

## PERILAKU MEKANIK BETON YANG MENGANDUNG *FLY ASH* DAN PASIR *SLAG* NIKEL PENGGANTI AGREGAT HALUS

Syamsul Bahri Ahmad<sup>1</sup>, Rita Irmawaty<sup>2</sup>, Sumarni Hamid Aly<sup>3</sup> dan A. Arwin Amiruddin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Doktor, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,  
Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Sul-Sel

<sup>2,3,4</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin,  
Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Sul-Sel

email: [syamba\\_68@poliupg.ac.id](mailto:syamba_68@poliupg.ac.id)  
email: [rita\\_irmaway@yahoo.co.id](mailto:rita_irmaway@yahoo.co.id)  
email: [marni\\_hamidaly@yahoo.com](mailto:marni_hamidaly@yahoo.com)  
email: [a.arwinamiruddin@yahoo.com](mailto:a.arwinamiruddin@yahoo.com)

### Abstrak

Pemanfaatan *fly ash* dan pasir *slag* nikel diharapkan menjadi solusi pengurangan penggunaan semen dan pasir sungai untuk mencegah kerusakan ekosistem sungai akibat eksploitasi yang tidak terkendali. Penelitian ini mengkaji perilaku mekanik beton (kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas) terhadap sejumlah benda uji silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Beton dengan semen OPC tanpa *fly ash* dan pasir sungai sebagai beton kontrol (OPC-Pasir), beton dengan semen OPC dan pasir *slag* nikel 50 % (OPC-50GNS) dan beton dengan *fly ash* 15% dan 30% dan pasir *slag* nikel 50 % (15FA-50GNS dan 30FA-50GNS). Kuat tekan beton, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton dievaluasi pada umur 28 hari berdasarkan faktor air semen 0,45 dan 0,25. Hasil penelitian menunjukkan beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS mengalami peningkatan kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastis dibandingkan beton OPC-Pasir sebagai beton kontrol. Peningkatan kinerja dipengaruhi oleh faktor air semen, dimana persentase peningkatan yang terbesar terjadi pada beton dengan faktor air semen 0,45 dibandingkan dengan faktor air semen 0,25. Kinerja mekanik beton yang mengandung *fly ash* kelas C pengganti semen hingga 30% dan *slag* nikel pengganti pasir sungai hingga 50% yaitu OPC-GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS adalah lebih baik dibandingkan dengan beton OPC-Pasir.

**Kata kunci:** perilaku mekanik, *slag* nikel, *fly ash*.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Industri beton saat ini menjadi pengguna sumber daya alam kedua terbesar di dunia dengan perkiraan sekitar 25 miliar ton beton diproduksi setiap tahun [Wu, Z., 2014]. Kebutuhan beton yang semakin tinggi, mendorong teknokrat beton untuk terus mengkaji peningkatan kinerja beton dengan memanfaatkan limbah industri seperti *fly ash*, *silica fume*, *blast-furnace slag* maupun limbah pertanian seperti abu sekam padi (*rice husk ash*) dalam produksi beton. Isu *global warning* dan lingkungan menjadi tujuan utama untuk membatasi penggunaan semen maupun agregat alam dalam produksi mortar dan beton. Menurut Meyer, C. (2002), produksi satu ton semen membebaskan sekitar satu ton CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Setiap tahun lebih dari 4 miliar ton semen diproduksi yang menghasilkan sekitar 8 % emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dunia [Lehne, J., 2018]. Selain itu penggunaan material alam seperti kerikil, pasir sungai dan batu kali yang diolah menjadi batu pecah dan pasir buatan dalam produksi beton secara terus menerus diperkirakan juga akan menimbulkan dampak kerusakan ekosistem sungai akibat eksploitasi yang tak terkendali [Lehne, J., 2018]. Di sisi lain, pemanfaatan limbah industri seperti *slag* nikel sebagai material konstruksi belum banyak dilakukan karena ketersediaan data yang masih terbatas maupun adanya batasan penggunaan limbah tersebut yang masih ditengarai sebagai material beracun kategori B3 (Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun).

