

PENGARUH PENGGUNAAN NANO MATERIAL BIJIH BESI TERHADAP KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI

Kasful Adli Plistiyo¹Teuku Budi Aulia²Rudiansyah Putra³

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

^{2,3}Dosen, jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia.

Email: kasfuladli@gmail.com

Abstract

Nano-iron-ore material is a nano form of the iron ore minerals found in nature, which is obtained by destroying iron ores to nano-sized particles that range between 1-100 nm. High strength concrete is known as concrete with compressive strength greater than or equal to 41.4 MPa (SNI 03-6468-2000). This study aims to determine the effect of the use of nano-iron-ore material as cement substitution of 3%, 6% and 10% of the total weight of cement used on compressive strength of high strength concrete (0%). The compressive strengths are planned at 70 MPa with 0,3 water ratio. Compressive strengths are tested using 10 cm x 20 cm cylindrical concrete specimens. The optimum percentage of the use of nano-iron-ore material was 6% with an increase of 7,43% in compressive strength at 7-day-old concrete.

Keyword: Nano-iron-ore, High strength concrete, Compressive strength

Abstrak

Nano material bijih besi adalah bentuk nano dari mineral besi yang terdapat di alam yang diperoleh dengan menghancurkan partikel-partikel mineral bijih besi hingga berukuran nano yang berada pada rentang 1-100 nm. Beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa (SNI 03-6468-2000). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen dengan persentase; 3%, 6% dan 10% dari total berat semen yang digunakan terhadap kuat tekan beton mutu tinggi normal (0%). Kuat tekan rencana adalah 70 MPa dengan FAS sebesar 0,3. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder berukuran 10 cm x 20 cm. Persentase optimum penggunaan nano material bijih besi adalah 6% dengan peningkatan kuat tekan sebesar 7,43% pada umur beton 7 hari.

Kata kunci: Nano material bijih besi, Beton mutu tinggi, Kuat tekan

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi bahan bangunan terus berlanjut, berbagai penelitian terus dilakukan untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang semakin baik dan masih dapat digolongkan sebagai beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa (SNI 03-6468-2000).

Beton adalah campuran antara semen Portland atau sembarang semen hidrolik yang lain dengan agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan (SKBI.1.4.53, 1989). Sedangkan menurut Mulyono [1], beton didefinisikan sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya. Rongga atau pori-pori yang terdapat pada beton ini akan mempengaruhi kepadatan beton dan dapat mengurangi kekuatan dan keawetannya.

Pori-pori yang terdapat pada beton ini memiliki ukuran yang beragam, mulai dari yang dapat dilihat dengan mata telanjang sampai pada ukuran yang sangat kecil atau mikroskopis. Diperlukan material baru

pembentuk beton yang memiliki ukuran butiran yang sangat halus dan diharapkan dapat mengisi pori-pori pada beton mutu tinggi ini, serta memiliki sifat kimiawi yang hampir sama dengan semen sehingga dapat menjadi pengikat yang baik terhadap agregat halus dan agregat kasar. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan itu, salah satunya adalah penggunaan teknologi material yang berukuran nano (seper miliar meter) atau dikenal dengan istilah nano material. Menurut Dewi [2] syarat material dapat dikatakan nano material adalah jika material tersebut sudah memiliki ukuran partikel diantara 0-100 nm.

Dalam usaha untuk mencari alternatif material baru pembentuk beton, maka pemanfaatan bijih besi dinilai dapat diterapkan dalam bidang ilmu bahan bangunan sebagai bahan campuran pembentuk beton. Kandungan silika (SiO_2) yang terdapat pada material bijih besi berpotensi digunakan sebagai pengganti semen dalam produksi beton mutu tinggi, dan nantinya butiran-butirannya diharapkan dapat mengisi ruang-ruang kosong antar agregat sehingga memperkecil porositas beton dan juga dapat menjadi pengikat antar agregat penyusun

beton, sehingga meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton mutu tinggi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen dengan persentase masing-masing: 3%, 6% dan 10% dari total berat semen yang digunakan terhadap hasil uji kuat tekan beton mutu tinggi normal (0%). Persentase optimum penggunaannya disimpulkan dari hasil uji kuat tekan benda uji silinder.

