

Sifat Mekanis Beton Akibat Pengaruh *Steel Slag* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus dengan Agregat Lokal Riau

Rizki Wirma¹⁾, Alex kurniawandy²⁾, Ermiyati²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya JL. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : wirmarizki@yahoo.com.com

ABSTRACT

The research has a purpose to study the mechanical properties of concrete when using steel slag as an alternative for substituting sand material in the mixture of concrete with f_c 25 MPa. This research consisted of 6 tests. They were permeability, porosity, shrinkage, compressive strength, Scanning Electronic Microscope (SEM) and Energy Dispersive Spectrometry (EDS). The steel slag used were 0 % and 30 % of total weight of sand. The permeability and porosity test were carried out at 28 days. The shrinkage test was conducted at 7 days. The compressive strengths were tested at 28, 91, and 180 days. The samples were soaked in normal and peat water. According to the permeability, porosity, and shrinkage test, the concrete using 30 % steel slag got lower value compared to a normal concrete. Regularly, when the normal concrete is soaked in normal water, the compressive strength risen up at 28, 91, and 180 days. On the other hand, the concrete soaked in peat water gets the compressive strength increased at 28, 91 days, but fell down at 180 days. Based on the compressive strength results, the concrete using 30 % steel slag continued to increase with day, although they were soaked in normal or peat water. SEM test showed that steel slag occupied the void between aggregate and cement paste. It made the void of concrete became denser and got a higher strength. EDS test revealed that the concrete using 30 % steel slag contained pozzolanic material.

Keywords : *Steel slag, Permeability, Porosity, Shrinkage, Compressive strength, SEM, EDS.*

1. PENDAHULUAN

Pada era pembangunan seperti sekarang ini banyak sekali upaya perkembangan dan peningkatan kualitas pembangunan yang dilakukan di Indonesia. Berbagai bahan bangunan terus diproduksi secara masal seperti kayu, baja dan beton untuk memenuhi permintaan dari pelaksanaan pembangunan.

Beton merupakan salah satu bahan bangunan paling luas penggunaannya. Bahan bangunan yang terbentuk dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air ini memiliki daya tarik yang cukup besar dalam pembangunan. Hal tersebut dikarenakan cara pembuatannya yang cukup mudah sehingga dapat diaplikasikan dengan menggunakan teknologi tinggi (masinal) ataupun secara

manual. Bahan dasar pembuatan beton seperti agregat juga merupakan sumber daya yang mudah didapatkan dan banyak tersedia di alam dan pemeliharaan yang mudah.

Saat ini telah banyak dilakukan penelitian terhadap *steel slag* yang dihasilkan dari pembakaran tungku tanur tinggi (*blast furnace*) yang berupa sisa buangan dari pabrik baja modern (*modern steel plant*). Penelitian sebelum nya pernah diuji oleh (Hartati, Fristin Yohana M, 2009) “sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal beton terhadap *workabilitas* dan *durabilitas*”. Pada pengujian (Amalia, 2011 Politeknik Negeri Jakarta) juga dilakukan penelitian “Potensi Limbah Debu

Pengolahan Baja Sebagai Bahan Tambahan Pada Beton”.

Dari penelitian tersebut dapat diharapkan agar *steel slag* dapat digunakan kembali untuk berbagai aplikasi dalam bidang Teknik Sipil. Menurut (Hanif, 2012) pabrik baja telah mengembangkan penggunaan *steel slag* sebagai bahan campuran untuk beton struktural agar dapat mengurangi biaya pembangunan atau perbaikan kembali terhadap sarana dan prasarana yang ada. Sehingga diharapkan nanti *steel slag* memiliki nilai ekonomis tinggi selain itu dampak negatif akibat adanya *steel slag* terhadap kerusakan lingkungan dapat diminimalisir, sehingga lingkungan menjadi bersih, bebas dari limbah padat dan tetap terpelihara

2. METODE PENELITIAN

2.1 Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini adalah 52 benda uji. Benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm, tinggi 30 cm sebanyak 42 sampel yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan susut beton. Benda uji berbentuk kubus dengan panjang 15 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm sebanyak 10 sampel yang akan digunakan untuk permeabilitas dan porositas.

