

Prosiding

SIMPOSIUM NASIONAL TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR Abad ke-21

Volume 1, Januari 2021



**SIMPOSIUM NASIONAL
TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR**

**Inovasi Teknologi Infrastruktur
Menuju Masyarakat yang Maju dan Tangguh**

25-26 Januari 2021

**Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada**

Diselenggarakan oleh:



Bersama dengan:



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Prosiding “Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) Abad 21” ini berhasil diterbitkan. Prosiding ini merupakan kumpulan makalah pada Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) yang diselenggarakan pada tanggal 25-26 Januari 2021.

Seiring berkembangnya pembangunan infrastruktur Indonesia, tujuan seminar ini adalah sebagai media diskusi juga untuk meningkatkan kontribusi para akademisi dan profesional dalam pengembangan teknologi infrastruktur yang terintegrasi, berdayaguna, dan berwawasan lingkungan. Terdapat banyak sumber bencana yang mengancam berbagai wilayah Indonesia sehingga upaya mitigasi dan pemulihan pasca bencana melalui pengembangan sistem dan infrastruktur adalah hal sensial yang perlu dilakukan dengan didukung pengetahuan teknologi yang holistik dan mudah diterapkan.

“Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur (SNTI) Abad 21”, mengajak kalangan untuk berbagi pengetahuan tentang ide, temuan, capaian, dan inovasi teknologi infrastruktur yang bermanfaat untuk mencapai kesejahteraan dan ketahanan bencana masyarakat Indonesia. Dalam hal ini, akademisi, praktisi, dan industri dalam bidang Teknik Sipil dan Lingkungan memiliki peran untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Terima kasih kami sampaikan kepada semua penulis yang telah menyumbangkan makalahnya dalam prosiding ini. Terima kasih pula kami sampaikan kepada seluruh dosen dan mahasiswa Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang telah terlibat dalam perencanaan dan penyelenggaraan seminar serta telah bekerja keras dalam pembuatan prosiding ini, baik dari segi naskah maupun tampilan yang disajikan secara apik. Kami mengucapkan mohon maaf bila terdapat kekeliruan dalam penerbitan prosiding ini. Kami berharap, seminar dan prosiding ini dapat berguna dan memberikan manfaat bagi banyak pihak, baik untuk sekarang maupun waktu yang akan datang.

Yogyakarta, Januari 2021

Ketua Panitia

Angga Fajar Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

STRUKTUR KEPANITIAAN

PENANGGUNG JAWAB : Prof. Dr. Ir. Joko Sujono, M.Eng.

PENGARAH :

- 1) Ir. Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 2) Prof. Ir. Hrc. Priyosulistyo, M.Sc., Ph.D.
- 3) Prof. Ir. Sigit Priyanto, M.Sc.
- 4) Dr. Ir. Istiarto, M.Eng.
- 5) Dr. Ir. Budi Kamulyan, M.Eng.
- 6) Dr. Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.

PANITIA PELAKSANA :

Ketua : Angga Fajar Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

Sekretaris : Endita Prima Ari Pertiwi, S.T., M.Eng., Ph.D.

Komite Paper :

- 1) Ashar Saputra, S.T., M.T., Ph.D.
- 2) Arief Setiawan Budi Nugroho, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 3) Imam Muthohar, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 4) Dr. Inggar Septia Irawati, S.T., M.Eng.
- 5) Intan Supraba, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 6) Dr. Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.
- 7) Fikri Faris, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 8) Johan Syafri Mahathir Ahmad, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 9) Dr.Eng. Sito Ismanti, S.T., M.Eng.
- 10) Karlina, S.T., M.Eng., Ph.D.

