

Kuat Tekan Beton Untuk *Rigid Pavement* dengan Campuran Limbah *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Halus dan Zat *Additive* Dengan Variasi Umur Beton

Forse compression concrete for rigid pavement with steel slag as substitution fine agregate and additive with variations the age of concrete

Hari Wibowo, Emil Adly

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Pada saat ini perkembangan teknologi industri sangat pesat, terdapat banyak industri yang menghasilkan limbah salah satunya limbah industribaja yang disebut *Steel Slag*. *Steel Slag* didapatkan dari endapan sisa peleburan baja yang dipanaskan $\pm 1500^{\circ}$ C. Dalam penelitian ini menganalisis perkerasan kaku berupa beton dengan menggunakan limbah *steel slag* campuran 50 %, 100% sebagai pengganti agregat halus serta menggunakan campuran *Chemical admixture* berupa *Plastocrete RT06* 06% dan *Sikamente NN* 3%, menggunakan benda uji silinder dan direndam selama 7, 21, dan 28 hari. Dari hasil *setting time* didapatkan nilai 115 menit dan 107 menit, untuk masing-masing variasi lebih cepat 15 menit dari waktu ikat beton normal *additive* memerlukan waktu ikat beton 130 menit. Sedangkan untuk nilai slump didapatkan slump rata-rata 11,5 dan 10,5 untuk masing-masing variasi. Pengujian kuat tekan menunjukkan untuk *steel slag* 50% usia 28 hari sebesar 33,99 MPa, *steel slag* 100% usia 28 hari sebesar 33,55MPa.

Kata-kata kunci : karakteristik beton, steel slag, zat additive

Abstract. *The current rapid development of industrial technology has led to accumulated industrial waste production as well as industrial steel waste known as Steel Slag. Steel Slag is derived from deposits of residual steel melting heated at $\pm 1500^{\circ}$ C. This study analyzes rigid pavement of concrete using 50% mixed steel slag waste, and a 100% substitute for fine aggregate. It also used a mixture of Chemical admixture in the form of Plastocrete RT06 06% and Sikamente NN 3%, using cylindrical specimens soaked for 7, 21 and 28 days. The setting time results in 115 minutes and 107 minutes ideal time for each variation, 15 minutes faster than normal additive concrete tie time requiring 130 minutes of concrete tie time. Meanwhile, the slump value obtains the average slump of 11.5 and 10.5 for each variation. Compressive strength testing shows that steel slag of 50% aged 28 days is 33.99 MPa, while 100% steel slag aged 28 days is 33.55 MPa.*

Keywords: Characteristics of Concrete, Steel Slag, Additive Substance

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi industri pada jaman sekarang sangatlah pesat, terdapat banyak industri yang menghasilkan limbah seperti halnya limbah industri baja yang disebut limbah baja (*Steel Slag*). *Steel Slag* didapatkan dari suatu endapan peleburan baja yang dipanaskan $\pm 1500^{\circ}$ C, endapan tersebut merupakan limbah dari peleburan. *Steel Slag* ini tergolong dalam kategori B3 (bahan berbahaya dan beracun). Sesuai peraturan pemerintah No. 101 tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun. *Steel Slag* merupakan bahan yang

tidak berbahaya jika dimanfaatkan untuk perkerasan jalan.

Dengan semakin meningkatnya industri cor logam saat ini maka akan semakin banyak juga limbah yang dihasilkan. Perlu adanya pengelolaan limbah guna mengurangi pencemaran lingkungan. Pengolahan limbah B3 dapat di proses untuk mengurangi dan / atau menghilangkan sifat bahaya dan / atau sifat racun.

Rahmatdkk. (2016) Judul penelitian Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Reduced Water dan Accelerated Admixture. Tujuan dari penelitian ini adalah

untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan tambah *Reduced Water* dan *Accelerated Admixture* terhadap campuran beton dan mengetahui berapa persen jumlah optimum bahan tambah *Reduced Water* dan *Accelerated Admixture* yang ditambahkan untuk mencapai kuat tekan maksimum beton pada umur 7,14 dan 28 hari. Benda uji yang dipakai berdiameter 15 x 30 cm dengan menggunakan 3 variasi campuran *blastmittel* sebanyak 0,2%, 0,4% dan 0,6% dari berat semen. Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil menunjukkan kuat tekan beton variasi yang terendah dengan menggunakan bahan tambah sebesar 0,2% yaitu 27,66 MPa dan kuat tekan tertinggi adalah kuat tekan yang menggunakan bahan tambah sebesar 0,6% yaitu 31,44 MPa. Dengan menambahkan bahan additive sebesar 0,2%, 0,4% dan 0,6% berat semen, selain meningkatkan nilai kuat tekannya dapat mempercepat proses pengerasan beton dan bisa dicapai pada umur beton 7 hari hal ini sangat bermanfaat untuk perkerasan konstruksi dengan jadwal yang ketat.

