

LAPORAN TESIS

**KARAKTERISTIK BETON BERONGGA DENGAN
MENGUNAKAN TERAK NIKEL SEBAGAI
AGREGAT KASAR**

**CHARACTERISTICS OF POROUS CONCRETE BY USING NICKEL
SLAG AS ROUGH AGGREGATE**

**ANDI FADLI IRFANSYAH
D012192019**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

KARAKTERISTIK BETON BERONGGA DENGAN MENGGUNAKAN TERAK NIKEL SEBAGAI AGREGAT KASAR

Disusun dan diajukan oleh :

ANDI FADLI IRFANSYAH

D012192019

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 13 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Ketua

Sekretaris

Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng

NIP. 19680529 200212 1 002

Dr.Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T.

NIP. 19791226 200501 1 001

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Dr.Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.

NIP. 19720619 200012 2 001

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

NIP. 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Fadli Irfansyah
NIM : D0 12192019
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Studi “ Karakteristik Beton Berongga Dengan Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar “

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Juli 2021

Yang menyatakan,



(Andi Fadli Irfansyah)

KATA PENGANTAR

Segala puji atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini yakni ***“Karakteristik Beton Berongga Dengan Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar”***. Salam dan shalawat kita sampaikan kepada junjungan kita nabiullah Rasulullah Muhammad SAW sebagai tauladan bagi seluruh umat manusia.

Banyak kendala yang dihadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan penelitian dan penulisan ini, yang hanya berkat bantuan berbagai pihak, maka tesis ini selesai pada waktunya. Pada kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA selaku Rektor Universitas Hasanuddin
2. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Prof. Dr. Ir. H. M Wihardi Tjaronge, ST, M. Eng selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Pembimbing I yang telah memberikan arahan, petunjuk dan bimbingannya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.
5. Dr. Eng Ir. Hj. Rita Irmawaty selaku Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
6. Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, ST, MT selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya memberikan bimbingan serta arahan mulai dari awal hingga tersusunnya tesis ini.
7. Dosen serta staf jurusan program studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang sangat membantu dalam proses administrasi.

8. Rekan-rekan mahasiswa S1, S2 dan S3 yang senantiasa memberikan dorongan dan masukan hingga terselesaikannya tesis ini.

Ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa dan semoga Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar, Agustus 2021

ANDI FADLI IRFANSYAH

“Sifat Fisik Usia Dini Beton Berpori Berisi Nikel Terak Agregat Di Bawah Beban Kompresi”

Abstrak :

Penelitian yang dilaporkan dalam makalah ini adalah salah satu hasil dari serangkaian tes mengenai penggunaan terak nikel bersama dengan pasta berbasis semen campuran superplastikizer dalam produksi beton berpori. Kinerja pada usia dini tiga dan tujuh hari terkait kekuatan kompresif, modulus elastis dan jatah posison adalah fokus diskusi dalam makalah ini. Berdasarkan hasil pengujian, penampilan dan bentuk luar yang memuaskan menghasilkan kinerja beton berpori yang baik yang terbuat dari nikel terak dan agregat kasar yang dihancurkan alami untuk menanggung beban kompresi pada usia dini tiga dan tujuh hari. Dapat dikatakan bahwa proses hidrasi terjadi di pasta semen berbasis semen campuran superplastikizer yang mengakibatkan pengikatan yang lebih kuat terhadap terak nikel seiring bertambahnya usia yang mengakibatkan peningkatan kekuatan kompresif sejak usia dini tiga hingga tujuh hari. Modulus elastisitas dan rasio poisson yang dilaporkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai input dalam kriteria desain untuk menggunakan beton berpori pada usia dini.

Kata kunci: beton berpori, terak nikel, alami kasar agregat sifat fisik usia dini, pola retak

Early Age Physical Properties of Porous Concrete Containing Nickel Slag Aggregate Under Compression Load

Abstract :

The research reported in this paper is one of the results of a series of tests regarding the use of nickel slag together with superplasticizer-blended cement based paste in the production of porous concrete. Performance at the early age of three and seven days related to compressive strength, elastic modulus and poisson ratio is the focus of discussion in this paper. Based on testing results, the satisfactory outward appearance and shape resulting in a good performance of porous concrete made of slag nickel and natural crushed coarse aggregates to bear compressive loads at the early age of three and seven days. It can be said that the hydration process took place in the superplasticizer-blended cement based cement paste resulting in the stronger binding to the nickel slag with age resulting in increase of compressive strength from the early age of three to seven days. The modulus of elasticity and poisson's ratio reported in this study can be used as input in the design criteria for using porous concrete at the early age.

