

Beton Mutu Tinggi Untuk Rigid Pavement Dengan Campuran Limbah Steel Slag Sebagai Substitusi Pengganti Agregat Kasar Dan Penambahan Zat Additive

High strength concrete for rigid pavement with steel slag as coarse aggregate substitution and chemical admixtures

Fauzan Zhuhuri Maulana, Emil Adly

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. *Steel slag* dihasilkan dari proses pemisahan cairan baja yang dipanaskan di tungku-tungku cetakan pembuatan baja. *Steel slag* merupakan limbah padat yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan konstruksi bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik beton segar modifikasi baru dengan memanfaatkan *steel slag* sebagai substitusi agregat kasar. Variasi substitusi agregat kasar *steel slag* yaitu 50% dan 100%, serta menggunakan *Chemical Admixture* yang berupa *Plastocrete RT 06* kadar 0,6%, dan *Sikament NN* kadar 3% dari berat semen. Kuat tekan rencana beton sebesar 37,35 MPa, dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran diameter 7,5 cm, dan tinggi 15 cm, umur pengujian beton yaitu selama 7 hari, 21 hari, dan 28 hari. Dari hasil setting time, didapatkan sampel beton variasi substitusi agregat kasar *steel slag* 50% yaitu 120 menit, *steel slag* 100% yaitu 105 menit, sedangkan variasi beton normal additive lebih lambat yaitu 130 menit. Hasil pengujian kuat tekan beton normal *additive* umur 28 hari menghasilkan nilai rata-rata yaitu 23,1 MPa, beton variasi substitusi agregat kasar *steel slag* 50% yaitu 25,135 MPa, dan beton variasi substitusi agregat kasar *steel slag* 100% yaitu 36,745 MPa. Pengujian kuat tekan beton modifikasi lebih kecil dari kuat tekan rencana.

Kata kunci: beton mutu tinggi, *steel slag*, kuat tekan, modulus elastisitas.

Abstract. *Steel slag* is produced from the process of separating the steel liquid heated in a mold of making steel. *Steel slag* is a solid waste it can be used as an alternative of building construction material. This study aims to analyze the characteristics of the new modified fresh concrete by utilizing *steel slag* as a coarse aggregate substitution. The variation of coarse aggregate substitution of *steel slag* was 50% and 100%, and used *Chemical Admixture* in the form of 0.6% of *Plastocrete RT 06* and 3% of *Sikament NN* of the weight of cement. The compressive strength of the concrete plan was 37,35 MPa, and used a cylindrical specimen with 7,5 cm in diameter, and 15 cm in height. Soaked the concrete for 7 days, 21 days, and 28 days. From the time set, it was found that the concrete sample of the 50% coarse aggregate substitution variation of *steel slag* was 120 minutes, 100% *steel slag* was 105 minutes, and the normal additive concrete variation was slower; thus requiring a binding time of 130 minutes. The test results of normal additive concrete compressive strength within 28 days produced an average value of 23,1 MPa, concrete variation of 50% and 100% *steel slag* substitution concrete coarse aggregate were 25,135 MPa, and 36,745 MPa, respectively. The test of modified concrete compressive strength was less than the planned compressive strength.

Keywords: high qualified concrete, *steel slag*, compressive strength, elasticity modulus

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Beton memiliki beberapa material sebagai pengisi seperti air, semen, dan agregat mineral (umumnya kerikil dan pasir) sehingga semua

material tersebut mengalami perubahan sifat karakteristik kimawi menjadi padat. Pembuatan beton pada umumnya dapat di tambahkan dengan bahan-bahan penyusun lainnya, sehingga perbedaan kombinasi pengisi dari beton akan mendapatkan kualitas

dan karakteristik berbeda dari masing-masing bahan yang ditambahkan. Struktur bangunan kaku umumnya terdapat pada konstruksi bangunan gedung, bangunan air, dan sarana transportasi, salah satu pengaplikasiannya adalah pererasan kaku pada jalan (*rigid pavement*).

PT.Karakatau Steel yang beroperasi di Cilegon, Banten merupakan perusahaan BUMN yang bergerak dibidang produksi baja. Yang tentunya setiap produksinya akan menghasilkan limbah. Limbah baja yang dihasilkan disebut juga Steel slag, dihasilkan dari proses pemisahan cairan baja yang dipanaskan di tungku-tungku cetakan pembuatan baja. Steel slag sendiri tergolong dalam kategori B3 (bahan berbahaya baeracun).

Penelitian yang dilakukan oleh Gusanti dkk. (2014) menganalisis kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan limbah batu candi sebagai pengganti agregat kasar. Kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas bahan, perancangan pencampuran, dan pengerjaan pembuatan beton. Nilai kuat tekan beton untuk kadar batu candi 0% hingga 80% memenuhi syarat beton normal yang ditargetkan yaitu 25 MPa. Nilai modulus Elastisitas beton batu candi layak digunakan sebagai pengganti kerikil untuk memenuhi standar beton struktural.