Ovianti (2018) Judul penelitian Pengaruh Penggunaan *Steel Fiber* Pada Pembuatan Beton Mutu Normal Dengan *Substitusi Copper Slag* Sebagai Pengganti Pasir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan berat jenis dan kuat tekan pada beton normal dengan beton yang menggunakan bahan tambahan *copper slag* sebagai pengganti pasir. Dengan menggunakan metode penelitian eksperimental analisis data eksperimen dengan teoritis menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui dengan fenomena data dan grafik. Menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 cm dan variasi yang dipakai sebanyak 4 variasi yaitu 0%, 2%, 4%, 6% dengan curing umur beton 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

Prayuda dan Pujianto (2018) Judul penelitian Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah *Superplastizer* dan Limbah Las Karbit. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan penambahan bahan tambah *superplastizer* dan limbah las karbit dalam campuran beton. Pada penelitian ini

menganalisis kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari sebanyak 7 variasi dengan total sampel 63 benda uji dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Variasi yang dianalisis melalui penelitian ini berupa ukuran agregat, variasi faktor air semen dan persentase limbah karbit yang digunakan.

Megasari dan Winayati (2017) dalam penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Sikament-NN Terhadap Karakteristik Beton”. Sikament-NN merupakan *superplastizer* untuk membantu menghasilkan kekuatan awal dan kekuatan akhir tinggi. Penggunaan agregat kasar dan agregat halus diperoleh pada Provinsi Riau untuk pembuatan beton berdasarkan hasil pengujian pendahuluan bahwa material tersebut memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran beton. Penambahan variasi persentase *sikament-NN* untuk menganalisis kuat tekan terhadap beton serta *plastiment-VZ* ditambahkan pada saat pengecoran awal yang diasumsikan berguna untuk meningkatkan kelecakan (*workability*) selama diperjalanan. Perancangan pembuatan beton menggunakan metode *Department of Environment* (DOE) dengan cetakan sampel berbentuk silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Mesin molen pengaduk (*molen*) diatur kecepatannya 25 putaran per menit dengan lama pengadukan tidak lebih dari 5 menit. Persentase penambahan *Sikament-NN* yaitu 0%, 0,3%, 0,8%, 1,3%, 1,8%, 2,3% total jumlah sampel 18 dengan masing-masing persentase 3.

Anggraeni dkk. (2017) Judul penelitian Studi Analisis Limbah Terak Besi Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Pembuatan Paving Block. Tujuan penelitian ini untuk memanfaatkan limbah terak besi sebagai pengganti agregat halus pada pembuatan paving block dan untuk mendapatkan nilai kuat tekan maksimum serta biaya produksi yang paling efisien. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dimana dapat variabel-variabel yang sudah ditentukan sebelumnya dengan cara studi literatur. Benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini adalah paving block dengan ukuran 21 cm x 10,5 cm x 6 cm dengan umur perendaman 7, 14, 21 dan 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 3 buah untuk

masing-masing perbandingan campuran pada setiap umur pengujian *paving block*, sehingga keseluruhan adalah sebanyak 72 buah seperti pada Tabel 2.5. Hasil pengujian nilai kuat tekan maksimal pada umur 7 hari sebesar $309,61 \text{ kg/cm}^2$ dengan campuran 1Pc : 3Ps : 3Tb, pada usia 14 hari dengan campuran 1Pc : 3Ps : 3Tb menghasilkan kuat tekan maksimal sebesar $269,05 \text{ kg/cm}^2$, pada usia 21 hari campuran 1Pc : 3Ps : 3Tb menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar $309,61 \text{ kg/cm}^2$, pada usia 28 nilai kuat tekan maksimum dengan campuran 1Pc : 3Ps : 3Tb sebesar $298,39 \text{ kg/cm}^2$. Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan penggantian sebagai agregat halus dengan terak besi berpengaruh terhadap kuat tekan *paving block*.

Kadhafi(2015) judul penelitian Pemanfaatan *Copper Slag* Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton Mutu K-225. Tujuan penelitian untuk membandingkan nilai kuat tekan beton dengan masing-masing persentase terak tembaga (*copper slag*) sebagai substitusi semen dengan beton normal. Dalam penelitian ini, menggunakan persentase masing-masing sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 30% dari berat semen. Menggunakan benda uji silinder, dengan tinggi 30 cm dan berdiameter 15 cm, dengan perendaman beton selama 7, 21, 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton terak tembaga (*copper slag*) dapat dilihat pada Gambar 2.1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan semakin banyak penggunaan *copper slag* diatas 15% kuat tekan semakin menurun, penggunaan *copper slag* yang paling efektif pada usia 28 adalah dengan variasi 15% yang mengalami kenaikan kuat tekan hingga 20,06% terhadap beton normal dan penurunan terbesar adalah dengan variasi *copper slag* 30% pada usia 28 hari sebesar 10,78% terhadap beton normal.

Gusanti dkk. (2014) dalam pengujian yang berjudul "Tinjauan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Menggunakan Limbah Batu Candi Sebagai Pengganti Agregat Kasar". Tujuan penelitian untuk meninjau kuat tekan beton yang merupakan parameter utama mutu beton demikian juga dengan modulus elastisitasnya. Kuat tekan dipengaruhi oleh kualitas bahan, perancangan pencampuran, dan pengerjaan pembuatan

beton. Metode penelitian eksperimental pada penelitian ini variable bebas adalah agregat kasar beton dengan limbah sedangkan variable terikat adalah nilai kuat tekan dan besarnya modulus elastisitasnya. Limbah batu candi sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari berat kerikil sebanyak 3 sampel tiap variasi.

