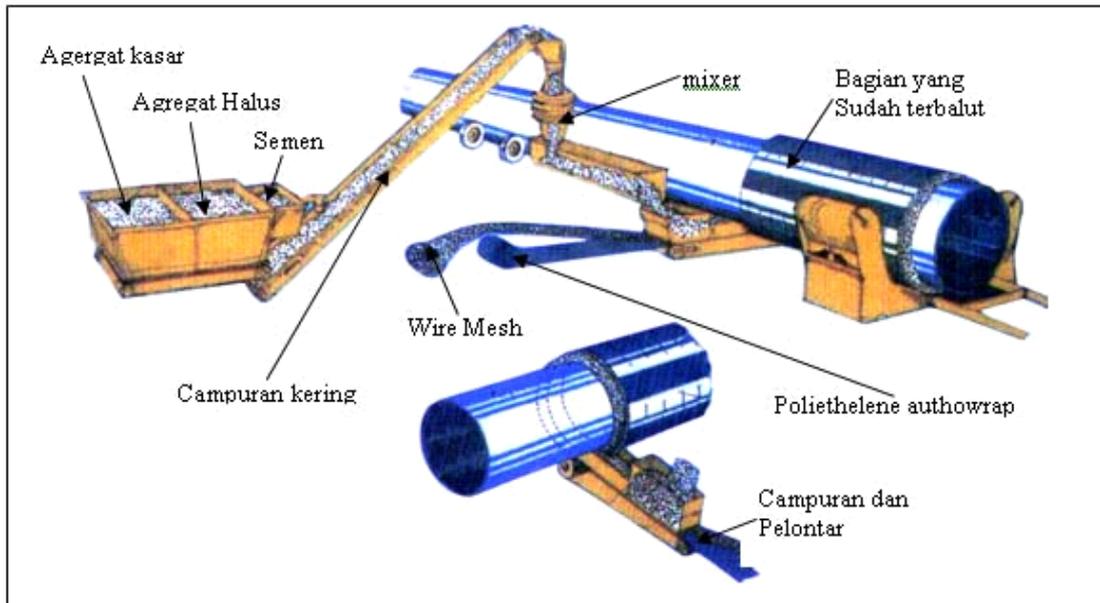
$Ww$  = berat air yang dipindah, [kg]

### 2.3 Metode pengecoran pipa

Metode untuk pengecoran beton pemberat pipa untuk melapisi pipa pada bagian luar dapat digunakan dengan beberapa cara antara lain dengan metode casting, *sprayer* atau *wrapping*. Secara khusus dalam pembahasan paper ini akan digunakan metode *wrapping*. Metode *wrapping* sudah digunakan oleh PT. KHI Pipe Industries, Cilegon Provinsi Banten dalam pembuatan pipa yang dilapisi beton pemberat pipa. Sketsa metode pengecoran beton pada pipa di PT KHI Pipe Industries [Sugiri & Luis, 2003] terlihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 2. Penampang pipa komposit**



Gambar 3. Proses pembuatan beton pemberat pipa dengan metode wapping

### 3. Hasil Eksperimental

#### 3.1 Pembuatan agregat

Pembuatan agregat merupakan suatu proses penghancuran bongkahan terak nikel yang kemudian disaring dan dipisahkan menjadi agregat kasar dan agregat halus. Pembuatan agregat ini sangat penting dan ditentukan oleh alat crusher yang digunakan. Dari hasil pembuatan agregat terak nikel dengan mengambil tiga contoh kelompok agregat didapatkan hasil saringan ASTM pada Tabel 2.

Dari hasil ini kemudian dipisahkan menjadi agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar diambil yang lolos saringan 9,5 mm sesuai dengan spesifikasi PGN, dan tertahan saringan 4,75 mm. Sedangkan untuk agregat halus diambil yang lolos saringan 4,75 mm dan tertahan saringan 0,075 mm. Pada Gambar 4. diperlihatkan gradasi butiran agregat halus setelah dipisahkan dan diplot ke spesifikasi ASTM C33-92a.

