

Pengaruh Penambahan Iron Slag Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Pada Beton

Muh. Hajir Ahmad

Universitas Muhammadiyah Parepare

Adnan Adnan

Universitas Muhammadiyah Parepare

Hamka Hamka

Universitas Muhammadiyah Parepare

Korespondensi penulis: sitinuurjannah.anna@gmail.com

Abstract. Slag is the residual product of blast furnace combustion, which is produced in the form of iron slag which is still not used properly, causing problems for the environment. In line with the spirit of environmental preservation, companies producing slag waste are looking for solutions to utilize this slag waste. The aim of this research is to determine the compressive strength of iron slag waste as a partial substitute for coarse aggregate on the compressive strength of concrete and the effect of variations in the percentage of iron slag waste on the compressive strength of concrete. The data analysis technique used in this research uses descriptive parametric analysis. Data on concrete compressive strength test results is obtained from the division between the maximum load of the test object and the cross-sectional area of the test object, then the data will be presented in the form of tables or graphs. The results of the research show that the influence of variations in the results of concrete compressive strength testing which takes into account variations in the mixture of iron slag waste with 3 variations, namely 0% (normal concrete), 5% and 10% of some of the coarse aggregate, results in concrete testing at the age of 28 days. In normal concrete or variations of 0% Iron slag waste with an average of 21.89 MPa. For a variation of 5% iron slag waste with an average of 23.12 Mpa. And for variations of 10% iron slag waste with an average of 26.04 MPa. From the results of adding or replacing coarse aggregate using iron slag waste in the mixture, the compressive strength of the concrete has increased, as is the result obtained, namely from adding 5% iron slag waste, an increase of 1.23 MPa compared to normal concrete. and the addition of iron slag waste by 10% decreased by 4.15 MPa from normal concrete.

Keywords: Iron Slag, Compressive Strength, Laboratory

Abstrak. Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan berupa iron slag ternyata masih kurang dimanfaatkan dengan baik sehingga mengakibatkan masalah bagi lingkungan. Seiring dengan semangat pelestarian lingkungan, maka perusahaan penghasil limbah slag mencari solusi pemanfaatan limbah slag tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kuat tekan limbah iron slag sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan beton dan pengaruh variasi persentase limbah iron slag terhadap kuat tekan beton. Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisa parametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan beton diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji, selanjutnyadata akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh variasi dari hasil pengujian kuat tekan beton yang memperhatikan variasi campuran limbah iron slag dengan 3 variasi yaitu 0% (beton normal), 5%, dan 10% dari sebagian agregat kasar, maka didapatkan hasil pengujian beton pada umur 28 hari pada beton normal atau variasi 0% limbah Iron slag dengan rata-rata 21,89 MPa. Untuk variasi 5% limbah iron slag dengan rata-rata 23,12 Mpa. Dan untuk variasi 10% limbah iron slag dengan rata-rata 26,04 MPa. Dari hasil penambahan atau penggantian agregat kasar dengan menggunakan limbah Iron slag dalam campuran maka kuat tekan beton mengalami peningkatan, seperti hasil yang didapatkan yaitu dari penambahan limbah iron slag sebesar 5% mengalami peningkatan sebesar 1,23 MPa dari beton normal. dan Penambahan limbah iron slag sebesar 10% mengalami penurunan sebesar 4,15 MPa dari beton normal.

Kata kunci: Iron Slag, Kuat Tekan, Laboratorium

PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, Beton ialah salah satu komponen utama yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Beton diseleksi selaku bahan bangunan sebab memiliki kekuatan tekan yang besar. Secara struktural beton mempunyai tegangan tekan yang lumayan besar, sehingga bisa digunakan untuk struktur yang menahan gaya gaya tekan. Disamping itu, beton pula mempunyai mempunyai kelemahan ialah tidak sanggup menahan style tarik serta bertabiat getas (brittle). Sehingga untuk menahan gaya tarik tersebut umumnya beton harus dikombinasikan dengan baja tulangan. Tetapi tidak bisa dipungkiri akumulasi bajatulangan juga belum bisa membagikan hasil yang maksimal.

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi, yang dihasilkan berupa iron slag ternyata masih kurang dimanfaatkan dengan baik sehingga mengakibatkan masalah bagi lingkungan. Seiring dengan semangat pelestarian lingkungan, maka perusahaan penghasil limbah slag mencari solusi pemanfaatan limbah slag tersebut. Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki banyak prospek industri yang cukup maju, salah satunya adalah PT.Barawaja Makassar yang bergerak di bidang produksi baja. Limbah pabrik yang dihasilkan oleh industri peleburan baja salah satunya berupa limbah slag yang secara fisik menyerupai agregat halus. Padahal Slag yang dihasilkan oleh pabrik baja tersebut bisa diteliti pemanfaatannya jika digunakan agregat halus atau agregat kasar dalam bahan konstruksi dan campuran perkerasan aspal dan beton.