2. Tinjauan kepustakaan

2.1 Semen Portland (PC)

Menurut Hernando [3], semen Portland merupakan bubuk halus yang diperoleh dengan menggiling klinker (yang didapat dari pembakaran suatu campuran yang baik dan merata antara kapur dan bahan-bahan yang mengandung silika, alumina, dan *oxid* besi), dengan batu gips sebagai bahan tambah dalam jumlah yang cukup. Hasil penggilingan ini berupa bubuk halus yang bila dicampur dengan air akan menjadi keras dan digunakan sebagai bahan ikat hidrolis.

2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat memiliki peranan yang besar sebagai material pembentuk beton, kandungan agregat di dalam beton sekitar 70%-75% dari keseluruhan volume beton. Berdasarkan ukuran butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat di bagi dalam dua jenis yaitu agregat halus dan agregat kasar.

2.2.1 Agregat halus

Menurut Tjokrodinuljo [4], agregat halus adalah agregat yang berbutir kecil antara 0,15 mm sampai 5 mm. Dalam pemilihan agregat halus harus benar-benar memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, karena sangat menentukan dalam hal kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang ditentukan. Susunan butiran agregat halus dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Susunan butiran agregat halus

Ukuran saringan (mm)	Persentase lolos saringan			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Tjokrodinuljo [4]

Keterangan;

Zona 1 : Pasir kasar

Zona 3 : Pasir halus

Zona 2 : Pasir agak kasar

Zona 4 : Pasir agak halus

2.2.2 Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang semua butirnya tertahan saringan 4,75 mm (ASTM C33, 2004). Agregat kasar yang baik untuk pengikatan dengan pasta dan mortar semen adalah yang bertekstur cukup kasar, bentuk bersudut banyak/kubikal, tidak pipih ataupun panjang.

Kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi menurut Pujianto [5], adalah :

- Agregat kasar harus merupakan butir yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar tidak boleh hancur karena adanya pengaruh cuaca. Sifat keras diperlukan agar diperoleh beton yang keras pula. Sifat tidak berpori, untuk menghasilkan beton yang tidak mudah tembus oleh air;
- Agregat harus bersih dari unsur organik;
- Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 10% berat kering. Lumpur yang dimaksud adalah agregat yang melalui ayakan diameter 0,063 mm, bila lumpur melebihi 1% berat kering maka kerikil harus dicuci terlebih dahulu;
- Agregat mempunyai bentuk yang tajam.

2.3 Bahan tambah

Bahan tambah (*admixture* dan *additive*) adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton. Tujuannya adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Bahan tambahan *admixture* berfungsi untuk memperbaiki tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton, karena sifat beton mutu tinggi yang memiliki nilai FAS yang kecil menjadikannya sulit dalam hal pengerjaan. Bahan ini ditambahkan pada saat pengadukan dan saat pelaksanaan pengecoran.

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang melarutkan gumpalan-

gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan mempunyai pengaruh dalam meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. *Superplasticizer* tidak mengubah sifat mekanis beton setelah mengeras, hanya mempengaruhi *workability* beton segar ketika proses pengecoran.

2.4 Nano material bijih besi

Nano material bijih besi adalah bentuk nano dari butiran-butiran mineral bijih besi yang terdapat di alam. Ukuran nano ini didapatkan dengan metode penghancuran partikel-partikel mineral bijih besi hingga mencapai ukuran nano yang berada pada rentang 1-100 nm. Untuk mendapatkan material berukuran nano, material bijih besi dihancurkan menggunakan alat *Planetary Ball Mill* (PBM) yang memanfaatkan energi tumbukan dari bola-bola baja yang berputar dalam kecepatan tinggi.