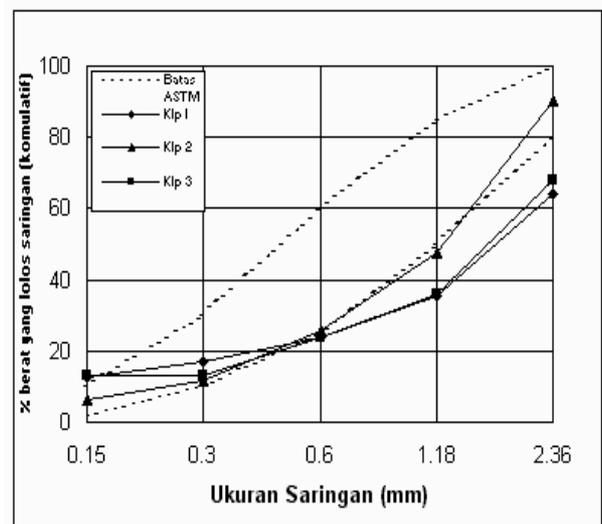
Tabel 2. Hasil saringan contoh agregat hasil crusher

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan, (gram)		
	Klp. I	Klp. II	Klp. III
19			
12.5	400	950	325
9.5	500	871	575
4.75	2100	1399	2100
2.36	722	682	645
1.18	567	548	640
0.60	236	242	237
0.3	136	155	217
0.15	91	76	16
0.075	248	77	245
Jumlah	5000	5000	5000

Hasil pengujian sifat fisik dari tiga kelompok agregat tersebut diperlihatkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Sifat fisik agregat kasar

Pengujian	Kelompok 1	Kelompok 2	Kelompok 3
Berat Volume (dry)	2.057 kg/m <sup>3</sup>	2.208 kg/m <sup>3</sup>	1.834 kg/m <sup>3</sup>
Specific Gravity (SSD)	3.626	3.752	3.288
Specific Gravity (Dry)	3.622	3.735	3.264
Kadar Air	0.050 %	0.135 %	0.036 %
Absorpsi	0.145 %	0.450 %	0.750 %



Gambar 4. Gradasi butiran agregat halus

Tabel 4. Sifat fisik agregat halus

Pengujian	Kelompok 1	Kelompok 2	Kelompok 3
Berat Volume (dry)	2.201 kg/m <sup>3</sup>	2.402 kg/m <sup>3</sup>	2.021 kg/m <sup>3</sup>
Specifit Gravity (SSD)	3.715	3.858	3.289
Specifit Gravity (Dry)	3.711	3.848	3.276
Kadar Air	0.050 %	0.100 %	0.107 %
Absorpsi	0.080 %	0.100 %	0.402 %

### 3.2 Perencanaan campuran

Perencanaan campuran beton pemberat pipa dilakukan dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93 dan metode coba-coba. Metode coba-coba, yaitu dengan mengurangi semen dan air dari kondisi perhitungan metode ACI agar agregat lebih dominan, dimana agregat memiliki berat jenis yang lebih besar dari semen. Dengan demikian diharapkan didapat berat jenis beton yang lebih besar dari metode ACI. Berdasarkan hasil perencanaan campuran didapatkan komposisi campuran ACI pada Tabel 5 dan untuk campuran coba-coba pada Tabel 6.

### 3.3 Pengujian

#### 3.3.1 Berat jenis

Berat jenis beton yang didapatkan dari hasil percobaan dengan menggunakan metode ACI dapat dilihat pada Gambar 5, Sedangkan untuk campuran coba-coba dapat dilihat pada Gambar 6.

#### 3.3.2 Kuat tekan

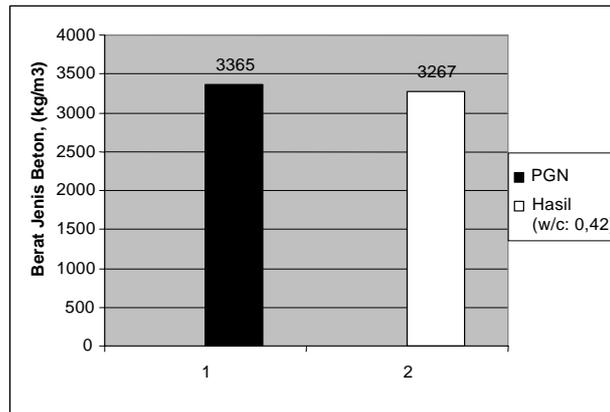
Kuat tekan beton yang didapatkan dari hasil campuran metode ACI dan metode campuran coba-coba dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Kedua metode pencampuran ini menghasilkan kuat tekan yang melebihi standar PGN dan PT. Total Indonesia [PGN 2001, PT. Total Indonesia 1997].