Keywords: porous concrete, nickel slag, natural coarse aggregate early age physical properties, crack pattern

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR NOTASI	vii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Masalah	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Material Pembentukan Beton Berongga.....	7
1. Semen Portland.....	7
a. Standar Semen di Indonesia.....	8
b. Standar Semen berdasarkan ASTM C 150 – 07.....	9
2. Agregat.....	10
a. Agregat Slag Nikel.....	10
b. Air.....	11
3. <i>Superplasticizer</i>	12
B. Pengaruh Slag Nikel Sebagai Pencampur Beton.....	14

C. Konstruksi Yang Telah Menggunakan Beton Berongga.....	15
D. Kekuatan beton berongga	16
1. Kekuatan kompresif dan elastisitas modulus.....	16
2. Kuat Tarik Belah.....	18
BAB III. METODE PENELITIAN	20
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	20
B. Rancangan Uji.....	23
C. Pengujian Beton Berongga.....	30
1. Pengujian Kuat Tekan.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakteristik material	34
B. Rancangan campuran beton rongga.....	34
C. Persentase volume rongga beton rongga	35
D. Kuat tekan beton rongga.....	36
E. Hubungan tegangan-regangan beton rongga	38
F. Rekapitulasi kuat tekan beton rongga	50
G. Koefisien nilai modulus elastisitas beton rongga	52
H. Hubungan nilai kuat tekan dan umur beton rongga ..	53
I. Pola retak setelah pengujian kuat tekan	55
J. Pengamatan Visual	57

BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	A. Kesimpulan.....	61
	B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Berat contoh uji minimum untuk tiap ukuran nominal maksimum agregat	26
Tabel 2. Rencana Mix Disain Tarak Nikel.....	28
Tabel 3. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar terak nikel.....	34
Tabel 4. Komposisi campuran beton rongga.....	35
Tabel 5. Komposisi campuran beton rongga.....	35
Tabel 6. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan.....	50
Tabel 7. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas dan poisson rasio.....	51
Tabel 8. Koefisien modulus elastisitas untuk kuat tekan beton rongga	52
Tabel 9. Koefisien modulus elastisitas untuk berat isi beton rongga	52
Tabel 10. Rekapitulasi kuat tekan rata-rata benda uji.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gambar Semen Portland.....	8
Gambar 2. Slag Nikel 05 – 10 dan 10 – 20	11
Gambar 3. Viscocrate.....	14
Gambar 4. Pengujian Kuat Tekan	18
Gambar 5. Pengujian Kuat Tekan.....	19
Gambar 6. Bagan alir Peneliti.....	22
Gambar 7 . Posisi benda uji pada pengujian kuat tekan beton.....	31
Gambar 8. Posisi benda uji pada pengujian kuat tarik belah beton.....	33
Gambar 9. Persentase volume rongga beton rongga	36
Gambar 10. Kuat Tekan Beton Rongga	37
Gambar 11. Hubungan tegangan-regangan sampel TNTN umur 3 Hari	38
Gambar 12. Hubungan tegangan-regangan sampel TNTN umur 7 Hari.....	39
Gambar 13. Hubungan tegangan-regangan sampel TNTN umur 28 Hari.....	40
Gambar 14. Hubungan tegangan-regangan sampel TNBP umur 3 Hari.....	41
Gambar 15. Hubungan tegangan-regangan sampel TNBP umur 7 Hari.....	42
Gambar 16. Hubungan tegangan-regangan sampel TNBP umur 28 Hari.....	43
Gambar 17. Hubungan tegangan-regangan sampel BPTN umur 3 Hari.....	44
Gambar 18. Hubungan tegangan-regangan sampel BPTN umur 7 Hari.....	45
Gambar 19 . Hubungan tegangan-regangan sampel BPTN umur 28 Hari.....	46
Gambar 20. Hubungan tegangan-regangan sampel BPBP umur 3 Hari.....	47
Gambar 21. Hubungan tegangan-regangan sampel BPBP umur 7 Hari.....	48