Acara :

- 1) Ni Nepi Nyoman Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 2) Tantri Nastiti Handayani, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 3) M. Rizka Fahmi Amrozi, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 4) Kartika Nur Rahma Putri, S.T., M.T.
- 5) Nurul Alvia Istiqomah, S.T., M.S

DEWAN REDAKSI

:

- 1) Arief Setiawan B. N., S.T., M.Eng., Ph.D.
- 2) Dr. Inggar Septhia Irawati, S.T., M.T.
- 3) Intan Supraba, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 4) Angga Fajar Setiawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 5) Endita Prima Ari Pratiwi, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 6) Johan Syafri Mahatir, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 7) Dr. Eng. Sito Ismanti, S.T., M.Eng.
- 8) Karlina, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 9) Rizka Fahmi Amrozi, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 10) Ashar Saputra, S.T., M.T., Ph.D.
- 11) Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 12) Imam Muthohar, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 13) Fikri Faris, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 14) Dr. Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.
- 15) Ni Nyoman Nepi Marleni, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 16) Tantri Nastiti Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.
- 17) Kartika Nur Rahma Putri, S.T., M.T.
- 18) Nurul Alvia Istiqomah, S.T., M.Sc.
- 19) Dr.Eng.Ir.Eka Juliafad, ST.,M.Eng.,IPM
- 20) Dr. Eng. Nevy Sandra, ST, M.Eng
- 21) Dr. Gusta Gunawan, S.T., M.T.
- 22) Ade Sri Wahyuni, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 23) Lindung Zalbuin Mase, S.T., M.Eng., Ph.D.
- 24) Dr. Lisa Oksri Nelfia, ST, MT, MSc
- 25) Dr. Ir. Bambang Endro Yuwono, MS
- 26) Dr. Eng. Rita Irmawaty, S.T., M.T.
- 27) Dr. Eng. Fakhruddin, ST, MT
- 28) Dr. Chusnul Arif, STP., M.Si
- 29) Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng
- 30) Nidiasari, S.T.,M.T
- 31) Rina Yuliet, S.T.,M.T

- 32) Budijanto Widjaja, Ph.D
- 33) Dr. Eng. Mia Wimala
- 34) Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.
- 35) Dr.-Ing. Bobby Minola Ginting
- 36) Tri Basuki Joewono, Ph.D.
- 37) Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D.
- 38) Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, S.T., M.T.
- 39) Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.
- 40) Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.
- 41) Dr. Techn. Umboro Lasminto, S.T., M.T
- 42) I Putu Gustave Suryantara Pariartha, S.T., M. Eng., Ph.D
- 43) Ir. Teddy Theryo, MSCE, PE
- 44) Hartanto Wibowo, S. T., M. A. Sc., Ph. D, P. E.
- 45) Dr. Rijalul Fikri
- 46) Chandra Setyawan, S.Tp., M.Eng., Ph.D
- 47) Dr. Faizal Wira Rohmat
- 48) Neil Andika, S.T., M.Sc.
- 49) Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Eng
- 50) Raihan Pasha Isheka, S.T., M. Sc.



SIMPOSIUM NASIONAL
TEKNOLOGI INFRASTRUKTUR

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

ISBN 978-623-91262-1-6 (no.jil.lengkap EPUB)



9 786239 126216

ISBN 978-623-91262-2-3 (jil.1 EPUB)