Tabel 5. Komposisi berat material campuran ACI

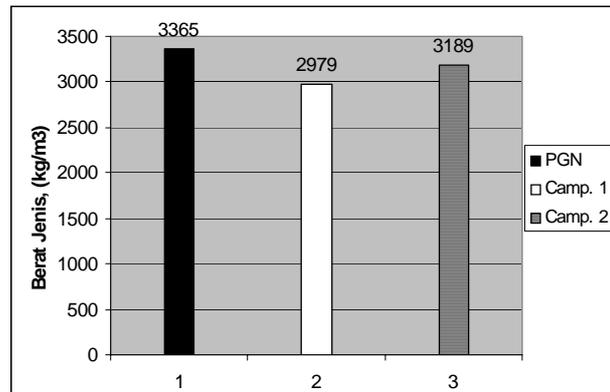
Material	w/c=0.40	w/c=0.42	w/c=0.44
Semen	490	467	445
Air	200	200	200
Agregat Kasar Kelompok II	1437	1437	1437
Agregat Halus Kelompok II	919	955	977

Tabel 6. Komposisi campuran coba-coba

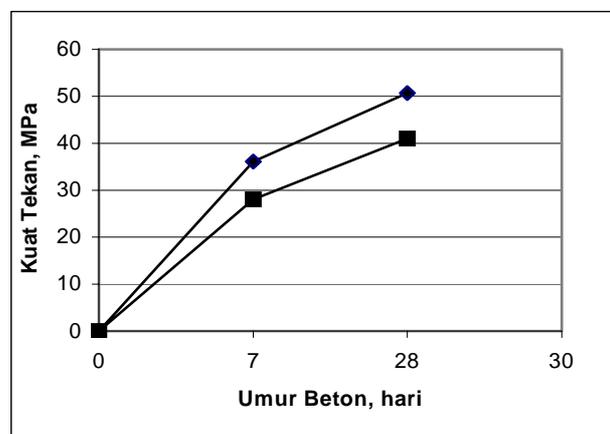
Material	Kelompok (kg)	
	I	II
Semen	450	375
Air	184.33	154
Agregat kasar	1338	1338
Agregat halus	1018	1222
Superplasticizer	5.625	4.668



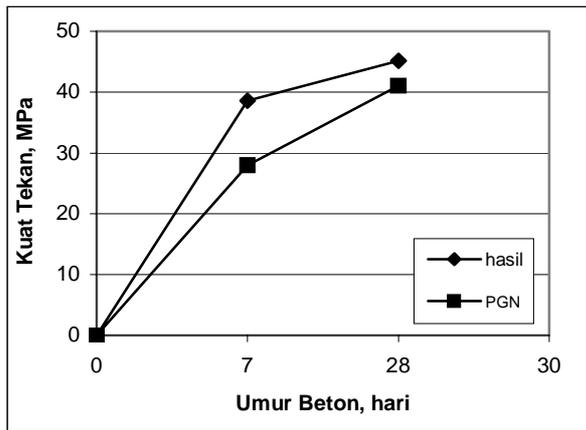
Gambar 5. Berat jenis beton campuran dengan metode ACI 211.4R-93



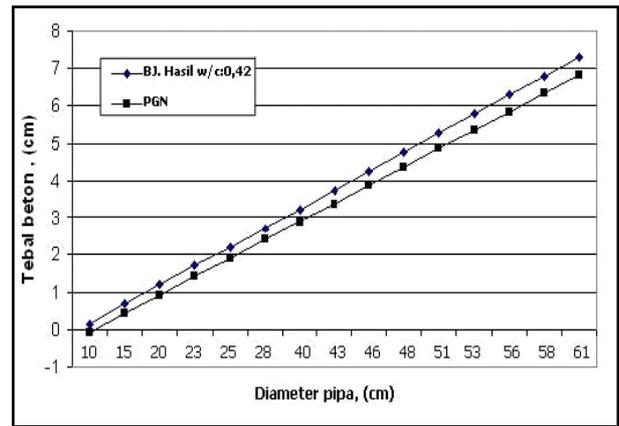
Gambar 6. Berat jenis beton campuran coba-coba