Penelitian yang dilakukan oleh Putra dan Karolina (2017) yang menganalisis tentang penggunaan *steel slag* sebagai agregat beton mutu tinggi. Bahan pembuatan bembuatan beton terdiri dari *slag* yangdi peroleh dari PT. Growth Sumatra Indusries. Pengujian kuat tekan beton yang dilakukan didapatkan bahwa dalam 1 hari beton telah mencapai kuat tekan yang tinggi hingga umur 7 hari beton mengalami peningkatan yang melambat. Dari hasil pengujian kuat tekan benda uji konvensional dan beton *steel slag* sebagai bahan utama memiliki kuat tekan lebih tinggi.

Secara umum bahan tambah yang sering digunakan dalam beton dapat digolongkan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*) (Megasari dan Winayati, 2017). Megasari, dan Winayati (2017) dalam penelitiannya menganalisis Pengaruh Penambahan

Sikament-NN Terhadap Karakteristik Beton. Sikament-NN merupakan *superplasticizer* untuk membantu menghasilkan kekuatan awal dan kekuatan akhir tinggi pada beten tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah Menganalisis karakteristik beton segar modifikasi baru dengan menggunakan *steel slag* dan bahan tambah (*admixture*) *Plastocrate RT06* dan *Sikament NN* terhadap nilai *slump*, waktu ikat (*setting time*) pada beton. Menganalisis pemanfaatan limbah *steel slag* sebagai agregat kasar, dan penambahan zat *additive Plastocrate RT06* dan *Sikament NN* berupa kuat tekan, dan modulus elastisitas dalam campuran pembuatan beton untuk perkerasan jalan.

2. Landasan Teori

Beton

Berdasarkan (SNI 7656 – 2012) beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*), membentuk massa yang padat, kuat, dan stabil. Beton normal yaitu beton yang mempunyai berat isi 2.200 kg/m³ hingga 2.500 kg/m³. beton berat yaitu beton yang mempunyai berat isi lebih besar dari 2.500 kg/m³.

Beton dengan kekuatan yang tinggi sangat di pengaruhi oleh material penyusun pada beton tersebut. Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi kuat tekan pada beton mutu tinggi dalam pendesainannya. Penyiapan bahan yang memenuhi syarat adalah merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi dalam pembuatan beton yang bermutu tinggi. Faktor yang memengaruhi mutu suatu beton adalah faktor semen, faktor air semen, faktor agregat, penggunaan mikrosilika dan penggunaan bahan *admixture*.

Bahan

Semen Portland

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan proses penggilingan klinker sebagai bahan utama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gypsum sebagai bahan tambah (PUBI, 1982). Semen hidrolis memiliki sifat adhesive maupun kohesif sehingga mampu saling

merekatkan butir-butir agregat menjadi padat agar terjadi suatu massa yang rapat serta dapat mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Menurut Dumiyati dan Manalu (2015) fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu masa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat tersebut.

Air

Air merupakan bahan dasar penyusun beton yang sangat penting dan paling murah. Air dipergunakan pada pembuatan beton agar terjadi proses kimiawi dengan semen sehingga menyebabkan terjadinya pengikatan antara pasta semen dengan agregat penyusun beton, fungsi lain air adalah pelumas antara butiran-butiran agregat agar dengan mudah dapat dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dipakai disyaratkan memunahi kekuatan beton lebih dari 90% dari beton yang memakai air suling. Sedangkan untuk perawatan air dipakai saat beton mengeras yaitu *curing* (perawatan) (Isianto, 2010).

persyaratan menurut (SNI 03 – 2847, 2002) yaitu:

- Air yang dipergunakan untuk pencampuran beton harus bersih, bebas baha-bahan merusak seperti oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan merusak lainnya.
- Air pencampuran untuk beton yang terkandung logam didalamnya atau beton beton prategang tidak boleh mengandung ion klorida. Air bersih atau dapat diminum.
- Air bersih atau air yang dapat diminum.

Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami (kerikil atau pasir) yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat yang umumnya digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Komposisi agregat berkisar antara 60% hingga 70% dari volume persentase total beton (Tjokrodimuljo, 2007).

1. Agregat Halus (*Fine Aggregate*)

Agregat halus adalah agregat butir-butiran halus yang lolos pada saringan no. 4

atau ukuran 4,8 mm dan tertahan pada saringan no. 100 atau ukuran 150 μm (ASTM C 33). Pada tabel 1.

Tabel 1 Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	Persentase Lolos dari berat (%)
3/8 in. (9,5 mm)	100
No.4 (4,75 mm)	85 sampai 100
No.8 (2,36 mm)	80 sampai 100
No.16 (1,18 mm)	50 sampai 85
No.30 (600 μm)	25 sampai 60
No.50 (300 μm)	5 sampai 30
No.100 (150 μm)	0 sampai 10

Sumber : ASTM C33

2. Agregat Kasar (*Coarse Agregate*)

Agregat kasar adalah butiran-butiran kasar lebih besar dari pasir dan menjadi bahan pengisi pencampuran beton terdiri dari kerikil sebagai hasil di integrasi alamiah dari batuan atau hasil industri batu pecah (*split*) dan ukuran butirannya antara 5 mm sampai 4 mm (SNI-03-2847, 2002).