Gambar 22. Hubungan tegangan-regangan sampel BPBP umur 28 Hari..	49
Gambar 23. Kurva hubungan kuat tekan dengan umur benda uji.....	32
Gambar 24. Pola retak benda uji umur 3 Hari	54
Gambar 25. Pola retak benda uji umur 7 Hari	55
Gambar 26. Pola retak benda uji umur 28 Hari	55
Gambar 27. Revolusi retak umur 28 Hari	57
Gambar 28. Corak Warna 28 Hari	58

DAFTAR NOTASI

(CaO)	= Kapur Tohor
(SiO ₂)	= Silika
(Al ₂ O ₃)	= Almunium
MgO	= magnesia
PCC	= Portland Composite Cement
Fe ₂ O ₃	= oksidasi
OPC	=ordinary Portland cement
C ₃ A	= Anafilatoksin
(Ca(OH) ₂)	= kalsium hidroksida
(CaCO ₃)	= kalsium karbonat
(TOC)	= karbon organic
(Si)	= silicon
ASTM	= American Society for Testing and Materials
MPa	= Megapascal
DCP	= Dynamic Cone Penatrometer
CBR	= California Cone Ratio
F	= derajat Farhenheit
f _c	= Kuat Tekan
P	= Beban

A = Luas penampang benda uji
SNI = Standar nasional Indonesia
UCS = Unconfined Compressive Strength
UTM = Universal Testing Machine

DAFTAR NOTASI

AFm	=	Aluminoferrit monosulfat
Aft	=	Aluminoferrit tetrasulfat
ASTM	=	<i>American Society for Testing and Material</i>
BFS	=	<i>Blast Furnace Slag</i>
CaO	=	Kapur/Batu Kapur
Ca(OH)₂	=	<i>Calcium hydroxide</i>
Cl/Cl₂	=	Klorida/Klorin
CSH	=	<i>Calcium silicate hydrate/tobermorite</i>
CH	=	<i>Calcium hydroxide/portlandite</i>
C₂S	=	<i>Dicalcium silicate/Belite</i>
C₃S	=	<i>Tricalcium silicate/alite</i>
C₃A	=	<i>Tricalcium Aluminate/aluminate</i>
C₄AF	=	<i>Tetracalcium Alumino Ferrite/ferrite</i>
C₃A.3CaSO₄.10H₂O	=	AFm
C₃A.3CaSO₄.32H₂O	=	Aft/ <i>Ettringite</i>
D	=	Diameter Benda Uji Silinder
DEF	=	<i>Delay ettringite formation</i>
Et	=	<i>Ettringite</i>
FAS	=	Faktor air semen
σ	=	Kuat tekan (MPa)
Fs	=	<i>Friedel's salt</i>
Isl-p	=	<i>Isolated pore</i>
Intr-p	=	<i>Intergranular pore</i>
K	=	Konstanta empirik
L	=	Panjang benda uji silinder
MPa	=	Mega Pascal, satuan kuat tekan
MgSO₄	=	Magnesium sulfat
NaCl	=	Natrium klorida
m	=	Konstanta Empirik
No	=	Nomor

OPC	=	<i>Ordinary Portland Cement</i>
SEM	=	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
SK SNI	=	Standar Konstruksi Standar Nasional Indonesia
P	=	Beban Maksimum
V_p	=	Persentase volume rongga
PCC	=	<i>Portland Cement Composite</i>
SiO₂	=	Silika Oksida
XRD	=	<i>X-Ray Diffraction</i>
%	=	Persen
‰	=	Per mil
3CaO.Al₂O₃.CaCl.10H₂O	=	<i>Friedel's salt</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton merupakan bahan yang banyak di pakai dalam industri konstruksi. Hal tersebut dikarenakan beton memiliki keunggulan dibandingkan bahan lain. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi. Proses pembuatannya mudah dan bahan baku untuk membuat beton juga mudah didapat sehingga harganya relatif murah. Selain itu beton juga memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan.

Material beton biasanya terdiri atas semen, agregat, air serta bahan tambah. Perencana bisa meningkatkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efektif, penuhi kekuatan batasan yang di isyaratkan oleh perencana serta penuhi persyaratan serviceability yang bisa dimaksud pula selaku pelayanan yang profesional dengan penuhi kriteria ekonomi.