Pada penelitian ini, digunakan limbah iron slag sebagai agregat kasar untuk campuran beton baru sebagai pengganti sebagian batu pecah. Pemanfaatan limbah iron slag yang akan digunakan adalah limbah iron slag dari PT. Barawaja Makassar. Dari penelitian ini diharapkan limbah iron Slag bisa dipergunakan kembali menjadi beton. Disamping itu secara tidak langsung sudah mendukung gerakan menuju green concrete, khususnya untuk perlindungan dan pelestarian lingkungan.

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu, Untuk mengetahui pengaruh variasi persentase limbah iron slag terhadap workability beton segar, kuat tekan limbah iron slag sebagai pengganti sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture) (SNI 2847:2019). Beton merupakan bahan komposit yang berasal daricampuran adukan semen,

agregat halus, agregat kasar, dan air yang dibentuk dengan perbandingan tertentu sehingga menjadi material struktur sesuai dengan mutu yang diinginkan. Karena beton adalah bahan komposit maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuknya. Selain itu, seiring dengan penambahan umur, Beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ($f'c$) pada usia 28 hari. Maka dari itu untuk menghasilkan kekuatan beton yang direncanakan diperlukan mix design untuk menentukan proporsi masing-masing bahan susun yang diperlukan. Selain perbandingan bahan susunnya, kekuatan beton ditentukan oleh padat tidaknya campuran bahan penyusun beton tersebut. Semakin kecil rongga yang dihasilkan dalam campuran beton, maka semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Selain itu, adukan beton diusahakan dalam kondisi yang homogen sehingga tidak terjadi segregasi dalam campuran beton.

Didalam konstruksi ada beberapa jenis beton yaitu sebagai berikut:

- a. **Beton ringan**, Berat jenisnya $< 1900 \text{ kg/m}^3$, dipakai untuk elemen non-struktural. Dibuat dengan cara membuat gelembung udara dalam adukan semen, menggunakan agregat ringan seperti tanah liat bakar atau batu apung atau dengan pembuatan beton non-pasir.
- b. **Beton normal**, Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi antara $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ menggunakan agregat alam yang dipecah. Perencanaan campuran beton normal harus didasarkan pada data sifat-sifat bahan yang akan dipergunakan dalam pembuatan beton. Susunan campuran beton yang diperoleh dari perencanaan harus dibuktikan melalui uji coba yang menunjukkan bahwa proporsi tersebut dapat memenuhi kekuatan beton yang direncanakan.
- c. **Beton berat**, Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih 2400 kg/m^3 . Jenis beton ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya.

Menurut Wuryati Samekto (2001), beton dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. **Beton kelas I**, Beton untuk pekerjaan struktural dan dalam pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Mutu beton kelas I dinyatakan dengan B_0 .
2. **Beton kelas II**, Beton untuk pekerjaan struktural secara umum dalam pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar yaitu B_1, K_{125}, K_{175} , dan K_{225} .

3. **Beton kelas III**, Beton untuk pekerjaan struktural dimana memiliki kekuatan karakteristik yang lebih tinggi dari 225 kg/m^3 . Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah tenaga-tenaga ahli. Mutu beton kelas III dinyatakan dengan huruf K dengan angka dibelakangnya yang menyatakan kekuatan karakteristik beton yang bersangkutan.

Pada dasarnya tuntutan utama dalam membuat campuran beton adalah mengenai kekuatan tekan beton, keawetan, *workability*, dan harga yang seekonomis mungkin.

Agregat

Jenis agregat, Agregat ialah material natural ataupun buatan yang berperan sebagai bahan kombinasi beton. Agregat menempati +70% volume beton, sehingga sangat mempengaruhi terhadap sifat apapun kualitas beton, sehingga pemilihan agregat merupakan bagian yang berguna untuk pembuatan beton. Mengingat kalau agregat ialah jumlah yang lumayan besar dari volume beton serta sangat pengaruhi sifat beton, sehingga perlu sesuatu material ini diberi atensi yang lebih detail serta teliti dalam tiap pembuatan suatu campuran beton. Disamping itu, agregat dapat bisa kurangi penyusutan akibat perkerasan beton dan juga mempengaruhi koefisien pemuaian akibat temperatur panas, pemilihan tipe agregat yang akan dipilih bergantung pada kualitas agregat, ketersediannya dilokasi, harga dan tipe konstruksi yang akan memanfaatkannya.

Agregat digolongkan jadi 2 macam, ialah agregat alam serta agregat buatan, agregat alam ialah agregat yang wujudnya natural, tercipta bersumber pada aliran air sungai serta degradasi. Agregat yang tercipta dari aliran air sungai berbentuk bulat dan licin, ataupun agregat yang tercipta dari proses degradasi berbentuk kubus(bersudut) dan permukaanya kasar. Sedangkan agregat buatanialah agregat yang berasal dari hasil sambingan pabrik- pabrik semen serta mesin pemecah batu.