Persyaratan agregat kasar menurut (SNI-03-2847, 2002):

- Keras, tajan dan kasar dengan indek kekasaran tidak kurang dari 2,2.
- Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.
- Modulus halus butir yaitu 5 – 8, variasi gradasi sesuai standar.
- Tidak reaktif terhadap alkali.

Steel Slag

Steel Slag merupakan hasil pemisahan dan pendinginan akibat dari proses peleburan besi dalam tungku pembakaran besi yang dipanaskan (*Blast Furnace*) pada suhu tinggi dengan kandungan utama kalsium silikat dan aluminium silikat (SNI-8378, 2017). Menurut Kurniadi (2016) *slag* merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan oleh industry peleburan baja yang secara fisik menyerupai agregat kasar.

Penelitian ini akan memanfaatkan *Steel Slag* yang berasal dari PT. Krakatau Steel (Persero). PT Krakatau Steel (Persero) sendiri telah melakukan pengujian kandungan berbahaya atau beracun terhadap *Steel Slag* guna mengevaluasi produk dan *treatment* limbah sebelum diolah kembali atau di buang.

Berdasarkan hasil dari pengujian TCPL dankimiawi PT. Krakatau Steel (persero) kandungan logam masih diambang batas aman Lingkungan Hidup Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 sehingga limbah *slag* ini aman bila mana di kelola atau di ambil pemanfaatannya sesuai dengan kegunaan dalam penelitian ini.

Tabel 2 Kandungan Kimia PT. Karakatau Steel (Persero)

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

Sumber: PT Krakatau Steel (Persero)

Bahan Tambah (*admixture*)

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan yang berupa menyerupai bubuk atau cair, yang kemudian ditambahkan kedalam pencampuran beton selama proses pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya (SNI 03-2487, 2002). Menurut Muricar dkk. (2003) bahan kimia pembantu (*chemical admixtures*) dan bahan-bahan lain merupakan bahan tambahan (*additives*) kepada beton. Jumlahnya relatif sedikit tetapi pengaruhnya cukup besar pada beton sehingga banyak digunakan. Bahan tambah digunakan dengan tujuan untuk mempermudah pengerjaan beton (meningkatkan nilai *slump*), memperbaiki *workability* beton, mengendalikan factor air semen (FAS), menaikkan kuat awal beton, lama pengerasan atau kebutuhan lain tanpa mengurangi kekuatan rencana beton tersebut.

1. *Plastocrete RT06*

Berdasarkan data teknis (PT. Sika Indonesia, 2007) *Plastocrete RT06* adalah campuran beton yang dapat mereduksi penggunaan air pada pencampuran beton serta mengontrol waktu pengerasan, bahan tambah ini masuk kepada ASTM C 494-92 Tipe D.

Fungsi dari sifat bahan tambah ini untuk menghindari sendi kaku, penempatan yang sulit, penuangan dengan skala besar, mengurangi penyusutan beton yang akan

berakibat retakan. Tingkat kesempurnaan campuran dipengaruhi oleh tingkat dosis, kualitas semen, kualitas agregat dan suhu. Dosis penggunaan bahan tambah ini yaitu antara 0,2 % sampai 0,6 % dari berat semen pencampuran.

2. *Sikament NN*

Berdasarkan data teknis (PT. Sika Indonesia, 2005) *Sikament-NN* adalah *superplasticzeryang* bersifat mengurangi penggunaan air dengan jumlah yang besar namun dapat mempercepat pengerasan pada pencampuran beton. *Superplasticzer* sangat efektif digunakan untuk beton mengalir serta menghasilkan kekuatan awal dan akhir yang tinggi sesuai dengan kriteria ASTM C 494 Tipe F. *Sikament-NN* dapat digunakan dengan dosis 0,3% hingga 2,30% dari berat semen seuai pada kuat tekan beton dan kelecakan yang diinginkan. Pengurangan air pada penggunaan zat ini mencapai 25%. Menurut Novan dan Emiryati (2019) pengurangan jumlah air berpengaruh pada *workability* atau kemudahan pengerjaan dan mutu, semakin sedikit jumlah air yang digunakan maka semakin tinggi kekuatan beton.

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental laboratorium dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder diameter 7,5 cm tinggi 15,0 cm. Variasi bahan tambah dalam penelitian ini penggunaan bahan tambah (*admixture*) yaitu *Plastocrete RT06* dengan kadar 0,6%, dan *Sikament NN* dengan kadar 3% dari berat semen. Sedangkan variasi bahan yaitu substitusi agregat kasar 50%, dan 100%. Total banyaknya benda uji pada semua sampel yaitu 18 benda uji. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 7, 21, dan 28 hari seperti dapat dilihat pada Tabel 3.