2.2 Pemeriksaan Karakteristik Beton

Adapun agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Danau Binkuang, Kabupaten Kampar, Riau. Adapun jenis pemeriksaan yang dilakukan tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengujian agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Standar
1	Kadar air (%)	SNI-03-1971-1990
2	Kadar Lumpur (%)	ASTM C-142
3	Berat jenis (gr/cm ³)	SNI 03-1970-1990
4	Ketahanan aus (%)	SNI 03-2471-1991
5	Kandungan	ASTM C-40

No	Jenis Pemeriksaan	Standar
	organik	
6	Berat volume (gr/cm ³)	SNI 03-4804-1998
7	Modulus kehalusan	SNI 03-1969-1990

Penelitian kimia dari *Steel Slag* telah dilakukan sebelumnya Oleh (PT. Krakatau Steel, 2010) dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis *Steel Slag* dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Riau.

Tabel 2. Komposisi kimiawi

No	Kandungan	Komposisi (%)
1	Al ₂ O ₃	5,875
2	SiO ₂	12,75
3	P ₂ O ₅	0,65
4	MgO	28,29
5	MnO	1,51
6	CaO	29,245
7	FeO	22,945
8	TiO ₂	1,41
9	V ₂ O ₃	0,16

2.3 Pembuatan Mix Design

Metode yang digunakan dalam Desain campuran (*mix design*) beton dengan menggunakan metode SNI 03-2834-1993 yang mengadopsi metode ACI 211.1-9: *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Penelitian ini menggunakan Mutu rencana beton *f'c* 25 Mpa, dengan substitusi *Steel Slag* 30% dari berat pasir. Adapun Komposisi campuran dapat dilihat sebagai berikut.

Semen : 372,92 kg/m³
 Air : 151,94 kg/m³
 Agregat Kasar : 1072,80 kg/m³

Agregat Halus : 700,42 kg/m³
 Slag : 210,126 kg/m³

2.4 Pengujian Beton

Penelitian ini melakukan pengujian berupa pengujian permeabilitas, porositas, susut beton, kuat tekan terhadap rendaman air gambut, *sem* dan *eds*.

1. Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah kemampuan beton merembeskan air. Semakin besar angka permeabilitas beton, semakin rendah kuat tekan beton dan sebaliknya. Pengujian permeabilitas ini bertujuan untuk mengetahui angka permeabilitas dari beton setelah terendam dalam air.

2. Porositas

Porositas adalah perbandingan antara volume pori dengan volume material total (volume air jenuh). Pengujian porositas beton mengacu pada ASTM C-642 dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Porositas} = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100\%$$

keterangan :

W_1 = Berat sampel setelah dioven (kg)

W_2 = Berat setelah direndam/ jenuh air ditimbang di udara (kg)

W_3 = Berat setelah direndam/jenuh air ditimbang di dalam air (kg)

3. Susut Beton

Susut atau *shrinkage* didefinisikan sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Susut akan semakin besar dengan meningkatnya faktor air semen dan kandungan semen. Pengujian susut mengacu pada ASTM C-1090.

4. Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas (Mulyono, 2003). Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

f_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas permukaan benda uji (mm²)

5. *Sem* dan *Eds*

Scanning Electronic Microscope (SEM) dan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS) adalah instrumen yang menghasilkan gambar yang diperbesar dengan menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk membentuk sebuah gambar. Prinsip kerja SEM dan EDS adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pengujian Karakteristik menghasilkan data yang digunakan dalam pencampuran beton (*mix design*). Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik agregat halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi
1	Kadar Lumpur (%)	3,67	<5
2	Berat Jenis (gr/cm ³)		
a	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,65	2,58 – 2,83
b	<i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,62	2,58 – 2,83
c	<i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,63	2,58 – 2,83
d	<i>Prosentase Absorpsi Air (%)</i>	0,46	< 2
3	Kadar Air (%)	3,78	< 5

4	Modulus Kehalusan	2,42	1,5 – 3,8
5	Berat Volume		
a	Kondisi Padat	1693,31	1400 – 1900
b	Kondisi Gembur	1556,47	1400 – 1900
6	Kadar Organik	NO. 3	Maks No. 3

Tabel 4. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi
1	Abrasi (%)	23,42	<40
2	Berat Jenis (gr/cm ³)		
a.	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,63	2,58 – 2,83
b	<i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,55	2,58 – 2,83
c	<i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,58	2,58 – 2,83
d	<i>Prosentase Absorpsi Air (%)</i>	1,29	< 2
3	Berat Volume		
a	Kondisi Padat	1582,13	1400 – 1900
b	Kondisi Gembur	1428,19	1400 – 1900
4	Kadar Air (%)	1,57	< 3
5	Modulus Kehalusan	7,71	6.0 - 7.1

