

PENGARUH *COPPER SLAG* TERHADAP SIFAT MEKANIS *REACTIVE POWDER CONCRETE*

Widodo Kushartomo, Citra Wijaya Supiono

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jakarta
E-mail: widodo@untar.ac.id, cheatra.wilhemlock@gmail.com

Abstract

This research used copper slag composition of 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% of the volume of sand. The whole specimen is maintained by the evaporation method at a temperature of 90 °C for 8 hours and immersion method at a temperature of 20°C for 28 days. Testing the compressive strength and flexural strength carried out on 36 -cylinder and 12 beam with optimum results obtained on the composition of 40% copper slag namely compressive strength and flexural strength optimum amounting to 92.69 MPa 15.438 MPa compressive strength and flexural strength.

Keywords : *reactive powder concrete (RPC), copper slag, compressive strength, flexural strength, and steam curing.*

Abstrak

Pada penelitian ini komposisi copper slag yang digunakan sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% terhadap volume pasir. Seluruh benda uji dipelihara dengan metode penguapan pada temperatur 90°C selama 8 jam dan perendaman pada temperatur 20° selama 28 hari. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur dilakukan terhadap 36 silinder dan 12 balok dengan hasil optimum diperoleh pada komposisi copper slag sebesar 40% yaitu kuat tekan dan kuat lentur yang optimum yaitu sebesar 92.69 MPa untuk kuat tekan dan 15,438 MPa untuk kuat lentur.

Kata kunci : *reactive powder concrete, copper slag, kuat tekan, kuat lentur, dan steam curing.*

PENDAHULUAN

Skala Pembangunan di dunia dewasa ini menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan terhadap kebutuhan beton dimasa ini maupun dimasa yang akan datang. Salah satu teknologi beton generasi baru yang sedang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan material konstruksi beton berkekuatan tinggi adalah *Reactive Powder Concrete (RPC)*.

Reactive Powder Concrete (RPC) merupakan material beton komposit yang dikembangkan untuk mengoptimalkan penggunaan material, menambah nilai ekonomi, dan membuat struktur yang kuat, tahan, terhadap pengaruh lingkungan. RPC adalah beton yang terdiri dari semen dan bubuk sangat halus seperti *Quartz kuarsa* dan *Silica fume* [1]. Penggunaan RPC pada umumnya antara 800-1000 kg/m³. Penggunaan semen dalam jumlah yang tinggi berpengaruh pada biaya produksi. Mengganti semen dengan additive *mineral* menjadi solusi untuk permasalahan ini,

penambahan *admixtures mineral* dapat meningkatkan durabilitas beton beton.

Adanya fenomena teknologi ini mempengaruhi orang untuk mencoba memanfaatkan limbah-limbah industri yang ada untuk digunakan dalam campuran beton. Salah satunya adalah *copper slag*. *Copper slag* adalah limbah industri peleburan tembaga, berbentuk butiran runcing (tajam) dan sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta memiliki sifat kimia yang stabil dan sifat fisiknya hampir sama dengan pasir alami. *Copper slag* bisa dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen (*cementitious*) tetapi materialnya harus dihaluskan hampir seperti semen agar didapatkan hasil yang optimum [2].

Copper slag yang menggantikan sebagian semen memberikan beberapa keuntungan. Pertama, panas hidrasi dan muai susut beton akan berkurang sehingga memperbaiki kinerja beton. Kedua, harga beton akan lebih murah. Ketiga, dengan mengurangi konsumsi semen, berarti juga

akan mengurangi energi dalam proses pembuatan semen dan mengurangi polusi yang disebabkan proses produksi semen. Keempat, dengan menggunakan bahan limbah, berarti secara nyata telah menerapkan teknologi material berkelanjutan (*sustainable material technology*) [3].

Terdapat keuntungan dari penggunaan *copper slag* ini untuk campuran beton yaitu, meningkatkan kekuatan beton, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut, serta dapat mengurangi panas hidrasi dan memperkecil porositas. Disamping keuntungan dari *copper slag* terdapat pula kelemahan- kelemahan yaitu beton yang dihasilkan akan berwarna kehitam-hitaman dan tidak semua daerah mempunyai *copper slag*, sehingga sulit didapat. Berdasarkan brosur dari PT. Smelting, Gresik, Jawa Timur dalam *copper slag* mempunyai susunan kimia dari prosentase terhadap massanya, adalah sebagai berikut [2].

