

Pengaruh Limbah Peleburan Tembaga Sebagai Substitusi Agregat Halus Dengan *Curing* Menggunakan Air Laut Ditinjau Dari Kuat Tekan Beton

Leonita Sartika Paska¹⁾, Safrin Zuraidah²⁾, Bambang Sujatmiko³⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo
Surabaya, Indonesia

Email: nitasartika498@gmail.com

²⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo
Surabaya, Indonesia

Email: safrin.zuraidah@unitomo.ac.id

³⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo
Surabaya, Indonesia

Email: bambang.sujatmiko@unitomo.ac.id

Abstract

Copper slag is the result of copper smelting and has a chemical composition of silicon dioxide (SiO_2) of about 30–36%, iron oxide (FeO) of about 45–55%, calcium oxide (CaO) of about 2–7%, and aluminum oxide (Al_2O_3) of about 3–6%. Because its shape resembles natural sand, it can be used as a substitute for sand. Using the proportion of mixed design (mixed design) SNI 03-2834-2000 method, conduct research with this experimental method. This research was conducted to determine the use of copper slag as a substitute for fine aggregate by curing using sea water with variations in the percentage of copper slag: 0%, 25%, 45%, 65%, and 85%. Each variation made 3 samples for ages 7, 14, and 28 days. The specimens used were in the form of a cylinder with a size of 15 cm x 30 cm, with a total of 90 specimens with a concrete quality of $f'c = 30$ MPa. Increasing the proportion of copper slag can increase the concrete unit weight and compressive strength of the concrete. From the test results, a variation of 85% is the optimum concrete unit weight with PAM water curing of 2.60 kg/m³. The optimum compressive strength occurs at a 65% variation of 28.48 MPa. Meanwhile, from the test results, the variation of 85% is the optimum unit weight value of concrete with seawater curing of 2.59 kg/m³. The optimum compressive strength occurs at 85% variation, or 27.31 MPa. From the results of this study, it is recommended that copper slag be used in concrete mixtures as a substitute for halun aggregates and for buildings on the sea or on the coast, but not recommended for high-rise buildings. Keywords: curing, sea water, mix design, copper slag

Keywords: Self-compacting concrete, quicklime powder, superplasticizer, compressive strength.

Abstrak

Copper slag merupakan hasil peleburan tembaga yang mempunyai susunan kimia Silicon Dioxide (SiO_2) sekitar 30 – 36%, Iron Oxide (FeO) mencapai 45 – 55%, Calcium Oxide (CaO) sekitar 2 – 7%, Aluminium Oxide (Al_2O_3) sekitar 3 – 6%. Karena bentuknya menyerupai pasir alam maka dapat dipakai sebagai substitusi pasir. Penelitian dengan metode experimental ini, menggunakan proporsi rancangan campuran (Mix desain) metode SNI 03-2834-2000. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggunaan *copper slag* sebagai substitusi agregat halus dengan *curing* menggunakan air laut dengan variasi persentase *copper slag* 0%, 25%, 45%, 65%, dan 85% yang masing-masing variasi dibuat 3 sampel untuk umur 7, 14 dan 28 hari, benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan ukuran \varnothing 15 cm x 30 cm dengan jumlah benda uji sebanyak 90 buah dengan mutu beton adalah $f'c = 30$ MPa. Peningkatan penggunaan proporsi *copper slag* dapat meningkatkan berat volume beton dan kuat tekan beton. Dari hasil pengujian, variasi 85% merupakan nilai optimum berat volume beton dengan *curing* air PAM sebesar 2,60 kg/m³. Kuat tekan optimum terjadi pada variasi 65% sebesar 28,48 MPa. Sedangkan dari hasil pengujian, variasi 85% merupakan nilai optimum berat volume beton dengan *curing* air Laut sebesar 2,59 kg/m³. Kuat tekan optimum terjadi pada variasi 85% sebesar 27,31 MPa. Dari hasil penelitian ini maka direkomendasikan limbah tembaga (*copper slag*) dipakai dalam campuran beton sebagai substitusi agregat halus dan untuk bangunan di Laut atau pesisir pantai akan tetapi tidak direkomendasikan untuk bangunan bertingkat tinggi.