Tabel 5. Hasil pengujian Karakteristik *Steel Slag*

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi
1	Berat Jenis (gr/cm ³)		

a.	<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,60	2,58 – 2,83
b.	<i>Bulk Specific Gravity on Dry</i>	2,59	2,58 – 2,83
c.	<i>Bulk Specific Gravity on SSD</i>	2,59	2,58 – 2,83
d.	<i>Prosentase Absorpsi Air (%)</i>	0,16	< 2
2	Kadar Air (%)	1,63	< 5
3	Modulus Kehalusan	2,75	1,5 – 3,8
4	Berat Volume		
a.	Kondisi Padat	2300,50	1400 – 1900
b.	Kondisi Gembur	1992,63	1400 – 1900

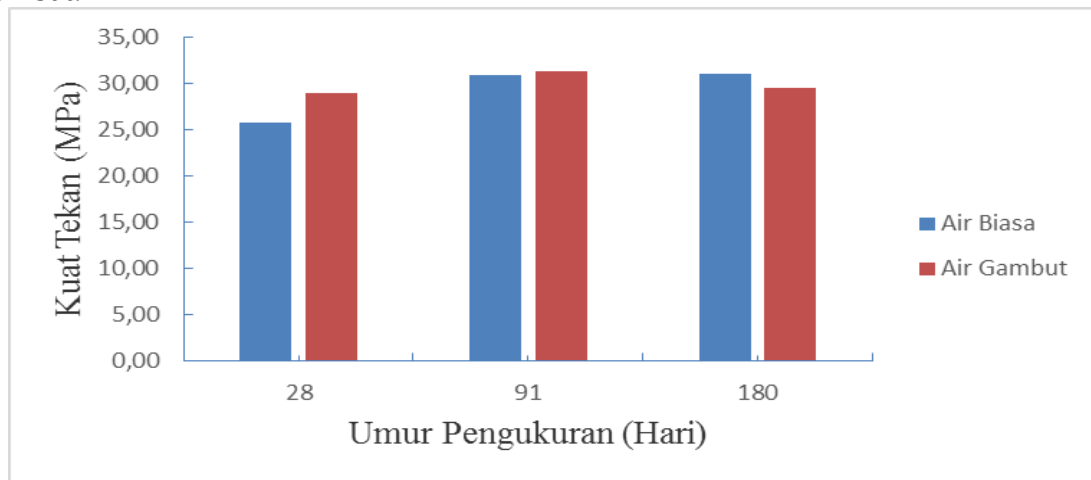
3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Dari penelitian ini, sebelum benda uji dimasukkan ke dalam rendaman air gambut, terlebih dahulu benda uji berada pada rendaman air biasa selama 28 hari. Setelah masa perawatan pada air biasa selama 28 hari selesai, lalu dilanjutkan pada rendaman air gambut. Perhitungan umur 28, 91 dan 180 hari dimulai setelah beton berada pada rendaman asam.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2, hasil yang didapatkan pada rendaman air biasa terjadi peningkatan kuat tekan dari 25,84 MPa pada umur 28 hari; 30,94 MPa pada umur 91 hari dan 31,03 MPa pada umur 180 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi berjalan dengan baik pada rendaman air biasa. Air biasa dengan pH netral tidak terdapat kandungan asam yang bisa merusak beton.

Hasil yang didapatkan pada rendaman air gambut terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 12,40% pada umur 28 dan 8% pada umur 91 hari, selanjutnya mengalami penurunan sebesar 5,8% untuk umur 180 hari. Hal tersebut

mengindikasikan bahwa proses hidrasi masih berjalan dengan baik pada rendaman air gambut.



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Beton Normal

Akan tetapi, sejalan pertambahan umur beton, Asam dengan pH = 4,00 terus menyerang ikatan struktur beton mulai dari tepi permukaan beton sampai masuk ke inti beton sehingga lambat laun akan melemahkan ikatan antar partikel di dalam beton dan mempengaruhi kekuatan beton.