Tabel 1. Komposisi kimia *copper slag* [2]

Komponen	Prosentase
SiO ₂	30 -36
Al ₂ O ₃	3 – 6
CaO	2 – 7
FeO	45 - 55

Sifat fisik dan kimia *copper slag* adalah partikel kaca hitam dan granular di alam dan memiliki jangkauan ukuran partikel yang sama seperti pasir. Berat jenis terak 3,91. *Bulk density copper slag* bervariasi 1,9 - 2,15 kg/m³ yang hampir mirip dengan *bulk density* agregat halus konvensional. Kekerasan *copper slag* terletak di antara 6-7 dalam skala Mohs, hampir sama dengan kekerasan gypsum. PH larutan ekstrak air bervariasi dari 6,6 hingga 7,2. Kadar air bebas yang terkandung dalam *copper slag* kurang dari 0,5%. Kandungan silika dalam *copper slag* sekitar 26% merupakan salah satu opsi agregat yang digunakan dalam

perkerasan beton normal. Kehalusan *copper slag* dihitung sebagai 125 m²/kg. Tabel 2. Menunjukkan sifat kimia dari *copper slag*. [4]

Tabel 2. Sifat kimia dari *copper slag*

No	Chemical Component	% of Chemical Component
1	SiO ₂	25.84
2	Fe ₂ O ₃	68.29
3	Al ₂ O ₃	0.22
4	CaO	0.15
5	Na ₂ O	0.58
6	K ₂ O	0.23
7	LoI	6.59
8	Mn ₂ O ₃	0.22
9	TiO ₂	0.41
10	SO ₃	0.11

Sumber: D.Brindha , dkk. (2010) [2]

Pada penelitian ini, dilakukan pencampuran *copper slag* ke dalam RPC sebagai agregat halus, *copper slag* banyak mengandung Fe (besi) dan tingkat kekerasannya cukup tinggi yaitu 6-7 Mohs, sehingga diduga dapat meningkatkan sifat mekanik RPC.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil kekuatan *Reactive Powder Concrete* yang menggunakan material sisa dari limbah industri, dimana material ini adalah *copper slag*. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yang dilakukan ini adalah:

1. Mempelajari peranan *copper slag* dalam *Reactive Powder Concrete* (RPC).
2. Mendapatkan penambahan jumlah optimum penggunaan *copper slag* untuk mendapatkan kekuatan mekanis *Reactive Powder Concrete* (RPC) yang maksimal.

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan dan material yang diperlukan untuk pembuatan penelitian ini

adalah *copper slag*, berasal dari industri tembaga, yang lolos saringan 2 mm, tepung kaca, diperoleh dari industri kaca, kaca dihaluskan dengan menggunakan mesin Los Angeles dan disaring hingga saringan no. 200. Pasir Bangka dengan ukuran butiran lolos saringan 2 mm, *Silica fume*, *Superplasticizer* dengan tipe *viscocrete* 1003, Air, dan Semen PCC.

Hal yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah pembuatan sampel uji. Rencana desain campuran dapat dilihat pada Tabel 3. komposisi *copper slag* diambil berdasarkan perbandingan komposisi *copper slag* terhadap volume semen. Perawatan benda uji yakni dengan menggunakan teknik perawatan *steam*

curing dan perendaman. Pengujian Benda uji silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian kuat tekan sebanyak 36 buah dengan masing-masing 6 buah, dan pengujian benda uji balok berukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm dilakukan untuk pengujian kuat lentur sebanyak 12 buah dengan masing-masing 2 buah untuk setiap komposisi. Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan *X-ray diffractometer (XRD)* di PUSLITBANG TEKMITRA (Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batu Bara). Hal ini dikerjakan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *copper slag* terhadap sifat mekanis *Reactive Powder Concrete*.

