



MT-31 ANALISIS KUAT TEKAN BETON MENGGUNAKAN LIMBAH *CIRCUM SLAG* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS

Indriasari^{1*}, Yonas Prima Arga Rumbyarso², Nur Bakhrol³

^{1*}Program Studi Teknik Sipil Universitas Krisnadwipayana, Jl. Kampus Unkris Jatiwaringin, Jakarta

e-mail: indriasari@unkris.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil Universitas Krisnadwipayana, Jl. Kampus Unkris Jatiwaringin, Jakarta

e-mail: yonasprima@unkris.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil Universitas Krisnadwipayana, Jl. Kampus Unkris Jatiwaringin, Jakarta

e-mail: nrbilmi@gmail.com

ABSTRAK

Dalam industri konstruksi, penggunaan beton sebagai bahan konstruksi mengalami perkembangan, baik dari segi bahan-bahan penyusun beton maupun cara pelaksanaan pengerjaannya. Semakin meningkatnya penggunaan beton dalam industri konstruksi maka semakin banyak perubahan pada bahan campuran beton yaitu dengan inovasi pembuatan beton dengan bahan campuran limbah atau sisa produksi yang diharapkan dapat meningkatkan mutu beton dan mengurangi permasalahan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kuat tekan beton yang menggunakan *circum slag* sebagai pengganti sebagian agregat halus atau pasir. *Circum slag* dihasilkan dari proses las busur terendam atau dikenal dengan *Submerged Arc Welding* (SAW) pada proses pembuatan tabung LPG dengan penggabungan lempengan atas dan bawah yang disebut *circum*. Variasi penggunaan limbah adalah 0%, 10% dan 20% dengan mutu beton yang direncanakan sebesar 20 MPa. Benda uji menggunakan silinder beton dengan diameter 15 x 30 cm. Kuat tekan beton diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari, dengan jumlah benda uji sebanyak 27 benda uji. Dalam penelitian ini metode penelitian dilakukan dengan melakukan eksperimen atau uji coba di laboratorium Beton. Hasil kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari untuk beton normal tanpa *circum slag* (0%) adalah 18,61 MPa, kuat tekan beton rata-rata dengan variasi *circum slag* 10% adalah 10,02 MPa dan variasi *circum slag* 20% adalah 13,55 MPa. Hasil kuat tekan beton rata-rata yang menggunakan limbah *circum slag* lebih kecil dari kuat tekan beton normal, namun antara variasi 10% dan 20% ada kenaikan kuat tekan beton sebesar 26,05%.

Kata kunci: las busur terendam, *circum slag*, beton, kuat tekan beton

1. PENDAHULUAN

Era modern berkembang sangat pesat, baik dari perkembangan industri manufaktur maupun perkembangan infrastruktur. Dengan pesatnya pertumbuhan ekonomi, kebutuhan akan penyediaan tabung gas LPG baja di masyarakat sangat diperlukan. PT. Patra Trading Jakarta sebagai Industri manufaktur, pabrik pembuatan tabung gas LPG baja terus meningkatkan produksinya untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Tidak terlepas dari adanya proses manufaktur tersebut menghasilkan produksi limbah hasil pengelasan tabung gas tersebut yang disebut *circum slag*. *Circum slag* merupakan limbah sisa hasil dari proses pengelasan baja dengan metode pengelasan busur terendam atau dikenal dengan *Submerged Arc Welding* (SAW).

Pengelasan busur terendam atau *Submerged Arc Welding* adalah proses pengelasan busur listrik yang bekerja secara otomatis. Proses pengelasan ini dipatenkan pada tahun 1935 oleh Jones, Kennedy, dan Rothermund. Menjadikan proses pengelasan sebagai proses pengelasan otomatis pertama di industri. Memiliki mekanisme kerja yang mirip dengan pengelasan semi otomatis seperti FCAW dan GMAW. Arus listrik yang disuplai dari trafo las digunakan untuk menyalakan busur listrik dan menghasilkan panas. Kemudian kawat las diumpankan terus menerus ke dalam kawah las oleh *wire feeder*. Proses tersebut terjadi di bawah rendaman pasir silika yang berfungsi sebagai *fluks*. Semuanya berjalan secara otomatis melalui pengaturan yang terdapat pada trafo las yang umumnya mengatur arus listrik (*Ampere*), tegangan (*Voltage*), dan kecepatan pengelasan (*Travel speed*).