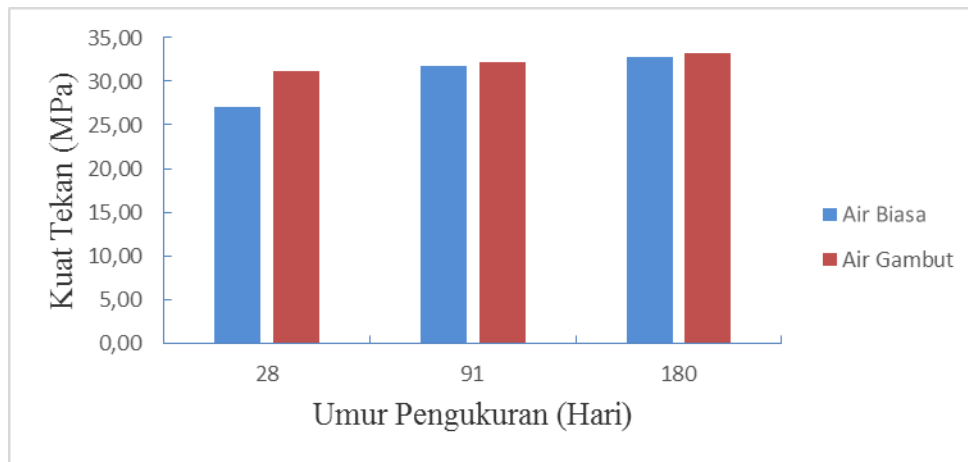
Selanjutnya hasil pengujian kuat tekan beton *steel slag* 30% pada rendaman air biasa dan air gambut juga dapat dilihat pada gambar 3. Hasil yang didapatkan pada rendaman air biasa terjadi peningkatan kuat tekan dari 27,07 MPa pada umur 28 hari; 31,78 MPa pada umur 91 hari dan 32,82 MPa pada umur 180 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi berjalan dengan baik pada rendaman air biasa.

Hasil yang didapatkan pada rendaman air gambut terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 15% pada umur 28, 3,63% pada umur 91 hari dan 3% pada umur 180 hari. Pada pengujian kuat tekan beton pada rendaman air gambut terjadi peningkatan kuat tekan beton. Kejadian peningkatan kuat tekan ini hanya terjadi pada beberapa kondisi tertentu saja. Peningkatan kuat tekan pada rendaman air gambut bisa terjadi karena di dalam air gambut terdapat juga mineral,

bakteri dan organik-organik lain yang berpotensi menutup pori-pori dari beton. Setelah sifat asam dari air gambut merusak permukaan beton, bahan-bahan organik tersebut akan hinggap dan bertahan di pori-pori beton dan berpotensi menutup pori-pori tersebut sehingga kerusakan beton tidak sampai ke dalam beton dan membuat beton semakin kuat di dalam inti beton.

Salah satu faktor yang menyebabkan tertutupnya pori pada permukaan beton oleh organik akibat kondisi rendaman yang statis. Dalam prinsip kondisi perlakuan dari kelarutan rendaman terdapat dua model yang terjadi, yaitu (1) kondisi statis (diam) dimana tidak terjadi pergerakan dan perputaran siklus pada rendaman; (2) kondisi dinamis (bergerak) dimana terjadi pertukaran siklus di dalam rendaman (Bajza dan Zivica, 2002).

Untuk itu perlu pengadukan setiap hari pada air rendaman agar terjadi perputaran siklus pada rendaman. Proses pengadukan rendaman ini akan bersifat dinamis dan mendekati kondisi yang nyata terjadi lapangan pada lahan gambut.



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Beton *Steel Slag* 30 %

3.3 Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan pada benda uji dengan campuran *steel slag* yang optimum (30%) saat berumur 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angka permeabilitas dari beton dengan substitusi *steel slag* 30% dari berat pasir terhadap beton normal (0%). Semakin besar angka permeabilitas beton, semakin rendah kuat tekan beton dan sebaliknya. Pengujian permeabilitas ini bertujuan untuk mengetahui angka permeabilitas dari beton setelah terendam dalam air. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *steel slag* 0% memiliki angka

permeabilitas lebih tinggi yaitu sebesar 6,72 cm diikuti beton *steel slag* 30% sebesar 4,53 cm. Hal ini dikarenakan bahwa nilai permeabilitas beton cenderung menurun seiring dengan meningkatnya pemakaian *steel slag* terhadap substitusi agregat halus. Semakin tinggi faktor air semen maka akan semakin banyak pula pori-pori yang saling berhubungan sehingga beton mempunyai permeabilitas yang tinggi. Dengan faktor air semen yang tinggi dalam pembuatan beton berarti ada kelebihan air dalam campuran beton. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Hasil Pengujian permeabilitas beton variasi steel slag 30%