Kata kunci : *copper slag*, curing, air Laut, mix desain

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat populer digunakan untuk pembangunan gedung, jembatan, bendung, maupun konstruksi lainnya. Semakin banyak juga perubahan yang dilakukan pada beton untuk meningkatkan kuat tekan dari segi material yang dengan mensubstitusikan bahan-bahan pengganti, baik di lakukan pada agregat kasar dan juga agregat halus, baik sebagai bahan pengikat dan juga digunakan sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kuat mutu beton. Modifikasi ini dapat di lakukan dengan mngantikan agregat halus dengan memanfaatkan limbah industri salah satunya adalah limbah peleburan tembaga.

Limbah tembaga (*copper slag*) adalah hasil limbah industri peleburan tembaga, berbentuk pipih dan runcing (tajam) dan sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta memiliki sifat kimia yang stabil dan sifat fisiknya hampir sama dengan pasir alami. Komposisi kimia *copper slag* Silicon Dioxide (SiO_2) sekitar 30 – 36%, Iron Oxide (FeO) sekitar 45 – 55%, Calcium Oxide (CaO) sekitar 2 – 7%, Aluminium Oxide (Al_2O_3) sekitar 3 – 6% (PT. Smelting, Gresik, Jawa Timur). Adapun pada penelitian terdahulu tentang “*pengaruh substitusin agregat halus pasir dengan limbah tembaga (copper slag) terhadap kuat tekan beton normal $f'c$ 25 MPa*” oleh Ulhadi, dkk

(2021) dengan variasi presentase 0%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% dan 100. Dari hasil pengujian rata-rata terbesar adalah campuran *copper slag* 70% pada umur 7, 14, dan 28 hari sebesar 28,06 MPa. Berdasarkan penelitian terdahulu ini maka peneliti mencoba menggunakan kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Disamping itu *copper slag* adalah limbah yang dihasilkan oleh PT. smalting Gresik dalam jumlah yang banyak \pm 342.000 ton/tahun.

Dalam pembuatan beton juga terdapat hal-hal yang mempengaruhi kuat tekan beton yaitu perawatan (*curing*). Perawatan (*curing*) beton pada umumnya menggunakan air bersih atau air yang tidak mengandung kandungan kimia yang dapat merusak beton. Namun proses pembangunan beton di daerah pantai, kontak dengan air Laut terkadang tidak bisa dihindari dan tentunya akan mempengaruhi kuat tekan beton dan keterbatasan pasokan air tawar pun kadang menjadi hambatan atau masalah bagi proyek-proyek yang berada di daerah lepas pantai atau Laut.

Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Dzikri dan Firmansyah (2018) dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh penambahan *superplasticizer* pada beton dengan limbah tembaga (*copper slag*) terhadap kuat tekan beton sesuai umurnya” penelitian ini direncanakan menggunakan *copper slag* sebagai substitusi agregat halus sebanyak 40% serta penambahan *superplasticizer* “*sika viscocrete-100*” 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat pasta semen. Pengujian benda uji menggunakan silindee berdiameter 10 dan tinggi 20 cm serta dilakukan uji kuat tekan pada umur 14, 28, dan 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh *superplasticizer* tertinggi dari eMPat variabel diatas terjadi pada 1,5% (SP1,5%). Pada umur 14 hari didapatkan nilai sebesar 26,63 MPa, untuk umur 28 hari didapatkan nilai sebesar 26,17 MPa, serta umur 56 hari didapatkan nilai sebesar 30,55 MPa. Komposisi optimum penambahan *superplasticizer* didapatkan pada 1,5% dari berat *binder* (pasta semen).

Karimah dan Wahyudi (2018) tentang “*kajian penggunaan copper slag sebagai agregat halus Beton*” penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *copper slag* sebagai pengganti agregat halus terhadap berat isi, kuat tekan, dan kuat tarik belah beton dengan variasi penggunaan *copper slag* sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dari volume agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *copper slag* dapat meningkatkan berat isi, kuat tekan, dan kuat tarik belah beton. Dari hasil pengujian, semakin variasi pemberian *copper slag* maka semakin bertambah pula berat isi beton tersebut. Kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi 60% sebesar 35,73 MPa atau naik sekitar 22,32% dan untuk kuat tarik belah tertinggi terjadi pada variasi 60% sebesar 3,12 MPa atau naik sekitar 5,76%.