Proses pengelasan menggunakan las busur terendam menghasilkan *slag* atau terak. *Circum slag* ini dihasilkan dari proses pengelasan las busur terendam atau *Submerged Arc Welding* (SAW) pada proses manufaktur pembuatan tabung LPG dengan penggabungan lempengan atas dan bawah yang disebut *circum*. Berbeda dengan *steel slag* atau terak, *circum slag* ini terdiri dari adanya campuran *steel slag* dengan butiran-butiran *flux*. Butiran-butiran *flux* ini mengandung bermacam-macam bahan dasar seperti batu gamping, silika, mangan oksida, kalsium florida, dan lain-lain.

Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi terus berkembang, baik dalam hal bahan-bahan pembentuk beton maupun dalam hal metode pelaksanaannya. Dengan meningkatnya penggunaan beton dalam industri konstruksi, semakin banyak perubahan pada bahan campuran beton yaitu dengan inovasi pembuatan beton dengan bahan campuran limbah atau bahan sisa produksi yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton dan mengurangi masalah pencemaran lingkungan.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan menganalisis kuat tekan beton yang menggunakan limbah sisa pengelasan (*circum slag*) sebagai pengganti sebagian agregat halus atau sebagai substitusi sebagian pasir. Limbah dari hasil pengelasan (*circum slag*) ini berbentuk pipih, kasar, bersudut tajam dan berwarna abu-abu. Limbah ini mudah hancur sehingga dalam penelitian ini, limbah tersebut ditumbuk dan diayak terlebih dahulu agar sifat fisiknya hampir sama dengan pasir, sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti sebagian pasir. Diharapkan dengan penambahan limbah sisa pengelasan (*circum slag*) dapat meningkatkan kuat tekan beton dan dapat memanfaatkan bahan sisa limbah pabrik tabung LPG sebagai tindakan bahwa kita peduli terhadap lingkungan kita.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Material penyusun beton

Bahan material penyusun beton terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah jika ada.

Semen portland

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain (SNI 2049-2015, 2015).

Agregat kasar

Menurut standar SK SNI S-04-1989-F (spesifikasi bahan bangunan bagian A), agregat kasar dipilih yang memenuhi syarat sebagai berikut: butir-butirnya keras dan tidak berpori, kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, tidak mengandung lumpur lebih dari 1%, tidak boleh mengandung zat yang reaktif terhadap alkali, butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%, modulus kehalusan butiran antara 6,00 – 7,10 dengan variasi butir sesuai standar, ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat beton, 3/4 jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan (Tjokrodinuljo, K., 2007).

Agregat halus

Menurut standar SK SNI S-04-1989-F (spesifikasi bahan bangunan bagian A), agregat halus dipilih yang memenuhi syarat sebagai berikut: butir-butirnya tajam dan keras, kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, tidak mengandung zat organik terlalu banyak, modulus kehalusan butiran antara 1,50 - 3,80 dengan variasi butir sesuai standar, tidak reaktif terhadap alkali (Tjokrodinuljo, K., 2007).

Air

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, spesifikasi bahan bangunan bagian A. Air yang harus digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut: air harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual, tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram per liter, tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter. Khusus untuk beton prategang, kandungan klorida tidak boleh melebihi 0,05 gram per liter, tidak mengandung senyawa sulfat (SO₃) lebih dari 1 gram per liter (Tjokrodinuljo, K., 2007).