No. Sampel	Tipe/Ukuran Benda Uji	Permeabilitas	Rerata
1	Kubus 15x15x15	4,542	4,535
2	Kubus 15x15x15	4,528	

Tabel 7. Hasil pengujian permeabilitas beton variasi steel slag 0%

No. Sampel	Tipe/Ukuran Benda Uji	Permeabilitas	Rerata
1	Kubus 15x15x15	6,714	6,721
2	Kubus 15x15x15	6,728	

3.4 Hasil Pengujian Porositas

Hasil Pengujian porositas dilakukan pada benda uji dengan variasi *steel slag* yang maksimum (30%) dan variasi *steel slag* (0%) saat berumur 28 hari. Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa

nilai porositas tertinggi terjadi pada beton *steel slag* 0% yaitu sebesar 17,46% diikuti dengan beton *steel slag* 30% sebesar 4,84%. Hal ini dikarenakan bahwa nilai porositas beton cenderung menurun seiring

dengan meningkatnya pemakaian *steel slag* terhadap substitusi agregat halus. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Porositas beton variasi 30% dan 0% steel slag

Variasi Beton	Porositas rerata (%)
<i>Steel slag</i> 0%	17.464
<i>Steel slag</i> 30%	4.844

3.5 Hasil Pengujian Susut

Pengujian susut dilakukan pada benda uji dengan campuran *steel slag* (0%) dan yang optimum (30%). Pada penelitian ini untuk mendapatkan nilai susut beton dilakukan dengan dua cara yaitu pengukuran langsung (laboratorium) dan perhitungan prediksi susut menurut ACI 209 (teoritik). Pengukuran langsung dilakukan dengan mengukur perubahan tinggi beton akibat susut dengan menggunakan alat *dial gauge* yang memiliki ketelitian 0,01 mm. Pencatatan angka *dial gauge* dilakukan setiap hari selama penelitian berlangsung. Hasil pengukuran susut langsung didapat total susut tertinggi terjadi pada beton variasi *steel slag* (0%) yaitu sebesar 90,7 μm diikuti dengan beton variasi *steel slag* (30%) sebesar 45,7 μm . Tabel 9 memperlihatkan hasil pengukuran susut beton selama 30 hari.

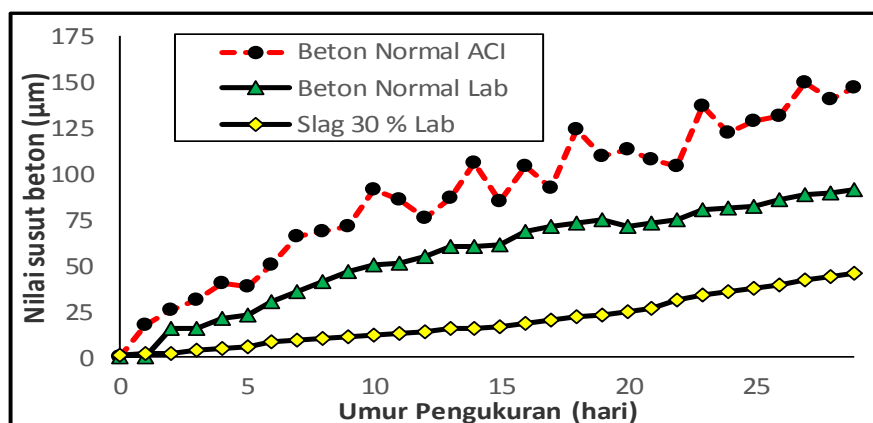
Tabel 9. Total susut beton selama 30 hari pengukuran

Variasi beton	Langsung (μm)	ACI 209 (μm)
<i>Steel slag</i> 0%	90,7	147,1
<i>Steel slag</i> 30%	45,7	-

Prediksi susut menurut ACI 209 menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan hasil susut pengukuran langsung. Hal ini dikarenakan pada prediksi susut ACI 209 perhitungan mengabaikan adanya campuran *steel slag* di dalam beton sehingga susut yang diprediksi merupakan susut yang terjadi pada beton biasa (tanpa *steel slag*) sementara pada pengukuran langsung (laboratorium).