Menurut Silvia Sukirman (2003), agregat merupakan buti-butir batu pecah,kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil (fragmen-fragmen) yang berfungsi sebagai bahan campuran atau pengisi dari suatu beton. Sedangkan menurut Tjokrodimulyo (1992) agregat umumnya digolongkan menjadi 3kelompok, yaitu : Batu, untuk besar butiran lebih dari 40mm, Kerikil, untuk besar butiran antara 5mm sampai 40mm, Pasir, untuk butiran antara 0,15mm sampai 5mm. Jenis agregat yang digunakan sebagai bahan susunan beton adalah agregat halus dan agregat kasar.

Agregat halus, Agregat halus merupakan seluruh butiran lolos saringan 4, 75 mm. agregat halus untuk beton bisa berbentuk pasir alami, hasil pecahan dari batuan secara alami, ataupun berbentuk pasir buatan yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu yang biasa disebut abu batu. Agregat halus tidak boleh memiliki lumpur lebih dari 5%, dan tidak memiliki zat-zat organik yang bisa merusak beton. Manfaatnya merupakan untuk mengisi ruangan antara butir agregat kasar. Ketentuan agregat halus secara umum berdasarkan SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut, Agregat halus harus terdiri dari butir-butir tajam dan keras, Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur karena faktor cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat, Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpurnya melebihi 5% maka pasir harus di cuci.

Agregat kasar, Agregat kasar merupakan agregat yang butirannya lebih besar dari 5 mm ataupun agregat yang seluruh butirannya bisa tertahan diayakan 4, 75 mm. agregat kasar untuk beton bisa berbentuk kerikil sebagai hasil dari disintegrasi dari batu-batuan ataupun berbentuk batu pecah yang diperoleh dari pemecahan manual maupun mesin. Agregat kasar mesti terdiri dari butiran-butiran yang keras, permukaan yang kasar. Agregat kasar harus memenuhi ketentuan kebersihan yaitu, tidak mengandung lumpur lebih dari 1%, serta tidak memiliki zat-zat organik yang bisa merusak beton. Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama. Karena butiran agregat umumnya mengandung butiran pori-pori yang ada dalam butiran tertutup atau tidak berhubungan, maka berat jenis agregat dibedakan menjadi dua istilah, yaitu berat jenis mutlak, jika volume benda padatnya tanpa pori dan berat jenis semu, jika volume benda padatnya termasuk pori-pori tertutupnya.

Agregat harus mempunyai susunan besar butir dalam batas-batas berikut :

Tabel 1. Persentase lolos agregat pada ayakan

Agregat			
Persentase lolos agregat pada ayakan		Presentasi berat butir lewat ayakan	
Agregat Halus		Agregat Kasar	
Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif	40 mm	20 mm
40	-	95 – 100	100
20	-	30 – 70	95 - 100
10	-	10 – 35	25 – 55
9,60	100	-	-
4,80	95 – 100	0 – 5	0 - 10
2,40	80 – 100	-	-
1,20	50 – 85	-	-
0,60	25 – 60	-	-
0,30	10 – 30	-	-
0,15	2 – 10	-	-

Berat satuan dan kepadatan, Berat satuan agregat adalah berat agregat satu satuan volume, dinyatakan dengan kg/liter atau ton/m³. Jadi berat satuan dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volumenya ialah volume padat (meliputi pori tertutup) dan volume pori terbuka.

Ukuran maksimum agregat, Ukuran maksimum agregat yang biasa dipakai adalah 10 mm, 20 mm, atau 40 mm.

Gradasi agregat, Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat. Bila butiran agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam), maka volume pori akan meningkat. Sebaliknya apabila butirannya bervariasi akan menyebabkan volume pori yang kecil. Hal ini dikarenakan butiran berukuran kecil akan mengisi pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit.

Kadar air agregat, Kandungan didalam agregat dibagi menjadi beberapa tingkat, yaitu:

- a. Kering tungku, dimana agregat benar-benar tidak mengandung air sedikitpun atau dalam kondisi yang dapat secara penuh menyerap air.
- b. Kering udara, dimana permukaan agregat kering tetapi memiliki sedikit air di dalam porinya.
- c. Jenuh kering muka, yaitu tidak ada air dipermukaan agregat tetapi porinya berisi air sejumlah yang dapat diserap. Dengan begitu butiran tidak mampu menyerap dan menambah komposisi air jika dipakai dalam campuran beton.
- d. Basah, dimana butiran mengandung banyak air baik dipermukaan maupun di dalam butiran, sehingga bila dipakai dalam campuran akan menambah komposisi air.

Keadaan kering jenuh muka (*Saturated Surface Dry*) lebih dipakai sebagai standar, karena merupakan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah dan mengurangi air dari pastanya, dan kadar air di lapangan lebih banyak mendekati keadaan SSD dari pada kering tungku.