Tabel 3. Rencana Design Campuran *RPC*

$f_{a/s} = 0.2 ; f_{sf/s} = 0.25 ; f_{p/s} = 1.5 ; f_{sp/s} = 0.035 ; f_{k/s} = 0.2$						
<i>Copper slag</i>	0%	15%	30%	45%	60%	75%

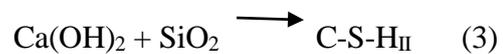
Keterangan :
 $f_{a/s}$: perbandingan massa air (a) terhadap semen (s)
 $f_{sf/s}$: perbandingan *silica fume* (sf) terhadap semen (s)
 $f_{p/s}$: perbandingan pasir (p) terhadap semen (s)
 $f_{sp/s}$: perbandingan *superplasticizer* (sp) terhadap semen (s)
 $f_{k/s}$: perbandingan tepung kaca (k) terhadap semen (s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

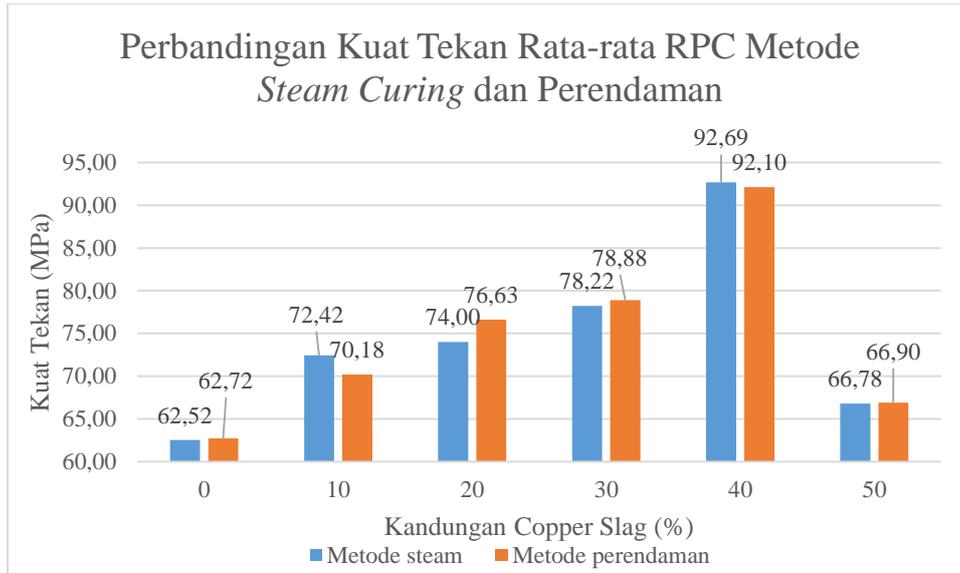
Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan hasil dari pengujian kuat tekan, dan lentur. Hal ini ditunjukkan oleh sifat *copper slag* yang *amorphous* disimpulkan berdasarkan hasil uji XRD Gambar 3. dimana artinya SiO_2 yang terkandung didalamnya dapat bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen dan air. Dimana reaksi hidrasi ini dapat dituliskan sebagai berikut:



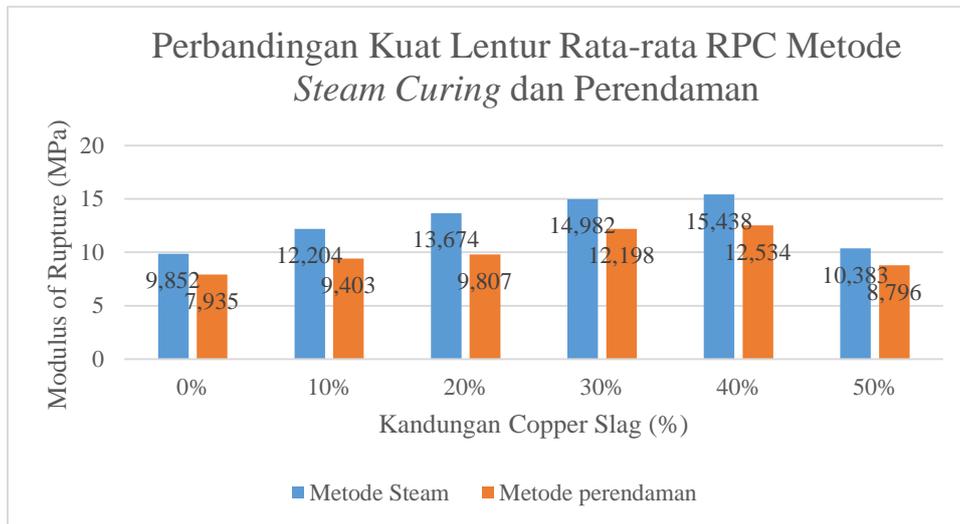
Yang kemudian $Ca(OH)_2$ dan SiO_2 bereaksi dengan bantuan dari panas hidrasi yang dihasilkan, sehingga menimbulkan reaksi *pozzolanic* pada beton *RPC* yang menjadikan beton ini lebih kuat dibandingkan dengan beton biasa. Persamaan *pozzolanic* pada kejadian ini dapat dituliskan seperti berikut:



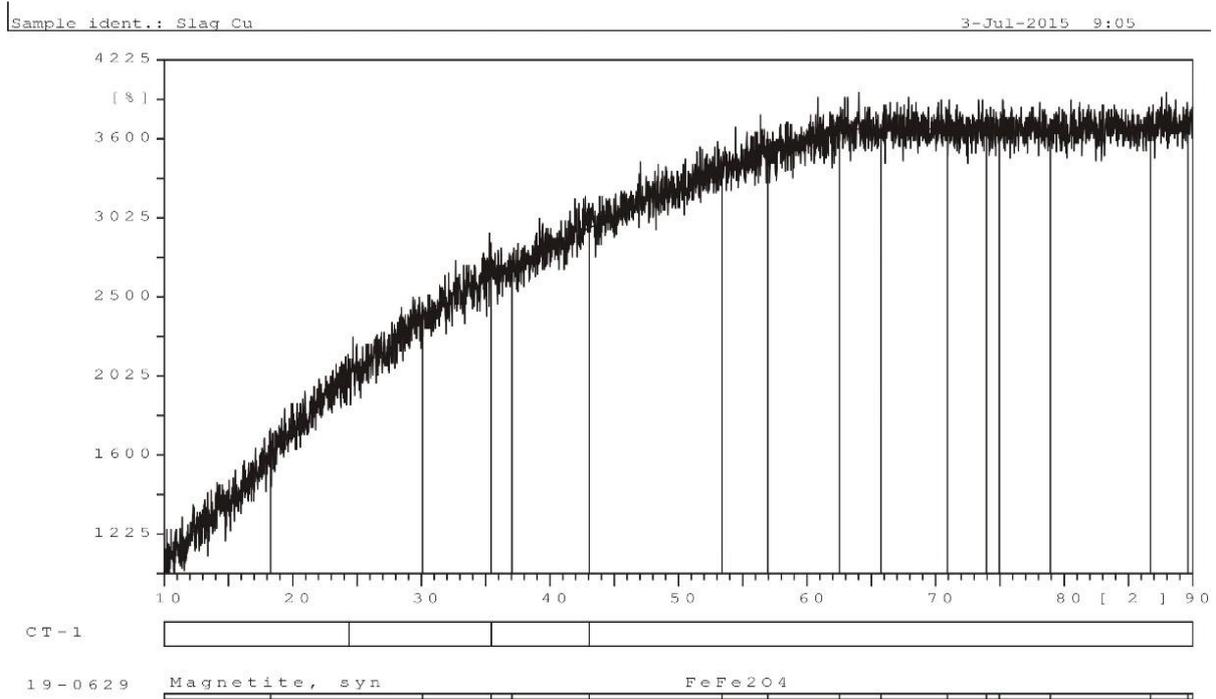
Reaksi ini sama dengan reaksi yang terjadi pada kandungan silica pada *silica fume*, karena memiliki karakteristik kimia yang sama, yaitu *amorphous*.



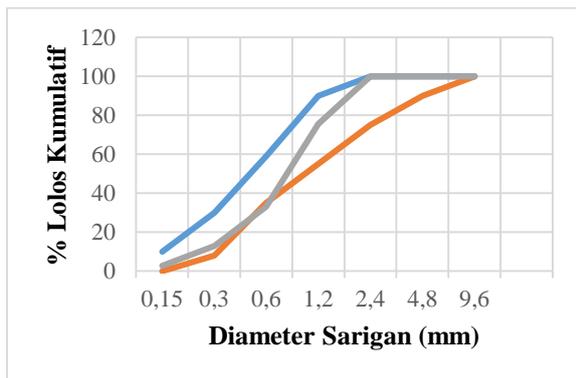
Gambar 1. Grafik Nilai Kuat Tekan Benda Uji