Basid dan Yusuf (2014) Judul penelitian Pengaruh Variasi Gradasi Agregat (slag) Terhadap Kuat Tekan, Porositas Dan Kuat Tarik Belah Beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara gradasi slag sebagai bahan tambahan dengan gradasi agregat normal. Dalam penelitian menggunakan 3 jenis variasi, yang dimana setiap variasi terdiri dari 9 benda uji. Adapun variasi yang direncanakan yaitu dengan metode up and down 7 % dari kurva *fuller*. Dari hasil penelitian yang direncanakan campuran beton agregat normal diperoleh perbandingan 1: 1,22 ; 2,26 sedangkan dengan menggunakan agregat slag sebagai bahan tambahan diperoleh 1 : 2 : 2,41 yang memiliki pengaruh signifikan terhadap adanya variasi agregat *slag* terhadap kuat tekan yaitu terjadi pada gradasi III dengan proporsi campuran agregat slag 1,18 mm = 55 %, 2,36 mm = 45 %, 4,74 mm = 47 % dan 12,5 mm = 5,3 % memberikan perbandingan kuat tekan sebesar 36,99 Mpa atau 6,37 % dari gradasi *fuller* itu disebabkan karena gradasi III campuran slag sebagai bahan tambahan hampir mendekati 50 % pada setiap gradasinya sehingga beton menjadi padat dan sedikit menyerap air sehingga rongga udara menjadi kecil. Sedangkan untuk gradasi *slag* sebagai bahan tambahan terhadap kuat tarik belah beton menjadi tinggi yaitu pada gradasi III dengan proporsi *slag* sebagai campuran 1,18 mm = 55 %, 2,36 = 45 %, 4,74 mm = 47 %, dan 12,5 mm = 53 % memberikan peningkatan terhadap kuat tarik belah sebesar $32,55 \text{ kg/cm}^2$ atau 18,97 % dari gradasi *fuller*, hal ini dikarenakan pada gradasi III agregat halus dan kasarnya hampir sama sehingga memiliki rongga udara yang kecil yaitu mendekati 0. Adanya pengaruh variasi gradasi terhadap porositas beton yaitu terjadi pada gradasi III dengan proporsi campuran *slag* sebagai bahan tambahan 1,18 mm = 55%, 2,36 mm = 45%, 4,74 mm = 47% dan 12,5 mm = 53% dimana

memberikan peningkatan pada kuat tarik sebesar 2,42% atau 1,63% dari gradasi *fuller*. Dikarenakan variasi gradasi agregat dengan *slag* sebagai bahan tambahan dalam beton tersusun padat sehingga memiliki kerapatan gradasi campuran beton yang baik.

Amran (2014) Judul penelitian Pengaruh Penggunaan *Silica Fume* dan Sikament-nn Pada Campuran Beton Mutu Tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan beton dengan penggunaan bahan tambah *silica fume* dan sikament-nn. Benda uji yang digunakan yaitu benda uji silinder sebanyak 27 unit sampel dengan persentasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dengan pengujian kuat tekan pada umur 28 hari.

Simatupang dkk. (2013) Judul Penelitian Pengaruh Penggunaan Limbah Baja Terhadap Kuat Karakteristik Beton. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perbandingan material beton dengan menggunakan *PS ball* dengan tanpa menggunakan *PS ball*, diketahui bahwa *PS ball* bisa digunakan dalam campuran beton. Pengujian dilakukan dengan penambahan limbah baja dalam campuran beton sebagai pengisi *filler* dalam campuran beton. Dalam pengujian ini menggunakan 5 variasi yaitu 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dari berat pasir dan diuji kuat tekan umur rencana selama 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari.

Landasan Teori

Beton adalah material yang terbuat dari agregat halus dan agregat kasar, air, semen dan boleh menggunakan bahan tambahan kimia lainnya atau tidak menggunakan bahan tambahan kimia (SNI 7656:2012). Dengan seiringnya pembangunan yang dilakukan mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan konstruksi, seperti pembangunan jalan, perumahan dan gedung bertingkat. Dalam bidang konstruksi, material yang sering digunakan adalah beton. Beton digemari penggunaannya dikarenakan kemudahan untuk digunakan dan juga ketersediaan materialnya sangat mudah di dapat. Semakin meluasnya pengaplikasian beton dalam pembangunan maka menunjukkan juga semakin banyak kebutuhan beton yang akan di pakai, sehingga diperlukan suatu inovasi baru terhadap beton tersebut dalam alternatif penggunaan material dasarnya. Inovasi tersebut diantaranya

penggunaan limbah steel slag sebagai pengganti agregat halus.

Bahan Penyusun Beton

Semen

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen potland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya. (SNI 7656:2012).