Kekuatan dan keuletan agregat, Kekerasan agregat tergantung dari kekerasan bahan penyusunnya. Agregat dapat menjadi kurang kuat disebabkan dua faktor yaitu, karena mengandung bahan yang lemah atau berasal dari partikel butir yang kuat tapi tidak melekat dengan kuat dan pada umumnya kekuatan dan elastisitas agregat berdasarkan dari jenis batuan, tekstur serta struktur butirannya, hal ini dikarenakan agregat adalah komposisi terbesar dari campuran beton sehingga kekuatan agregat akan mempengaruhi kekuatan beton.

Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat, selain itu juga untuk mengisi rongga diantara butiran-butiran agregat.

Semen Portland dihasilkan melalui beberapa tahapan, sehingga sangat halus dan memiliki sifat adhesif serta kohesif. Semen dihasilkan dengan cara membakar klinker atau batugamping yang mengandung alumina dalam propors tertentu. Setelah itu didinginkan dan dihaluskan sampai seperti bubuk. Lalu ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2-4% sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambahan lain terkadang ditambahkan juga untuk membentuk semen khusus misalnya kalsium klorida untuk menjadikan semen yang cepat mengeras. Semen biasanya dikemas dalam kantong 40kg / 50kg.

Tabel 2. Susunan oksida semen portland

No.	Oksida	Persentase
1	Kapur (CaO)	60 – 65
2	Silika (SiO_2)	17 – 25
3	Alumina (Al_2O_3)	3 – 8
4	Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6
5	Magnesia (MgO)	0,5 – 4
6	Sulfur (SO_3)	1 – 2
7	Soda / Potash ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)	0,5 – 1

Menurut SII 0031-81 (Tjokrodimulyo, 1996), semen Portland dibagi menjadi lima jenis, namun untuk penggunaan umum biasanya hanya digunakan jenis semen tipe 1 (satu) karena tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal serta cocok dipakai pada tanah dan air yang mengandung sulfat antara 0-0,10%.

Untuk keperluan campuran pembuatan beton, semen harus memenuhi syarat-syarat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai berikut: waktu pengikatan awal untuk segala jenis semen tidak boleh kurang dari 1jam (60 menit), Pengikatan awal semen normal 60 – 120 menit, Air yang digunakan memenuhi syarat air minum, yaitu bersih dari zat organik yang dapat mempengaruhi proses pengikatan awal, Suhu ruangan 23°C .

Air

Air adalah bahan yang diperlukan untuk proses reaksi kimia dengan semen untuk membentuk pasta semen. Air juga dipakai untuk pelumas antara butiran dalam agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air dalam campuran beton menyebabkan terjadinya proses hidrasi dengan semen. Jumlah air yang berlebihan akan menurunkan kekuatan beton. Namun air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata. Pada

umumnya air yang dapat diminum digunakan sebagai campuran beton. Ciri-ciri air yang baik untuk campuran beton adalah tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa.

Jenis-jenis air untuk campuran beton :

- a. Air hujan, air hujan menyerap gas dan udara pada saat jatuh ke bumi. Biasanya air hujan mengandung unsur oksigen, nitrogen dan karbondioksida.
- b. Air permukaan, terdiri dari air sungai, air danau, air genangan, dan air reservoir. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampuran beton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau genangan yang mengandung zat-zat alkali tidak dapat digunakan.
- c. Air tanah, biasanya mengandung unsur kation dan anion. Selain itu juga kadang-kadang terdapat unsur CO₂, H₂S dan NH₃.
- d. Air laut, air laut mengandung 30.000 – 36.000mg/liter gram (3 %-3,6 %) dapat digunakan sebagai air campuran beton tidak bertulang. Air laut yang mengandung garam diatas 3% tidak boleh digunakan untuk campuran beton. Untuk beton pra tekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepat korosi pada tulangnya.

Air yang dipergunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Tidak mengandung lumpur dan benda melayang lainnya yang lebih dari 2gram / liter.
- b. Tidak mengandung garam atau asam yang dapat merusak beton, zat organik dan sebagainya lebih dari 15 gram / liter.
- c. Tidak mengandung klorida (Cl) yang lebih dari 1 gram / liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter.

Iron Slag

Menurut Paul. N, Antoni (2007) Slag merupakan bahan sisa dari pengecoran besi (pig iron), dimana prosesnya memakai dapur (furnance) yang bahan bakarnya dari udara yang ditiupkan (blast). Pada peleburan Baja, biji besi atau besi bekas dicairkan dengan kombinasi batu gamping, delomite atau kapur, pembuatan baja dimulai dari dengan menghilangkan ion – ion pengotor baja, diantaranya alumonium, silicon dan phosphor. Untuk menghilangkan ion – ion pengotor tersebut, diperlukan kalsium yang terdapat pada batukapur. Campuran kalsium, alumonium, silicon dan phosphor membentuk (slag) yang bereaksi pada temperature 1600° C dan membentuk cairan, bila cairan ini didinginkan maka akan terjadi kristal, dapat digunakan sebagai campuran semen dan dapat juga sebagai pengganti agregat.