9 786239 126223

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
STRUKTUR KEPANITIAAN	iv
DAFTAR ISI	vii
 TEMA 1 – GREEN INFRASTRUCTURE AND MATERIAL ENGINEERING	
Inovasi Beton Ringan dengan Limbah <i>Styrofoam</i> dan <i>Fly Ash</i> T. B. H. Suntadi, C. Octavianus, E. D. Widjaja	1
Perilaku Mekanik dan Ketahanan Beton Berbahan Pasir <i>Slag Nikel</i> dan <i>Fly Ash</i> T. Priono, R. Irmawaty, Fakhruddin	6
Pengujian Variasi Tipe Sambungan dengan Perekat Labur terhadap Kuat Geser Balok Bambu Laminasi H. B. B. Kuncoro, Z. Darwis, D. Alwan	12
Pemanfaatan Material Limbah <i>Plastic Optical Fiber (POF)</i> dalam Campuran Beton Normal Sesuai SNI 7656:2012 P. R. Putrianti, A. A. Setiawan, P. Melati. R., N. Lyvia	19
Analisa Kekuatan Sambungan pada Sistem Komposit LVL Kayu Nangka dengan Beton Pracetak D. P. Sari, R. Wanara, Zulfiadi	24
Pengaruh Penambahan Abu Batu Sebagai Pengisi sebagai Pengisi terhadap Kuat Tekan dan Pola Kerusakan pada Beton Tanpa Pasir A. Setiawan, S. Winarno	29
Compressive and Tensile Creep of Glued-Laminated Bamboo Ngudiyono, B. Suhendro, A. Awaludin, A. Triwiyono	35
Kinerja Bekisting Sistem (PERI) pada Pekerjaan Struktur Bunker Ruang Teleterapi <i>Linear Accelerator (LINAC)</i> : (Studi pada Rumah Sakit Umum Daerah Mangusada Badung) I. G. L. B. Eratodi, A. Triwiyono	41

Perilaku Mekanik dan Ketahanan Beton Berbahan Pasir Slag Nikel dan *Fly Ash*

T. Priono*, R. Irmawaty, Fakhruddin

Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, INDONESIA

*Corresponding author: d11116012teguh@gmail.com

INTISARI

Isu pemanasan global dan lingkungan menjadi tujuan utama untuk membatasi penggunaan semen maupun agregat alam dalam produksi mortar dan beton, sehingga dibutuhkan material yang ramah lingkungan sebagai gantinya. Salah satu material yang diusulkan adalah penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dan pasir slag sebagai agregat halus. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji penggunaan pasir slag nikel dan *fly ash* sebagai material substitusi terhadap perilaku mekanik beton dan mengevaluasi ketahanan beton terhadap penetrasi klorida dengan metode sorptiviti. Metode yang digunakan adalah eksperimental murni dengan variasi pada persentase penggunaan pasir slag nikel dan *fly ash* dengan faktor air semen (FAS) 25% dan 45%. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian mekanik (kuat tekan dan modulus elastisitas, kuat tarik belah, kuat lentur), serta pengujian sorptiviti beton. Diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa kekuatan mekanik beton tertinggi dari variasi OPC-GNS50 pada kedua variasi FAS (25% dan 45%). Hal ini membuktikan bahwa penggunaan parsial pasir slag dan variasi penambahan *fly ash* berkontribusi pada peningkatan kekuatan beton. Pengujian sorptiviti memberikan hasil yang relevan dengan kuat tekan, dimana beton OPC-GNS50 memiliki ketahanan yang baik terhadap penetrasi klorida.

Kata kunci: Slag Nikel, *Fly Ash*, Perilaku Mekanik, Sorptiviti.

1 PENDAHULUAN

Bahan bangunan yang terbentuk dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air ini memiliki daya tarik yang cukup besar dalam penggunaannya. Bahan dasar pembuatan beton seperti agregat merupakan sumber daya yang mudah diperoleh dan banyak tersedia di alam dengan pemeliharaan yang mudah. Semakin pesatnya pertumbuhan pengetahuan di bidang konstruksi diperlukan suatu material sebagai bahan campuran beton yang memiliki keunggulan yang lebih baik dibandingkan bahan yang sudah ada selama ini. Selain itu bahan tersebut harus memiliki beberapa keuntungan seperti bentuk yang dapat menyesuaikan kebutuhan, biaya yang lebih ekonomis, kecepatan pelaksanaan konstruksi, serta ramah lingkungan.