Circum slag

Proses pengelasan menggunakan las busur teredam menghasilkan *slag* atau terak. *Circum slag* ini dihasilkan dari proses pengelasan las busur teredam atau *Submerged Arc Welding* pada proses manufaktur pembuatan tabung gas LPG dengan penggabungan lempengan atas dan bawah yang disebut *circum*. Berbeda dengan *steel slag* atau terak, *circum slag* ini yaitu terdiri dari adanya campuran *steel slag* dengan butiran-butiran *flux*. Butiran-butiran *flux* ini terbuat dari bermacam-macam bahan dasar seperti batu gamping, silika, mangan oksida, kalsium florida, dan lain-lain. Adapun komposisi dari *circum slag* terdiri dari kawat las dan flux berbentuk pasir, dengan daftar komposisi masing-masing material seperti disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 1. Komposisi Material Kawat Las

No	Komposisi Kimia	Persentase
1	Besi	60-100%
2	Magnesium	1-5%
3	Silikon	0,5-1,5%

Sumber: Safety Data Sheet Noriweld ER70s-6

Tabel 2. Komposisi Material Pasir Flux

No	Komposisi Kimia	Persentase
1	Silikon Dioksida	10-20%
2	Titanium Dioksida	15-23%
3	Magnesium	5-15%
4	Alumunium Oksida	10-25%
5	Magnesium Oksida	10-25%
6	Besi	2-5%

Sumber: Material Safety Data Sheet Flux for Submerged Arc Welding

Circum slag berbentuk pipih dan tajam serta ada butiran-butiran *flux* dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Dalam penelitian ini sebelum dicampur ke dalam adukan beton, *circum slag* ditumbuk dan diayak terlebih dahulu dengan saringan No. 4 sehingga karakteristiknya menyerupai pasir. Syarat agregat halus lolos saringan no. 4.

Gambar 1. *Circum Slag*

Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 1974:2011, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang diterima benda uji selama pembebanan. Hitung kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata dan nyatakan hasilnya dengan dibulatkan ke 1 desimal dengan satuan 0,1 Mpa, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut (SNI 1974-2011, 2011):

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A}$$

Kuat tekan beton dengan benda uji silinder dinyatakan dalam MPa atau N/mm² dengan P = gaya tekan aksial dinyatakan dalam Newton (N), A = luas penampang melintang benda uji dinyatakan dalam mm².

Penelitian terdahulu

Dalam penelitian ini, sebagai referensi, peneliti mempelajari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