Maizir, dkk (2021), yang meneliti tentang Pengaruh Penambahan Kapur Tohor Terhadap Sifat Mekanis Bata Ringan, hasilnya kuat tekan bata ringan mengalami peningkatan pada variasi tertentu (variasi yang lebih kecil). Material pembuatan benda uji pada penelitian ini terdiri dari semen, agregat halus, *foam agent*, kapur tohor

dan air, dengan metode penelitian yang mengacu pada modul Perencanaan Teknologi Timbunan Material Ringan Mortar-Busa untuk konstruksi jalan oleh Pusjatan (2014), dalam pembuatan bata ringan normal. Variasi kapur tohor yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, dengan hasil kuat tekan pada hari ke-28 yang meningkat dari variasi 0% (0,629 MPa) ke variasi 5% (0,96 MPa), sementara itu terjadi penurunan kuat tekan secara konstan dari variasi 5% ke variasi 10% (0,81 MPa), kemudian 15% (0,434 MPa), lalu 20% (0,321 MPa). Berdasarkan hasil kuat tekan yang didapatkan, maka bisa dilihat bahwa nilai kuat tekan optimum berada pada variasi 5% sebesar 0,96 MPa.

Ulhadi, dkk (2021) meneliti tentang “*pengrauh substitusin agregat halus pasir dengan limbah tembaga (copper slag) terhadap kuat tekan beton normal fc'25 MPa*” substitusi dengan variasi presentase 0%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% dan 100% yang masing-masing variasi dibuat tiga sampel untuk umur 7, 14, dan 28 hari. Dari hasil pengujian rata-rata terbesar adalah campuran *copper slag* 70% pada umur 7, 14, dan 28 hari sebesar 28,06 MPa, 31,53 MPa, 36,24 MPa dengan perbandingan beton normal 7,14, dan 28 hari sebesar 17,31 MPa, 20,36 MPa, dan 26,55 MPa.

Material Penyusun Beton

a) Semen Portland

Semen portal merupakan merupakan semen yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker*, yang berfungsi merekat butir-butir agregat supaya terjadi masa yang padat ada beberapa type semen portal sebagai berikut :

1. semen type I, biasa digunakan pada pembagunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti perumahan, jalan raya, landasan pacu, bangunan beton bertulang, tanki, waduk, pipa-pipa batak. Pada beton yang terbuat dari semen type 1 memerlukan waktu pengerasan 14 hari. Sedangka kekuatan rencana beton dicapai setelah perawatan selama 28 hari.
2. Type II, digunakan untuk memebangun kontruksi yang tertanam di dalam tanah seperti pembagunan di tanah rawa, pinggir Laut, saluran irigasi, dan bendungan. Semen type II juga disebut tahan terhadap panas hidrasi dan sulfat.
3. Type III, biasa digunakan pada pembangunan di daerah yang bertemperatur rendah.
4. Type IV, dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah. Biasanya digunakan pada pekerjaan beton dalam volume besar dan masif, misalnya bendungan, pondasi berukuran besar.

b) Agregat Halus

Agregat halus merupakan hasil dari disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir dari hasil pecahan batuan yang dihasilkan oleh industri menurut SNI 03-2834-2000. Pemecahan batu mempunyai ukuran terbesar 5,0 mm (lolos saringan no.4)

Tabel 1. Syarat Agregat Halus

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Prosentase Lolos Kumulatif (%)			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
9,6	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 - 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 – 15

(Sumber: SNI 03-2847-2002)

c) Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami batuan atau pun kerikil yang dihasilkan oleh pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 5 - 40 mm (tertahan pada saringan no. 4).