Gambar 7. Kuat tekan beton campuran ACI



Gambar 8 Kuat tekan beton campuran coba-coba



Gambar 9. Hubungan diameter pipa dengan ketebalan beton pemberat

3.3.3 Absorpsi

Absorpsi beton yang didapatkan sangat kecil baik untuk campuran metode ACI maupun dengan metode campuran coba-coba. Dari hasil pengujian diambil 6 contoh terakhir sebagai bahan pengujian. Hasilnya untuk metode ACI diperlihatkan pada Tabel 7 dan untuk metode campuran coba-coba diperlihatkan pada Tabel 8 [Sugiri & Louis, 2003].

3.4 Tebal beton pemberat

Dengan membandingkan berat jenis beton spesifikasi Perusahaan Gas Negara (PGN) dan berat jenis beton yang didapatkan dari penelitian ini dan mengaplikasikan pada pipa beton pemberat tetapi untuk diameter pipa yang berbeda, dapat di lihat pada Gambar 9.

Tabel 7. Absorpsi beton campuran metode ACI untuk w/c = 0,42

Benda Uji	Berat SSD (gram)	Berat Kering (gram)	Absorpsi Beton ( % )
1	5192	5165	0.52
2	5193	5164	0.56
3	5095	5055	0.79
4	5071	5030	0.82
5	5167	5135	0.62
6	5240	5221	0.36
Rata-Rata			0.61

Tabel 8. Absorpsi beton campuran coba-coba kelompok II

Benda Uji	Berat SSD (gram)	Berat Kering (gram)	Absorpsi Beton ( % )
1	5085	5060	0.49
2	5053	5020	0.66
3	4960	4920	0.81
4	5070	5040	0.59
5	5054	5020	0.68
6	5025	4980	0.90
Rata-Rata			0.69

Gambar ini memperlihatkan bahwa ketebalan dinding beton pemberat antara spesifikasi PGN dengan hasil yang didapatkan tidaklah terlalu jauh berbeda. Dengan demikian bahwa untuk diameter tertentu beton agregat terak nikel ini dapat digunakan sebagai beton pemberat pipa.

3.5 Pengecoran pipa

Pengecoran pipa dengan cara *wrapping* dalam skala laboratorium dilakukan dengan menggunakan alat yang prosedur kerjanya menyerupai kondisi di lapangan, dalam skala besar [Sugiri & Louis, 2003] dapat dilihat pada Gambar 10. Pembuatan alat ini dimaksudkan untuk melihat hasil campuran beton yang didapat bila diaplikasikan di lapangan apakah dapat menghasilkan campuran yang padat dan tidak terjadi segregasi campuran.

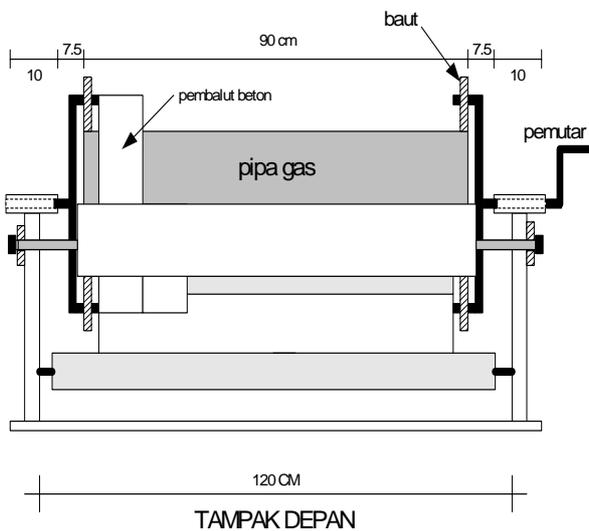
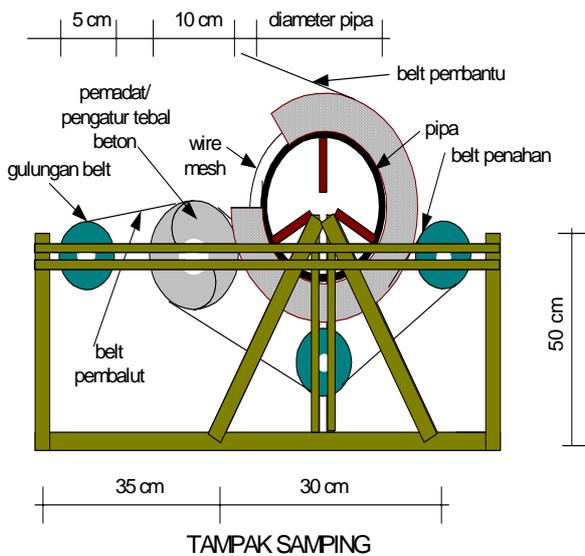
Gambar 11 memperlihatkan hasil pengecoran pipa pemberat dengan alat pengecoran pipa metoda *wrapping*. Dan Gambar 12 memperlihatkan pengujian pipa beton pemberat terak nikel.