Dalam perencanaan beton, kekuatan mekanik merupakan parameter yang sangat penting selain aspek durabilitas dalam menilai kinerja beton. Kekuatan mekanik sangat dipengaruhi sejumlah faktor seperti proporsi campuran, jenis semen, agregat dan bahan tambah atau *admixture* (ACI318-08). Pemanfaatan *slag* nikel sebagai pengganti agregat kasar dan agregat halus pada produksi beton mutu tinggi menunjukkan sifat beton jangka pendek yang lebih baik [Tanijaya, J., 2007]. Edwin,

R.S.,(2019) menyimpulkan bahwa *slag* nikel sebagai agregat halus pengganti pasir menunjukkan peningkatan kuat tekan dan workability beton. Selain itu, *slag* nikel sebagai pengganti agregat kasar menunjukkan kinerja mekanik beton yang lebih baik dibanding beton kontrol [Salain, I.M.A.K., 2015]. Singh, G. (2015), menyimpulkan bahwa penggunaan butiran slag (*Granulated Blast Furnace Slag / GBFS*) sebagai pengganti pasir dengan persentase tertentu memberi keuntungan dari aspek ekonomi dan meningkatkan kinerja beton jangka panjang di lingkungan normal dan laut. Pada penggunaan dua jenis limbah industri yaitu *fly ash* dan *Ground granulated blast furnace slag* (GGBS) dalam campuran beton, hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan kuat tekan dan durabilitas beton di lingkungan air laut [Kumar, M.CS., 2015]. Nie, Q. (2014) mengkaji kinerja durabilitas dan mekanik beton terhadap lingkungan agresif di Cina Barat dengan memanfaatkan material limbah industri *fly ash* dan *slag*. Hasil yang diperoleh menunjukkan ketahanan sulfat meningkat, permeabilitas beton menurun dan kekuatan mekanik sama dengan beton semen OPC (*Ordinary Portland Cement*). Namun secara khusus, penggunaan *fly ash* kelas C dan *slag* nikel sebagai pengganti agregat halus dalam kajian kinerja mekanik beton dengan faktor air semen yang berbeda belum dilakukan.

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji perilaku mekanik beton (kuat tekan, kuat tarik tidak langsung dan modulus elastis) yang mengandung *fly ash* 15% dan 30 % dan butiran slag nikel mengganti pasir dengan persentase 0% dan 50% dibandingkan dengan beton semen OPC tanpa *fly ash* dan *slag* nikel berdasarkan faktor air semen 0,25 dan 0,45.

### METODOLOGI

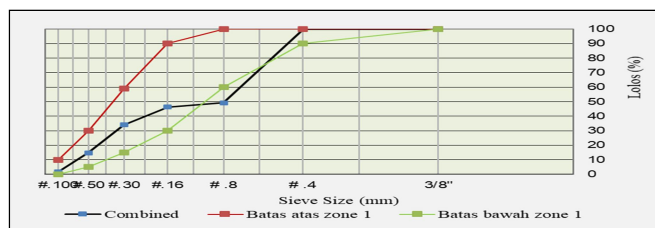
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

### Material

Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) tipe I merupakan produksi Semen Bosowa, Sulawesi Selatan. *Fly ash* yang diambil dari limbah hasil pembakaran batu bara pada PLTU Punagaya di Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan. Hasil uji XRF *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini digolongkan sebagai *fly ash* kelas C diperlihatkan dalam tabel 1. Selanjutnya *slag* nikel sebagai pengganti pasir berasal dari PT.Vale, Soroako, Sulawesi Selatan, Indonesia. Tanijaya, J, (2007) mengatakan bahwa secara umum komposisi *slag* nikel terdiri dari silikon (40%), besi (30%) dan aluminium oksida (2.5%). Hasil pengujian komposisi kimia *slag* nikel yang dilakukan oleh Banda, R. Dkk, (2018), diperlihatkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi kimia material [PT Bosowa, Banda, R.dkk (2018)]

Senyawa	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	R.45	SO <sub>3</sub>	loI
<i>Fly Ash</i> (%)	34.9	10.9	12.41	20.5	5.36	0.9	0.71	0.12	4.8	2.15	1.1
<i>Slag Nikel</i> (%)	46.73	3.93	21.73	0.88	-	-	-	-	-	-	-



