

## **PENGARUH PEMANFAATAN *COPPER SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA BETON MUTU TINGGI**

**Dimas Hanggara Putra**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[dimasputra3@mhs.unesa.ac.id](mailto:dimasputra3@mhs.unesa.ac.id)

**Mochamad Firmansyah Sofianto, S.T, M.T, M.Sc.**

Dosen S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[mochammadfirmansyah@unesa.ac.id](mailto:mochammadfirmansyah@unesa.ac.id)

### **Abstrak**

Penggunaan *copper slag* sebagai bahan pengganti agregat halus dapat meningkatkan kuat tekan pada pembuatan beton. *Copper slag* merupakan hasil peleburan tembaga yang mempunyai susunan kimia *Silicon Dioxide* ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar 30 – 36%, *Iron Oxide* ( $\text{FeO}$ ) mencapai 45 – 55%, *Calcium Oxide* ( $\text{CaO}$ ) sekitar 2 – 7%, *Aluminium Oxide* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sekitar 3 – 6%. Karena bentuknya menyerupai pasir alam maka dapat dipakai sebagai substitusi pasir.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui penggunaan *copper slag* sebagai substitusi agregat halus dan *fly ash* 30% sebagai tambahan dari semen pada beton mutu tinggi. Variasi *copper slag* sebagai substitusi pasir adalah sebesar 30%, 35%, 40% dan 45%. Peningkatan penggunaan proporsi *copper slag* dapat meningkatkan berat volume beton, kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Dari hasil pengujian, variasi 40% merupakan nilai optimum berat volume beton dengan nilai sebesar 2522,41  $\text{kg/m}^3$ . Kuat tekan optimum juga terjadi pada variasi 40% begitu juga dengan kuat tarik belah. Nilai kuat tekan sebesar 46,09 MPa dan nilai kuat tarik belah sebesar 8,96 MPa.

**Kata Kunci:** *Copper Slag*, *Fly Ash*, Beton Mutu Tinggi, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah.

### **Abstract**

*The use of copper slag as a substitute for fine aggregate can increase the compressive strength in making concrete. Copper slag is the result of copper smelting which has a chemical composition of Silicon Dioxide ( $\text{SiO}_2$ ) around 30-36%, Iron Oxide ( $\text{FeO}$ ) reaches 45 - 55%, Calcium Oxide ( $\text{CaO}$ ) around 2-7%, Aluminum Oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) around 3-6%. Because of its shape resembling natural sand it can be used as substitution of sand.*

*This study was conducted to determine the use of copper slag as substitution of fine aggregate and 30% fly ash in addition to cement in high strength concrete. The variation of copper slag as substitution of sand is 30%, 35%, 40% and 45%. Increasing the use of copper slag proportion can increase the volume weight of concrete, compressive strength of concrete and tensile strength of concrete. From the test results, the 40% variation is the optimum value of the concrete volume weight with a value of 2522.41  $\text{kg/m}^3$ . The optimum compressive strength also occurs at 40% variation as*

well as split tensile strenght. Compressive strength value of 46.09 MPa and split tensile strength value of 8.96 MPa.

**Keywords:** Copper Slag, Fly Ash, High Strength Concrete, Compressive Strength, Split Tensile Strength.

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Copper slag merupakan hasil peleburan tembaga yang mempunyai susunan kimia Silicon Dioxide (SiO<sub>2</sub>) sekitar 30 – 36%, Iron Oxide (FeO) mencapai 45 – 55%, Calcium Oxide (CaO) sekitar 2 – 7 %, Alumunium Oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sekitar 3 – 6%. Karena bentuknya menyerupai pasir alam maka dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus atau pasir. Pertimbangan pemakaian copper slag dalam penelitian ini dikarenakan copper slag dalam campuran beton diduga mempunyai beberapa keuntungan antara lain meningkatkan kekuatan beton, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut, mengurangi panas hidrasi, menurunkan suhu dan memperkecil porositas, mengurangi serangan alkali-silika dan klorida (Karimah, Rofikatul. 2016).

Penelitian Maria dan Siswandi (2008) menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton copper slag lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Dalam penelitian J. Anne Mary (2016) dengan judul *an experimental investigation on copper slag as replacement of fine aggregate in concrete* memaparkan bahwa karakteristik kekuatan beton dengan substitusi terak tembaga 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%. Substitusi terak tembaga 40% memberikan kekuatan tekan tertinggi pada 28 hari.