Tabel 2 Komposisi kimia bijih besi di Kecamatan Lhoong

Senyawa	Nama Umum	Kandungan (%)
SiO ₂	Silika	3,43
MnO	Mangan Oksida	0,55
Fe ₂ O ₃	Besi	93,88
Al ₂ O ₃	Aluminium Oksida	0,43

Sumber: Rahwanto [6].

2.5 Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan yang dihasilkan berdasarkan rancangan campuran yang direncanakan dan umur beton. Kuat tekan yang dapat dipikul oleh suatu penampang beton merupakan hasil bagi dari beban maksimum yang dapat dipikulnya dengan luas penampang beton yang memikulnya. Semakin besar kuat tekan beton maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton sampai hancur. Menurut SNI 1974:2011 Kuat tekan yang timbul dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots 1)$$

Keterangan:

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

Menurut SNI 1974:2011, penggunaan benda uji silinder berukuran 10 cm x 20 cm diperbolehkan namun harus mengalikan hasil perhitungan kuat tekan dengan faktor koreksi sebesar 1,04. Berikut ini ditampilkan tabel estimasi korelasi kuat tekan silinder beton berdasarkan diameter benda uji dengan perbandingan panjang dan diameter (L/D = 2).

Tabel 3 Estimasi korelasi kuat tekan berdasarkan diameter benda uji.

Diameter (mm)	Tinggi (L)	Faktor Koreksi
50	100	1,09
75	150	1,06
100	200	1,04
125	250	1,02
150	300	1,00
175	350	0,98
200	400	0,96
250	500	0,93
300	600	0,91

Sumber: SNI 1974:2011

3. Metode penelitian

3.1 Rancangan penelitian

Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan dengan menggunakan benda uji silinder yang berukuran 10 cm x 20 cm. Kuat tekan rencana adalah 70 MPa dengan FAS 0,3. Variasi penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen masing-masing sebesar 3%, 6% dan 10%. Pengujian dilakukan pada umur beton 7, 28 dan 56 hari. Hasil kuat tekan untuk masing-masing variasi dibandingkan dengan beton mutu tinggi normal yang tanpa penggunaan nano material bijih besi (0%).

3.2 Prosedur penelitian

3.2.1 Pemeriksaan material

Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat yang digunakan berdasarkan American Society for Testings and Materials (ASTM). Sifat – sifat fisis yang diperiksa meliputi:

- Berat jenis (ASTM C.127-93);
- Absorpsi (ASTM C.128-93);
- Berat volume (ASTM C. 127-93);
- Analisa saringan (ASTM C. 136-93); dan
- Pemeriksaan kandungan bahan organik yang dilakukan terhadap agregat halus yang didasarkan pada ASTM C. 40-7-3 (percobaan warna Abram's-

Harder) yaitu dengan cara merendamkan agregat halus bersama larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 3%.

3.2.2 Perencanaan campuran beton

Perencanaan komposisi campuran beton (*mix design*) yang digunakan merupakan hasil coba-coba (*trial and error*) dari penelitian terdahulu. Dalam penelitian ini *mix design* direncanakan berdasarkan metode perbandingan volume material pembentuk beton. Untuk rancangan campuran beton mutu tinggi ini kekuatan tekan rencana 70 MPa dengan faktor air semen 0,30. *Superplasticizer ViscoCrete 10* yang digunakan sebanyak 1,5% dari berat semen. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan diameter agregat maksimum 12 mm serta nano material bijih besi sebagai substitusi semen dengan persentase masing-masing 3%, 6% dan 10%.