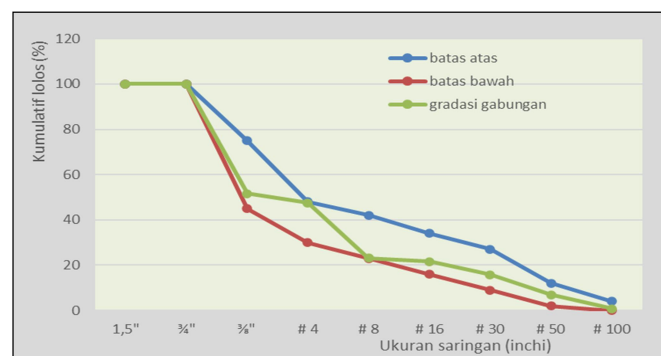
**Gambar 1.** Gradasi gabungan pasir sungai dan slag nikel dalam zone 1

Pasir berasal dari sungai Lasape Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan. Batu pecah berasal dari sungai Bili-Bili, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Karakteristik pasir sungai, butiran slag nikel dan batu pecah diperlihatkan pada tabel 2. Dari analisis penggabungan gradasi maka prosentase maksimal

slag nikel yang dapat digunakan adalah 50% dengan gradasi mendekati zone 1 (kasar) seperti pada gambar 1. Selanjutnya gradasi penggabungan agregat kasar dan halus dengan ukuran maksimum 20 mm diperlihatkan pada gambar 2.

**Tabel 2.** Karakteristik agregat

No	Uraian	Pasir Sungai	Pasir Slag	Batu Pecah
1	Kadar Lumpur	6,01	0,52	0.61
2	Kadar Organik	No. 1	No. 1	-
3	Kadar Air	0,67	0,98	4.46
4	Berat Volume Rata-Rata	1.58		1.72
5	Absorpsi	6,38	0,40	2.25
6	Berat Jenis Spesifik			
	a. BJ. Curah	2,40	3,33	2.66
	b. BJ. Kering Permukaan	2,26	3,32	2.60
	c. BJ. Semu	2,64	3,36	2.76
7	Modulus Kehalusan	2,08 (zone 3)	4,99	6.88



**Gambar 2.** Gradasi gabungan pasir sungai, slag nikel dan batu pecah dengan maksimum size 20 mm

### Rancangan Campuran

Rancangan campuran beton dibuat dengan benda uji silinder diameter 100 mm dengan tinggi 200 mm berdasarkan faktor air 0.25 dan 0.45. Komposisi campuran beton dengan faktor air semen 0,25 dan 0.45 diperlihatkan masing-masing pada tabel 3 dan pada tabel 4.

**Tabel 3.** Komposisi campuran beton untuk 1 m<sup>3</sup> dengan fas. 0.45

No	Material	OPC-Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	OPC-GNS50 (kg/m <sup>3</sup> )	15FA-50GNS (kg/m <sup>3</sup> )	30FA-50GNS (kg/m <sup>3</sup> )
1	Air	175,00	175,00	175,00	175,00
2	Semen	388,89	388,89	330,56	272,22
3	Fly Ash	-	-	40,74	81,48
4	Pasir	603,88	440,97	440,97	440,97
5	Pasir Slag	-	440,97	440,97	440,97
6	Batu Pecah	1090,34	940,90	940,90	940,90
7	Viscocrete 3115N	1,17	1,17	1,17	1,17

**Tabel 4.** Komposisi campuran beton untuk 1 m<sup>3</sup> dengan fas 0.25

No	Material	OPC-Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	OPC-GNS50 (kg/m <sup>3</sup> )	15FA-50GNS (kg/m <sup>3</sup> )	30FA-50GNS (kg/m <sup>3</sup> )
1	Air	175,00	175,00	175,00	175,00
2	Semen	700,00	700,00	595,00	490,00
3	Fly Ash	-	-	73,33	146,67
4	Pasir	513,72	375,14	375,14	375,14
5	Pasir Slag	-	375,14	375,14	375,14
6	Batu Pecah	927,56	800,43	800,43	800,43
7	Viscocrete 3115N	2,10	2,10	2,10	2,10

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

### Tingkat Kelecekan (*Workability*)

Untuk mengetahui tingkat kelecekan atau kemudahan pelaksanaan pada beton segar, maka dilakukan uji slump beton. Pengukuran nilai slump beton segar diperlihatkan pada gambar 3.