### B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai optimum kuat tekan pada beton mutu tinggi.
2. Mengetahui nilai optimum kuat tarik belah pada beton mutu tinggi.

3. Mengetahui berat per volume beton mutu tinggi yang dihasilkan.
4. Mengetahui hubungan antara berat per volume beton mutu tinggi yang dihasilkan terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan dan juga terhadap kuat tarik belah beton yang dihasilkan.
5. Mengetahui hubungan antara kuat tekan beton mutu tinggi yang dihasilkan terhadap kuat tarik belah beton yang dihasilkan.

## METODE

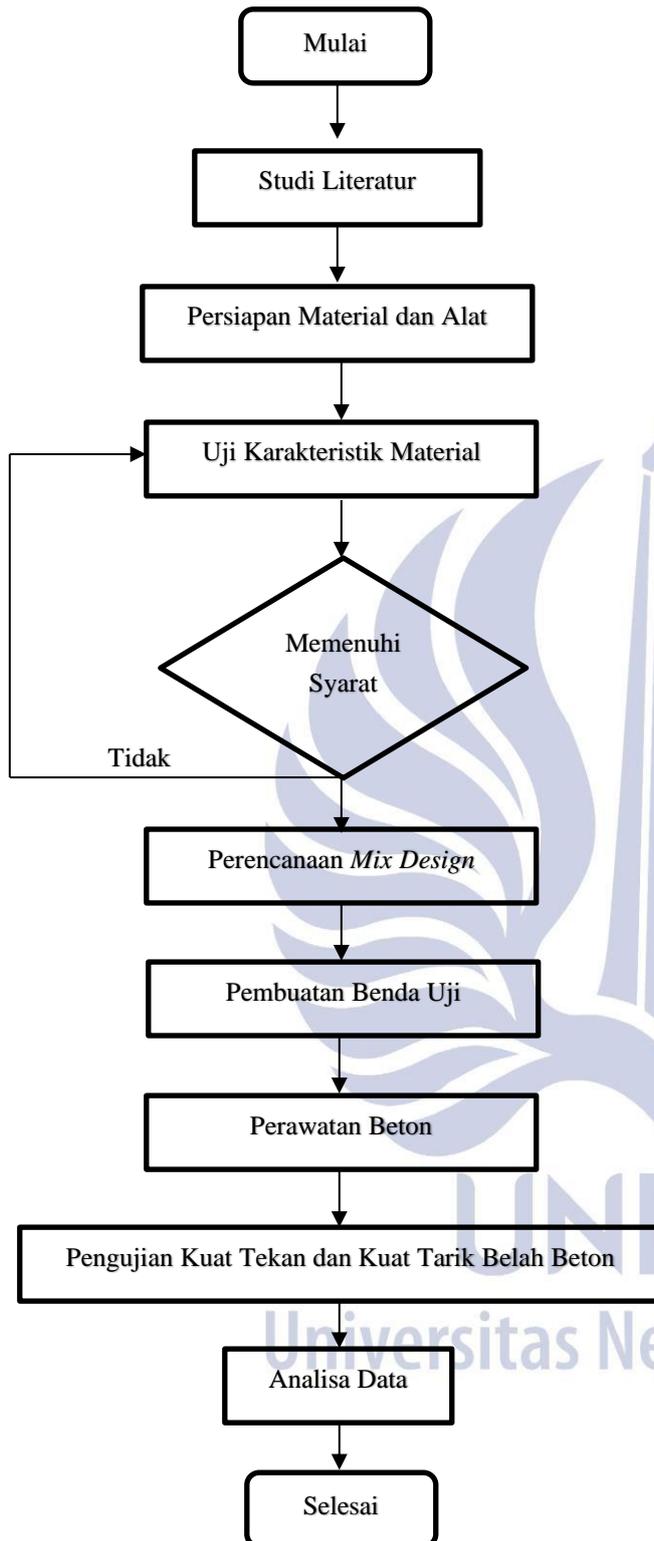
Populasi dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian silinder beton berupa data kuat tekan beton serta data kuat tarik belah. Benda uji yang dipakai yaitu silinder beton berukuran 10 x 20 cm berbahan dasar fly ash, semen opc, pasir, kerikil, air, dan copper slag yang kemudian akan diuji dengan pada saat beton berumur 28 hari.