Kebutuhan beton yang semakin tinggi, mendorong teknokrat beton untuk terus mengkaji peningkatan kinerja beton dengan memanfaatkan limbah industri seperti *fly ash*, *blast-furnace slag*, *rice husk ash* dalam produksi beton. Isu *global warming* dan lingkungan menjadi tujuan utama untuk membatasi penggunaan semen maupun agregat alam dalam produksi mortar dan beton. Menurut Malhotra, V.M., (2002) produksi satu ton semen membebaskan sekitar satu ton CO₂ ke atmosfer. Tahun 2016, produksi semen dunia menghasilkan sekitar 2,2 miliar ton CO₂, setara dengan kontribusi sekitar 8 % terhadap emisi gas karbon dioksida (CO₂) dunia (Rogers, L., 2018). Penggunaan *fly ash* dapat mengurangi limbah industri dan emisi gas karbon dioksida.

Indonesia hingga saat ini memiliki 17 juta ton slag nikel. Jumlah tersebut dihasilkan dari sejumlah smelter dalam negeri, antara lain PT Antam Tbk., PT MSP, IMIP Group, Vitue Dragon, dan PT Vale Indonesia. Namun hanya 10% saja yang telah dimanfaatkan untuk aplikasi konstruksi. Sedangkan hingga tahun 2022, ditargetkan akan ada 60 smelter dari Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi Khusus (Saefulhak Y, 2019). *The Daily Records Jakarta* menyatakan bahwa Indonesia saat ini berada di urutan kelima terbesar dunia sebagai penghasil batu bara dengan perkiraan produksi 386 juta ton setiap tahun. PLTU diperkirakan sekitar 86% sebagai pengguna batu bara yang menghasilkan *fly ash* sebagai limbah hasil pembakaran. Slag nikel adalah salah satu jenis sisa dari proses industri yaitu dari proses peleburan biji nikel setelah melalui proses pembakaran dan penyaringan. Dari Proses peleburan biji nikel tersebut menghasilkan limbah berupa slag yang jumlahnya sangat besar dan dapat berpotensi menimbulkan masalah lingkungan serta gangguan kesehatan pada masyarakat. Banyaknya limbah buangan yang berupa slag nikel kini harus ditangani atau dimanfaatkan dengan benar sehingga dapat bermanfaat bagi masyarakat.

Sebagai limbah buangan hasil pengolahan biji nikel, selama ini slag nikel hanya digunakan sebagai bahan timbunan oleh masyarakat dan dianggap tidak memiliki manfaat lagi. Namun secara fisik, slag nikel menyerupai agregat yang dapat digunakan untuk bahan agregat dalam campuran beton. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perilaku mekanik dan ketahanan beton berbahan pasir slag nikel dan *fly ash* akan didiskusikan lebih dalam.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Benda Uji

Benda uji berupa beton silinder (diameter 100 mm dan tinggi 200 mm) dan balok dengan ukuran 100 x 100 x 400 mm. Total benda uji yang digunakan adalah 144 buah yang terbagi menjadi 72 silinder untuk pengujian kuat tekan pada umur 3, 7 dan 28 hari, 24 silinder untuk pengujian tarik belah pada umur 28 hari, 24 balok untuk pengujian kuat lentur pada umur 28 hari, dan 8 silinder beton untuk pengujian sorptiviti yang di potong menjadi 3 bagian yang sama.

Pembuatan benda uji meliputi beton normal, beton dengan substitusi pasir slag sebagai pengganti parsial agregat halus, dan beton dengan substitusi *fly Ash* sebagai pengganti parsial semen. Dengan variasi untuk pasir slag adalah 50% dari berat agregat halus, sedangkan variasi *fly Ash* adalah 15% dan 30% terhadap berat semen, dengan faktor air semen masing masing variasi 25% dan 45%.