**Gambar 3.** Pengukuran slump beton segar

Hasil pengukuran slump pada setiap campuran beton diperlihatkan pada tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai slump beton segar

Faktor Air Semen	Campuran	Slump (mm)
0,45	OPC-PASIR	120
	OPC-GNS50	130
	15FA-50GNS	140
	30FA-50GNS	145
0,25	OPC-PASIR	100
	OPC-GNS50	120
	15FA-50GNS	130
	30FA-50GNS	140

Berdasarkan pada tabel 5, terlihat bahwa nilai slump mengalami peningkatan dengan penambahan *fly ash* pada campuran beton. Hal ini memberi indikasi adanya pengurangan luas permukaan pasta akibat penggantian *fly ash* dengan semen dan pasir dengan *slag* nikel. Demikian pula dengan faktor air semen yang semakin kecil, menyebabkan nilai slump mengalami penurunan akibat peningkatan jumlah semen dalam campuran dengan kondisi jumlah air yang sama. Hal ini terlihat dari nilai slump beton yang mengalami penurunan pada campuran dengan faktor air semen 0,25 dibandingkan campuran dengan faktor air semen 0,45. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *fly ash* dapat meningkatkan workability beton.

### Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 3, 7 dan 28 hari seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4, mengacu pada SNI 1974-2011. Beton direndam hingga sehari sebelum dilakukan uji tekan dengan metode perawatan beton mengacu pada standar ASTM C192 / C192M – 14.



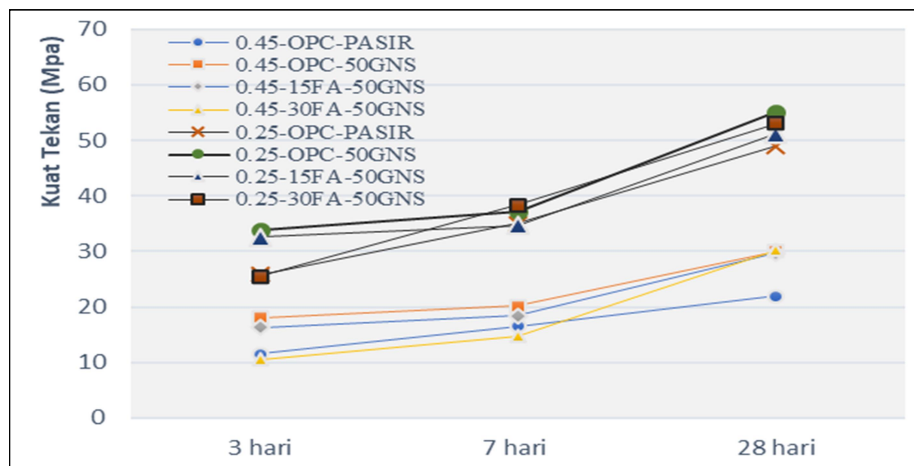
**Gambar 4.** Pengujian kuat tekan beton

Hasil uji kuat tekan beton dari setiap campuran dengan diperlihatkan pada tabel 6. Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan kuat tekan dengan umur beton seperti pada gambar 5. Dari gambar 5, secara umum terjadi peningkatan kuat tekan yang lebih tinggi pada setiap umur beton dibandingkan dengan beton kontrol. Kecuali campuran 30FA-50GNS pada umur 3 dan 7 hari dengan fas 0,45, 15FA-50GNS pada umur 7 hari dan 30FA-50GNS pada umur 3 hari dengan faktor air semen 0.25. Namun sebaliknya, pada umur 28 hari beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS mempunyai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton OPC-Pasir.