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian susut didapatlah grafik hubungan antara nilai susut beton terhadap umur pengukuran seperti Gambar 1. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa susut beton yang terjadi cenderung mengalami peningkatan sebanding dengan umur pengukuran.

Gambar 1 memperlihatkan bahwa hasil perhitungan prediksi susut menurut ACI 209 menghasilkan pola yang tidak beraturan. Hal tersebut disebabkan karena perbedaan kelembaban relatif yang signifikan setiap harinya pada saat pengujian berlangsung. Kemudian gambar

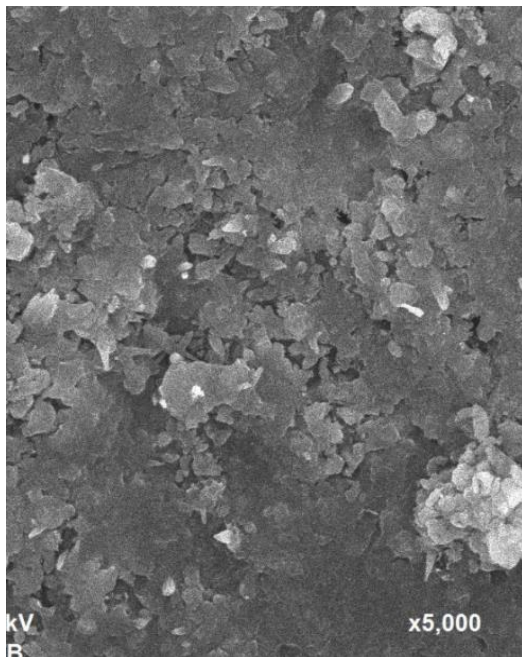


Gambar 1. Grafik susut beton

tersebut juga memperlihatkan bahwa secara umum prediksi susut ACI 209 memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung. Berdasarkan analisa diatas hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan *steel slag* sebagai bahan substitusi pasir dapat mengurangi susut beton.

3.6 Hasil Pengujian SEM dan EDS

Slag sebagai bahan substitusi dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah *internal kohesi* dan dapat mengurangi porositas. Dengan adanya slag dapat mengisi pori-pori diantara agregat dengan matrik menjadi lebih padat dan kuat sehingga hubungan antara semen pasta dan agregat lebih kompak, agregat dan pasta merupakan satu kesatuan komposit yang cukup solid dan kuat, sehingga beton menjadi lebih kuat.



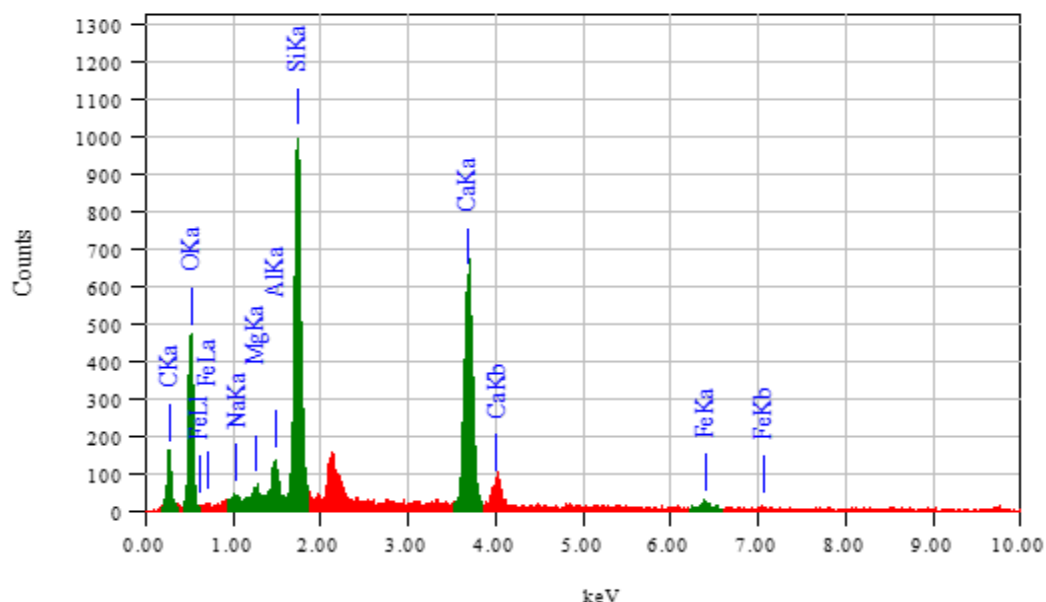
Gambar 4 Hasil pengujian
Scanning Electronic Microscope