2.2 Mix Design Beton

Komposisi campuran beton disajikan pada Tabel 1 dan 2 dengan faktor air semen 25% dan 45% dengan nilai *slump* rencana sebesar 12 ± 2 cm.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Slump*

Slump test dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan beton, yang menggambarkan kemudahan pengerjaan (*workability*) beton. Adapun hasil dari pengujian *slump* disajikan pada Tabel 3. Nilai *slump* meningkat seiring dengan peningkatan volume *fly ash*, sehingga mampu memperbaiki sifat *workability* beton. Semua variasi campuran memenuhi target *slump* sebesar 12 ± 2 cm.

Tabel 1. Komposisi campuran beton (kg/m^3) dengan FAS 45%.

Bahan	OPC-Pasir	OPC-GNS50	FA15-GNS50	FA30-GNS50
Air	175,00	175,00	175,00	175,00
Semen	388,89	388,89	330,56	272,22
<i>Fly ash</i>	-	-	40,74	81,48
Pasir	603,88	440,97	440,97	440,97
Pasir Slag	-	440,97	440,97	440,97
Batu Pecah	1090,34	940,90	940,90	940,90
Viscocrete 3115N	1,17	1,17	1,17	1,17

Tabel 2. Komposisi campuran beton (kg/m^3) dengan FAS 25%.

Bahan	OPC-Pasir	OPC-GNS50	FA15-GNS50	FA30-GNS50
Air	175,00	175,00	175,00	175,00
Semen	700,00	700,00	595,00	490,00
<i>Fly ash</i>	-	-	73,33	146,67
Pasir	513,72	375,14	375,14	375,14
Pasir Slag	-	375,14	375,14	375,14
Batu Pecah	927,56	800,43	800,43	800,43
Viscocrete 3115N	2,10	2,10	2,10	2,10

Tabel 3. Hasil pengukuran nilai *slump*.

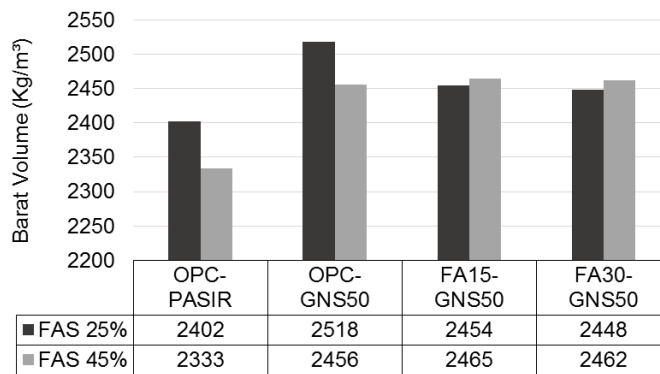
Sampel	FAS	<i>Slump</i> (cm)	FAS	<i>Slump</i> (cm)
OPC-PASIR		12		11,5
OPC-GNS50		13		12
FA15-GNS50	45%	14	25%	13
FA30-GNS50		14,5		14

3.2 Berat Volume

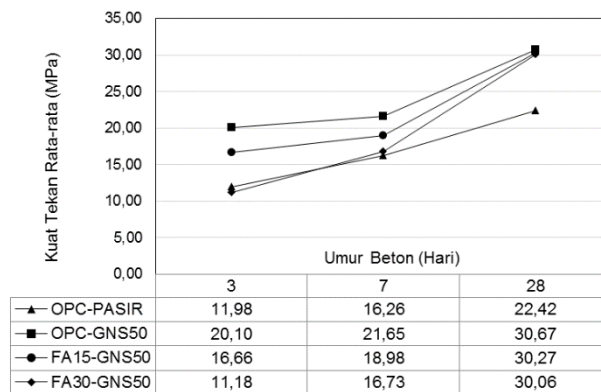
Pemeriksaan berat volume beton dilakukan pada beton yang berumur 28 hari. Adapun hasil pemeriksaan berat volume beton rata-rata ditampilkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa untuk beton dengan FAS 45% variasi FA15-GNS50 dan variasi OPC-GNS50 FAS 25% memiliki berat volume yang paling besar. Berat volume yang terkecil dari variasi OPC-Pasir dengan FAS 45% dan 25%, hal ini dikarenakan berat volume dari pasir slag nikel lebih besar dibandingkan pasir sungai. Secara keseluruhan, beton dengan pasir slag dan penambahan *fly ash* beratnya cenderung konstan, tidak dipengaruhi oleh faktor air semen.