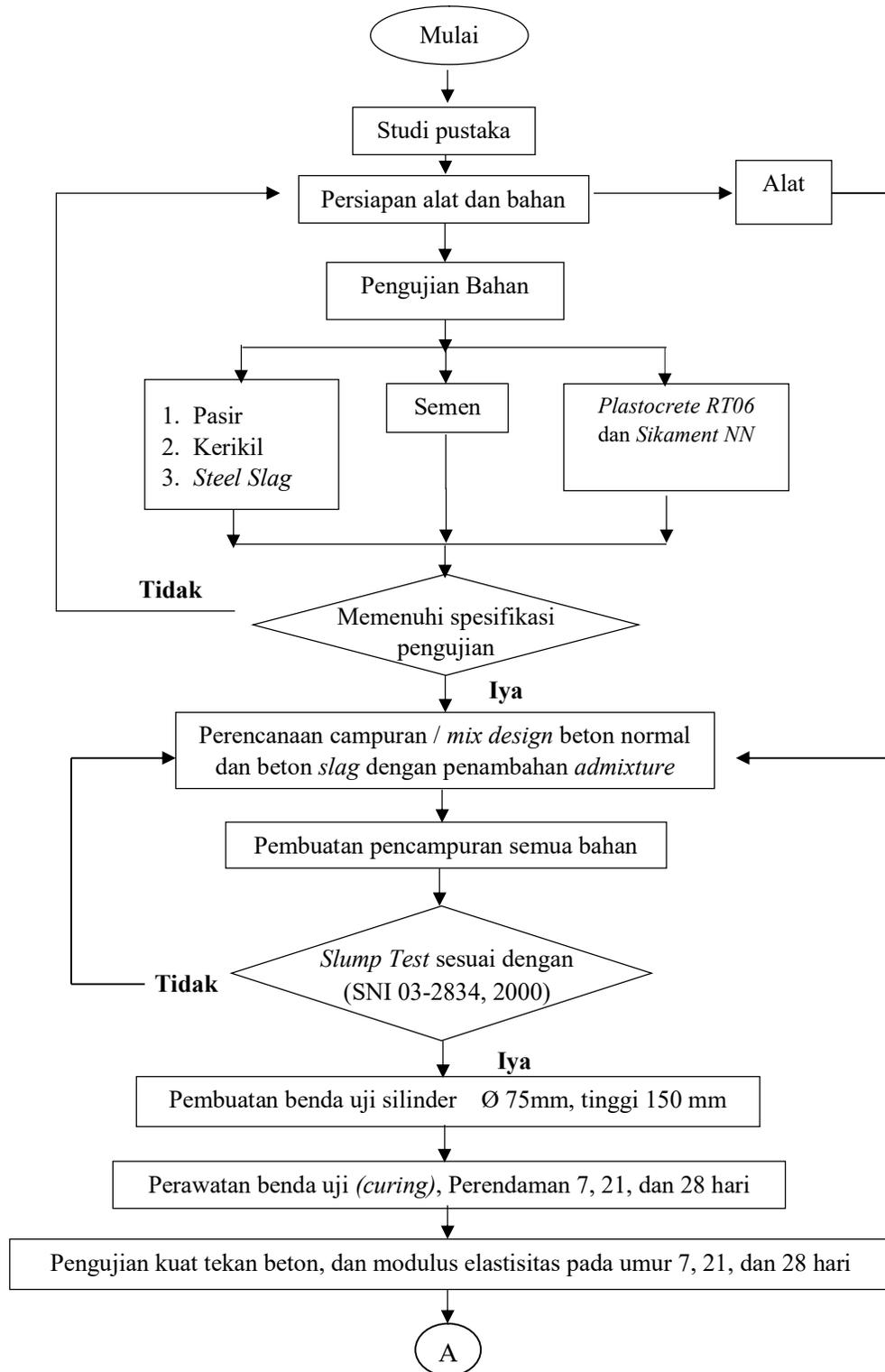
Tabel 3 Variasi Sampel Benda Uji

Umur	<i>Plastocrete RT06 0,6% dan Sikamen NN 3%</i>		
	<i>Steel Slag 50%</i>	<i>Steel Slag 100%</i>	Beton normal additive
7 Hari	2	2	2
21 Hari	2	2	2
28 Hari	2	2	2
Total	6	6	6

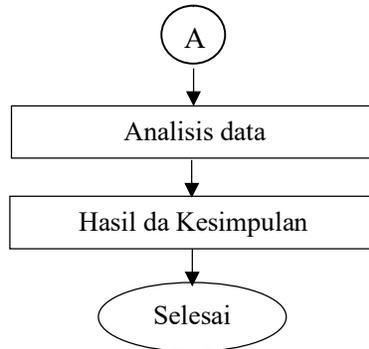
Bagan Alir Penelitian

Pada pengujian ini akan dilakukan beberapa tahapan seperti studi pustaka, persiapan alat dan bahan, tahapan pengujian

bahan, pembuatan *mix design*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji, analisis data, dan pengambilan kesimpulan. Pada Gambar 1.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)

Tahapan Penelitian

Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa macam alat bantu dalam melaksanakan pengambilan contoh benda uji di lapangan maupun pengujian data di Laboratorium.