Pembangunan yang berjalan dinamis memaksa industri konstruksi untuk terus melakukan inovasi dalam pembuatan beton. Salah satunya dengan memanfaatkan limbah Terak Nikel sebagai bahan baku pembuatan beton. Terak Nikel pertambangan timah sangat melimpah di Provinsi Sulawesi Selatan. Porositas beton adalah jumlah besarnya kadar pori yang terkandung

dalam beton yang tidak semuanya tertutup oleh pasta semen. Pori biasanya terisi dari udara atau berisi air yang saling berhubungan dan dinamakan kapiler beton. Kapiler beton ini hendak senantiasa terdapat meski air yang digunakan sudah menguap, sehingga kapiler ini hendak kurangi kepadatan beton yang dihasilkan. Gelembung udara yang terperangkap dan air yang menguap merupakan sumber utama dari timbulnya rongga dalam beton. Beton yang memiliki jumlah rongga sedikit merupakan beton kedap air, padat, dan kuat. Sedangkan permeabilitas beton adalah kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton A.M.Neville 1987. Permeabilitas juga diartikan sifat dapat dimasuki zat cair atau gas. Beton yang baik adalah beton yang relatif tidak bisa dilewati air, atau dengan kata lain mempunyai permeabilitas yang rendah. beton tidak bisa kedap air secara sempurna Menurut (Murdock 1979).

Beton yang padat dan kuat di peroleh dengan menggunakan jumlah air yang minimal konsisten dengan derajat workabilitas diberikan untuk memberikan kepadatan maksimal. Derajat kepadatan harus dipertimbangkan dalam pemadatan dan jenis konstruksi, agar terhindar dari kebutuhan akan pekerjaan yang berlebihan dalam mencapai kepadatan maksimal (Murdock 1991).

Rekayasa beton porous terutama diproduksi dari semen, agregat kasar dengan khusus distribusi ukuran partikel dan air, dan menggunakan kerajinan pemadatan yang luar biasa dengan lebih dari 20% porositas pada umumnya.

Teknologi manufaktur beton berpori diterapkan di perkerasan jalan Raya berbeda dari pembuatan beton biasa dalam banyak aspek, termasuk bahan konstituen, tes dilaksanakan dan penyesuaian, campuran proporsional, dan sebagai pemadatan atau kerajinan molding (Zheng mulian 2006).

Pada penelitian ini , Agregat yang digunakan dalam pencampuran beton Porositas adalah Terak Nikel. Karena salah satu limbah padat dari hasil penambangan dari prosel pengolahan nikel . Di prediksi kedepannya banyak negara akan mengalami kekurangan air. Meskipun Indonesia termasuk dengan 10 negara yang banyak air, tetapi negeri kita ini terancam krisis air juga sebagai akibat dari lemahnya sistem pengelolaan pembangunan sumber daya air dan lingkungan pada umumnya. Hal ini tercermin dari semakin menurunnya kualitas air baik air permukaan ataupun air tanah, tidak tetapnya debit air sungai yang sangat besar, tidak efisien dalam penggunaan air, dan regulasi yang masih sangat kurang memadai. Kendala ini kemudian menjadi tantangan sendiri dalam dunia keteknikan untuk dapat membuat beton dengan baik dan ketahanan tinggi dengan menggunakan material yang tersedia.

Karena dasari ini kami mengambil penelitian ini dan dari uraian-uraian, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja beton porous yang menggunakan Terak Nikel dengan penggunaan semen PCC sebagai bahan Campuran, sehingga penulis membuat penelitian ini

dengan judul “**Karakteristik Beton Berongga Dengan Menggunakan Terak Nikel Sebagai Agregat Kasar**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui Karakteristik beton berongga dengan penggunaan Terak Nikel dan batu pecah sebagai agregat kasar.
2. Bagaimana hubungan tengangan regangan pada uji kuat tekan aggregate terak nikel dan batu pecah

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis karakteristik dengan penggunaan Terak Nikel terhadap beton Berongga .
2. Mengetahui karakteristik kuat tekan , modulus elastisitas dan Nilai Poisson ratio Pada aggregate terak nikel dan batu pecah

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang di harapkan dari hasil penelitian ini adalah memanfaatkan limbah terak nikel menjadi adukan beton berongga. Selain itu pemanfaatan untuk mengetahui karakteristik beton Berongga yang dipengaruhi oleh penggunaan Terak Nikel.

E. Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan batasan masalah agar penelitian dapat berjalan dengan baik, yakni sebagai berikut :

1. Penggunaan Terak Nikel yang berasal dari tambang PT. Vale di Sorowako dan batu pecah berasal dari bili – bili sebagai pembanding
2. Penggunaan Semen PPC dan Superplasticizer sebagai bahan tambahan
3. Dimensi yang digunakan adalah silinder ukuran 10 x 20 cm
4. Metode curing yaitu dengan cara curing air dan udara
5. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 28 , hari

F. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam beberapa bab, yaitu Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjabarkan gambaran awal tentang permasalahan yang akan dibahas melalui empat poin utama yaitu latar belakang, rumusan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan

BAB 2 TINJAUAN PUSTKA

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai dasar dan acuan penelitian

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai tahapan dan detail pelaksanaan penelitian, mulai dari persiapan material hingga proses pengujian

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu kuat tekan, elastisitas, dan pola retak beton berongga.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini membahas tentang kesimpulan secara sistematis berdasarkan dari hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Material Pembentukan Beton Berongga

1. Semen Portland

Semen merupakan bahan pengikat hidrolik, yaitu bahan anorganik yang ditumbuk halus dan ketika bercampur dengan air, dengan menggunakan reaksi dan proses hidrasi membentuk pasta yang mengikat dan mengeras, setelah mengeras, tetap mempertahankan kekuatan dan stabilitasnya meskipun di dalam air (Standar BS EN 197-1).

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan

3,16, dan berat volume satu sak semen adalah 94 lb/ft³. Bahan baku pembentuk semen adalah:

1. Kapur (CaO) – dari batu kapur,
2. Silika (SiO₂) – dari lempung,
3. Alumina (Al₂O₃) – dari lempung (dengan sedikit presentasi magnesia, MgO, dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya (Edward G. Nawy, 1995).



Gambar 1. Semen Portland

a. . Standar Semen di Indonesia

Indonesia telah mampu memproduksi semen Portland yang terdiri atas 5 jenis dan penggunaan (semen Portland jenis I,II,III,IV dan V). Dewasa ini, Indonesia juga telah mengembangkan semen Portland Pozzolan dan semen Portland Komposit yang menggunakan material anorganik dank linker semen (M. Wihardi Tjaronge,2012).

Adapun jenis dan penggunaan semen portland (menurut SNI 15-2049-2004) yakni:

- a. Jenis I yaitu semen yang penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyarakan pada jenis-jenis lain
- b. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau hidrasi sedang.
- c. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat (SNI 15-2049-2004).

Syarat mutu semen Portland (menurut SNI 15-2049-2004) yakni :

b. Standar Semen berdasarkan ASTM C 150 - 07

Jenis dan penggunaan semen Portland berdasarkan ASTM C 150 – 07 adalah sebagai berikut :

- I. Jenis I, untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyarakan pada jenis-jenis lain.

- II. Jenis IA, Semen Air entraining digunakan sama seperti jenis I, dimana memerlukan Air entraining.
- III. Jenis II, untuk penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- IV. Jenis IIA, Semen Air entraining digunakan sama seperti jenis II, dimana memerlukan Air entraining.
- V. Jenis III, untuk penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaaan setelah pengikatan terjadi.
- VI. Jenis IIIA, Semen Air entraining digunakan sama seperti jenis III, dimana memerlukan Air entraining.
- VII. Jenis IV, untuk penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- VIII. Jenis V, untuk penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2. Agregat

a. Agregat Slag Nikel

Slag Nikel adalah slag butiran yang dibentuk dengan pendinginan alami atau water quenching dari lelehan yang terbentuk selama proses peleburan logam nikel yang mengandung FeO , SiO_2 , Al_2HAl_3 dan MgO sebagai komponen utama. Nikel, besi, tembaga, dan elemen lain dalam terak nikel dapat diperoleh kembali dengan proses pelindian asam dan proses pemisahan magnetik reduksi selektif. Namun seiring dengan perbaikan proses metalurgi nikel, kandungan logam *ekstrac-table* dalam slag nikel menjadi sangat rendah.