Tabel 1. Jumlah benda uji

No	Variasi Copper Slag	Uji Kuat Tekan	Uji Kuat Tarik Belah	Jumlah Benda Uji
1	30%	5	5	10
2	35%	5	5	10
3	40%	5	5	10
4	45%	5	5	10
Jumlah				40

(Sumber : Data rancangan penelitian)

Prosedur penelitian ini mencakup rencana kegiatan penelitian. Kegiatan penelitian ini merupakan suatu proses untuk mendapatkan data pengetahuan yang dilakukan secara ilmiah, sistematis dan logis. Untuk lebih jelasnya prosedur penelitian ini dapat dilihat dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

**A. Uji Bahan**

1. Semen (OPC) meliputi : Pengujian berat jenis semen.

2. Fly ash meliputi : Pengujian berat jenis fly ash dan pengujian XRF fly ash.
3. Agregat halus (pasir dan copper slag) meliputi : Pemeriksaan ayakan, pemeriksaan kadar lumpur, pemeriksaan kadar air bebas, pemeriksaan berat per volume, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, dan pengujian XRF copper slag.
4. Agregat kasar meliputi : Pemeriksaan ayakan, pemeriksaan kadar lumpur, pemeriksaan kadar air bebas, pemeriksaan berat per volume, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.

**B. Mix design**

Mix design beton pada penelitian ini menggunakan panduan SNI 03-6468-2000 tentang Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang. Proporsi campuran dasar diperoleh:

Tabel 2. Proporsi Campuran Dasar

No	Bahan	Kebutuhan	Satuan
1	Semen	546,86	kg/m <sup>3</sup>
2	Kerikil	985,591	kg/m <sup>3</sup>
3	Pasir	940,348	kg/m <sup>3</sup>
4	Air	188,927	Liter

(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

Mix design beton dilakukan dengan menambahkan fly ash sebagai filler semen. Proporsi campuran dasar dengan fly ash sebagai filler semen diperoleh:

Tabel 3. Proporsi Campuran Dasar dengan Tambahan Fly Ash

No	Bahan	Kebutuhan	Satuan
1	Semen	546,86	kg/m <sup>3</sup>
2	Kerikil	985,591	kg/m <sup>3</sup>
3	Pasir	776,29	kg/m <sup>3</sup>
4	Air	188,927	liter
5	Fly Ash 30%	164,06	kg/m <sup>3</sup>

(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

Mix design pada Tabel 3 belum dilakukan penambahan pada *copper slag* terhadap pasir sebagai substitusi. Kontrol volume beton dilakukan dengan mengantisipasi kekurangan volume beton akibat perbedaan berat jenis. Hasil kontrol sebagai penambahan kekurangan volume beton yang menghasilkan proporsi campuran dasar beton dengan *fly ash* sebagai *filler* semen sebanyak 30% dengan variasi *copper slag* sebagai substitusi agregat halus diperoleh:

Tabel 4. Proporsi Campuran Dasar dengan variasi *Copper Slag*

No	Bahan	Dasar	30%	35%	40%	45%	Satuan
1	Semen	546,86	546,86	546,86	546,86	546,86	kg/m <sup>3</sup>
2	Kerikil	985,591	985,591	985,591	985,591	985,591	kg/m <sup>3</sup>
3	Pasir	776,29	679,41	653,69	624,98	593,15	kg/m <sup>3</sup>
4	Air	188,927	188,927	188,927	188,927	188,927	liter
5	<i>Fly Ash</i> 30%	164,06	164,06	164,06	164,06	164,06	kg/m <sup>3</sup>
6	<i>Copper Slag</i>	0	291,17	351,99	416,65	485,31	kg/m <sup>3</sup>

(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

### C. Pengujian benda uji

Untuk pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan SNI 03-1974-1990 dan untuk pengujian kuat tarik belah beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2491-2002.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil penelitian