ASTM (1995,494) Slag adalah Produk Non-metal yang merupakan material berbentuk halus sampai balok – balok besar, dari hasil pembakaran yang didinginkan. Menurut Lewis (1982) Keuntungan penggunaan limbah padat (slag) dalam campuran beton adalah sebagai berikut :

- a. Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
- b. Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton
- c. Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
- d. Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
- e. Mengurangi serangan alkali-silika
- f. Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
- g. Memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
- h. Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
- i. Mengurangi porositas dan serangan klorida

Menurut Cain (1994:505) Faktor-faktor untuk menentukan sifat penyemenan (cementious) dalam slag adalah komposisi kimia, konsentrasi alkali dan reaksi terhadap sistem, kandungan kaca dalam slag, kehalusan dan temperatur yang ditimbulkan selama proses hidrasi berlangsung.

Sifat-Sifat Mekanis Beton

Sifat-sifat mekanis yang ada pada beton dibagi menjadi dua, yaitu sifat mekanis jangka pendek dan jangka panjang. Sifat mekanis jangka pendek, yaitu kuat tekan beton, kuat tarik beton, kuat geser beton, dan modulus elastisitas beton. Sedangkan untuk sifat mekanis jangka panjang, yaitu rangkai dan susut pada beton.

1. **Kuat tekan beton**, Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima tekanan yang berupa gaya tekan per satuan luasnya. Kuat tekan beton dapat diketahui dengan pengujian dengan menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kuat tekan beton dapat diketahui dalam umur 28 hari dan dinyatakan dalam satuan Mpa. Selama 28 hari, beton disimpan dan dirawat dengan suhu dan kelembaban yang tetap. Menurut SNI 2847:2013, Untuk beton struktur, Kuat tekan f'_c tidak boleh kurang dari 17 MPa. Nilai maksimum f'_c tidak dibatasi kecuali bilamana dibatasi oleh ketentuan standar tertentu.
2. **Susut Beton**, Susut pada beton adalah perubahan volume beton yang tidak dipengaruhi oleh pembebanan melainkan akibat beton yang kehilangan air akibat penguapan selama proses pengikatan beton dan juga dapat diartikan akibat perubahan muatan campuran

dan perubahan fisika-kimia seiring penambahan waktu setelah proses pengerasan beton.

3. Adapun kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$f'_c = \sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : $f'_c = \sigma =$ Kuat tekan Beton (Mpa)

P= Beban maksimum (kN)

A= Luas permukaan sampel (cm²)

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang merupakan metode penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan dari hasilnya disertai gambar, tabel, atau grafik. Kemudian data hasil penelitian dianalisis sesuai dengan prosedur pengujian laboratorium. Metode penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu dengan membandingkan antara 3 variasi campuran untuk mengetahui bagaimana kuat tekan beton.

Agar penelitian ini dapat terarah dan sesuai dengan tujuan, maka diperlukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Lab. Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare.
2. Material limbah iron slag yang akan digunakan diambil dari PT. Barawaja Makassar
3. Perencanaan campuran beton sesuai SNI 7656:2012.
4. Kuat tekan beton yang direncanakan adalah 25 Mpa.
5. Jumlah benda uji adalah 3 buah dengan variasi limbah iron slag 5% dan 10%
6. Pengujian yang dilakukan hanya pada kuat tekan beton.
7. Standar pengujian kuat tekan benda uji menggunakan SNI 1974:2011.
8. Nilai slump yang digunakan 60 – 100 mm sesuai dengan SNI 1972:2008.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan limbah iron slag sebagai pengganti agregat dalam campuran beton sehingga dapat lebih ekonomis serta ramah lingkungan.
2. Hasil penelitian ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) terutama dalam bidang konstruksi.

3. Hasil penelitian ini dapat diterapkan oleh pihak kampus dan pemerintah dalam mengatasi limbah iron slag.

Lokasi dan Waktu Penelitian, Lokasi pembuatan benda uji, pemeliharaan, dan pengujian dilaksanakan di lab. T. Sipil Fak. Teknik Univ. Muhammadiyah Parepare selama 3 bulan.

Teknik Pengumpulan Data

1. Data Primer

Data yang diperoleh melalui eksperimen di Lab. Struktur dan Bahan T. Sipil Univ. Muhammadiyah Parepare. Penelitian ini berfokus pada variasi campuran dari limbah iron slag yang akan dijadikan sebagai pengganti sebagian agregat kasar.

2. Data sekunder

Data sekunder sebagai pendukung merupakan gambaran pada daerah studi. Pengumpulan data sekunder merupakan pengumpulan data secara tidak langsung dari sumber/objek. Data-data diperoleh dari tulisan seperti buku-buku teori, buku laporan, peraturan-peraturan, dan dokumen baik yang berasal dari instansi terkait maupun hasil kajian literature.