Komponen utama nikel terak, seperti kalsium, silikon, magnesium, aluminium dan oksida lainnya, juga merupakan komponen penting dari kaca. Namun, hanya sedikit terak nikel yang digunakan dalam pembuatan keramik-kaca dan akan dengan mudah menyebabkan polusi sekunder. Produksi semen dan beton: sebagai aditif dalam pembuatan semen portland atau pengganti agregat. Produksi bahan bangunan: sebagai bahan mentah untuk blok bangunan, produk yang diautoklaf, batu bata yang tidak terbakar, dan geopolimer. Persiapan bahan pengisi tambang: terak nikel yang dipadatkan dengan air tungku flash digunakan sebagai agregat pengisi untuk memenuhi persyaratan kekuatan tarik dan tekanan dari proses pengisian tambang. (Qisheng Wu, 2013)



Gambar 2. Slag Nikel 05 – 10 dan 10 – 20

b. Air

Air diperlukan dalam pembuatan beton agar dapat terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar

mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat semen. Selain itu, air yang demikian dapat mengurangi afinitas antara agregat dengan pasta semen dan mungkin pula mempengaruhi kemudahan pengerjaan.

Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Nawy, E. G. 1998).

3. *Superplasticizer*

Menurut SNI 03-2495-1991, bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang dibubuhkan kedalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya.

Admixture atau bias di sebut *Adiditive* adalah material tambahan alami maupun buatan berupa cairan maupun serbuk yang dicampurkan ke dalam adukan

beton, diolah sebelum atau selama proses mixing beton berjalan untuk memodifikasi karakteristik beton .

Ketentuan dan syarat mutu bahan tambahan kimia sesuai dengan ASTM C 494-81 "*Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete*". Definisi type dan jenis bahan tambahan kimia tersebut dapat diterangkan sebagai berikut :

- a. Tipe A : *Water Reducing Admixture*, adalah bahan tambahan yang bersifat mengurangi jumlah air pencampuran beton untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu.
- b. Tipe B : *Retarding Admixture*, adalah bahan tambahan yang berfungsi menghambat pengikatan beton.
- c. Tipe C : *Accelerating Admixture*, adalah bahan tambahan berfungsi mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
- d. Tipe D : *Water Reducing and Retarding Admixture*, adalah bahan tambahan berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan beton.
- e. Tipe E : *Water Reducing and Accelerating Admixture*, adalah bahan tambahan berfungsi ganda untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan beton.

- f. Tipe F : *Water Reducing and High Range Admixture*, adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12%.
- g. Tipe G : *Water Reducing, High Range and Retarding Admixture*, adalah bahan tambahan yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu sebanyak 12% atau lebih dan juga menghambat pengikatan beton.



Gambar 3. *Viscocrate*

B. Pengaruh Slag Nikel Sebagai Pencampur Beton

Menggunakan slag nikel sebagai bahan baku untuk memproduksi semen jalan Portland. Pengaruh kandungan terak nikel, kandungan gipsum desulfurisasi dan suhu kalsinasi pada kinerja bahan baku, klinker dan pasta semen, sangat layak untuk di gunakan dalam campuran semen Portland jalan raya dengan bahan baku nikel terak. Penambahan terak nikel dalam jumlah yang tepat mengurangi kandungan f-CaO dalam klinker dan mendorong pertumbuhan butiran yang padat dan seragam di klinker. Ketika gipsum

desulfurisasi digunakan sebagai bahan baku kalsium untuk bercampur dengan klinker, kandungan f-CaO dalam klinker meningkat, sehingga tidak kondusif untuk pembuatan klinker. Proses yang optimal untuk pembuatan road portland cement dengan slag nikel adalah: kandungan slag nikel, batu gamping, *fly ash*, *steel slag*, *desulfurized gypsum*, dan kalsium fluoride (persentase berat) adalah 14%, 74%, 4%, 7%, 0,6% dan 0,4%, masing-masing; suhu kalsinasi adalah 1350LC dan waktu pengawetan panas adalah 60 menit. Kandungan f-CaO dalam klinker yang dibuat dengan proses ini adalah 0,22%. Kekuatan tekan dan tekuk selama 3 hari dari pasta semen yang telah disiapkan masing-masing adalah 21,9 MPa dan 6,9 MPa. Nilai 28 hari berturut-turut adalah 52,4 MPa dan 14,5 MPa. Tingkat kekuatan mencapai tingkat 42,5. Besarnya keausan pada usia hidrasi 28 hari adalah 2,1 kg / m². Magnesium dalam terak nikel terutama ada dalam bentuk (Mg, Fe)₂SiO₄, MgSiO₃, dan Ca₂Mg (SiO₇). Setelah kalsinasi, itu ada di klinker dalam bentuk CaMgSi₂HA1₆, Mg₂Si₅Al₄HA1₁₈ dan MgO, serta Mg (OH)₂ setelah hidrasi. (Qisheng Wu Dkk 2018)