Menurut SNI 7656:2012 tentang semen potland, semen potland dibagi menjadi 4 jenis sesuai tujuan pemakaiannya, yaitu :

- 1) Semen portland jenis 1 merupakan semen portland untuk digunakan secara umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya.
- 2) Semen portland jenis 2 merupakan semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kadar hidrasi sedang
- 3) Semen portland jenis 3 merupakan semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi terhadap permulaan setelah pengikatan terjadi
- 4) Semen portland jenis 4 merupakan semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah

Agregat Halus

Agregat halus pada umumnya merupakan agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,80 mm, salah satunya seperti pasir, baik berupa pasir alami yang dari alam atau pasir yang dari hasil pemecahan batu. Pasir alam dapat dihasilkan dari berbagai tempat seperti dari dalam tanah, dasar sungai dan tepi pantai, (Tjokrodinuljo, 2010). Pasir merupakan bahan yang digunakan dalam campuran adukan yang fungsinya sebagai pengisi dalam beton. Berikut ini syarat-syarat pasir yang baik digunakan dalam campuran beton yaitu :

- 1) Pasir harus terdiri dari butiran-butiran yang tidak seragam dan keras. Hal tersebut dikarnakan dengan adanya pasir yang tidak seragam dan keras, maka akan ada ikatan antara agregat yang baik.

- 2) Pasir harus kuat dari penaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga bisa kuat terhadap cuaca
- 3) Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir. Karna bila kandungan pada pasir lebih dari 5% maka akan mempengaruhi ikatan antara pasir dan semen, sehingga akan menghasilkan kualitas beton yang rendah
- 4) pasir tidak boleh mengandung bahan organik yang terlalu banyak

Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan butiran yang besarnya lebih dari 4,80 mm, contoh agregat kasar yaitu, krikil, kerikak, batu pecah dan split. Krikil sebagai hasil dari alam atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu yang mempunyai ukuran butir sekitar 5 mm sampai dengan 40 mm. (Menurut SNI 7656:2012), bahwa agregat kasar (krikil/batu pecah) yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Krikil atau batu pecah harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori serta tidak pecah atau hancur terhadap pengaruh cuaca.
- 2) Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali jika agregat kasar digunakan untuk membuat beton yang mengalami basah dan lembab terus menerus yang berhubungan dengan tanah basah.
- 3) Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan yang dapat merusak beton seperti bahan reaktif
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dan apabila mengandung kadar lumpur lebih 1% agregat kasar tersebut harus dicuci.

Air

Air merupakan salah satu bahan untuk pembuatan beton dan yang paling murah diantara bahan-bahan yang lainnya. Penggunaan air dalam campuran beton agar menghasilkan pasta semen yang berfungsi untuk mengikat agregat. Penggunaan air juga dapat berpengaruh pada kuat tekan beton, sehingga pada saat penggunaan fas yang tinggi dapat mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air sehingga mengakibatkan pada saat kering beton mengandung banyak pori yang nantinya

berdampak pada kuat tekan beton menjadi rendah.

Steel Slag

Steel Slag didapatkan dari suatu endapan peleburan baja yang dipanaskan $\pm 1500^{\circ} C$, endapan tersebut merupakan limbah dari peleburan. Komposisi kimiawi yang ada didalam pada limbah steel slag yang bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Kimiawi (*Steel Slag*)

Senyawa Kimia	Persentase Kadar (%)
Al_2O_3	5,875
SiO_2	12,75
P_2O_5	0,65
MgO	28,29
MnO	1,51
CaO	29,245
FeO	22,945
TiO_2	1,41
V_2O_3	0,16

Sumber : PT.KS.2010

Zat Additive

Bahan tambahan adalah bahan tambahan kimia dipakai untuk mengubah sifat-sifat beton, membuat beton lebih mudah dikerjakan, awet, lebih ekonomis, mengurangi atau menambah waktu ikatan dan mempercepat kekuatan atau mengontrol panas hidrasi. Bahan tambahan kimia digunakan setelah dilakukan evaluasi secara cermat. (SNI 7656:2012).

Menurut SK SNI S-18-1990-03 (Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton), bahan tambahan dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

- a) Bahan tambahan yang dapat mengurangi air yang dipakai. Dengan memakai bahan tambahan ini diperoleh hasil adukan dengan faktor air semen menjadi lebih kecil pada nilai kekentalan yang sama dan diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama
- b) Bahan tambahan yang dapat memperlambat proses pengikatan pada beton. Bahan tambahan ini digunakan pada suatu kasus yang dimana jarak antara tempat pengadukan beton lebih jauh dari tempat penuangan beton, sehingga selisih waktu antara mulai pencampuran dan pemadatan lebih dari 1 jam.
- c) Bahan tambahan yang bisa mempercepat proses pengerasan dan ikatan pada beton. Bahan tambahan ini digunakan pada

penuangan adukan dilakukan dibawah permukaan air, atau pada struktur yang memerlukan waktu yang cepat pada penyelesaiannya contohnya jembatan, jalan tol dan lain-lain.

Bahan tambahan yang berfungsi ganda yang dimana untuk mengurangi air dan memperlambat atau mempercepat waktu ikatan pada beton.