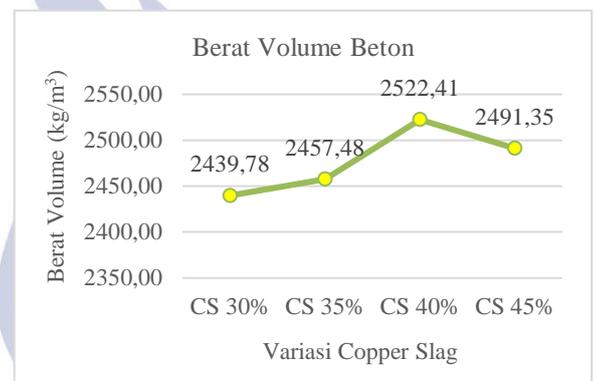
#### 1. Pengujian berat volume beton

Pengujian berat volume beton dilakukan sebelum pengujian kuat tekan maupun kuat tarik belah. Pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang benda uji untuk mencari berat benda uji. Berat beton mutu tinggi ini lebih berat dari berat beton normal karena pengaruh *copper slag*. Pengaruh berat jenis *copper slag* lebih besar dari berat jenis pasir mengakibatkan berat beton meningkat. Pengujian berat volume dilakukan pada 5 buah benda uji pada tiap variasi.



Gambar 2. Penimbangan benda uji  
(Sumber : Dokumentasi Penelitian Pribadi)

Hasil pengujian berat volume seperti pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Berat Volume Benda Uji  
(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

Berdasarkan Gambar 3, berat volume benda uji meningkat sesuai dengan proporsi penggunaan *copper slag* yang digunakan sebagai substitusi agregat halus. Berat jenis *copper slag* sendiri adalah sebesar 3,514 gr/cm<sup>3</sup> sehingga mempengaruhi berat benda uji. Pengaruhnya pada penggunaan *copper slag* sebagai substitusi agregat halus adalah semakin berat benda uji yang dihasilkan, karena berat volume *copper slag* lebih besar dari berat volume pasir. Berat volume yang terbesar ada pada benda uji dengan penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 40% dari agregat halus yaitu 2522,41 kg/m<sup>3</sup>. Persentase kenaikan maksimal terjadi pada variabel *copper slag* 35% ke

variabel copper slag 40% yaitu sebesar 2,57%.

Namun penambahan proporsi copper slag lebih dari 40% mengakibatkan peningkatan porositas beton dan pengikatan komponen dalam beton juga kurang maksimal sehingga dapat menimbulkan rongga di dalam beton. Oleh karena itu, penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 45% dari agregat halus terjadi penurunan berat volume sebesar 1,25%.

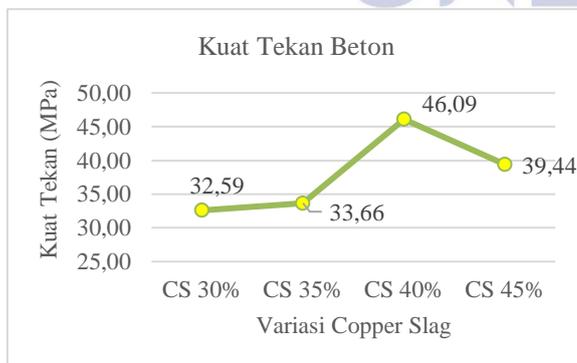
## 2. Pengujian kuat tekan beton

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, pengujian kuat tekan benda uji dilakukan pada umur pengujian 28 hari. Setiap pengujian kuat tekan masing-masing variabel terdapat 5 sampel benda uji.



**Gambar 4.** Pengujian kuat tekan benda uji  
(Sumber : Dokumentasi Penelitian Pribadi)

Hasil pengujian seperti pada Gambar 5 sebagai berikut:



**Gambar 5.** Grafik Kuat Tekan Benda Uji  
(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

Berdasarkan Gambar 5, kuat tekan benda uji meningkat sesuai dengan proporsi penggunaan *copper slag* yang digunakan sebagai substitusi pasir. Kuat tekan yang terbesar ada pada benda uji dengan penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 40% dari agregat halus yaitu 46,09 MPa. Persentase kenaikan maksimal terjadi pada variabel *copper slag* 35% ke variabel *copper slag* 40% yaitu sebesar 26,96%. Dari hasil penelitian Rafikatul Karimah (2016) peningkatan kuat tekan dimungkinkan karena selain sifat *filler* juga sifat kimiawi copper slag yang mengandung  $\text{SiO}_2$  sehingga membantu kinerja semen sebagai bahan pengikat, sehingga dapat dihasilkan kuat tekan yang semakin tinggi seiring dengan meningkatnya persentase substitusi *copper slag*.