3.2.3 Perencanaan benda uji

Benda uji yang direncanakan adalah beton mutu tinggi berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian kuat tekan, yang masing-masing sebanyak tiga buah silinder untuk setiap variasinya. Kuat tekan silinder yang direncanakan adalah 70 MPa. Perencanaan ukuran dan jumlah benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Ukuran dan jumlah benda uji

Variasi	Benda uji	Jumlah benda uji		
		7 hari	28 hari	56 hari
0%	10 cm x 20 cm	3	3	3
3%	10 cm x 20 cm	3	3	3
6%	10 cm x 20 cm	3	3	3
10%	10 cm x 20 cm	3	3	3

3.2.4 Pengadukan mortar

Sebelum pekerjaan pengecoran dimulai, semua material ditimbang beratnya sesuai dengan *mix design*. Pengadukan mortar dilakukan dengan memasukkan material pembentuk beton yaitu agregat kasar, pasir kasar, pasir halus, semen dan air yang telah dilarutkan *superplasticizer* secara berurutan ke dalam molen. Setelah seluruh material masuk ke dalam molen, dilakukan pengadukan sekitar 5 menit dengan kemiringan sumbu molen sekitar 45°. Setelah material teraduk rata, mortar yang dihasilkan dituang ke dalam wadah penampungan untuk dilakukan pemeriksaan.

Mortar yang telah tercampur dengan baik diukur berat volumenya dengan menimbang berat 1 liter beton segar pada timbangan yang telah disediakan. Berat volume beton segar diperiksa untuk melihat apakah berat volume

yang direncanakan sesuai dengan berat volume beton yang dihasilkan. Setelah dilakukan pemeriksaan berat volume, kemudian dilanjutkan ketahapan pengecoran beton.

3.2.5 Pembuatan benda uji

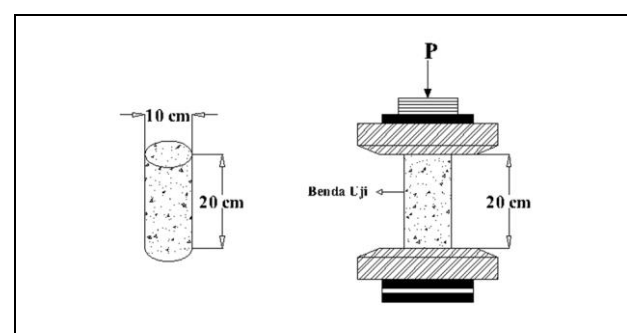
Pembuatan benda uji dilakukan dengan memasukkan mortar yang telah tercampur rata ke dalam masing-masing cetakan yang telah disiapkan. Cetakan diisi bertahap dalam tiga lapisan, kemudian dilakukan pemadatan dengan tongkat pemadat dan palu karet. Cetakan benda uji dibuka setelah 24 jam dari pengecoran dan diberi nama sesuai dengan yang telah direncanakan untuk selanjutnya ditempatkan ke tempat perawatan.

3.2.6 Perawatan benda uji

Tujuan dari perawatan benda uji adalah untuk menghindari penyusutan beton secara mendadak yang dapat menimbulkan retak rambut pada benda uji beton dan menjaga kadar air selama proses pengerasan beton. Perawatan dilakukan dengan cara perendaman selama 26 hari, 1 hari dikeringkan sebelum pengujian.

3.2.7 Pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan metode SNI 1974:2011. Benda uji pada pengujian kuat tekan adalah silinder dengan ukuran diameter 10 cm, tinggi 20 cm. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat umur 7, 28 dan 56 hari. Sebelumnya benda uji dirawat dengan direndam kemudian dikeringkan 1 hari sebelum dilakukan pengujian. Sebelum pengujian, benda uji diukur dimensi dan ditimbang beratnya. Benda uji akan mendapat tekanan pada permukaan bidang kontak yang rata dengan penambahan beban 2-4 kg/cm² perdetik, penambahan beban terus dilakukan sampai benda uji hancur. Alat untuk menguji kuat tekan adalah mesin Pembebanan *Portable Compression Testing Machine* No. Mic-10-1-12. Perhitungan kuat tekan menggunakan Rumus 2.1.



Gambar 1 Pengujian kuat tekan silinder beton

4. Hasil dan pembahasan

4.1 Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat

Pemeriksaan agregat yang dilakukan meliputi pemeriksaan sifat - sifat fisis (pemeriksaan berat volume, berat jenis dan absorpsi, susunan butiran agregat). Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa berat volume, berat jenis (SSD), berat jenis (OD) telah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Troxell [7] dan Mulyono [1], sedangkan absorpsi berada diluar batas yang ditentukan oleh Troxell. Sifat-sifat fisis material secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, maka dapat digunakan sebagai material pembentuk beton.