**Tabel 6.** Kuat tekan beton berdasarkan faktor air semen

Faktor Air Semen	Campuran	Kuat Tekan Beton (Mpa)		
		3 Hari	7 Hari	28 Hari
0.45	OPC-PASIR	11.55	16.51	21.97
	OPC-50GNS	18.11	20.19	30.05
	15FA-50GNS	16.34	18.45	29.68
	30FA-50GNS	10.53	14.70	30.23
0.25	OPC-PASIR	25.79	35.02	48.92
	OPC-50GNS	33.85	37.23	55.18
	15FA-50GNS	32.57	34.68	51.16
	30FA-50GNS	25.51	38.30	53.03

Beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS mengalami peningkatan kuat tekan dengan persentase masing-masing adalah 36,7%, 35% dan 37,6% pada faktor air semen 0,45. Sedang pada faktor air semen 0,25 terjadi persentase peningkatan masing-masing yaitu 12,8%, 4,6% dan 8,4% terhadap beton kontrol. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa beton yang mengandung slag nikel hingga 50% mengganti pasir dan fly ash kelas C hingga 30% memberi kuat tekan yang lebih tinggi dari beton OPC-Pasir pada umur 28 hari.



**Gambar 5.** Hubungan kuat tekan dengan umur beton

### Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik beton dilakukan pada umur 28 hari seperti yang ditunjukkan dalam gambar 6. Hasil pengujian kuat tarik belah beton diperlihatkan pada tabel 7.

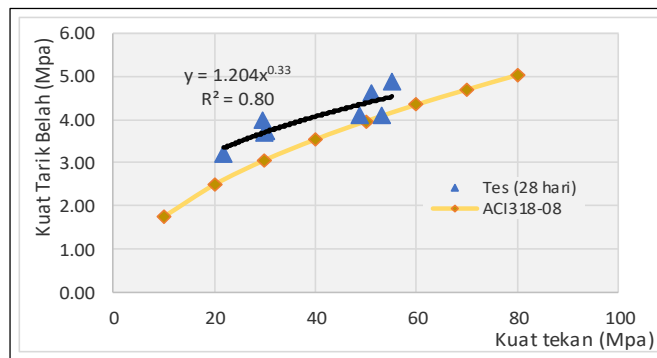
**Tabel 7.** Kuat tarik belah beton dengan faktor air semen

No	Campuran	Kuat Tarik Belah Beton (Mpa)	
		fas 0,45	fas 0,25
1	OPC-PASIR	3.22	4.09
2	OPC-50GNS	3.68	4.87
3	15FA-50GNS	3.97	4.60
4	30FA-50GNS	3.72	4.10



**Gambar 6.** Pengujian tarik belah belah beton

Dari tabel 7 terlihat bahwa kuat tarik belah beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS lebih besar dari kuat tarik beton kontrol OPC-Pasir. Persentase peningkatan masing-masing 14,3%, 23,5% dan 15,7% pada faktor air semen 0.45 dan 19%, 12,3 dan 0,27% pada faktor air semen 0,25. Selanjutnya berdasarkan tabel 7, kuat tarik belah beton dapat dihubungkan dengan kuat tekan dalam AC318-08 seperti pada gambar 7. Hubungan yang terjadi antara kuat tarik belah  $f_{ct}$  dengan kuat tekan beton  $f_c$  dapat dinyatakan dengan persamaan  $f_{ct} = 1,204.f_c^{0.33}$  dengan  $R^2 = 0,80$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kuat tarik belah beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS lebih baik dibanding beton kontrol OPC-Pasir.