Slump Beton dan Setting Time

Nilai slump digunakan sebagai petunjuk dalam ketepatan jumlah pemakaian air dalam hubungannya dengan faktor air semen (FAS) yang direncanakan. Waktu pengadukan ditentukan dalam seberapa lama pada isi mesin pengaduk, Jumlah adukan, jenis serta susunan butiran bahan penyusunannya, dan slump beton, pada umumnya tidak kurang 90 detik dimulai semenjak pengadukan dan pada umumnya menunjukkan hasil susunan dan warna merata. Berdasarkan PBI 1971 N.I.-2 Rekomendasi nilai slump untuk pemakaian beton segar pada elemen-elemen struktur untuk mendapatkan workability yang diperlukan bisa dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Elemen Struktur nilai slump

No	Elemen Struktur	Slump Maks (cm)	Slump Min (cm)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi dibawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1997 N.I.-2

Menghitung waktu ikat (setting time) bertujuan untuk mengetahui seberapa lama beton melewati tahap plastis menuju tahap pengerasan. Pada saat pasta semen tersebut mulai mengikat sehingga setelah waktu tersebut dilalui pasta semen tidak boleh digunakan lagi atau diubah kembali kedudukannya.

Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder

dengan ukuran 7,5 cm x 15 cm. Pengetesan kuat tekan beton dilaksanakan pada usia 7 hari, 21 hari dan 28 hari, dimana kuat tekan beton mencapai mutu yang direncanakan. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton yaitu : faktor air semen, jenis agregat, jenis semen yang dipakai, perbandingan penggunaan agregat, penggunaan bahan tambahan, kandungan udara, usia beton, dan perawatan beton. Menurut (SNI 03-1974-1990) pengujian kuat tekan beton bisa dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f'_{ci} \frac{P}{A}$$

f'_{ci} = Tegangan (MPa) P = Beban Maksimal (N) A = Luas Penampang (mm)

Modulus elastisitas beton merupakan untuk mendapatkan nilai tegangan yang dibagi dengan regangan beton yang dimana kondisi tegangan nol ke kondisi tegangan 0,4 f'_c pada kurva tegangan-regangan beton. (Mustika, dkk 2016).

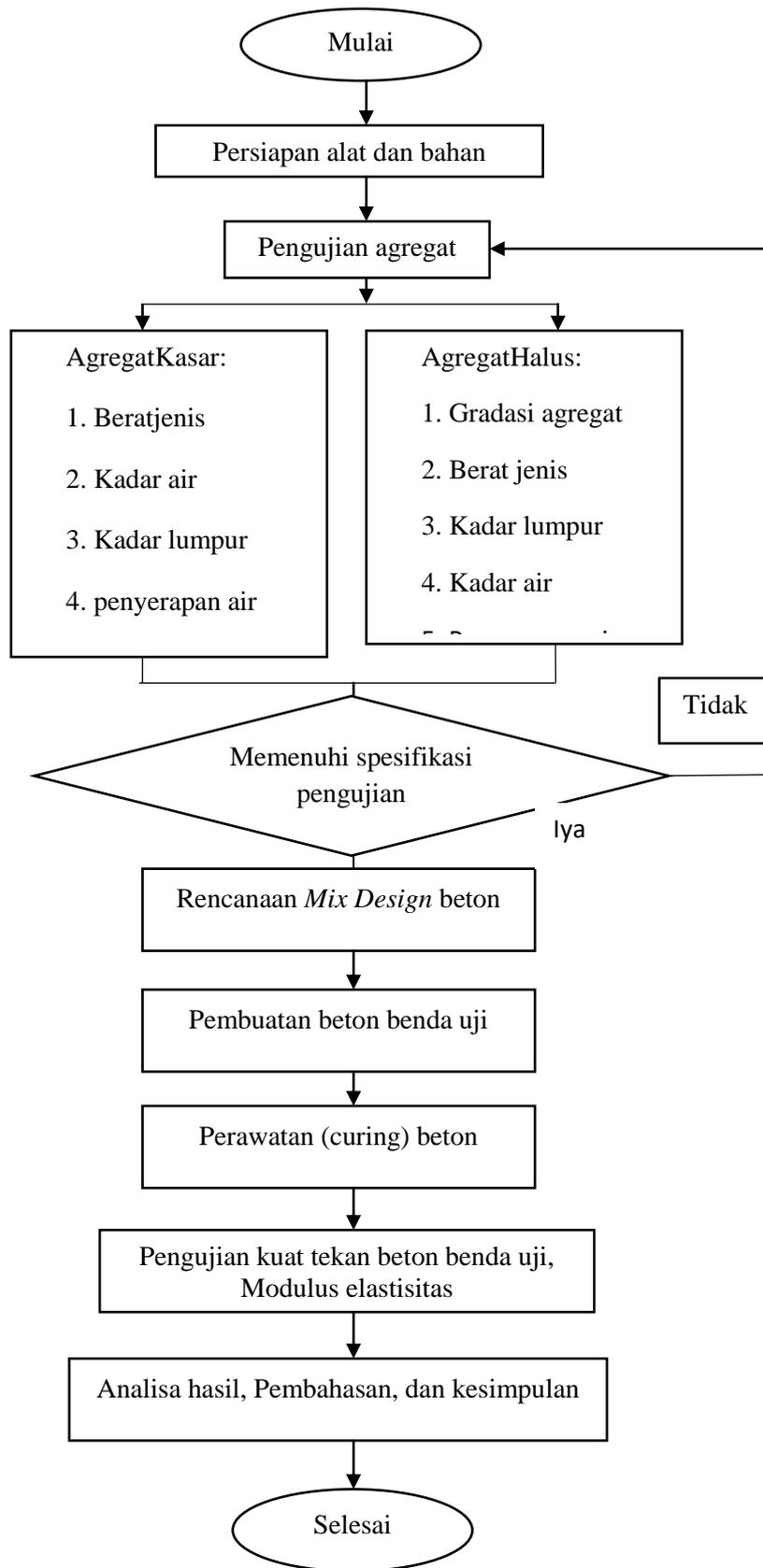
Nilai modulus elastisitas beton dipengaruhi berbagai faktor seperti jenis agregat, faktor air semen, kelembapan benda uji, temperatur beton dan umur beton. Hubungan antara nilai modulus elastisitas beton dengan kuat tekan beton. Modulus elastisitas beton bisa dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ 28 hari}$$