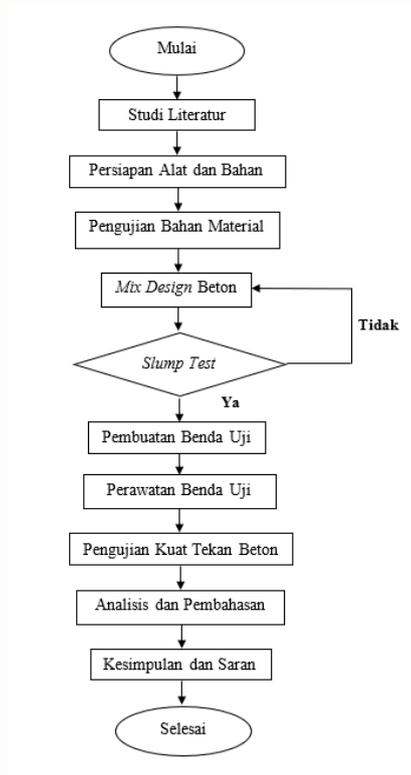
1. Penelitian dengan judul Kajian Penggunaan *Copper Slag* sebagai Agregat Halus Beton, penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan terak tembaga sebagai substitusi parsial agregat halus terhadap berat jenis, kuat tekan, dan kuat tarik belah beton dengan variasi penggunaan terak tembaga 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari volume agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan terak tembaga dapat meningkatkan densitas curah, kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi 60% sebesar 35,73MPa atau naik sekitar 22,32% dan untuk kuat tarik belah tertinggi terjadi pada variasi 60% 3,12 MPa atau naik sekitar 5,76% (Karimah, 2016).
2. Penelitian dengan judul Evaluasi Pemanfaatan Limbah *Slag* Baja sebagai Agregat Halus pada Produksi Beton Mutu Tinggi, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik material terak besi dan kuat tekan kekuatan tinggi beton dengan agregat halus variasi *slag*. Variasi menggunakan agregat kasar batu pecah dikombinasikan dengan variasi agregat halus terak besi 0%, 50%, dan 100%. Hasil uji kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari untuk variasi terak besi 0%, 50% dan 100% mengalami kenaikan yaitu sebesar 46,8 MPa; 48,42 MPa dan 57,08 MPa (Irka Tangke Datu, 2019).
3. Penelitian dengan judul Karakteristik Beton Mutu Tinggi dengan Komposisi *Slag* dan Agregat Halus Batu Gamping. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton dan hubungan karakteristik beton dengan bahan pengganti terak nikel dan batu gamping agregat halus terhadap mutu beton. Dari hasil penelitian nilai kuat tekan beton dengan variasi 0%, 10% dan 20% masing-masing 42,360 MPa, 42,347 MPa dan 41,781 MPa, uji kuat tarik belah dengan variasi 0%, 10% dan 20% masing-masing sebesar 3,94 MPa, 3,064 MPa dan 2,293 MPa. Dapat disimpulkan bahwa campuran beton dengan substitusi terak nikel dan batu gamping menyebabkan penurunan kekuatan seiring dengan meningkatnya persentase substitusi terak nikel (Bunga' et al., 2021).
4. Penelitian dengan judul Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi dengan Kombinasi *Slag* Nikel dan *Slag* Baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran beton, kekuatan beton dan komposisinya perbandingan kekuatan beton dengan kombinasi terak nikel dan terak baja sebagai pengganti agregat halus dan agregat kasar. Persentase pemanfaatan limbah terak nikel sebesar 50% sebagai pengganti agregat halus dan limbah *steel slag* bervariasi dari 0%, 15%, dan 30% sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton mutu tinggi ($f'c = 42$ MPa). Berdasarkan rata-rata sifat mekanik beton dengan menggunakan limbah *steel slag* sebagai pengganti pada variasi 30% diperoleh hasil yang paling besar masing-masing 45,27 MPa, 4,91 MPa dan 5,09MPa untuk kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton (Tiranda et al., 2021).
5. Penelitian dengan judul Pemanfaatan Limbah *Iron Slag* sebagai Material Pengganti sebagian Pasir pada Produksi Beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton setelah menggunakan *iron slag*. Benda uji dibuat dalam 2 (dua) jenis yaitu beton normal dan beton variasi terak besi. Terak besi digunakan sebagai pengganti agregat halus dengan variasi pada campuran beton 0%, 75% dan 100% serta penggunaan *Superplasticizer* sebanyak 1%. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan kuat tekan variasi beton tertinggi terjadi pada Uji BS 100 sama dengan 63,34% terhadap beton normal. Penggunaan terak besi sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran Beton dapat meningkatkan kemampuan beton menahan beban (Hijriah, 2021).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan percobaan atau uji eksperimen di laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Krisnadwipayana Jakarta, dengan tujuan untuk menganalisis nilai kuat tekan beton yang menggunakan limbah sisa pengelasan (*circum slag*) sebagai pengganti sebagian (substitusi) agregat halus atau pasir, yaitu dengan membandingkan hasil kuat tekan beton pada campuran beton yang tidak menggunakan bahan limbah dan yang menggunakan bahan limbah. Variasi penambahan limbah *circum slag* adalah 0%, 10% dan 20% dari berat pasir dan ada pengurangan pasir sebesar variasi tersebut, dengan mutu beton yang direncanakan 20 MPa. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder beton ukuran $\varnothing 15 \times 30$ cm sebanyak 27 buah. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari setelah lebih dahulu dilakukan perawatan (*curing*) benda uji beton yang direndam sesuai umur pengujian. Pada penelitian ini rencana *mix design* beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000, 2000). Cara pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder mengacu pada SNI 1974-2011.