Tabel 2. Syarat Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Prosentase Lolos Kumulatif (%)		
	Maks. 10 mm	Maks. 20 mm	Maks. 40 mm
76			100 – 100
38		100 – 100	95 – 100
19	100 – 100	95 – 100	35 – 70
9,6	50 – 85	30 – 60	10 – 40
4,8	0 – 10	0 - 10	0 - 5

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

d) Kegunaan Limbah Tembaga(copper slag)

Limbah tembaga (*Copper slag*) dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus. Hal ini dibuktikan bahwa *copper slag* dapat dimanfaatkan dengan tetap memperhatikan variasi presentase. Kariman dan wahyudi (2018) mengatakan penggunaan *copper slag* sebagai pengganti agregat halus pada beton meningkatkan berat isi beton. Semakin bertambah variasi pemberian *copper slag* maka semakin bertambah pula berat isi beton tersebut.

Tabel 3. Kandungan Kimia *Copper Slag*

Komponen	Presentase %
SiO ₂	30-36
AL ₂ O ₃	3-6
CaO	2-7
FeO	45-55

Sumber: PT. Smelting Gresik



Gambar 1. *Copper Slag*
(sumber : Google)

e) Air Laut

Air Laut mengandung 30.000 – 36.000 mg/liter garam(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 tulangan (Sujatniko,2019).

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kekuatan beton akan bertambah dengan bertambahnya umur beton. Pada penelitian ini kekuatan tekan beton dihitung pada umur beton 7, 14 dan 28 hari. Dengan rumus (SNI 03-2491-1991). Adapun rumus kuat tekan beton sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

f'c = kuat tekan (Mpa)

P = gaya tekan aksial (N)

A = luas penampang (mm²)

Berat Volume Beton

Berat beton per satuan volume yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{V}$$

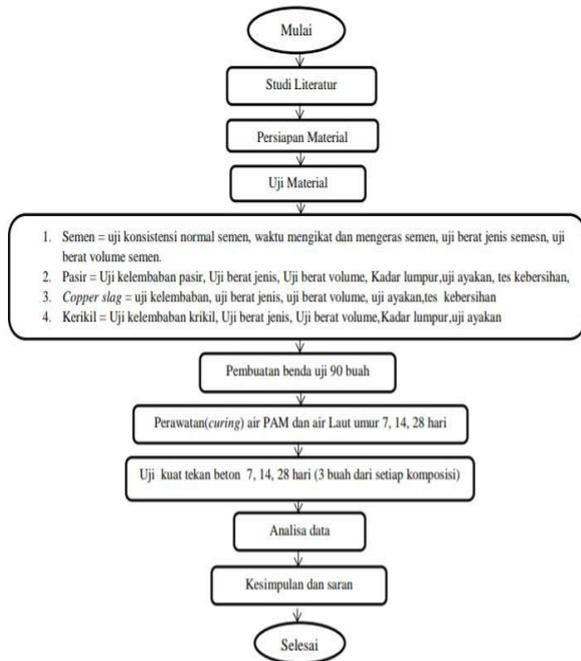
Keterangan :

W = berat benda uji (kg)

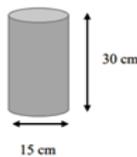
V = volume beton (m³)

METODE PENELITIAN

Jenis metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian kuat tekan beton dan berat volume.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Model Benda Uji silinder Beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4. Rekapitulasi Pengujian Bahan