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa) W_c = Berat satuan beton (kN/m^3) f_c = Kuat tekan beton uji silinder 28 hari (Mpa)

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Hal pertama yang akan dilakukan yaitu persiapan bahan yang akan digunakan. Selanjutnya pengujian pada agregat kasar dan agregat halus serta pengujian kuat tekan beton. Untuk perencanaan campuran beton (mix design) mengacu pada SK SNI – 03 – 2847 – 2002. Proses pelaksanaan penelitian harus sesuai dengan peraturan maka perlu dibuatkan alur untuk mendapatkan data yang bagus. Bagian alur pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Bagian Alur Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Air yang diambil dari Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 2) Semen yang berfungsi sebagai perekat dalam campuran mortar. Tipe semen yang digunakan yaitu Semen Tiga Roda Tipe 1
- 3) Agregat halus berupa pasir Progo yang diperoleh dari sungai Progo, Kabupaten Sleman, D.I.Y, dan Limbah *Steel Slag* yang diperoleh dari PT. Krakatau Steel, Kabupaten Serang, Banten, dengan lolos saringan No 4 atau 4.8 mm.
- 4) Agregat kasar diperoleh dari Clereng, Kulon progo

Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan penelitian adalah sebagai berikut:

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram, untuk mengetahui berat dari bahan-bahan penyusun beton.
- 2) Susun ayakan yang akan digunakan untuk mengetahui susunan butir dari agregat halus dan agregat kasar.
- 3) Gelas ukur kapasitas maksimum 1000 ml, untuk menakar volume air.
- 4) Corong/kerucut abrams digunakan untuk mengukur nilai slump adukan beton segar.
- 5) Mistar dan kaliper, untuk mengukur dimensi dari alat-alat benda uji yang digunakan
- 6) Mesin los angeles dengan merek Tatonex untuk menguji tingkat keausan agregat cetakan beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm.
- 7) Oven untuk pengujian atau pemeriksaan bahan-bahan yang akan digunakan dalam campuran beton.
- 8) Mesin pengaduk campuran beton (molen)
- 9) Mesin uji tekan, yang digunakan untuk menguji dan mengetahui nilai kuat tekan dari beton yang telah dibuat.

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan adalah pembuatan benda uji yang dilakukan setelah pemeriksaan material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Adapun langkah-langkah pelaksanaan pembuatan benda uji sebagai berikut:

- 1) Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam campuran beton sesuai dengan porsi dan kebutuhan masing-masing variasi
- 2) Masukkan agregat halus dan agregat kasar ke dalam mesin pengaduk (molen), putar mesin hingga bahan tercampur merata.
- 3) Tambahkan air serta *Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* yang sudah tercampur dengan air sedikit demi sedikit hingga adukan beton segar tercampur rata tanpa ada agregat yang menggumpal.
- 4) Keluarkan beton segar dari mesin pengaduk ke atas nampan, kemudian lakukan pengujian slump pada beton segar.
- 5) Masukkan beton segar kedalam cetakan silinder yang sudah dipersiapkan.
- 6) masukan beton segar kedalam cetakan silinder sebanyak 1/3 kemudian tumbuk sebanyak 25 kali, kemudian tambahkan lagi 2/3 dan tumbuk lagi sampai penambahan 3/3 dan tumbuk lagi kemudian ratakan permukaannya.
- 7) Timbang berat silinder beserta beton segar, kemudian diamkan lalu amati setting time beton sampai dianggap mengeras
- 8) Setelah beton mengeras buka cetakan beton dari silinder, timbang beton yang sudah dibuka dari cetakan kemudian lakukan perendaman beton 7 hari, 21 hari dan 28 hari.
- 9) Setelah 7 hari, 21 hari dan 28 hari, beton diangkat lalu diukur dimensi beton yaitu diameter dan tinggi beton, beton siap diuji tekan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pemeriksaan agregat

Hasil pemeriksaan agregat diperlihatkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Pengujian	Satuan	Nilai Pasir	Nilai Slag
1	Gradasi Butiran	-	Daerah 3	Daerah 1
2	Gradasi Agregat	-	1,87	3,02
3	Kadar Air	%	1,63	1,11
4	Berat Jenis	-	2,31	2,94
5	Penyerapan Air	%	11,37	6,58
6	Berat Satuan	g/cm ³	1,68	2,01
7	Kadar Lumpur	%	2,40	1,00