Tabel 5 Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat

Uji	Jenis Agregat	Nilai Diperoleh	Nilai Batas	
			Troxell (1968)	Mulyono (2005)
Berat Volume (kg/l)	Split Ø 12 mm	1,445	-	>1,2 kg/l
	Pasir Ø 2,38 mm	1,658	-	>1,2 kg/l
	Nano bijih besi	3,489	-	>1,2 kg/l
Berat Jenis (SSD)	Split Ø 12 mm	2,818	2,5-2,8	-
	Pasir Ø 2,38 mm	2,613	2,0-2,6	-
	Nano bijih besi	3,489	-	-
Berat Jenis (OD)	Split Ø 12 mm	2,770	2,5-2,8	-
	Pasir Ø 2,38 mm	2,553	2,0-2,6	-
	Nano bijih besi	3,455	-	-
Absorpsi (%)	Split Ø 12 mm	1,613	0,5-1	-
	Pasir Ø 2,38 mm	2,376	0-2	-
	Nano bijih besi	1,012	0-2	-

4.2 Proporsi campuran

Hasil perhitungan proporsi campuran beton untuk masing-masing variasi penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen dengan persentase 0%, 3%, 6% dan 10% untuk 1 m³ beton diperlihatkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Proporsi campuran beton per m³

Material	Jumlah material yang digunakan untuk Masing-masing variasi per m ³			
	0%	3%	6%	10%
Semen (kg)	600	582	564	540
Split (kg)	990,46	1000,75	1011,04	1024,77
Pasir (kg)	660,30	667,17	674,03	683,18
Air (kg)	180,00	174,60	169,20	162,00
Superplasticizer (kg)	9,00	8,73	8,46	8,10
Nano Bijih Besi (kg)	0	18,00	36,00	60,00

4.3 Pengujian beton segar

Setelah dilakukan pengadukan seluruh material secara merata, kemudian dilakukan pemeriksaan berat volume terhadap beton segar. Hasil pemeriksaan berat volume beton segar diperlihatkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Hasil pengujian berat volume beton segar

Material	Persentase Nano			
	0%	3%	6%	10%
Berat Volume (gr/ltr)	2453	2456	2448	2450

Berat volume beton segar diperiksa untuk mengontrol berat volume beton yang direncanakan sesuai dengan berat volume yang dihasilkan. Pemeriksaan berat volume dilakukan dengan menimbang berat dari beton segar yang dimasukkan ke dalam wadah yang berukuran 1 liter

4.4 Hasil pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7, 28, dan 56 hari. Sebelum dilakukan pengujian masing-masing benda uji diukur dimensi dan beratnya. Data hasil pengujian kuat tekan beton dengan penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen dapat dilihat pada Tabel 8.

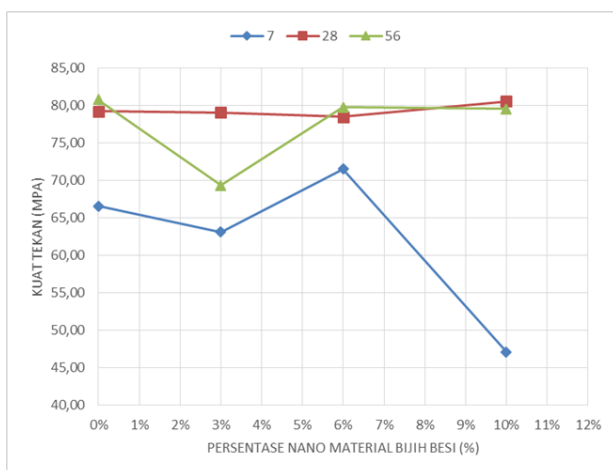
Tabel 8 Hasil pengujian kuat tekan

Umur Beton (hari)	Persentase Nano Bijih Besi (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata Terhadap Beton Normal	
			(%)	Selisih (%)
7	0	66,61	100,00	0,00
	3	63,13	94,78	-5,22
	6	71,56	107,43	7,43
	10	47,13	70,76	-29,24
28	0	79,25	100,00	0,00
	3	79,09	99,80	-0,20
	6	78,50	99,05	-0,95
	10	80,55	101,64	1,64
56	0	80,77	100,00	0,00