Alat dan Bahan Penelitian

Adapun bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat, Agregat yang digunakan adalah agregat kasar (batu pecah) dan agregat halus (pasir alam)
2. Semen, Semen yang digunakan adalah Semen Portland
3. Air, Air yang digunakan adalah air dari Lab. Struktur dan Bahan Univ. Muhammadiyah Parepare
4. Limbah iron slag, Limbah iron slag yang digunakan diambil dari PT.Barawaja Makassar

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Saringan, Saringan yang dipakai dalam menentukan gradasi agregat yaitu saringan dengan lubang saringan sebesar 25; 19.5; 9.5; 4.75; 2.36; 1.18; 0.60; 0.30; dan 0.15 mm.
2. Oven, Oven digunakan untuk mengeringkan agregat pada pengujian kadar air dan berat jenis
3. Gelas Ukur, Gelas ukur untuk mengukur banyaknya air yang digunakan pada pembuatan beton.
4. Timbangan, Timbangan difungsikan untuk menimbang bahan-bahan benda uji

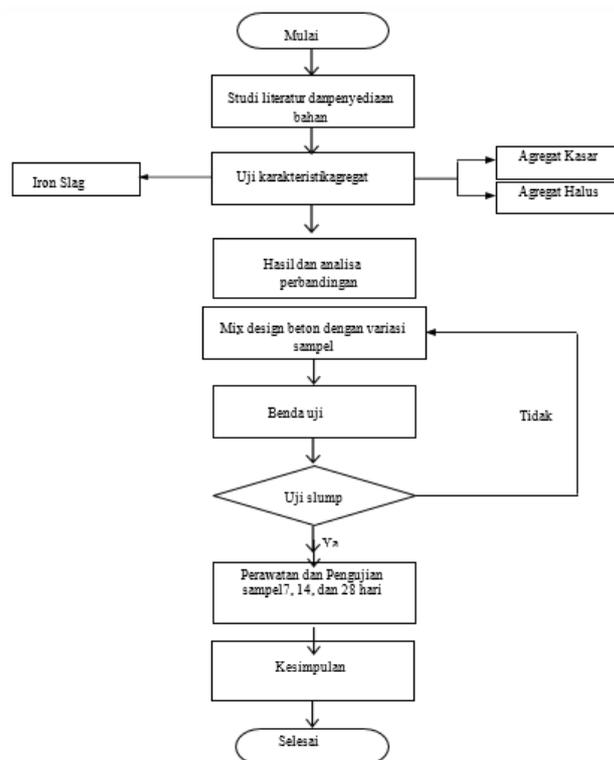
5. Cetakan Beton, Cetakan beton yang digunakan adalah cetakan silinder ukuran 15 x 30 cm
6. *Universal Testing Machine*, Digunakan untuk menguji kuat tekan benda uji beton
7. Concrete mixer / mesin pencampur, Digunakan untuk mencampur semua bahan-bahan benda uji

Teknik Analisis Data,

Teknik analisis data yang dipakai pada penelitian ini menggunakan analisisparametrik deskriptif. Data hasil uji kuat tekan beton diperoleh dari pembagian antara beban maksimum benda uji dengan luas penampang benda uji, selanjutnyadata akan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik. Langkah- langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menimbang berat benda uji sebelum pengujian dilakukan.
2. Meletakkan benda uji pada *Universal Testing Machine*.
3. Menghidupkan *Universal Testing Machine* dan benda uji akan mengalami penambahan beban sehingga dapat dibaca besarnya kekuatan tekan yang ditunjukkan dengan manometer.
4. Benda uji akan retak apabila beban yang diberikan telah mencapai batas maksimum dari beban yang mampu ditahan benda uji. Pada saat retak, jarum manometer akan berhenti pada titik maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji.

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Komposisi Bahan Penelitian

Tabel 3. Persentase komposisi bahan

Kode	semen	Agregat halus	agregat kasar	Limbah iron Slag	Air
B 0 %	100%	100%	100%	0%	100%
B 25 %	100%	100%	95%	5%	100%
B 50 %	100%	100%	90%	10%	100%

Standart Bahan Penelitian

- Volume agregat kasar per satuan volume beton (*Sumber: SNI7656:2012*)
- Perkiraan awal berat beton segar (*Sumber: SNI 7656:2012*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat berdasarkan pada SNI (Standar Nasional Indonesia) dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus dan agregat limbah iron slag. Hasil rekapitulasi masing-masing pengujian ditunjukkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian agregat.