Tabel 4 Hasil pengujian agregat kasar Clereng

No	Jenis pengujian	Nilai
1	Berat Jenis	2,51
2	Berat Satuan (gr/cm)	1,37
3	Keausan (%)	20,3
4	Kadar air (%)	1,80
5	Penyerapan air (%)	1,42
6	Kadar lumpur (%)	2,48

Hasil Perencanaan Campuran Beton

Dalam perencanaan campuran beton (*Mix Design*) beton benda uji dilaksanakan mengacu pada peraturan (SNI 03-2834-2000). Pada perencanaan campuran beton (*Mix Design*) ini bertujuan untuk mengetahui proporsi bahan campuran beton yang diperlukan sesuai kebutuhan. Hasil perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dengan volume benda uji yang akan dipakai yaitu silinder ukuran 7,5 x 15 cm. Adapun untuk hasil analisis perhitungan (*Mix Design*) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perencanaan campuran beton

Material	Beton A.H	Beton A.H	Beton normal <i>additive</i>	Satuan
	Slag 50%, dan Additive	Slag 100%, dan Additive		
Semen	0,33	0,33	0,33	Kg/m ³
Agregat halus	0,50	0,50	0,50	Kg/m ³
Agregat kasar	0,63	0,63	0,63	Kg/m ³
Steel slag	0,50	0,50	0,50	Kg/m ³
Air	0,14	0,14	0,14	Liter
Plastocrete RT06	0,0019	0,0019	0,0019	Liter
Sikamente NN	0,0019	0,0019	0,0019	Liter

Hasil Pemeriksaan Slump

Tabel 6 Hasil pengujian Slump beton segar

No	Nama	Nilai Slump rata – rata (cm)	Jumlah pengurangan air (ml)
1	Normal Additive	10,5	320
2	50 % Slag	11,5	382
3	100 % Slag	10,5	394

Berdasarkan pada Tabel 6. diperoleh hasil pengujian *Slump* beton segar dengan variasi zat *additive* *Plastocrete RT06* sebesar

0,6%, *Sikament NN* sebesar 3% dan *Steel Slag* 50%, 100% sebagai pengganti agregat halus didapatkan nilai *slump* 10,5 cm; 11,5 cm; 10,5 cm dengan pengurangan air pada beton normal *additive* sebesar 320 ml, 50% *Slag* sebesar 387 ml, 100% *Slag* 394 ml atau 21,62% pengurangan air pada beton normal *Additive*, 26,18% pengurangan air pada beton variasi *Slag* 50%, 26,62% pengurangan air pada beton variasi *Slag* 100% dan diperoleh nilai *slump* yang paing tinggi yaitu menggunakan *Steel Slag* 50% dengan 11,3 cm, tinggi rendahnya nilai *slump* pada beton segar ini berpengaruh pada proses pengerjaan (*workability*) beton.

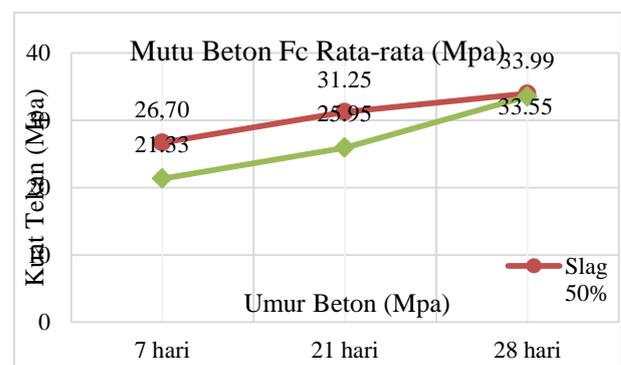
Hasil Pemeriksaan Waktu Ikat (*Setting Time*)

Tabel 7 Hasil Pemeriksaan Waktu Ikat (*Setting Time*)

No	Umur Beton (Hari)	Variasi Campuran Beton	<i>Setting Time</i> (menit)
1	7	Normal <i>Additive</i>	130
2	21		
3	28		
4	7	Slag 50 %	115
5	21		
6	28		
7	7	Slag 100 %	107
8	21		
9	28		

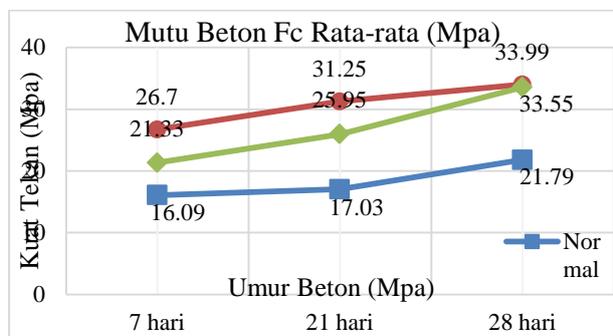
Pemeriksaan waktu ikat (*Setting Time*) bertujuan untuk mengetahui keadaan plastis beton, mudah saat pengerjaannya dan dibentuk sehingga pada saat beton mengeras atau kaku beton tidak dapat berubah bentuknya. Jadi waktu ikat (*Setting Time*) untuk mengetahui berapa lama beton tersebut mengeras dan tidak berubah bentuknya. Untuk hasil waktu ikat beton (*Setting Time*) bisa dilihat pada Tabel 7.