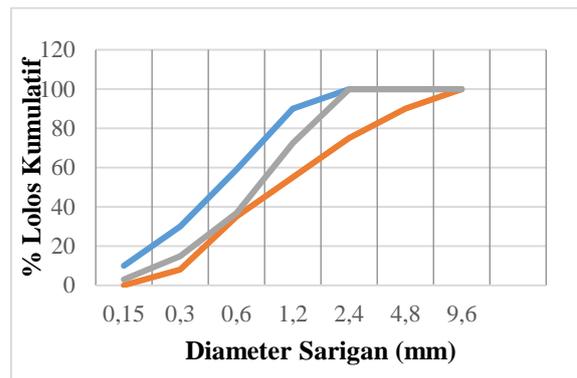
Gambar 2. Grafik Nilai Kuat Lentur Benda Uji



Gambar 3. Grafik Hasil Uji XRD *Copper Slag*



Gambar 4. Zone 2 Tingkat Kehalusan Aggregate Halus (Pasir)



Gambar 5. Zone 2 Grafik Gabungan Tingkat Kehalusan Aggregate Halus 70.92% Pasir + 29.08% *copper slag*

Reaksi semen dengan air ($C_3S + H_2O$) menghasilkan CSH + $Ca(OH)_2$ dan apabila ditambahkan *copper slag* akan bereaksi dengan kapur sisa reaksi antara semen dengan air ($SiO_2 + Ca(OH)_2$) sehingga menghasilkan CSH baru. Gambar 1. menunjukkan bahwa RPC tanpa variasi *copper slag* dapat mencapai kuat tekan yang paling optimum yaitu 627.2 kg/cm^2 dikarenakan kemungkinan kadar besi yang terkandung dalam semen dari hasil reaksi antara semen dengan air sudah mencapai kadar yang optimum. RPC yang

menggunakan *copper slag* berlebih (50%) akan bereaksi dengan kapur sisa reaksi antara semen dengan air ($SiO_2 + Ca(OH)_2$) sehingga menambah kadar besi yang mengakibatkan senyawa C_4AF yang terkandung dalam semen menjadi tinggi sehingga memperlambat *setting time*. Dengan keterlambatan tersebut, pori-pori yang dibentuk oleh air yang tidak ikut bereaksi akan semakin besar dan meninggalkan rongga-rongga yang dapat menurunkan kuat tekan beton. Kuat tekan dengan variasi *copper slag* 10% mengalami

kenaikan sebesar 15.82%, sedangkan dengan variasi 20% mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 18.36%, variasi 30% peningkatan kuat tekan mencapai 25.11%, variasi 40% peningkatan kuat tekan mencapai 48.24%, dan variasi 50% peningkatan kuat tekan mencapai 6.81%. Penggunaan *copper slag* yang paling efektif dengan variasi 40% beton mutu tinggi akan mengalami kenaikan kuat tekan hingga 48.24% pada metode *steam curing*.

Gambar 2. menunjukkan bahwa RPC tanpa variasi *copper slag* dapat mencapai kuat lentur yang paling optimum yaitu 92.69 MPa. Kuat tekan dengan variasi *copper slag* 10% mengalami kenaikan sebesar 23.87%, sedangkan dengan variasi 20% mengalami peningkatan sebesar 38.79%, variasi 30% peningkatan kuat tekan mencapai 52.07%, variasi 40% peningkatan kuat tekan mencapai 56.70%, dan variasi 50% peningkatan kuat tekan mencapai 5.39%. Penggunaan *copper slag* yang paling efektif dengan variasi 40% *Reactive Powder Concrete* (RPC) akan mengalami kenaikan kuat tekan hingga 56.07 % pada metode *steam curing*.