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	NILAI RATA-RATA		KET.
			Agregat Kasar	Agregat Halus	
1	Kadar lumpur	Maks 1%	0.90%		Memenuhi
		Maks 5%		3.88%	Memenuhi
2	Keausan	Maks 50%	17.8%	-	Memenuhi
3	Kadar air	0,5% - 2%	1.28%		Memenuhi
		2% - 5%		2.46%	Memenuhi
4	Berat volume				Memenuhi
	a. Kondisi lepas	1,6 - 1,9 kg/liter	1.65		Memenuhi
		1,4 - 1,9 kg/liter		1.70	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,6 - 1,9 kg/liter	1.86		Memenuhi
		1,4 - 1,9 kg/liter		1.86	Memenuhi
5	Absorpsi	Maks 4 %	3.04%		Memenuhi
		0,2% - 2%		1.45%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik				Memenuhi
	a. Bj. Nyata	1,6 - 3,3	2.83	2.62	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.61	2.53	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.69	2.56	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	6,0 - 8,0	6.72		Memenuhi
		1,50 - 3,80		2.95	Memenuhi
8	Kadar organik	< No. 3		No. 2	Memenuhi

Perencanaan Adukan Beton (Mix Design)

Tabel 5. Mix Disain Beton berdasarkan SNI 7656:2012

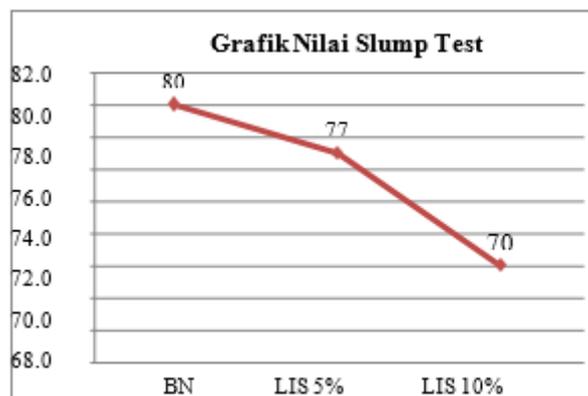
No	Uraian	Mix Disain
1	Kuat tekan karakteristik umur 28 hari (f_c')	25 MPa
2	Deviasi standar	60
3	Nilai margin/nilai tambah (M)	98,4 MPa
4	Kekuatan rata-rata yang hendak dicapai (f_{cr}')	33,81 MPa
5	Jenis semen (PC)	Jenis I
6	Jenis agregat halus	Alami
8	Jenis agregat kasar	Batu Pecah
9	Faktor air semen (FAS)	0,482
10	Slump (untuk plat, balok, kolom, dinding)	75 - 100 mm
11	Ukuran agregat maksimum	40 mm
12	Kebutuhan air	208,35 liter
13	Kebutuhan semen Portland	410,46 kg/m^3
14	Daerah gradasi agregat halus	Zona 2
15	Berat jenis beton	2400 kg/m^3

Hasil Pengujian Slump

Pada penelitian ini, pemeriksaan nilai slump yang dilakukan diperoleh hasil seperti gambar dibawah ini. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin tinggi jumlah variasi limbah iron slag dicampurkan ke dalam adukan beton, maka nilai *workability* akan semakin menurun.



Gambar 2. Pengujian Slump



Gambar 3. Hubungan antara variasi campuran slag dengan nilai slump

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Setelah melakukan pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan benda uji tersebut.



Gambar 4. Grafik hubungan persentase campuran terhadap kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Terdiri dari 3 variasi campuran limbah iron slag yaitu 0%, 5%, dan 10%. Untuk kuat tekan silinder dengan ukuran benda uji 15 x 30 cm. Sebelum melakukan uji kuat tekan beton maka terlebih dahulu melakukan penimbangan benda uji untuk setiap variasi yang akan dijadikan sampel uji.

Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa beton umur 7 hari mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 0,85 MPa pada beton variasi 5% limbah iron slag, dan 2,74 MPa pada beton variasi 10% limbah iron slag. Pada beton umur 14 hari mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 1,14 MPa pada beton variasi 5% limbah iron slag, dan 3,68 MPa pada beton variasi 10% limbah iron slag. Pada beton umur 28 hari mengalami peningkatan kuat tekan dari beton normal sebesar 1,23 MPa pada beton variasi 5% limbah iron slag, dan 4,15 MPa pada beton variasi 10% limbah iron slag. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kuat tekan beton dengan persentase 10% limbah iron slag memenuhi kuat tekan yang lebih tinggi dari variasi 0% dan 5% serta dapat digunakan untuk konstruksi, sedangkan beton dengan persentase 0% dan 5% limbah iron slag juga memenuhi rencana sehingga dapat digunakan untuk konstruksi namun dapat disimpulkan jika semakin tinggi persen iron slagnya semakin pula bertambah kekuatan tekan dari beton tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengaruh variasi dari hasil pengujian kuat tekan beton yang memperhatikan variasi campuran limbah iron slag dengan 3 variasi yaitu 0% (beton normal), 5%, dan 10% dari sebagian agregat kasar, maka didapatkan hasil pengujian beton pada umur 28 hari pada beton normal atau variasi 0% limbah Iron slag dengan rata-rata 21,89 MPa. Untuk variasi 5% limbah

iron slag dengan rata-rata 23,12 Mpa. Dan untuk variasi 10% limbah iron slag dengan rata-rata 26,04 MPa. Maka dapat disimpulkan beton dengan variasi 0%, 5%, dan 10% limbah iron slag mencapai kuat tekan rencana dan layak digunakan untuk konstruksi. Dengan demikian maka semakin tinggi persentase penggunaan limbah iron slag sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton, maka semakin tinggi capaian kuat tekan beton yang dihasilkan.