Gambar 4 merupakan visualisasi hasil scanning penelitian yang menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara senyawa kimia slag yang bersifat *pozzolanic* (SiO_2 , Al_2O_3 dan FeO_3) dengan CaO serta air membentuk bahan seperti semen. Bahan ini dapat mengikat agregat dan menjadi pasta semen, sehingga mengurangi pori-pori dalam beton. Gambar 4 memperlihatkan penyebaran slag dalam campuran merata. Gambar 4 merupakan hasil scanning lekatan matrik slag terhadap agregat dengan perbesaran 5000X. Dan juga memperlihatkan bahwa kristal-kristal slag berfungsi sebagai pengisi rongga yang terdapat antara lekatan agregat dengan pasta semen, sehingga daerah yang berongga tersebut akan menjadi lebih padat dan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi. Dari Gambar 4 memperlihatkan jumlah rongga yang terdapat pada campuran beton yang mengandung *steel slag* lebih kecil dan lebih sedikit. Berdasarkan hasil uji EDS dari Tabel 10 dan Gambar 4 bahwa senyawa kimia yang paling dominan adalah C sebesar 27,86%, O sebesar 29,41%, Al_2O_3 sebesar 12,32%, SiO_2 sebesar 15,95% dan CaO sebesar 22,78%. Senyawa ini adalah senyawa yang bersifat *pozzolanic*. Sehingga hubungan antara semen pasta dan agregat lebih kompak, agregat dan pasta merupakan satu kesatuan komposit yang cukup solid dan kuat, sehingga mengurangi pori-pori dalam beton dan beton menjadi lebih kuat.

Sehingga hubungan antara semen pasta dan agregat lebih kompak, agregat dan pasta merupakan satu kesatuan komposit yang cukup solid dan kuat, sehingga mengurangi pori-pori dalam beton dan beton menjadi lebih kuat.

Tabel 10 Komposisi kimiawi pengujian EDS

Element	(keV)	Mass %	Error %	Mol %	Compound	Mass %	Cation	K
C K	0,277	27,86	0,29	65,61	C	27,86	0	16,476
O		29,41						
Na K	1,041	0,3	0,16	0,18	Na ₂ O	0,4	0,17	0,443
Mg K	1,253	0,49	0,17	0,57	MgO	0,82	0,26	0,715
Al K	1,486	12,32	0,19	10,69	Al ₂ O ₃	12,48	0,64	19,185
Si K	1,739	15,95	0,23	16,04	SiO ₂	34,12	7,42	30,017
Ca K	3,69	22,78	0,28	16,05	CaO	31,87	7,42	46,739
Fe K	6,398	1,9	0,73	0,96	Feo	2,44	0,44	3,422
Total		100		100		100	16,35	

Gambar 5. Grafik hasil pengujian *Energy Dispersive Spectrometry*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai penggunaan *steel slag* sebagai substitusi agregat halus pada campuran beton dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *steel slag* akan berpengaruh terhadap permeabilitas beton. Dengan penambahan 30% *steel slag* akan bermanfaat untuk menurunkan angka permeabilitas sebesar 32,5 %.
2. Hasil pengujian porositas menunjukkan bahwa penambahan *steel slag* 30 %

akan menurunkan nilai porositas dari 17,46 % untuk beton normal menjadi 4,84%.

3. Berdasarkan hasil pengujian susut pada kedua jenis mutu beton, bahwa penggunaan *steel slag* dalam campuran beton dapat mengurangi susut dari beton tersebut.
4. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton normal pada rendaman air biasa terjadi peningkatan kuat tekan dari 25,84 MPa pada umur 28 hari; 30,94 MPa pada umur 91 hari dan 31,03 MPa pada umur 180 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi

berjalan dengan baik pada rendaman air biasa. Air biasa dengan pH netral tidak terdapat kandungan asam yang bisa merusak beton.

5. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton normal pada rendaman air gambut terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 12,40% pada umur 28 dan 8% pada umur 91 hari, selanjutnya mengalami penurunan sebesar 5,8% untuk umur 180 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi masih berjalan dengan baik pada rendaman air gambut. Akan tetapi, sejalan pertambahan umur beton, Asam dengan pH = 4,00 terus menyerang ikatan struktur beton mulai dari tepi permukaan beton sampai masuk ke inti beton sehingga lambat laun akan melemahkan ikatan antar partikel di dalam beton dan mempengaruhi kekuatan beton.
6. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton *steel slag* 30% pada rendaman air biasa terjadi peningkatan kuat tekan dari 27,07 MPa pada umur 28 hari; 31,78 MPa pada umur 91 hari dan 32,82 MPa pada umur 180 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi berjalan dengan baik pada rendaman air biasa. Air biasa dengan pH netral tidak terdapat kandungan asam yang bisa merusak beton.
7. Berdasarkan pengujian kuat tekan beton *steel slag* 30% pada rendaman air gambut terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 15% pada umur 28, 3,63% pada umur 91 hari dan 3% pada umur 180 hari. Hal ini disebabkan oleh kondisi statis dari rendaman air gambut yang membuat tidak terjadi perputaran siklus di dalam rendaman dan tertutupnya pori beton oleh bahan-bahan organik yang membuat reaksi perusakan asam dengan produk hidrasi semen tidak terjadi sampai ke inti beton.
8. Berdasarkan pengujian *Scanning Electronic Microscope (SEM)*

memperlihatkan bahwa kristal-kristal *slag* berfungsi sebagai pengisi rongga yang terdapat antara lekatan agregat dengan pasta semen, sehingga daerah yang berongga tersebut akan menjadi lebih padat dan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dan juga jumlah rongga yang terdapat pada campuran beton yang mengandung *steel slag* lebih kecil dan lebih sedikit.

9. Berdasarkan pengujian *Energy Dispersive Spectrometry (EDS)* bahwa senyawa kimia yang paling dominan adalah C sebesar 27,86%, O sebesar 29,41%, Al_2O_3 sebesar 12,32%, SiO_2 sebesar 15,95% dan CaO sebesar 22,78%. Senyawa ini adalah senyawa yang bersifat *pozzolanic*.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu beberapa saran untuk ditindaklanjuti yaitu sebagai berikut:

1. Kontrol terhadap nilai derajat keasaman (pH) rendaman harus lebih diperhatikan sebagai indikator utama pengujian.
2. Sebaiknya pengujian susut dilakukan pada ruangan tertutup sehingga kelembaban relatif ruangan dapat terjaga dan tidak bervariasi.
3. Untuk proses pembuatan benda uji disarankan untuk melakukan perlakuan yang sama terhadap setiap benda uji agar tidak terjadi perbedaan sifat mekanik antar beton.
4. Agregat yang akan digunakan sebagai material benda uji perlu dijaga kualitasnya agar pada saat pengujian karakteristik agregat, nilai-nilai karakteristiknya sesuai standar spesifikasi yang telah ditetapkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- ACI Commite 318M-05.** 2005. *Building Code Requirements For Structural Concrete And Commentary*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- ACI Commite 363R-92.** 1992. *State of the Art Report on High-Strength Concrete*.
- ASTM C 33.** 1994. *Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- ASTM C 642.** 1997. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*.
- ASTM C 40.** 1994. *Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*.
- ASTM C . 1090.** *Standard Test Method for Measuring Changes in Height of Cylindrical Specimens from Hydraulic-Cement Grout*
- Bajza, A & Zivica V.** 2009. *Acidic attack of cement-based—a review Part 2. Factorsof rate of acidic and protective measure*. Slovak Republic: Slovak Univesity of Technology
- Hanif.** (2012). *Penggunaan Steel Slag dengan Variasi FAS terhadap Kuat Tekan Beton*, politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Hartati, Fristin Yohana M** (2009). *Studi Pengaruh Steel Slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada campuran Aspal Beton Terhadap workabilitas dan Durabilitas*.
- Mulyono, T.** 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- PT. Krakatau Steel.** 2010. *Kajian Pemanfaatan Slag Baja Untuk Perkerasan Jalan di Lingkungan PT. KS*
- SNI 03-1969-1990.** (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990.** (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990.** (1990). *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*.

Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-1974-1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

SNI 03-2417-1991. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Bandung: Badan Standar Nasional.

SNI 03-2834-1993. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.

SNI 03-4804-1998. *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*.