NO	Bahan Uji	Uraian	Hasil Pengujian	Syarat Batas	Ket.
1	Semen	Konsistensi	29,20%	9 mm - 11mm	OK
		Waktu Ikut	150 menit	Penurunan 0 mm	OK
		Berat Jenis	2,41 gr	3,7	OK
		Berat Volume	1,04 gr/cm ³	1 - 1,2 gr/cm ³	OK
2	Agregat Halus (Pasir Lumajang)	Kelembaban	1,30%	Maks. 6%	OK
		Berat Jenis	2,56 gr	2,4 - 2,9	OK
		Air Resapan	1,63%	Maks. 4%	OK
		Berat Volume	1,48 gr/cm ³	1,25 - 1,59 gr/cm ³	OK
		Pengandapan	3,45%	Maks. 5%	OK
		Pencucian	2,20%	Maks. 5%	OK
3	Agregat Halus (Copper slag)	Ayakan	Zona II	-	OK
		Kelembaban	1,00%	Maks. 6%	OK
		Berat Jenis	2,73 gr	2,4 - 2,9	OK
		Air Resapan	1,32%	Maks. 4%	OK
		Berat Volume	1,73 gr/cm ³	1,25 - 1,59 gr/cm ³	Tidak Memenuhi
4	Agregat Kasar (Batu Pecah)	Pengandapan	1,69%	Maks. 5%	OK
		Pencucian	1,40%	Maks. 5%	OK
		Ayakan	Zona I	-	OK
		Kelembaban	0,90%	Maks. 1%	OK
		Berat Jenis	3,61%	2,3 - 2,75	OK
		Air Resapan	2,81%	Maks. 4%	OK
4	Agregat Kasar (Batu Pecah)	Berat Volume	1,38 gr/cm ³	1,35 - 1,75 gr/cm ³	OK
		Pencucian	0,70%	Maks 1%	OK
		Ayakan	Maks.40 mm	-	OK

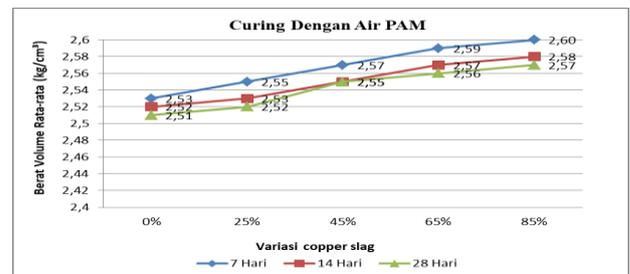
(Sumber : Hasil Pengujian 2022)

Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Curing Air PAM

Tabel 5. Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Curing Air PAM

Curing Dengan Air PAM			
Umur (Hari)	Variasi Copper slag	Berat Volume Rata-rata	
7	0%	2,53	2,53
		2,52	2,52
		2,51	2,51
14	25%	2,55	2,53
		2,52	2,52
		2,57	2,55
28	45%	2,55	2,55
		2,59	2,57
		2,57	2,57
7	65%	2,56	2,56
		2,60	2,60
		2,58	2,58
14	85%	2,57	2,58
		2,57	2,58
		2,57	2,57

(Sumber : Hasil Penelitian 2022)



Gambar 4. Grafik Hubungan Komposisi Copper Slag dan Umur Beton Terhadap Berat Volume Beton dengan Curing Air PAM

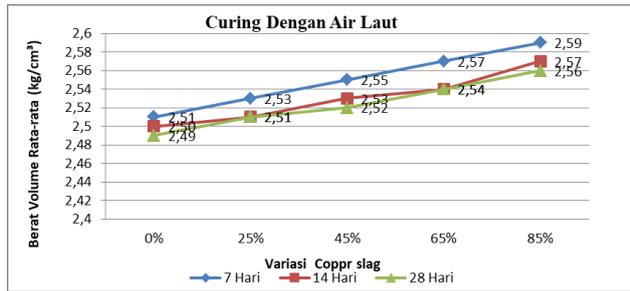
Dari tabel 4 dan gambar 4 diketahui bahwa semakin besar komposisi limbah peleburan tembaga (*copper slag*) maka semakin besar berat volume dikarenakan berat jenis limbah peleburan tembaga (*sopper slag*) lebih besar jika dibandingkan dengan berat jenis pasir lumajang.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Curing Air Laut

Tabel 5. Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Curing Air PAM

Curing Dengan Air Laut			
Umur (Hari)	Variasi Copper slag (%)	Berat Volume Rata-rata	
7	0%	2,51	2,51
		2,49	2,49
		2,53	2,53
14	25%	2,51	2,51
		2,55	2,55
		2,51	2,51
28	45%	2,52	2,52
		2,57	2,57
		2,54	2,54
7	65%	2,54	2,54
		2,59	2,59
		2,57	2,57
14	85%	2,56	2,56

(Sumber : Hasil Penelitian 2022)



Gambar 5. Grafik Hubungan Komposisi *Copper Slag* dan Umur Beton Terhadap Berat Volume Beton dengan *Curing* Air Laut