Dari hasil penambahan atau penggantian agregat kasar dengan menggunakan limbah Iron slag dalam campuran maka kuat tekan beton mengalami peningkatan, seperti hasil yang didapatkan yaitu dari penambahan limbah iron slag sebesar 5% mengalami peningkatan sebesar 1,23 MPa dari beton normal. dan Penambahan limbah iron slag sebesar 10% mengalami peningkatan sebesar 4,15 MPa dari beton normal.

Saran

Penambahan zat aditif dalam campuran beton yang dapat memperkuat beton atau menambah kekuatan beton dapat dioptimalkan. Penelitian lanjutan dengan menggunakan limbah iron slag dengan mutu tertentu agar hasil yang didapatkan dapat lebih terkontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmadi, A (2009). Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag Sebagai Agregat Halus dan Agregat Kasar dengan Aplikasi Superplasticizer dan Silicafume., eprints.undip.ac.id, <http://eprints.undip.ac.id/20408/>
- Anonim. (1991). *Tata cara Rencana Pembuatan Beton Normal*. SK SNI T-15- 1990-03. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Spesifikasi Agregat ringan Untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding*. SNI 03-6821-2002. Jakarta: Departemen Pekerjaan umum
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan umum
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1975:2011. Jakarta: Departemen Pekerjaan umum
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. SNI 7656:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan umum
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Spesifikasi Agregat ringan Untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding*. SNI 03-6821-2002. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung dan penjelasannya*. SNI 2847-2019. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum

- Datu, IT, & Khairil, K (2019). Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Baja Sebagai Agregat Halus Pada Produksi Beton Mutu Tinggi. Seminar Nasional Hasil Penelitian & jurnal.poliupg.ac.id, <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/viewFile/1852/1696>
- Devrionika, D, Putra, SA, & Abrar, A (2016), Perancangan Komposisi Campuran Beton Berpori dengan menggunakan Limbah Besi sebagai Pengganti Agregat Kasar, repository.sttdumai.ac.id, <http://repository.sttdumai.ac.id/269/>
- Hardjasaputra, H & Ciputera, A. (2008). *Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Beton Baru*. Banten: Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Hijriah, H, & Yuniarti, NH (2021). Pemanfaatan limbah Iron Slag sebagai material pengganti sebagian pasir pada produksi beton. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) ..., ojs.ummetro.ac.id, <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/tapak/article/view/1580>
- Januartha, I (2019). Penggunaan Iron Slag sebagai Substitusi Agregat Halus pada Beton Geopolimer berbasis Fly-ash, e-journal.uajy.ac.id, <http://e-journal.uajy.ac.id/id/eprint/17647>
- Misbachul, M, & Novarina, IH (2012). Recycling Limbah Padat Industri Peleburan Besi (Iron Slag) Sebagai Bahan Campuran Industri Beton yang Berwawasan Lingkungan. Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran
- Muhammad Dwi Andriyanto. (2020). *Pengaruh Pemanfaatan Limbah iron slag Sebagai Campuran Bahan Terhadap Sifat Mekanik Paving Block*. Mataram: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Muhammad Irvan Susanto. (2020). *Pemanfaatan Limbah iron slag Pada Paving Block dengan Metode Tekanan*. Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Muhammad Rizki Maulana, Bahrul Anif, & Indra Khaidir. (2020). *Pengaruh Penggunaan Limbah iron slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete)*. Padang: Fakultas Teknik Universitas Bung Hatta
- Putri Marastuti, Elly Tjahjono, & Essy Arijoeni (2014). *Penggunaan Agregat Kasar Daur Ulang dari Limbah iron slag Padat dengan Mutu K350-K400 terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Susut pada Beton*. Depok: Program Studi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Samekto, Wuryati. (2001). *Teknologi Bahan*. Yogyakarta: Kanisius
- Soelarso, Baehaki, & Nur Fatah Sidik. (2016). *Pengaruh Penggunaan Limbah iron slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas*. Banten: Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Sonia Sonita Munthe (2019). *Pemanfaatan Limbah Pecahan Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Terhadap Kuat Tarik Belah Dengan Fas 0,3 Dan 0,5*. Medan: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan.
- Sukirman, Silvia. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Grafika Yuana Marga

Tjokrodimulyo, K. (1992). *Teknologi Beton*. Gramedia : Yogyakarta.

Tjokrodimulyo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Nafiri: Yogyakarta.

Yunianti, NH (2020). Karakteristik Mekanis Beton yang Menggunakan Iron Slag sebagai agregat halus. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, journal.unibos.ac.id, <https://journal.unibos.ac.id/eco/article/view/736>