Namun penambahan proporsi *copper slag* lebih dari 40% mengakibatkan penurunan kuat tekan karena adanya peningkatan kadar air bebas yang semakin meningkat. *Copper slag* sendiri adalah bahan yang memiliki penyerapan air lebih rendah dari pasir. Pengaruh lainnya yaitu terdapat rongga dalam beton yang terjadi karena kurang merata dalam proses penuangan beton pada bekisting. Oleh karena itu, penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 45% dari agregat halus terjadi penurunan kuat tekan sebesar 16,85%.

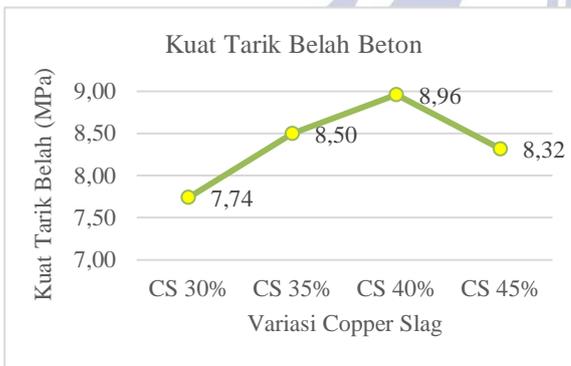
## 3. Pengujian kuat tarik belah beton

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, pengujian kuat tarik belah benda uji dilakukan dengan meletakkan benda uji dengan posisi tidur dan diuji tekan.



**Gambar 6.** Pengujian kuat tarik belah benda uji  
(Sumber : Dokumentasi Penelitian Pribadi)

Hasil pengujian seperti pada Gambar 7 sebagai berikut:



**Gambar 7.** Grafik Kuat Tarik Belah Benda Uji  
(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

Berdasarkan Gambar 6, kuat tarik belah yang terbesar ada pada benda uji dengan penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 40% dari agregat halus yaitu 8,96 MPa. Dari penelitian Rafikatul Karimah (2016) peningkatan kuat tarik belah terjadi karena bentuk dan tekstur dari *copper slag* yang runcing dan kasar. Bentuk permukaan yang kasar dari *copper slag* akan menimbulkan gaya gesek yang tinggi sehingga mampu mengisi pori-pori diantara butiran-butiran gradasi pasir normal. Persentase kenaikan maksimal terjadi pada variabel *copper slag* 35% ke variabel *copper slag* 40% yaitu sebesar 5,13% sebelum akhirnya terjadi penurunan pada variabel *copper slag* 40% ke variabel *copper slag* 45%.

Namun penambahan proporsi *copper slag* lebih dari 40% mengakibatkan penurunan kuat tarik belah karena peningkatan porositas beton yang disebabkan karena kelebihan air yang terperangkap. Struktur beton berpori menyebabkan beton rentan terhadap kegagalan tarik pada ikatan lemah antara komponen beton. Penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 45% dari agregat halus terjadi penurunan kuat tarik belah sebesar 7,69%.

## B. Pembahasan

### 1. Hubungan Berat Volume Beton dan Kuat Tekan Beton

Berat beton terbagi menjadi 2 jenis berat, yaitu beton normal dan beton berat. Dalam SNI 7656-2012 pasal 3.11-3.12, beton normal mempunyai berat volume 2200 kg/m<sup>3</sup> sampai dengan 2500 kg/m<sup>3</sup> sedangkan beton berat mempunyai berat volume lebih besar dari kg/m<sup>3</sup>.