**Gambar 7.** Hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan beton

**Modulus Elastis Beton**

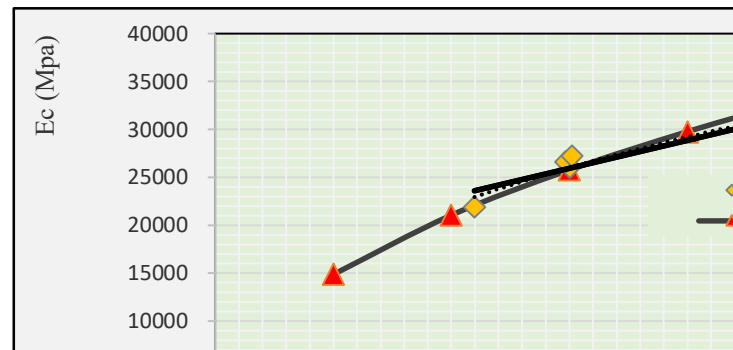
Pengujian modulus elastis beton terhadap sampel silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm dilakukan pada umur 28 hari. Hasil perhitungan nilai modulus elastis beton  $E_c$  setiap variasi beton diambil dari nilai rata-rata sampel, diperlihatkan pada tabel 8. Berdasarkan tabel 8 terlihat bahwa nilai  $E_c$  beton OPC-50GNS dan FA-50GNS hasil tes pada fas 0,45 lebih besar dibandingkan dengan nilai  $E_c$  hasil perhitungan ACI318-08. Hasil sebaliknya terjadi pada faktor air semen 0.25.

**Tabel 8.** Nilai modulus elastis beton  $E_c$

Campuran Beton	$f_c$ (Mpa)	Modulus Elastis Beton, $E_c$	
		Tes	ACI318-08
0.45-OPC-PASIR	21.97	21861	22032
0.45-OPC-50GNS	30.05	26046	25763
0.45-15FA-50GNS	29.68	26565	25605
0.45-30FA-50GNS	30.23	27183	25842
0.25-OPC-PASIR	48.92	31944	32872
0.25-OPC-50GNS	55.18	31964	34912
0.25-15FA-50GNS	51.16	32499	33618
0.25-30FA-50GNS	53.03	32666	34225

Namun demikian, beton OPC-50GNS, 15FA-GNS dan 30FA-50GNS menghasilkan nilai  $E_c$  yang lebih besar dari  $E_c$  beton OPC-Pasir sebagai beton kontrol. Dengan demikian dapat disimpulkan

bahwa modulus elastis beton OPC-50GNS, 15FA-GNS dan 30FA-50GNS lebih tinggi dari beton kontrol pada fas 0,45 dan fas 0,25. Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan nilai  $E_c$  dengan kuat tekan beton  $f_c$  setiap variasi beton seperti pada gambar 8. Berdasarkan gambar 9, terlihat  $E_c$  hasil tes cenderung mengikuti nilai  $E_c$  (ACI318-08) dan diperoleh sebuah persamaan regresi yang menyatakan hubungan  $E_c$  dengan kuat tekan beton hasil tes yang dinyatakan dengan  $E_c = 6606,4 * f_c^{0,4027}$  (Mpa) dengan  $R^2 = 0.96$ .



Gambar 8. Hubungan modulus beton  $E_c$  dengan kuat tekan beton  $f_c$

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan :

- 1) Kuat tekan beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS mengalami peningkatan dengan persentase masing-masing adalah 36,7%, 35% dan 37,6% pada faktor air semen 0,45. Sedang pada faktor air semen 0,25 terjadi persentase peningkatan masing-masing yaitu 12,8%, 4,6% dan 8,4% terhadap beton kontrol.
- 2) Kuat tarik belah beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS mengalami peningkatan dengan persentase masing-masing adalah 14,3%, 23,5% dan 15,7% pada faktor air semen 0,45. Sedang pada faktor air semen 0,25 persentase peningkatan masing-masing yaitu 19%, 12,3 dan 0,27% pada faktor air semen 0,25.
- 3) Modulus elastis beton OPC-50GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS lebih besar dari beton OPC-pasir pada faktor air semen 0,45 dengan persentase peningkatan masing-masing yaitu 19,15%, 21,5% dan 24,4%. Sebaliknya pada faktor air semen 0,25 beton OPC-50GNS meningkat 0,1%, beton 15FA-50GNS menurun 0,18% dan beton 30FA-50GNS meningkat 2,3% terhadap beton kontrol
- 4) Efektifitas peningkatan kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastis terhadap beton kontrol dipengaruhi oleh faktor air semen, dimana persentase peningkatan yang terbesar terjadi pada beton dengan faktor air semen 0,45 dibandingkan dengan faktor air semen 0,25.
- 5) Kinerja mekanik beton yang mengandung *fly ash* kelas C pengganti semen hingga 30% dan *slag* nikel pengganti pasir sungai hingga 50% yaitu OPC-GNS, 15FA-50GNS dan 30FA-50GNS adalah lebih baik dibandingkan dengan beton OPC-Pasir sebagai beton kontrol.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-08, 2008, *Building Code Requirements for Structural Concrete, Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI Committee 318, USA.
- ASTM C 469 – 02, 2002, *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression* . ASTM,USA
- ASTM C127-15, 2015, *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM C29 / C29M - 17a, 2017, *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. American Society for Testing and Materials, USA .
- ASTM C192 / C192M – 14, 2014, *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.*, American Society for Testing and Materials, USA