3	69,36	85,87	-14,13
6	79,78	98,77	-1,23
10	79,54	98,48	-1,52

Tabel 8 menunjukkan bahwa kuat tekan beton mutu tinggi dengan penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen dengan persentase 3%, 6% dan 10% secara umum mengalami sedikit penurunan terhadap beton mutu tinggi normal yang tanpa penggunaan nano material bijih besi. Namun, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 1,64% pada benda uji dengan variasi penggunaan nano material bijih besi 10% dan umur beton 28 hari. Peningkatan sebesar 7,43% terjadi pada benda uji dengan variasi 6% dan umur beton 7 hari.

Grafik perbandingan hubungan kuat tekan pada masing-masing variasi dan masing-masing umur beton dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik perbandingan kuat tekan beton pada masing-masing variasi penggunaan nano material bijih besi terhadap umur beton

Dari Gambar 2 pada grafik perbandingan kuat tekan masing-masing variasi dengan umur beton, dapat dilihat bahwa pada umur beton 28 hari menunjukkan hasil yang relatif stabil untuk setiap variasinya, untuk variasi 3% mengalami penurunan sebesar 0,2% dari beton normal, variasi 6% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 0,95% dari beton normal, sedangkan untuk variasi 10% mengalami peningkatan kekuatan sebesar 1,64% dari beton normal.

5. Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian

pengaruh penggunaan nano material bijih besi terhadap kuat tekan beton mutu tinggi adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan terbesar diperoleh dari beton mutu tinggi dengan penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen sebesar 10% pada umur beton 28 hari dengan kekuatan 80,55 MPa. Kekuatan ini meningkat sebesar 1,64% dari beton mutu tinggi tanpa penggunaan nano material bijih besi di umur yang sama.
2. Persentase optimum penggunaan nano material bijih besi sebagai pengganti semen terjadi pada 6%. Benda uji dengan persentase penggunaan nano material bijih besi dengan persentase 6% menunjukkan hasil kuat tekan dengan kenaikan kekuatan paling stabil pada masing-masing umur beton jika dibandingkan dengan persentase 3% dan 10%.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna secara umum dalam ilmu tentang bahan bangunan dan khususnya teknologi beton serta dapat diterapkan secara praktis di lapangan.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan nano material bijih besi sebagai substitusi semen dengan variasi yang berbeda dari penelitian ini.
2. Penelitian dapat dilanjutkan dengan pengujian yang lebih banyak sehingga dapat dicari keunggulan dari penggunaan bahan ini.
3. Disarankan menggunakan material bijih besi dari lokasi lain yang memiliki kandungan silika yang lebih besar.

6. Daftar pustaka

- [1] Mulyono T., 2005, *Teknologi Beton*, Andi: Yogyakarta.
- [2] Dewi E.F., Astari K.T., dan Lie H.A., 2014, *Pengaruh Komposisi Nano Semen Pada Perilaku Beton*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [3] Hernando F., 2009, *Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Superplasticizer Dan Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Dengan Fly Ash*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [4] Tjokrodinuljo K., 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri: Yogyakarta.
- [5] Pujiyanto A., 2010, *Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Superplasticizer dan Fly Ash*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol. 13, No. 2, 171-180, November 2010.
- [6] Rahwanto A., Yahya M., dan Jalil Z., 2013, *Magnetic Behavior of Natural Fe₂O₃ from Lhoong*

Iron Ore Mining Area, Aceh Province, Indonesia,
Jurnal of Mining, Volume 2013, Article ID 212803.

- [7] Troxel, 1968, *Concrete Technology Properties of Material*, London.