3.3 Kuat Tekan Beton

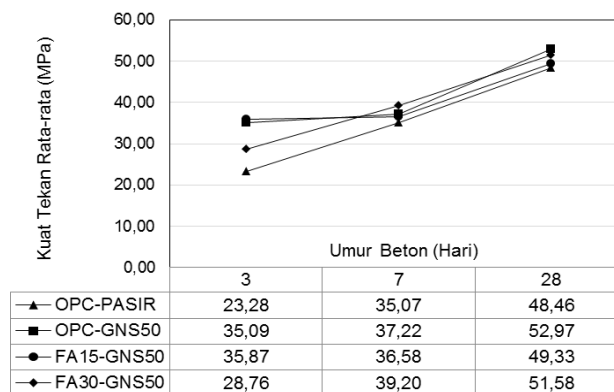
Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 3, 7, dan 28 hari dengan benda uji silinder (diameter 100 mm, tinggi 200 mm), hasilnya disajikan pada Gambar 2 dan 3. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan peningkatan kuat tekan seiring dengan bertambahnya umur untuk setiap variasi benda uji. Pada umur 28 hari, nilai kuat tekan semua variasi hampir sama, dengan kekuatan tertinggi diperoleh pada variasi OPC-GNS50 dan kuat tekan terendah pada variasi OPC-Pasir.



Gambar 1. Berat volume beton dengan FAS 25% dan 45%.



Gambar 2. Kuat Tekan Rata-rata Beton dengan FAS 45%.



Gambar 3. Kuat tekan rata-rata beton dengan FAS 25%.

3.4 Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada silinder berukuran 100 mm dan tinggi 200 mm. Tipikal grafik hubungan tegangan regangan dari berbagai variasi beton diwakili oleh Gambar 4. Nilai modulus elastisitas disajikan pada Tabel 4. Dari Tabel 4 terlihat bahwa beton OPC-GNS50 memiliki nilai modulus elastisitas terbesar dan beton OPC-Pasir dengan nilai modulus elastisitas terkecil pada umur 28 hari. Besar nilai modulus elastisitas sejalan dengan nilai kuat tekan beton.

3.5 Kuat Tarik Beton

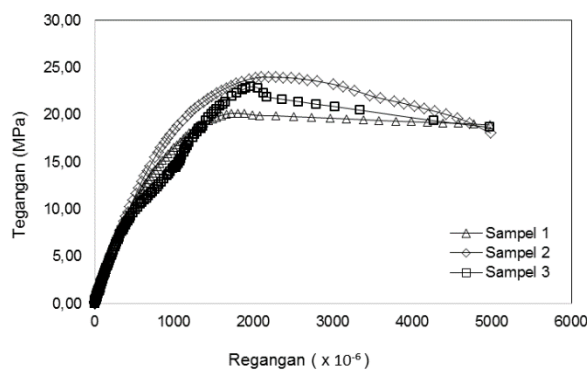
Pengujian kuat tarik belah mengacu pada SNI 03-2491-2002. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari dan hasilnya disajikan pada Tabel 5. Terlihat bahwa beton dengan FAS 45% variasi FA15-GNS50 memiliki nilai kuat tarik belah yang terbesar, sedangkan untuk FAS 25% kuat tarik belah terbesar dicapai oleh variasi OPC-GNS50.