Pengujian Sifat Fisik Dan Mekanik Material

Pengujian sifat fisik dan mekanik material bertujuan untuk mengetahui spesifikasi bahan pencampuran pada beton. pengujian ini juga berfungsi untuk menjadi patokan pembuatan *mix design*. Pengujian sifat fisik dan material meliputi:

1. Pemeriksaan agregat halus (pasir).
2. Pemeriksaan agregat kasar (*split*).
3. Pemeriksaan *steel slag*.

Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Penelitian ini dilakukan berdasarkan (SNI 03-2834, 2000) tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Berdasarkan hasil dari pengujian material agregat yang telah dilakukan sebelumnya yaitu pengujian berat jenis agregat halus, berat jenis agregat kasar, dan daerah gradasi butiran sebagai dasar pembuatan campuran beton normal dan beton modifikasi *steel slag* sebagai beton mutu tinggi. Setelah didapatkan berat masing-masing material untuk pembuatan pencampuran beton, maka dilakukan pencetakan sampel benda uji pada *mold* berbentuk silinder.

Pencampuran Semua Bahan

Pencampuran semua bahan pembuatan beton dilakukan dengan menggunakan mesin

molen (mesin pengaduk), kemudian memasukan material agregat kasar, agregat halus, semen, air, dan bahan tambah (*admixture*) ke dalam mesin pengaduk. Mesin pengaduk diputar sampai campuran beton tercampur merata semua (homogen). Pencampuran bahan pembuatan beton disesuaikan dengan variasi sampel yaitu sebanyak 3 kali, yang dimana setiap variasi dibuat secara waktu yang terpisah untuk memudahkan pengerjaannya.

Pengujian *Slump* Dan Waktu Ikat

Slump adalah suatu ukuran kekentalan pada adukan beton segar yang dinyatakan dalam (mm) kemudian di tentukan oleh alat kerucut bernama *abrams* (SNI 03-2834, 2000).

Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan kerucut *Abrams*. Tujuan pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton segar dan kekentalan adukannya (*workability*). Apabila pengujian *Slump* sesuai dengan rancangan, maka adukan beton segar dilanjutkan untuk pembuatan sampel.

Perhitungan waktu ikat (*setting time*) ditujukan untuk mengetahui lama pengikatan semen terhadap agregat. Pada saat adukan beton telah mulai mengikat, adukan ini tidak dapat dirubah kembali bentuk atau kedudukannya. Perhitungan waktu ikat dilakukan dengan cara manual yaitu pada saat pencampuran semua material beton hingga tahap pengerasan beton sudah tidak dapat diubah lagi bentuknya.

Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan benda uji (*curing*) bertujuan untuk menjaga keadaan permukaan beton selalu lembab sehingga mencegah proses hidrasi beton berlebihan yang berakibat retakan atau berpori. Dalam menjaga kelembapan beton terdapat beberapa cara yang digunakan yaitu:

1. Menjaga beton ditempat ruangan lembab.
2. Perendaman beton dengan air.
3. Membungkus beton dengan goni basah.
4. Penyiraman yang teratur terhadap beton.

Kuat Tekan

Persyaratan kuat tekan didasarkan pada hasil uji kuat tekan. Sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi, dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya dilakukan dengan meninjau kuat tekannya (Rahmat dkk., 2016). Menurut Mulyati dan Arman (2014) ada beberapa hal yang mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan, diantaranya mutu bahan yang digunakan, teknik pengerjaan pembuatan benda uji, kualitas cetakan yang digunakan, serta cara perawatan dan pelaksanaan pengujian benda uji. Berdasarkan (SNI 03-1974, 1990) kuat tekan adalah besarnya beban per satuan luas penampang, yang menyebabkan benda uji beton hancur dengan gaya tekan tertentu yang diberikan oleh mesin tekan. Metode ini dilakukan acuan pengujian untuk menentukan kuat tekan (*compressive strenght*) beton dengan benda uji berbentuk selinder yang dibuat dan dihasilkan (*curing*) dilapangan maupun dilaboratorium. Perhitungan kuat tekan dapat diketahui berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A} (\text{N/mm}^2) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm²)

Modusul Elastisitas

Menurut (SNI 03-2847, 2002) modulus elastisitas beton adalah rasio (perbandingan) tegangan normal ratik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut. Nilai perbandingan ini berlaku untuk tegangan dibawah batas proposional material.

Pengujian modulus elastisitas beton ini menggunakan mesin uji tekan dengan dipasang alat ukur (*dial gauge*) arah *longitudinal*.

Menurut (Mustika dkk., 2016) modulus elastisitas beton merupakan garis singgung (dari gari yang ditarik) dari kondisi teganga nol ke garis kondisi tegangan 0,4 f'c pada kurfa tegangan-regangan beton. Modulus elastisitas ini dipengaruhi oleh bahan pengisi beton, kelembaban benda uji, faktor air seme (FAS), umur beton serta temperaturnya.