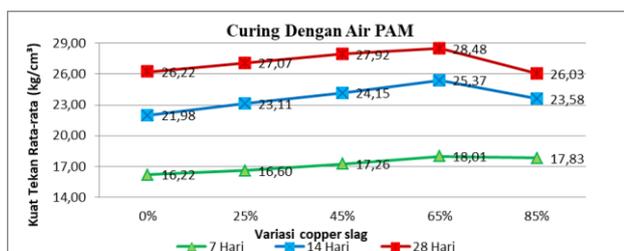
Dari tabel 5. dan gambar 5. diketahui bahwa semakin besar variasi limbah peleburan tembaga (*copper slag*) dalam campuran beton maka semakin bertambah berat volume beton dikarenakan berat jenis limbah peleburan tembaga (*copper slag*) lebih tinggi jika dibandingkan dengan berat jenis pasir lumajang

Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan *Curing* Air PAM

Tabel 6. Rekapitulasi Kuat Tekan *Curing* Air PAM

Curing Dengan Air PAM		
Umur (Hari)	Variasi Copper slag (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
7	0%	16,22
14		21,98
28		26,22
7	25%	16,60
14		23,11
28		27,07
7	45%	17,26
14		24,15
28		27,92
7	65%	18,01
14		25,37
28		28,48
7	85%	17,83
14		23,58
28		26,03

(Sumber : Hasil Penelitian 2022)



Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Terhadap Variasi *Copper Slag* Pada Umur 7,14,28 Hari dengan *Curing* Air PAM

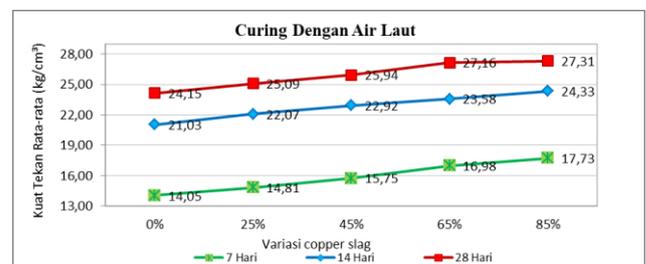
Dari tabel 6. dan gambar 6 terlihat peningkatan kuat tekan untuk keseluruhan benda uji dengan penambahan limbah tembaga (*copper slag*) dan *curing* menggunakan air PAM dari umur 7, 14 dan 28 hari. Pada komposisi 0% kuat tekan beton umur 7 hari 0%, umur 14 hari meningkat 35,5% dan umur 28 hari meningkat 19,29%, pada komposisi 25% kuat tekan umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 39,22%, dan umur 28 hari meningkat 17,14%, pada komposisi 45% peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 39,92%, dan umur 28 hari meningkat 15,61%, pada komposisi 65% peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 29,76% dan umur 28 hari meningkat 12,26%, pada komposisi 85% peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 32,25% dan umur 28 hari meningkat 4,79%.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan *Curing* Air PAM

Tabel 7. Rekapitulasi Kuat Tekan *Curing* Air PAM

Curing Dengan Air Laut		
Umur (Hari)	Variasi Copper slag (%)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
7	0%	14,05
14		21,03
28		24,15
7	25%	14,81
14		22,07
28		25,09
7	45%	15,75
14		22,92
28		25,94
7	65%	16,98
14		23,58
28		27,16
7	85%	17,73
14		24,33
28		27,31

(Sumber : Hasil Penelitian 2022)

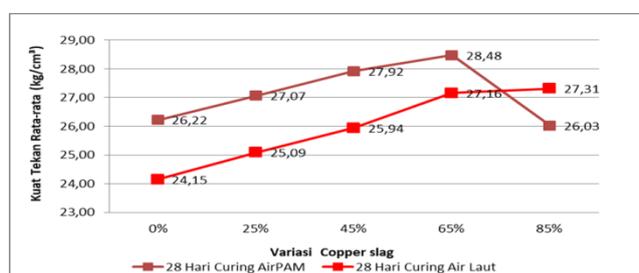


Gambar 7. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton Terhadap Variasi *Copper Slag* Pada Umur 7,14,28 Hari dengan *Curing* Air Laut