3.6 Kuat Lentur Beton

Hasil pengujian kuat lentur pada umur 28 hari ditampilkan pada Tabel 5. Nilai kuat lentur terbesar diperoleh pada beton FAS 45% variasi OPC-GNS50 dan pada FAS 25% variasi OPC-GNS50. Secara keseluruhan terlihat bahwa nilai kuat lentur beton FAS 45% lebih kecil di banding beton FAS 25%.

3.7 Sorptiviti

Pengujian sorptiviti beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 50 mm dimana pengujian ini terbagi atas 2 yaitu *initial absorption* yang diamati pada hari pertama perendaman dan *secondary absorption* yang diamati pada hari kedua hingga hari ketujuh. Pengujian sorptiviti mengacu pada ASTM C 1585 – 04. Adapun hasil pengujian sorptiviti beton disajikan pada Gambar 5 dan 6.



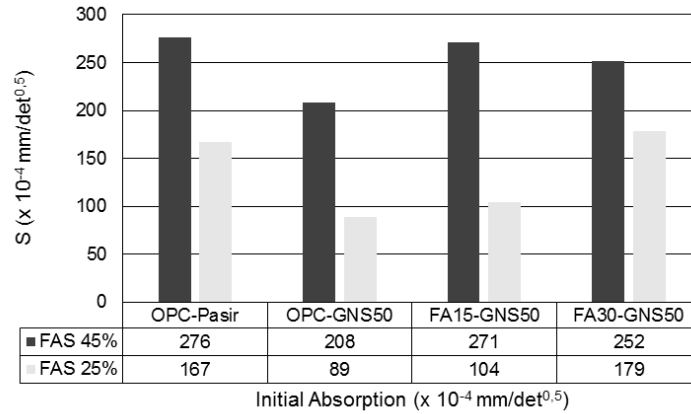
Gambar 4. Hubungan tegangan-regangan beton OPC-Pasir (FAS 45%).

Tabel 4. Nilai modulus elastisitas beton

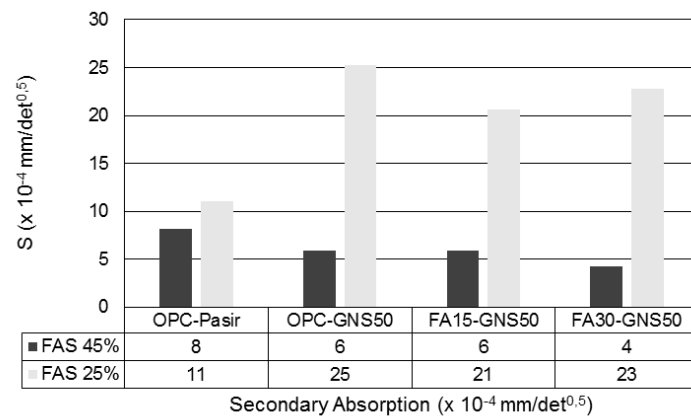
Sampel	Modulus Elastisitas (N/mm ²)	
	FAS 45%	FAS 25%
OPC-PASIR	23212,09	35148,45
OPC-GNS50	29670,80	38618,49
FA15-GNS50	29475,06	36552,78
FA30-GNS50	29186,96	37580,97

Tabel 5. Nilai kuat tarik belah dan kuat lentur

Sampel	Kuat Tarik Belah (N/mm ²)		Kuat Lentur (N/mm ²)	
	FAS 45%	FAS 25%	FAS 45%	FAS 25%
OPC-PASIR	3,26	4,04	4,09	5,06
OPC-GNS50	3,73	4,98	4,46	5,33
FA15-GNS50	4,25	4,60	4,22	4,69
FA30-GNS50	3,67	4,05	4,39	4,75



Gambar 5. Initial Absorption.