Berdasarkan (SNI 03-2847, 2002) hubungan antara nilai modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton adalah :

$$\text{Modulus Elastisitas} : 4700 \sqrt{f'c} \text{ 28 hari } \dots(2)$$

Keterangan :

f'c 28 hari = kuat tekan beton setelah berumur 28 hari (Mpa).

4. Hasil Dan Pembahasan

Hasil Pengujian Karakteristik Material

Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus berupa pasir yang berasal dari Kali Progo, Kulon Progo, maka diperoleh data seperti terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengujian agregat halus

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Gradasi	-	Zona 3
2	Modulus Halus Butir	-	1,87
3	Berat Jenis	-	2,31
4	Penyerapan Air	%	11,37
5	Kadar Air	%	1,63
6	Kadar Lumpur	%	2,40

Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang berasal dari Clereng, Kulon Progo. Maka diperoleh data seperti yang terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5 Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Gradasi	mm	Maksimum 20
2	Modulus Halus Butir	-	6,96
3	Berat Jenis	-	2,51
4	Penyerapan Air	%	1,42
5	Kadar Air	%	1,80
6	Kadar Lumpur	%	2,48
7	Keausan Agregat	%	20,3

Tabel 7 Kebutuhan Campuran Beton Untuk 1 Buah Sampel Silinder

Material	Variasi Pencampuran Beton			Satuan
	Beton A.K. Slag 50%, Dan Additive	Beton A.K.Slag 100%, Dan Additive	Beton Normal Additive	
Semen	0,33	0,33	0,33	kg/m ³
Agregat Halus	0,43	0,43	0,35	kg/m ³
Agregat Kasar	0,395	-	0,65	kg/m ³
Steel Slag	0,395	0,79	-	kg/m ³
Air	0,14	0,14	0,14	Liter
Plastocrete RT 06 0,6%	0,0019	0,0019	0,0019	Liter
Sikament NN 3%	0,0098	0,0098	0,0098	Liter

Steel Slag

Hasil pemeriksaan *Steel Slag* (limbah baja) yang merupakan bahan sebagai pengganti agregat kasar berasal dari PT. Krakatau Steel, Clegon. Maka diperoleh data seperti terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6 Pemeriksaan *Steel Slag* Substitusi Agregat Kasar

No	Pengujian	Satuan	Hasil
1	Gradasi	Mm	Maksimum 20
2	Modulus Halus Butir	-	6,99
3	Berat Jenis	-	3,54
4	Penyerapan Air	%	1,01
5	Kadar Air	%	2,1
6	Kadar Lumpur	%	0,25
7	Keausan Agregat	%	11,58

Hasil Perencanaan Pencampuran Beton (*Mix Design*)

Hasil perencanaan pencampuran beton (*mix design*) pada beton dapat dilihat pada Tabel 7. Penggunaan agregat halus pada beton variasi *slag* 50%, dan beton variasi *slag* 100% memiliki proporsi sama, untuk beton normal *additive* lebih sedikit. Penggunaan agregat kasar yang digunakan pada beton normal sebanyak 0,65 kg/m³, dan beton variasi *steel slag* 50% yaitu sebanyak 0,395kg/m³.

Sedangkan pada variasi beton *steel slag* 100% menggunakan material *slag* sebanyak 0,79 kg/m³. Jumlah penggunaan semen pada tiap-tiap variasi beton sama. Untuk jumlah penggunaan *Sikament NN*, *Plastocrete RT 06*, dan Air pada beton agregat kasar *slag* 50%, 100%, dan beton normal *additive* jumlahnya tetap.

Kebutuhan material penyusun beton segar dalam silinder berdiameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm dengan volume yaitu 662,67 cm³ atau 6,626 x 10⁻⁴ m³.

Hasil Pemeriksaan *Slump*

Nilai *slump* yang rencana yaitu 10±2 . Pada saat perencanaan (*mix design*) beton normal *additive*, beton agregat kasar kadar *slag* 50%, dan 100% penggunaan airakan dikurangi pada saat pengadukan bahan material.

Tabel 8 Nilai *Slump* Tiap Variasi Campuran

Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran Beton	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Pengurangan air (%)
7	Normal dengan <i>additive</i>	10,5	21,5
21			
28			
7	<i>Slag</i> 50% dengan <i>additive</i>	11	25,5
21			
28			
7	<i>Slag</i> 100% dengan <i>additive</i>	12	27
21			
28			

Nilai *slump* pada variasi beton normal dengan penambahan zat *additive* yaitu 10,5 cm dengan pengurangan air sebesar 21,5%, nilai *slump* untuk variasi beton agregat kasar *slag* 50% dengan penambahan zat *additive* naik sebesar 0,5 cm dari variasi sebelumnya menjadi 11 cm dengan pengurangan air 25,5%, dan nilai *slump* pada variasi beton agregat kasar *slag* 100% dengan penambahan zat *additive* naik sebesar 1 cm dari variasi beton sebelumnya yaitu menjadi 12 cm dengan pengurangan air sebesar 27% (Tabel 8). Semakin dominan material *slag* sebagai substitusi agregat kasar maka semakin banyak pengurangan pemakaian air pada pencampuran. Banyaknya pengurangan air pada bahan material *slag* disebabkan ciri fisik bahan material *slag* memiliki rongga pori-pori yang lebih sedikit dibandingkan material normal. Hal ini mengacu pada pengujian

bahan agregat pada laboratorium, untuk bahan material agregat kasar berupa krikil memiliki nilai penyerapan terhadap air 1,42%, sementara itu bahan material agregat kasar slag hanya memiliki nilai serap terhadap air 1,01%.