Tahapan penelitian yaitu melakukan persiapan alat dan bahan, pemeriksaan material, merencanakan campuran beton, pengujian *slump* beton, pembuatan benda uji, perawatan benda uji dan selanjutnya pengujian kuat tekan silinder beton.

Diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian agregat

Hasil pengujian karakteristik agregat halus pasir dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus (Pasir)

No	Karakteristik agregat	Interval	Hasil pemeriksaan	Keterangan
1	Modulus Kehalusan	2,3 – 3,8	4,01	Relatif kasar
2	Berat Jenis Kondisi (SSD)	2,4 gr/cm ³ – 2,9 gr/cm ³	2,65	Memenuhi
3	Penyerapan Air	3%	1,63	Memenuhi
4	Berat Volume	1,4 – 1,9 kg/m ³	1,60	Memenuhi
5	Kadar Air	1% - 5%	2,6	Memenuhi
6	Kadar Lumpur	Maks. 5%	3,5	Memenuhi

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar (*split*) dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar (*Split*)

No	Karakteristik Agregat	Interval	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
1	Modulus Kehalusan	6,0 – 7,1	6,51	Memenuhi
2	Berat Jenis Kondisi (SSD)	2,55 – 2,70	2,52	Memenuhi
3	Penyerapan Air	Maks. 3%	2,78	Memenuhi
4	Berat Volume	1,4 – 1,9 Ton/m ³	1,70	Memenuhi
5	Kadar Air	0,5% - 2%	1,50	Memenuhi
6	Kadar Lumpur	Maks. 1%	0,70	Memenuhi
7	Keausan agregat dengan mesin Los Angeles	<40%	19,82	Memenuhi

Benda uji beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan panjang 300 mm. Jumlah benda uji biasanya

3 (tiga) atau lebih benda uji dicetak untuk masing-masing umur pengujian dan kondisi pengujian, kecuali cara lain ditentukan (SNI 2493-2011, 2011). Pada penelitian ini jumlah benda uji ditentukan seperti Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Penentuan Jumlah Benda Uji pada Berbagai Umur

No.	Benda uji silinder beton	7 hari (buah)	14 hari (buah)	28 hari (buah)	Jumlah benda uji total (buah)
1.	Variasi Beton Normal (0%)	3	3	3	9
2.	Variasi <i>circum slag</i> 10%	3	3	3	9
3.	Variasi <i>circum slag</i> 20%	3	3	3	9
Jumlah total					27

Pengujian *slump* baton

Pengukuran *slump* beton dilakukan untuk mengetahui kemudahan pengerjaan beton segar (*workability* beton segar). *Slump* beton diuji dengan cetakan untuk uji *slump* yang berbentuk kerucut terpancung yang dikenal dengan kerucut Abram. Cara pengujian *slump* beton mengacu pada SNI cara uji *slump* beton (SNI-1972:2008, 2008). Hasil pengujian *slump* beton dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6. Hasil Pengujian *Slump* Beton

Variasi beton dengan <i>circum slag</i>	Nilai <i>Slump</i> (mm)
Beton normal (0%)	115
Variasi 10%	110
Variasi 20%	105

Sumber: Hasil penelitian di laboratorium

Pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton benda uji silinder masing – masing variasi dengan substitusi *circum slag* 0%, 10%, 20% sebanyak 3 buah sampel dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan ukuran silinder Ø 15 cm x 30 cm, sehingga total ada 27 buah benda uji. Cara pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder mengacu pada SNI 1974-2011 seperti pada Gambar 3 dibawah ini:



Sumber: Hasil penelitian di laboratorium

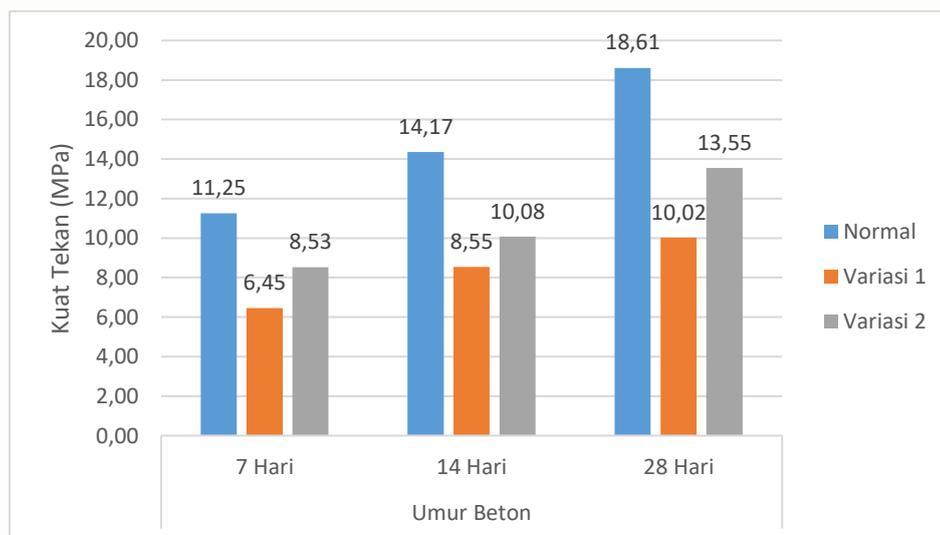
Gambar 3. Contoh Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 hari Beton Variasi 2

Hasil kuat tekan benda uji silinder beton dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada umur 7, 14, 28 hari

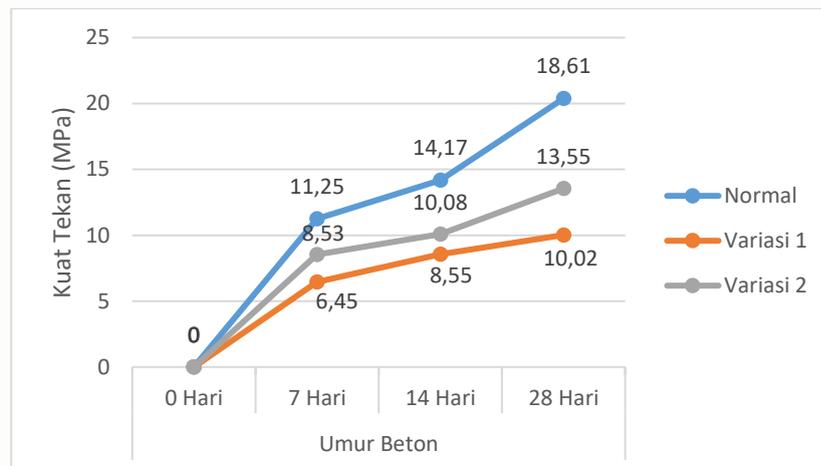
Benda uji silinder beton	Umur Test (hari)	Berat (Kg)	Pembacaan (Kn)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Beton rata-rata (MPa)	
Beton normal (Beton rencana f'c 20 MPa) <i>(circum slag 0%)</i>	7	11,68	220	12,46	11,25	
	7	11,74	183	10,36		
	7	11,86	193	10,93		
	14,17	14	11,80	251	14,21	
		14	11,72	265	15,00	
		14	11,68	245	13,31	
		28	11,74	325	18,40	18,61
		28	11,84	327	18,51	
		28	11,72	334	18,91	
Beton variasi 1 <i>(circum slag 10%)</i>	7	11,12	122	6,91	6,45	
	7	10,86	102	5,77		
	7	10,70	118	6,68		
	8,55	14	11,22	149	8,44	
		14	11,68	165	9,34	
		14	11,28	139	7,87	
		28	10,98	168	9,51	10,02
		28	11,82	177	10,02	
		28	10,90	186	10,53	
Beton variasi 2 <i>(circum slag 20%)</i>	7	11,22	158	8,95	8,53	
	7	11,68	168	9,51		
	7	11,28	126	7,13		
	10,08	14	11,22	174	9,85	
		14	11,80	186	10,53	
		14	11,76	174	9,85	
		28	11,82	194	10,98	13,55
		28	11,36	301	17,04	
		28	11,86	223	12,63	