Gambar 6. Secondary Absorption.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa beton FAS 45% untuk variasi OPC-Pasir memiliki tingkat penyerapan yang tinggi dibanding variasi lainnya, sedangkan pada beton FAS 25% untuk variasi FA30-GNS50 memiliki tingkat penyerapan yang tinggi dibanding variasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa *initial absorption* dipengaruhi oleh mutu beton, semakin tinggi mutu beton, maka semakin kecil pula tingkat penyerapannya. Sorptiviti beton yang kecil memberi indikasi bahwa beton memiliki jumlah pori yang sedikit atau dengan kata lain permeabilitas rendah. Hal ini akan memberi dampak terhadap peningkatan ketahanan beton terhadap penetrasi klorida.

Sedangkan pada Gambar 6 di peroleh hasil bahwa pada beton FAS 45% untuk variasi OPC-Pasir memiliki tingkat penyerapan yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya, sedangkan pada beton FAS 25% untuk variasi OPC-GNS50 memiliki tingkat penyerapan tinggi dibanding variasi lainnya. Pada *secondary absorption*, kebalikan dari *initial absorption*, pada tahap *initial absorption* butuh waktu lama agar zat cair dapat menembus pori-pori beton, jika sudah menembus pori-pori beton, maka pada tahap *secondary absorption* tingkat penyerapan menjadi lebih rendah, dapat dilihat pada beton OPC-Pasir yang telah jenuh pada tahap *initial absorption*, sehingga tingkat penyerapan pada tahap *secondary absorption* sudah rendah.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *fly ash* dan pasir slag nikel sebagai pengganti sebagian semen dan pasir sungai, secara signifikan memperbaiki perilaku mekanik beton sebagai berikut:
 - a. Kuat tekan meningkat sebesar 36,8% dan 9,0% masing-masing pada FAS 0,45 dan 0,25 terhadap OPC-Pasir, dengan kuat tekan tertinggi pada beton OPC-GNS50 disusul oleh FA30-GNS50.
 - b. Modulus elastisitas beton meningkat sebesar 6-19% pada FAS 0,45.
 - c. Kuat tarik belah meningkat 12-30% pada FAS 0,45 dengan nilai tertinggi dicapai oleh beton FA15-GNS50.

- d. Kuat lentur meningkat 3-6% pada FAS 0,45 dengan nilai tertinggi dicapai oleh beton OPC-GNS50, disusul oleh FA30-GNS50 dan FA15-GNS50.
2. Ketahanan beton terhadap penetrasi klorida *dengan metode sorptivity* diperoleh hasil sebagai berikut:
 - a. Pada *initial absorption*, beton OPC-Pasir dengan kuat tekan terendah, menunjukkan tren nilai penyerapan yang tertinggi pada kedua FAS. Sedangkan beton OPC-GNS50 menunjukkan tren nilai penyerapan tertinggi pada *secondary absorption*.
 - b. Nilai penyerapan yang tinggi pada tahap *initial absorption* dikarenakan beton membutuhkan waktu yang cepat untuk mencapai kondisi jenuh, sedangkan pada tahap *secondary absorption* memberikan hasil yang berbanding terbalik dengan tahap *initial absorption*. Beton OPC-GNS50 memiliki ketahanan yang baik terhadap penetrasi klorida.

REFERENSI

ASTM. (2004) *ASTM C 1585-04 Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*, ASTM Internasional, West Conshohocken, United States.

BSN. (2002). *SNI 03-2491-2002 tentang Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.

Malhotra, V.M., (2002). "Introduction - sustainable development and concrete technology", *ACI Concrete International*, 24 (7), p. 22.

Rogers, L., (2018). "Climate change: The Massive CO₂ Emitter You May Not Know About". (<https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844>). (Accessed 10 October 2018)

Saefulhak, Y., (2019). "ESDM: Pengolahan slag sisa Smelter masih terkendala regulasi limbah B3. Direktur Pembinaan dan Pengusahaan Mineral Kementerian ESDM", <https://industri.kontan.co.id/news/esdm-pengolahan-slag-sisa-smelter-masih-terkendala-regulasi-limbah-b3>. , (Accessed 2 August 2019)