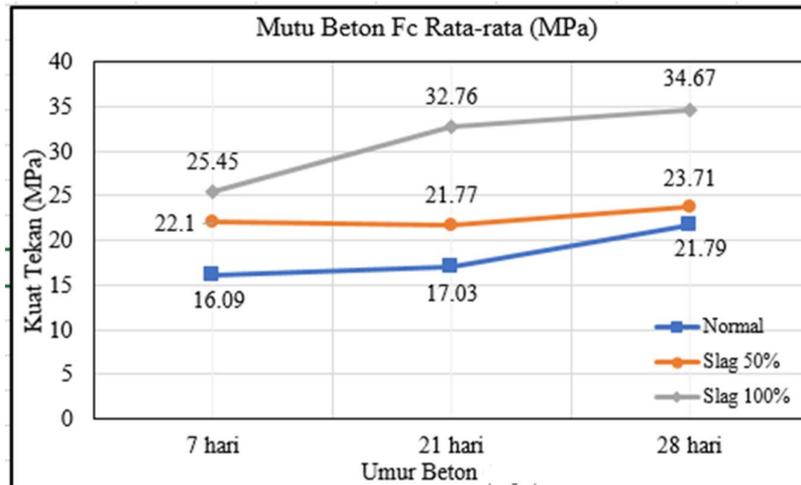
Pemeriksaan Waktu Ikat (*Setting Time*)

Waktu ikat pada beton normal dengan penambahan zat *additives* memerlukan waktu ikat yaitu selama 130 menit, waktu ikat pada variasi beton agregat kasar *slag 50%* dengan penambahan zat *additive* dapat menambah laju waktu ikat beton dari sebelumnya 10 menit sehingga pengikatan hanya terjadi dalam waktu 120 menit, sedangkan waktu ikat pada beton agregat kasar *slag 100%* dengan penambahan zat *additives* kecepatan waktu ikat meningkat 15 menit dari variasi

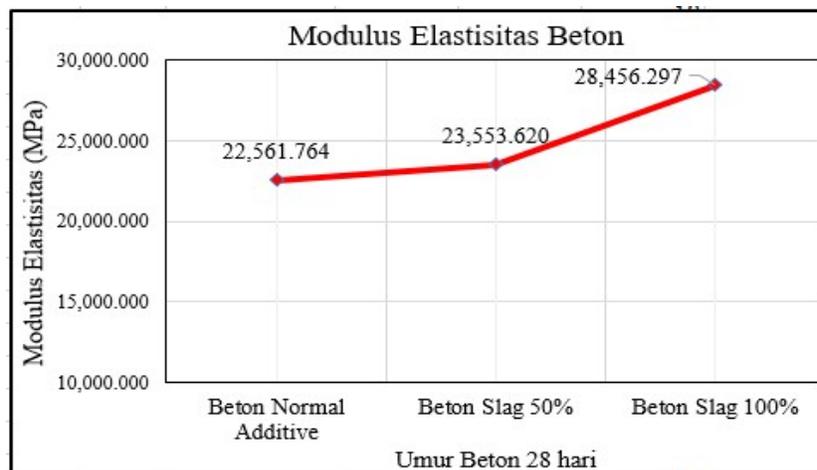
sebelumnya sehinggahanya memerlukan waktu 105 menit. Peningkatan kecepatan waktu ikat (*setting time*) tersingkat yaitu terjadi pada beton agregat kasar *slag 100%* berdasarkan Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Pemeriksaan Waktu Ikat (*Setting Time*)

No	Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran Beton	Setting Time (menit)
1	7	Normal dengan zat <i>additive</i>	130
2	21		
3	28		
4	7	<i>Slag 50%</i> dengan zat <i>additive</i>	120
5	21		
6	28		
7	7	<i>Slag 100%</i> dengan zat <i>additive</i>	105
8	21		
9	28		



Gambar 2 Grafik Pengujian Kuat Tekan Tiap Variasi Beton



Gambar 3 Grafik Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah mencapai umur rencana yang telah ditentukan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji yang telah berumur 7 hari, 21 hari, dan 28 hari dengan kuat tekan yang direncanakan yaitu 37,35 MPa sebanyak 18 sampel.