- Banda, R., Tjaronge, M.W., Djameluddin, A.R. and Muhiddin, A.B., 2018, Corrosion Behavior of Reinforcing Steel Bar Embedded in Concrete With Nickel Slag Course Aggregates . *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Volume 9, Issue 9, pp. 1573–1581, September 2018,.
- Edwin, R.S., Ngii, E., Talanipa, R., Masud, F. and Sriyani, R., 2019, Effect of nickel slag as a sand replacement in strength and workability of concrete . *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 615, 012014.
- Kumar, M.C.S., Kumaran, A.S. and Azhagan, A.K., 2015, Strength and Durability Studies on Fly Ash Concrete in Sea Environment . *International Journal Of Core Engineering & Management (IJCEM)* Volume 2, Issue 5.
- Lehne, J. and Preston, F., 2018, *Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete* . Chatham House Report, London.
- Meyer, C., 2002, Concrete and Sustainable Development . Special Publication ACI 206, *Concrete Materials Science to Application – A Tribute to Surendra P. Shah*.
- Nie, Q., Zhou, C., Shu, X., He, Q. and Huang, B., 2014. *Chemical, Mechanical and Durability Properties of Concrete with Local Mineral Admixtures under Sulfate Environment in Northwest China* . *Materials 2014* ISSN 1996-1994, 7, 3772-3785.
- Salain, I.M.A.K., Mustika, W. dan Sudarsana, K., 2015, Mechanical Properties of Concrete Using Nickel Slag As Coarse Aggregate . *The 5th Environmental Technology and Management Conference Green Technology towards Sustainable Environment*, November 23 - 24, 2015, Bandung, Indonesia.
- Singh, G., Das S., Ahmed, A.A., Saha, S., Karmakar, S., 2015, Study of Granulate Blast Furnace Slag as Fine Aggregates in Concrete for Sustainable Infrastructure. *ScinceDirect. Procedia Social and Behavioral Scinces* 195, 2272-2279.
- Shetty, M.S., 2005. *Concrete Technology Theory And Practice*. S. Chand & Company Ltd. 7361 055 ISBN : 81-219-0003-4. , Ram Nagar, New Delhi-110
- SNI 1970-2008, 2008, *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat* . Standar Nasional Indonesia. Badan Standardisasi Nasional. BSN.Indonesia
- SNI 1974-2011, 2011, *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder* . Standar Nasional Indonesia. Badan Standardisasi Nasional. BSN.
- SNI 1972-2008, 2008, *Cara uji slump beton*. Standar Nasional Indonesia. Badan Standardisasi Nasional. BSN. Indonesia.
- SNI 03-2491-2002, 2002, *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*”. Standar Nasional Indonesia. Badan Standardisasi Nasional. BSN. Indonesia.
- Tanjaya, J. and Hardjito, D., 2007, *The Short-Term Properties of Nickel Slag-Aggregate High Strength Concrete* . *Conference on Sustainable Building South East Asia*, 5-7 November 2007, Malaysia.
- Wu, Z., 2014, The Cement Sustainability Initiative, CSI-Recycling Concrete. [https://www.researchgate.net/post/Whats the annual consumption of concrete in the world](https://www.researchgate.net/post/Whats_the_annual_consumption_of_concrete_in_the_world). ISBN: 978-3-940388-49-0, diakses tanggal 28 Oktober 2018.