Dari tabel 7. dan gambar 7. terlihat peningkatan kuat tekan untuk keseluruhan benda uji dengan penambahan

limbah tembaga (*copper slag*) dan *curing* menggunakan air PAM dari umur 7, 14 dan 28 hari. Pada komposisi 0% kuat tekan beton umur 7 hari 0%, umur 14 hari meningkat 49,68% dan umur 28 hari meningkat 14,84%, pada komposisi 25% peningkatan kuat tekan umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 49,02%, dan umur 28 hari meningkat 13,68%, pada komposisi 45% peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 45,52%, dan umur 28 hari meningkat 13,18%, pada komposisi 65% peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 32,98% dan umur 28 hari meningkat 15,18%, pada komposisi 85% peningkatan kuat tekan beton umur 7 hari 0%, beton umur 14 hari meningkat 37,23% dan umur 28 hari meningkat 11,63%.

Perbandingan Kuat Tekan *Curing* Air PAM Dan Air Laut



Gambar 8. Grafik Perbandingan Kuat Tekan dengan *curing* Menggunakan Air PAM dan Air Laut
(Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan 2022)

Berdasarkan tabel 7. dan gambar 8. dapat diketahui bahwa kuat tekan dengan menggunakan *curing* air PAM lebih tinggi daripada *curing* menggunakan air Laut. Kuat tekan tertinggi menggunakan *curing* air PAM terdapat pada komposisi 65% yaitu 28,48 MPa. Namun penambahan proporsi *copper slag* lebih dari 65% pada *curing* air PAM mengakibatkan penurunan kuat tekan karena adanya peningkatan kadar air bebas yang semakin meningkat. Sedangkan nilai kuat tekan tertinggi menggunakan *curing* air Laut terdapat pada komposisi 85% dengan kuat tekan yaitu 27,31 MPa

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh limbah peleburan tembaga sebagai substitusi agregat halus dengan *curing* menggunakan air PAM dan air Laut ditinjau dari kuat tekan beton, adalah sebagai berikut:

1. Substitusi limbah peleburan tembaga sebagai pengganti agregat halus dengan *curing* air PAM dan air Laut memberikan pengaruh terhadap kuat tekan. Beton dengan *curing* air PAM mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya komposisi *copper slag*, dengan nilai tertinggi terdapat pada proporsi 65% yaitu 28,48 MPa. Namun, pada proporsi *copper slag* 85% dengan *curing* air PAM mengalami penurunan kuat tekan karena adanya peningkatan kadar air bebas.

Sementara untuk beton dengan *curing* air Laut mengalami peningkatan kuat tekan dengan kuat tekan tertinggi 85% yaitu 27,31 MPa.

2. Kuat tekan maksimum dengan *curing* menggunakan air PAM terdapat pada komposisi 65% yaitu 28,48 MPa mengalami peningkatan sebesar 8,62 % dari beton normal. Sedangkan kuat tekan maksimum dengan *curing* menggunakan air Laut terjadi pada komposisi 85% yaitu 27,31 MPa mengalami peningkatan sebesar 13,08 % dari beton normal .
3. Perbandingan kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan perawatan air PAM lebih tinggi jika dibandingkan kuat tekan beton dengan perawatan air Laut. Perbandingan kuat tekan beton antara perawatan air PAM dengan air Laut pada komposisi 0% yaitu (26,22 :24,15) MPa, komposisi 25% (27,07:25,09) MPa, komposisi 45% (27,92:25,25,94) MPa, komposisi 65% (28,48:27,16) MPa dan komposisi 85% (26,03:27,31) MPa.

SARAN

1. Menggunakan semen khusus yang cocok untuk pembangunan lepas pantai atau Laut seperti Semen Portland Type V.
2. Karena *copper slag* merupakan limbah yang berbahaya maka disarankan dalam pengerjaan atau pembuatan beton menggunakan sarung tangan.
3. Sebaiknya dalam pembuatan benda uji harus diperhatikan dalam proses pemadatan dan perojokan agar menghasilkan beton yang baik
4. Untuk peneliti selanjutnya disarankan menggunakan komposisi *copper slag* yang berbeda dan dapat juga ditambah dengan bahan aditif lain.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. "C 187-86 (1991) Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement." Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials, 1998.
- American Society for Testing and Materials. "C 191-92, Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle." Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials. 1998.
- ASTM C 117-95, *Performance Improvement in Construction Management*.
- ASTM C 127-88, *Standard Test Method of Density Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coars Aggregate*.
- ASTM C 128-93, *Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate*.