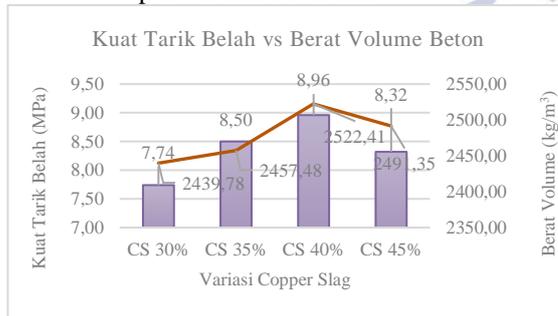
Pada proporsi 40% *copper slag* sebagai substitusi agregat halus memiliki berat volume dan nilai kuat tekan tertinggi dengan nilai 2522,41 kg/m<sup>3</sup> dan 46,09 MPa. Sedangkan kuat tekan beton dan berat volume terkecil didapat pada proporsi 30% *copper slag* dengan nilai kuat tekan 32,59 MPa dan berat volume 2439,78 kg/m<sup>3</sup>. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 berikut:



**Gambar 8.** Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Volume  
(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

## 2. Hubungan Berat Volume Beton dan Kuat Tarik Belah Beton

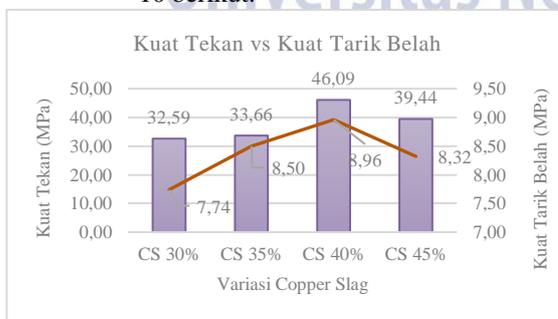
Berat volume beton berpengaruh pada hasil dari kuat tarik belah beton yang dihasilkan. Hubungan berat volume dengan kuat tarik belah beton berbanding lurus. Pada proporsi 40% *copper slag* sebagai substitusi agregat halus memiliki berat volume dan nilai kuat tarik belah beton tertinggi dengan nilai 2522,41 kg/m<sup>3</sup> dan 8,96 MPa. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 berikut:



**Gambar 9.** Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Berat Volume  
(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

## 3. Hubungan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton

Semakin tinggi nilai kuat tekan yang didapat maka semakin tinggi juga nilai kuat tarik belah yang dihasilkan. Pada proporsi 40% *copper slag* sebagai substitusi agregat halus memiliki nilai kuat tekan beton dan nilai kuat tarik belah beton tertinggi dengan nilai 46,09 Mpa dan 9,23 MPa. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:



**Gambar 10.** Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Berat Volume  
(Sumber : Hasil Penelitian Pribadi)

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah diperoleh dari penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kuat tekan terbesar yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 40% dari agregat halus yaitu didapat nilai sebesar 46,09 MPa. Persentase kenaikan terbesar terjadi pada variabel *copper slag* 35% ke variabel *copper slag* 40% yaitu sebesar 26,96%.
2. Kuat tarik belah terbesar yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 40% dari agregat halus yaitu didapat nilai sebesar 8,96 MPa. Persentase kenaikan maksimal terjadi pada variabel *copper slag* 35% ke variabel *copper slag* 40% yaitu sebesar 5,13% sebelum akhirnya terjadi penurunan pada variabel *copper slag* 40% ke variabel *copper slag* 45%.
3. Berat volume terbesar yang diperoleh dari penelitian ini adalah penggunaan *copper slag* dengan proporsi substitusi 40% dari agregat halus yaitu 2522,41 kg/m<sup>3</sup>. Persentase kenaikan maksimal terjadi pada variabel *copper slag* 35% ke variabel *copper slag* 40% yaitu sebesar 2,57%.
4. Hubungan antara berat per volume beton mutu tinggi yang dihasilkan mempunyai nilai optimum pada variabel 40% *copper slag*. Pada variabel 40% diperoleh nilai optimum berat per volume beton sebesar 2522,41 kg/m<sup>3</sup> yang berbanding lurus dengan nilai kuat tekan optimum sebesar 46,09 MPa. Nilai optimum berat per volume beton juga berbanding lurus dengan nilai kuat tarik belah optimum sebesar 8,96 MPa.
5. Kuat tekan berhubungan kuat tarik belah beton dari hasil penelitian ini. Semakin tinggi nilai kuat tekan yang didapat maka semakin tinggi pula nilai kuat tarik belah beton yang dihasilkan. Pada proporsi 40% *copper slag* sebagai substitusi agregat halus memiliki nilai kuat tekan beton tertinggi dengan nilai yang diperoleh yaitu 46,09 Mpa dan nilai kuat