Hasil Kuat Tekan Beton



Gambar 2 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Steel Slag* 50% dan 100%

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan beton variasi *steel slag* 50% dan 100% sebagai pengganti agregat halus dengan bahan tambah zat *additive* berupa *plastocrete RT06* 0,6 % dan *sikament NN* 3 % dalam campuran beton mengalami kenaikan. Hal tersebut karna pengaruh dari umur beton, nilai kuat tekan beton pada usia 7 hari sebesar 26,70 MPa dan 21,33 MPa atau perbandingan kenaikan sebesar 25,17%, pada umur 21 hari sebesar 31,25MPa dan 25,95 MPa atau perbandingan kenaikan sebesar 20,41%, pada umur 28 hari sebesar 33,55 MPa dan 33,99 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa beton variasi *steel slag* sebagai pengganti agregat halus dapat meningkatkan nilai kuat tekan terus menerus seiring dengan umur beton.



Gambar 3 Grafik hubungan umur beton dengan kuat tekan beton

Berdasarkan pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan beton normal *additive*, serta beton variasi *steel slag* 50%, dan 100% pengganti agregat halus dalam campuran beton umur 7 hari mencapai nilai kuat tekan sebesar 26,7 MPa dan 21,33 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 39,73% dan 24,56% dari beton normal *additive* yang hanya sebesar 16,09 MPa. Sedangkan untuk umur 21 hari mencapai nilai kuat tekan beton sebesar 31,25MPa dan 25,95 MPa, kuat tekan beton tersebut mengalami peningkatan sebesar 45,50% dan 34,37% dibandingkan dengan beton normal *additive* hanya sebesar 17,03 MPa, untuk umur beton 28 hari kuat tekan beton sebesar 33,99 MPa dan 33,55 MPa atau sebesar 35,89% dan 35,05% dibandingkan dengan beton normal *additive* yang hanya sebesar 21,79 MPa. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah *steel*

slag sebagai pengganti agregat halus dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

- Kuat tekan beton mengalami kenaikan dengan umur beton.
- Penggunaan limbah *steel slag* pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton.
- Limbah *steel slag* dan zat *additive* pada campuran beton memiliki workability yang baik.
- Penambahan zat *additive Plastocrete RT06* dan *Sikament NN* dapat meningkatkan waktuikat (*setting time*) pada beton.
- limbah *steel slag* 50% dan 100% memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi.

5. Daftar Pustaka

- Anggraeni, T., Septrianto, W. dan Fatmawati, L., 2017, *Studi Analisis Limbah terak Sebi Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada pembuatan Paving Block*, Wahana Teknik Sipil, 22(2), 93-102.
- Amran, Y., 2014, *Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Sikament-nn Pada Campuran Beton Mutu Tinggi*, Tapak, 3(2), 127-136.
- BSN, 2012, SNI 7656:2012 Tata cara pemilihan untuk beton normal, beton berat dan beton massa. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2000 SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2002, SK SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 1990, SK SNI S-18-1990-03 Spesifikasi Bahan Tambah Untuk Beton. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 1990, SNI 03-1974-1990 Metode pengujian Kuat Tekan Beton. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

- Basid, A., dan Yusuf, W., 2014, *Pengaruh Variasi Gradasi Agregat (Slag) Terhadap Kuat Tekan Porositas dan Kuat Tarik Belah Beton*, Media Teknik Sipil, 12(1), 1-9.
- Gustian, W., Sambowo, K.A. dan Wibowo., 2014, *Tinjauan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Menggunakan Limbah Batu Candi Sebagai Pengganti Agregat Kasar*, e-jurnal Matriks Teknik Sipil, 2(2), 50-57.
- Kadhafi, M., 2015, *Pemanfaatan Copper Slag Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton Mutu K-225*, Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 3(1), 734-740.
- Mustika, W., Salain, I, A, K., dan Sudarsana, I., 2016, *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, 117-128.
- Ovianti, A.Y., 2018, *Pengaruh Penggunaan Steel Fiber Pada Pembuatan Beton Mutu Normal Dengan Substitusi Copper Slag Sebagai Pengganti Pasir*, Rekayasa Teknik Sipil, 1, 155-159.
- PT. Krakatau Steel. 2010. *Kajian Pemanfaatan Slag Baja Untuk Perkerasan Jalan di Lingkungan PT. KS*.
- PBI, 1971, N.I-2 Peraturan Beton Bertulang Indonesia.
- PP, 2014, No.101-2014 Tentang Limbah Berbahaya.
- Prayuda, H., dan Pujiyanto, A., 2018, *Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Bahan Tambah Superplastizer dan Las Karbit*, Rekayasa Sipil, 12(1), 32-38.
- Rahmat., Hendriyani, I., dan Anwar, M, S., 2016, *Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Reduced Water dan Accelerated Admixture*, Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik, 17, 205-218.
- Simatupang, R., Pattipawaej, O., Ing, T.L. dan Setiawan, D., 2013, *Pengaruh Penggunaan Limbah Baja Terhadap Kuat Karakteristik Beton*, Jurnal Teknik Sipil Maranatha, 9, 1-83.
- Tjokrodinuljo, K., *Teknologi Beton*, Biro Penerbit KMTS Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2010.