Metodologi pengecoran :

- Sebelum pencampuran beton dilakukan terlebih dahulu pipa yang akan dicor dipasang dan diatur posisinya pada as pipa dengan menyatel baut yang memegangnya pada kedua ujungnya.
- Sesudah pipa selesai distel pada posisi as, kemudian pipa pengatur dan pematik beton diukur jaraknya dari pipa sesuai dengan ketebalan beton yang direncanakan.
- Sesudah jarak diatur, kemudian tulangan *wire mesh* dipasang untuk pipa composit yang memakai tulangan.
- Kemudian *belt* pembungkus, belt pengantar dan belt penahan dipasang dengan rapih.

**Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Beton Pemberat Pipa Gas Lepas Pantai**

- Setelah alat siap, maka campuran mulai dibuat dan dituangkan diantara pipa yang akan dicor dengan pipa pengatur.
- Setelah campuran dituang selanjutnya pipa diputar sambil menarik belt pembantu sampai campuran mengelilingi pipa dan dibalut oleh pembalut pipa.
- Setelah dibalut, pembalut diisolasi pada bagian ujung pembalut dan kemudian dilepaskan dari alat ini dengan membuka penjepitnya.

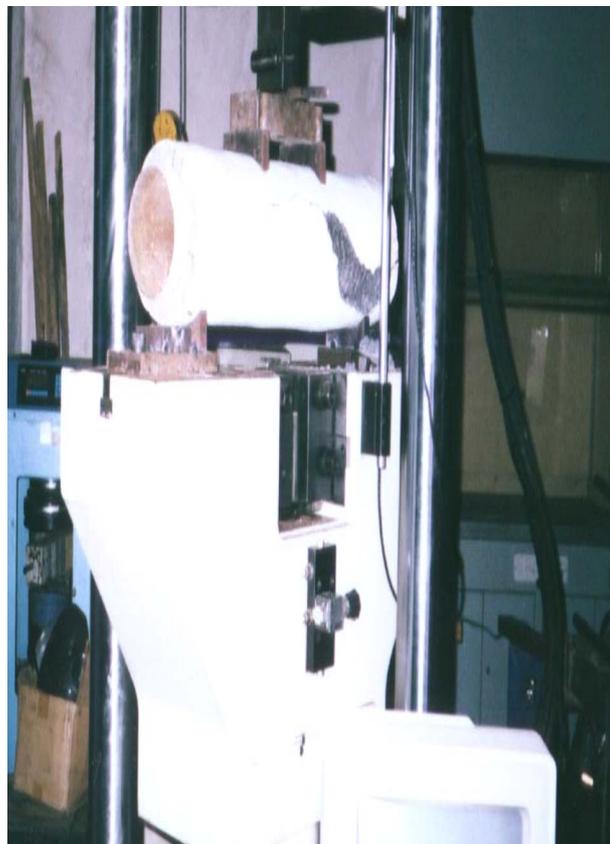


**Gambar 10. Alat pengecoran pipa metode wrapping**

Dengan menggunakan alat tersebut dibuat dua macam diameter pipa yaitu diameter 11.75 cm dengan ketebalan 1,4 cm dan diameter 16 cm dgn ketebalan 3,5 cm



**Gambar 11. Hasil pengecoran**



**Gambar 12. Pengujian pipa beton pemberat terak nikel**

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan percobaan beton berat yang menggunakan agregat terak nikel, maka dapat disimpulkan :