tarik belah beton tertinggi dengan nilai dengan nilai yang diperoleh yaitu 9,23 MPa.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih sebesar-besarnya terhadap Ayah dan ibu atas segala kasih sayang, dukungan, nasehat dan doanya yang sangat memotivasi saya. Dan juga Bapak Mochamad Firmansyah Sofianto, S.T., M.Sc., M.T selaku dosen pembimbing yang telah membantu berproses dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jabri, K. S. (2009). Copper slag as sand replacement for high performance concrete. *Cement & Concrete Composites*, 483-488.
- Anonim. (1979). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. (2001). *SNI 03 - 2491 - 2002 Metode pengujian kuat tarik belah beton*. Bandung: BSN.
- Anonim. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung.
- Anonim. (2011). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. JAKARTA: BSN.
- Anonim. (2012). *SNI 7656:2012 Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa*. Jakarta: BSN.
- Anonim. (n.d.). *SNI 03-1749-1990 Besar Butir Agregat untuk Aduk dan Beton*.
- Anonim. (n.d.). *SNI 03-2834-2000 Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.
- Anonim. (n.d.). *SNI 03-6820-2002 Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen*.
- Anonim. (n.d.). *SNI 15 - 2049 - 2004 Semen Portland*.
- Anonim. (n.d.). *SNI 2460:2014 Spesifikasi abu terbang batubara dan pozzolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton*.
- Buddhadev, C. d. (2015). A Review of Innovative Use Of Copper Slag and Foundry Sand in Design Mix Concrete. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary*, 176-184.
- Jabri, K. S. (2009). Performance of high strength concrete made with copper slag as a fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 2132-2140.
- Karimah, R. (2016). Kajian Penggunaan Copper Slag sebagai Agregat Halus Beton. *Media Teknik Sipil*, 206-210.
- Kartini, W. (2007). Penggunaan Serat Polypropylene untuk Meningkatkan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*.
- Krisnamurti, d. (2011). Perilaku Mekanis Beton HPC (High Performance Concrete) yang Dipengaruhi oleh Silica Fume dan Fly Ash. *Jurnal REKAYASA Volume 8 Nomor 1*, 94-108.
- Kushendrahayu, K. d. (2015). Nilai Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Kuat Lentur pada Beton Beragregat Kasar Pet Dengan Penambahan Silica Fume dan Serat Baja sebagai Bahan Panel Dinding. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 688-694.
- M, M. S. (2014). Pemanfaatan Copper Slag Sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton Mutu K-225. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 2, No. 1*, 188-195.
- Mardiono. (2010). Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dalam Beton Mutu Tinggi.
- Mary, J. A. (2016). An Experimental Investigation on Copper Slag as Replacement of Fine Aggregate in Concrete. *International Journal of*

*Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 7, Issue 6, 282-289.*

- Pujianto, A. (2011). Beton Mutu Tinggi dengan Admixture Superplastisizer dan Aditif Silicafume. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*.
- Pujianto, H. P. (2018). Analisis Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Superplastisizer dan Limbah Las Karbit. *REKAYASA SIPIL / Volume 12, 32-38*.
- R. Arianto, d. (n.d.). Kuat Tekan Beton dan Waktu Ikut Semen Portland Pozzolan.
- Ridha, N. (2017). Proses Penelitian, Masalah, Variabel dan Paradigma Penelitian. *Jurnal Hikmah, 62-70*.
- Sentosa, B. O. (2010). *Pengaruh Faktor Air Semen terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Beton Normal Menggunakan Semen Portland Pozzolan*. Jakarta.
- Simanjuntak, J. O. (2015). Hubungan Perawatan Beton dengan Kuat Tekan. *Jurnal Polipropesi, 1-6*.
- Siswandi, d. (2008). Studi Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton dengan Agregat Halus Copper Slag. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 2, 505-516*.
- Wisnumurti, d. (2008). Pengaruh Lama Waktu Pengecoran pada Balok Lapis Komposit Beton Bertulang terhadap Aksi Komposit, Kapasitas Lentur dan Defleksi. *Jurnal Rekayasa Sipil*.
- Yudiking, d. (2014). Penelitian Pembuatan Beton Mutu Tinggi dengan Semen Pcc Menggunakan Sikafume dan Viscocrete-10 sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan*.