C. Konstruksi Yang Telah Menggunakan Beton Berongga

Penggunaan beton non pasir sebagai bahan perkerasan sangat terbatas dan belum lama dikembangkan untuk aplikasi tertentu. Namun, beton non pasir telah digunakan secara luas sebagai bahan bangunan struktural di Eropa, Australia dan Timur Tengah lebih dari 70 tahun (Macintosh dkk, 1965, dalam Harber, 2005). Penggunaan paling awal beton non pasir terjadi di Inggris pada tahun 1852 dengan pembangunan dua rumah tinggal dan krib laut

sepanjang 61 m dan lebar 2,15 m (Francis, 1965, dalam Harber, 2005). Penggunaan beton non pasir menjadi jauh lebih luas selama kekurangan bahan setelah Perang Dunia II, untuk dinding penahan beban yang dicetak ditempat untuk bangunan tidak bertingkat dan bertingkat. Penggunaan awal beton non pasir terutama untuk struktur dua lantai, kemudian dikembangkan untuk bangunan lima lantai di tahun 1950 dan terus berkembang. Dalam beberapa tahun terakhir beton non pasir telah digunakan sebagai bahan pendukung beban pada gedung-gedung tinggi hingga sepuluh lantai. Penggunaan yang paling luar biasa dari beton non pasir dilakukan di Stuttgart, Jerman di mana bangunan tinggi menggunakan beton konvensional untuk enam lantai bawah dan beton non pasir untuk tiga belas lantai atas yang tersisa (Malhotra 1976, dalam Harber, 2005).

D. Kekuatan beton berongga

1. Kekuatan kompulsif dan elastisitas modulus

Standar beton ringan ACI digunakan untuk perbandingan karena beton berpori juga dikategorikan sebagai beton ringan [18]. Hal ini dapat dilihat bahwa kenaikan dalam kekuatan tekan sebanding dengan yang di modulus elastisitas. Salah satu diagram ACI yang digunakan di sini adalah ACI untuk ringan beton dengan campuran berat ringan dan normal agregat (ACI 213R-03), sebagai penelitian juga digunakan kombinasi agregat normal dan batu apung vulkanik (agregat ringan). Grafik menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton berpori yang diperoleh secara signifikan lebih rendah dari

standar ACI untuk beton ringan. Penurunan modulus elastis beton berpori menunjukkan bahwa *strain* di bawah loading kompresi di berpori beton meningkat lebih cepat dari beton normal dan beton ringan. Pengembangan *strain* beton berpori dapat dipercepat karena menghilangkan agregat halus pada beton berpori. Oleh karena itu, beton merayap dengan cepat ketika hubungan ikatan antara agregat dengan pasta semen telah mencapai stres maksimum. Berdasarkan hasil, dapat diasumsikan bahwa beton berpori memiliki deformability tinggi, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai dampak penyerap energi. (Sumber Hiroki Tamai Dkk 2015)

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 15/30 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-02 sebagai berikut :

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots (pers.2)$$

Dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton (kg/m³)

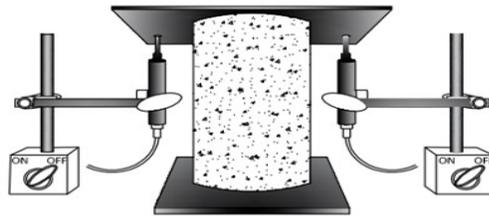
σ_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg)

σ_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1 (m³)

ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat σ_2 (m³)

ϵ_1 = Regangan sebesar 0.00005 (m³)

Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990)



Gambar 4. Pengujian Kuat Tekan

Rumus untuk mendapatkan kuat tekan :

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots \text{(pers.3)}$$

Dimana :

f_c = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban maksimum (kN)

A = Luas Penampang (mm²)