Berdasarkan Gambar 2 didapatkan bahwa nilai kuat tekan beton *steel slag* 50% dan 100% sebagai substitusi agregat kasar pada umur 7 hari mencapai 22,1 MPa dan 25,45 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 27% dan 36,8% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 16,09 MPa. Pada umur 21 hari kuat tekan beton *steel slag* 50% dan 100% mencapai 21,77 MPa dan 32,76 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 21,7% dan 48% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 17,03 MPa. Pada umur 28 hari beton *steel slag* 50% dan 100% yaitu 23,71 MPa dan 34,67 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 8% dan 37% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 21,79 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *steel slag* sebagai substitusi agregat kasar dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton

Pemeriksaan Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas beton ialah suatu ukuran nilai yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton terhadap menahan deformasi (perubahan bentuk). Salah satu sifat beton yaitu kaku yang apabila dibebani, beton tidak dapat berubah kebentuk semulanya (elastis). Hal ini membantu untuk menganalisa perkembangan tegangan regangan terhadap struktur sederhana dan untuk menganalisa tegangan regangan, momen, dan lendutan pada struktur yang lebih kompleks (Rifky, 2011).

Pemeriksaan modulus elastisitas beton didapatkan setelah pengujian kuat tekan beton umur 28 hari. Hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan beton dinyatakan dalam bentuk persamaan $4700\sqrt{f'c}$ 28 hari. Hasil pemeriksaan nilai modulus elastisitas beton *steel slag* 50% dan 100% sebagai substitusi

agregat kasar mencapai 23.553,620 MPa dan 28.456,297 MPa, nilai modulus elastisitas beton mengalami peningkatan 4,2% dan 20,7% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 22.561,764 MPa dapat dilihat berdasarkan Gambar 3. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa beton *steel slag* sebagai agregat kasar memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi lebih tinggi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh peneliti, didapatkan analisis hasil dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap *steel slag* (limbah baja), sebagai substitusi agregat kasar pada beton dan penambahan zat *additive Plastocrete RT 06* dan *Sikament NN*, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Kuat tekan beton pada tiap variasi mengalami peningkatan dengan umur beton, yaitu pada 7 hari, 21 hari, dan 28 hari.
2. Penggunaan limbah baja (*steel slag*) pada substitusi agregat kasar pencampuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton.
3. Beton variasi *steel slag* dengan penambahan zat *additive Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* dapat meningkatkan nilai *slump* serta *workability* yang baik.
4. Penambahan zat *additive Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* dapat meningkatkan waktu ikat (*setting time*) pada beton.
5. Nilai modulus elastisitas beton meningkat seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton umur 28 hari.

6. Daftar Pustaka

- ASTM C 494/C 494M-04, 2014, *Standard Specification For Chemical Admixtures For Concrete*, United States.
- ASTM C 33/C 33M-11a, 2011, *Standard Specification For Concrete Aggregates*, United States.
- BSN, 1990, SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standar Nasional, Indonesia.
- Dumyati, A. dan Manalu, D.F., 2015, Analisis Penggunaan Pasir Pantai Sampur Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat

- Tekan Beton, *Jurnal Forum Profesional Teknik Sipil*, 3(1), 1-13.
- Gusanti, W., Sambowo, K.A. dan Wibowo., 2014, Tinjauan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Menggunakan Limbah Batu Candi Sebagai Pengganti Agregat Kasar, *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 50-57.
- Kurniadi, A., 2016, Pemanfaatan Slag Baja Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Pada Pembuatan *Paving Block*, *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 101-106.
- Mustika, W., Salain, I.M.A.K. dan Sudarsana, I.K., 2015, Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton, *Jurnal Spektran*, 4(2). 36-45.
- Megasari, S.W. dan Winayati., 2017, Analisis Pengaruh Penambahan *Sikament-NN* Terhadap Karakteristik Beton, *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 3(2), 117-128.
- Muricar, S., Tatong, B. dan Hasan, H., 2003, Pengaruh Bahan Tambah *Plastiment-VZ* Terhadap Sifat Beton, *Majalan Ilmiah Mektek*, 15(1), 39-58.
- Mulyati, M. dan Arman, A., 2014, Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Normal, *Jurnal Momentum*, 16(2), 1-7.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 101, 2014, *Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*, Jakarta.
- Putra, A.L.A. dan Karolina, R., 2017, Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Agregat Beton Mutu Tinggi (*Studi Eksperimental*), *Jurnal Teknik Sipil USU*, 6(1), 1-9.
- Pandiangan, J. dan Karolina, R., 2017, Pengaruh Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Dan Lentur Pada Beton Bertulang Dibandingkan Dengan Beton Normal, *Jurnal Teknik Sipil USU*, 6(1), 1-7.
- Rifky, Muhammad, 2011, Tinjauan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Pada Beton Menggunakan Pasir Normal Dan Pasar Merapi Serta Penambahan *Pozzolan* Lumpur Lapindo, Tugas Akhir, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.
- Rahmat, R., Hendriyani, I. dan Anwar, M.S., 2016, Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah *Reduced Water* Dan *Accelerated Admixture*, *Info Teknik*, 17(2), 205-218.
- Sika, 2007, *Technical Data Plastocrete RT 6 Plus*, PT. Sika Indonesia, Bogor.
- Sika, 2007, *Technical Data Sikament-NN*, PT. Sika Indonesia, Bogor.