1. Terak nikel terdiri dari dua bentuk struktur, yaitu berpori dan padat. Sedangkan beratnya terdiri dari dua macam yaitu ringan dan berat dimana yang berat adalah yang padat dan berwarna coklat tua.
2. Metode pencampuran dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93 dapat dijadikan pedoman perencanaan campuran beton pemberat pipa gas lepas pantai dengan rasio air semen (w/c) = 0.42, ukuran maksimum agregat kasar lolos saringan ukuran 9.52 mm, volume agregat kasar 0.65 per volume beton, dengan gradasi butiran agregat halus sesuai standar ASTM C33.
3. Metode pencampuran ACI 211.4R-93 dan campuran coba-coba menghasilkan kuat tekan beton yang lebih besar dari spesifikasi PGN. Dari hasil pengujian untuk campuran ACI didapat kuat tekan beton 36.10 MPa pada umur 7 hari dan 50.77 MPa untuk umur 28 hari. Sedangkan campuran coba-coba, kuat tekan 38.60 Mpa pada umur 7 hari dan 44.80 MPa untuk 28 hari.
4. Campuran beton dengan menggunakan metode ACI dan metode coba-coba dapat menghasilkan beton pemberat yang berat jenisnya mencapai 3267 kg/m<sup>3</sup> (campuran ACI) dan 3189 kg/m<sup>3</sup> (metode coba-coba), namun berat yang didapat belum mencapai standar yang diberikan oleh Perusahaan Gas Negara (PGN), yaitu sebesar 3365 kg/m<sup>3</sup>. Tetapi didalam pelaksanaan untuk beton pemberat yang sesuai spesifikasi PGN dapat dicari jalan keluarnya dengan menambah ketebalan lapisan beton pemberat.
5. Komposisi campuran ACI.211.4R-93 dengan menggunakan agregat terak nikel akan menghasilkan absorpsi beton yang kecil dimana dalam penelitian ini didapat 0,61 %. Sedangkan spesifikasi PGN dan PT. Total Indonesia memberikan batas maksimum 5 % dari berat kering beton.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lab Struktur dan Bahan ITB dan Lab Dinamika PAU ITB untuk pelaksanaan penelitian ini. Hasil penelitian beton pemberat terak nikel ini dapat digunakan sebagai pipa pemberat, dan hasil penelitiannya menghasilkan hak paten no. P20000200, tanggal 19 November 2003, dengan judul Penemuan: Lapisan Pemberat dan Pelindung untuk Jalur Pipa Bawah Laut dan Air Tawar

#### Daftar Pustaka

- ACI Committee 211.1-91, 1993, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete", ACI Detroit, Michigan.
- ACI Committee 211.4R-93, 1993, "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash" ACI Detroit, Michigan.
- ASTM, 1993, "Annual Books of ASTM Standards", Volume 04.02 Concrete and Aggregates.
- Neville A.M., Brooks J.J., 1987, "Concrete Technology", Longman Group UK Limited.
- Palmer A.C., 1985, "Concrete and Coating for Submarine Pipelines", Advances in of Shore Oil and Gas Pipeline Technology, Ed.de.Lamare, Gulf Publishing Company.
- Perusahaan Gas Negara, 2001, "Gas Trasmision and Distribution Project", Triparta-Gult Consortiun.
- PT. Total Indonesia, 1997, "Tunu Field Development Project Phase 7", Spesifikasi Beton Pemberat pipa.
- Sugiri, S., 2000, "Durability of High Performance Nickel Slag Concrete", Second Asia/Pacific Conference on Durability of Building System: Harmonised Standards and Evaluation, Bandung Indonesia, July 10-12.
- Sugiri, S., D.R. Munaf, Khosoma, L.K., 1997, "Mechanical Properties of High Performance Nickel Slag Concrete", 22<sup>nd</sup> Structures: Singapore, August 25-27.
- Sugiri, S., Khosoma, L.K., 1997, "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat pada Beton Mutu Tinggi", Thesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Sugiri, S., Ashad, H., 1998, "Kontribusi Nickel Slag-Cement terhadap Kekuatan dan Durabilitas Beton Kinerja Tinggi", Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Sugiri, S., Louis, 2003, "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Beton Pemberat Pipa Gas Lepas Pantai", Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