- ASTM C 187-86, *Normal Consistency of Hydraulic Cement*.
- ASTM C 188-89, *Density Test of Hydraulic Cement*
ASTM C 188-89, *Density Test of Hydraulic Cement*.
- ASTM C 191-91, *Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*.
- ASTM C 29-91, *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids Aggregates*.
- ASTM C 40-92, *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregate for Concrete*.
- ASTM C 566-89, *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*.
- Dzikri, Muhammad, and MOCHAMAD FIRMANSYAH SOFIANTO. (2018). "Pengaruh Penambahan Superplasticizer pada Beton dengan Limbah Tembaga (*Copper slag*) terhadap Kuat Tekan Beton sesuai Umurnya." *Rekayasa Teknik Sipil 2.2/REKAT/18 (2018)*.
- Hunggurami, Elia, Sudiyo Utomo, and Amy Wadu. "Pengaruh Masa Perawatan (Curing) Menggunakan Air Laut Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton." *Jurnal Teknik Sipil 3.2 (2014)*: 103-110.
- kadhafi, Muhammad. (2015). PEMANFAATAN *COPPER SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PADA CAMPURAN BETON MUTU K-225. *jurnal teknik sipil dan lingkungan vol. 3, No. 1, Maret 2015*, 734-740.
- Karimah, Rofikatul, and Yusuf Wahyudi. (2018). "Kajian Penggunaan *Copper slag* Sebagai Agregat Halus Beton." *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)*. No. 1. 2018., 58-63.
- Putra, Dimas Hanggara, and Mochamad Firmansyah Sofianto. (2020). "PENGARUH PEMANFAATAN *COPPER SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA BETON MUTU TINGGI." *Rekayasa Teknik Sipil 1.2 (2020)*, 1-9.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-20004. "*semen portal*", Badan Standardisasi Nasional.
- Standart Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-2000. "*Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*", Badan Standardisasi Nasional.
- Standart Nasional Indonesia (SNI) 03-6468-2000. "*Tata Cara Perhitungan Beton Berkekuatan Tinggi*", Yayasan Penyelidik Masalah Bangunan, Bandung
- Standart Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-2000. "*Metode Perhitungan Campuran Beton*", Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Standart Nasional Indonesia (SNI) 03-1974-1990. "*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*", Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah Badan Penelitian Dan Pengembangan, Jakarta
- Standart Nasional Indonesia (SNI) 03-1972-1990. "*Metode Pengujian Slump Beton*", Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta
- Standart Nasional Indonesia (SNI) 03-1974-1990. "*Kuat Tekan Beton*". Badan Standardisasi Nasional.
- Sujatmiko, Bambang. (2019). *TEKNOLOGI BETON DAN BAHAN BANGUNAN*. Kota Surabaya: 2019.
- Ulhadi, Adzhiya, dkk. (2021). "PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PASIR DENGAN LIMBAH TEMBAGA (*COPPER SLAG*) TERHADAP KUAT TEKAN BETON NORMAL FC'25 MPA." *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University 2.1*, 83-84.
- Yusuf, Dedy. (2020). "PENGARUH SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN 30% *COPPER SLAG* TERHADAP MIX DESAIN BETON NORMAL DAN KEMAMPUAN KUAT TEKAN BETON." *Rekayasa Teknik Sipil 1.2 (2020)*.
- Zuraidah, Safrin, et al. ((2015)). "Limbah Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton." *Limbah Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton*, 117-124.

LAMPIRAN



Material dimasukkan kedalam molen



Perawatan benda uji air PAM



Pembuatan sampel slump



Perawatan benda uji air laut



Pengukuran slump



Pengujian berat volume



Pembuatan benda uji



Pengujian kuat tekan