Dari tabel hasil pengujian kuat tekan beton tersebut di atas dapat digambarkan pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Diagram hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari

Grafik hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini:



Sumber: Hasil penelitian di laboratorium

Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Dari gambar grafik tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari untuk beton normal tanpa *circum slag* (0%) adalah 18,61 MPa, hasil tersebut tidak mencapai mutu beton yang direncanakan yaitu 20 MPa, sedang kuat tekan beton rata-rata dengan variasi *circum slag* 10% dan 20% adalah sebesar 10,02 MPa dan 13,55 MPa. Hasil uji kuat tekan beton rata-rata dengan menggunakan limbah *circum slag* lebih kecil daripada kuat tekan beton normal, tetapi antara substitusi *circum slag* dengan variasi 10% dan 20% masih ada kenaikan kuat tekan beton sebesar 26,05%.

5. KESIMPULAN

Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata untuk beton normal tanpa penambahan *slag circum* pada umur 7, 14, dan 28 hari adalah 11,25 MPa, 14,36 MPa, dan 18,61 MPa. Kuat tekan beton rata-rata pada umur 7, 14, dan 28 hari dengan substitusi *circum slag* 10% adalah sebesar 6,45 MPa, 8,55 MPa, dan 10,02 MPa dan dengan substitusi *circum slag* 20% adalah sebesar 8,53 MPa, 10,08 MPa, dan 13,55 MPa. Sehingga jika dibandingkan dengan beton normal, kuat tekan beton rata-rata dengan substitusi *circum slag* mengalami penurunan, tetapi substitusi *circum slag* antara variasi 10% dan 20% ada kenaikan kuat tekan beton sebesar 26,05%.

DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- Bunga', D. R., Phengkarsa, F., & Sandy, D. (2021). Karakteristik Beton Mutu Tinggi Dengan Komposisi Slag dan Agregat Halus Batu Gamping. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(2), 141–148. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i2.247>
- Hijriah, N. H. Y. (2021). Pemanfaatan Limbah Iron Slag sebagai Material Pengganti sebagian Pasir pada Produksi Beton. *Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 10(2), 117–123. <https://ojs.ummetro.ac.id/index.php/tapak/index>
- Irka Tangke Datu, K. (2019). Evaluasi Pemanfaatan Limbah Slag Baja Sebagai Agregat Halus Pada Produksi Beton Mutu Tinggi. *Bidang Ilmu Teknik Sipil & Keairan,Transportasi, Dan Mitigasi Bencana*, 2019, 119–123.
- Karimah, R. (2016). Kajian Penggunaan Copper Slag Sebagai Agregat Halus Beton. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 14(2), 206. <https://doi.org/10.22219/jmts.v14i2.3710>
- SNI-1972:2008. (2008). SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 1–5.
- SNI 03-2834-2000. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–34.
- SNI 1974-2011. (2011). SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional*, Jakarta. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- SNI 2049-2015. (2015). SNI 2049-2015. Semen Portland. *Badan Standardisasi Nasional*, Jakarta. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 1–147.

- SNI 2493-2011. (2011). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 23. www.bsn.go.id
- Tiranda, Y. L., Parung, H., & Sandy, D. (2021). Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi Dengan Kombinasi Slag Nikel Dan Slag Baja. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(1), 55–62. <https://doi.org/10.52722/pcej.v3i1.204>
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*, Edisi 1, Yogyakarta, Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.