Dengan pengujian diatas terlihat bahwa nilai dari kuat tekan dan kuat lentur berdasarkan perencanaan campuran diatas, nilai kekuatan RPC maksimal berada pada penambahan 40% *copper slag* terhadap berat pasir. Dari Hasil penelitian ini lalu dianalisa apa yang menjadi penunjang kekuatan beton tersebut, dan yang membedakan campuran yang satu dengan yang lainnya, adapun nilai kekuatan yang terjadi dikarenakan oleh:

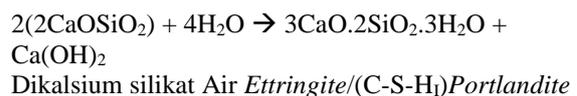
1. Gradasi dari butiran agregat halus. Semakin halus agregat yang digunakan maka semakin kecil pori atau volume udara yang terdapat didalam beton, sehingga kerapatan dalam beton semakin baik dan beton semakin berat (BJ semakin besar), BJ semakin tinggi, maka semakin besar kekuatannya. Pada Gambar 4. dan Gambar 5. membuktikan bahwa penambahan *copper slag* kedalam RPC dapat memperbaiki susunan butiran agregat halus sehingga

lebih kompak. Berdasarkan hasil uji porositas diperoleh bahwa porositas beton dengan kandungan *copper slag* mendapatkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa *copper slag* menunjukkan, gradasi gabungan antara agregat halus sangat kompak dan saling mengisi, sehingga porositas kecil beton yang dihasilkan mempunyai *density* yang tinggi.[5]

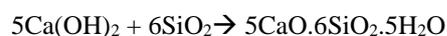
2. Sistem perawatan beton dengan metode *Steam Curing* diperuntukkan untuk menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dengan mempercepat proses hidrasi beton. Menurut penelitian Kushartomo W. Et al. (2013) [6], RPC yang dirawat dengan penguapan 90 °C selama 24 jam terdeteksi adanya *tobermorite* (kristal) yang lebih padat dibandingkan *ettringite* sedangkan pada RPC yang dirawat dengan perendaman 20 °C selama 28 hari tidak terdeteksi adanya *tobermorite*. Hal ini yang menyebabkan nilai kuat tekan RPC yang dirawat dengan penguapan 90 °C selama 8 jam (*steam curing*) pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan metode *normal curing* dalam penelitian ini. *Tobermorite* merupakan hasil reaksi lanjutan dari hasil hidrasi semen yaitu kalsium hidroksida dengan SiO₂ dari *silica fume*.

Reaksi hidrasi semen dan reaksi *pozzolanic* dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut ini:

Reaksi hidrasi semen:



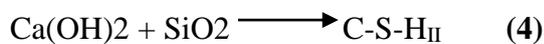
Reaksi *pozzolanic*:



Portlandite Silika *Tobermorite*/(C-S-H_{II})

Terlihat dari perbandingan, *steam curing* memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan perendaman.

Peranan penambahan *copper slag* ke dalam *Reactive Powder Concrete* belum tentu meningkatkan hasil kuat tekan dan kuat lentur. Karena Dalam prosesnya *copper slag* yang tidak mengalami proses pengikatan C-S-H akan menjadi filler pengisi dari rongga udara/rongga kosong. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak *copper slag* yang digunakan belum tentu mutu beton akan semakin baik, karena dalam proses pengikatan dibutuhkan reaksi kedua yang terjadi dari semen, yaitu:



Dapat dikatakan persentase dengan *copper slag* 40% dalam desain campuran memiliki kadar SiO_2 yang hampir sama dengan Ca(OH)_2 sehingga reaksi pozzolanik yang terjadi adalah maksimal, karena kelebihan dari SiO_2 akan menjadi pengganggu dalam proses reaksi ini dan menjadi filler dalam beton.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan dapat disimpulkan pengaruh *Copper slag* dalam RPC adalah sebagai berikut :

1. Penambahan *copper slag* dapat memperbaiki sifat mekanis *Reactive Powder Concrete*, yaitu meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur.
2. Penambahan *copper slag* dapat memperbaiki susunan butiran agregat halus sehingga lebih kompak.
3. Kuat tekan beton terak tembaga (*copper slag*) terbesar terjadi pada campuran terak tembaga (*copper slag*) sebesar 40% dengan metode *steam curing* yaitu mencapai 92.69 MPa kenaikannya sebesar 48.24% terhadap RPC tanpa *copper Slag* dan sebesar 40% dengan metode *normal curing* yaitu mencapai 92.10 MPa kenaikannya sebesar 46.84% terhadap RPC tanpa *copper slag*.
4. Kuat lentur beton terak tembaga (*copper slag*) terjadi pada campuran terak tembaga (*copper slag*) sebesar 40% dengan metode *steam curing* yaitu mencapai 15.438 MPa kenaikannya sebesar 56.70% terhadap RPC tanpa *copper Slag* dan sebesar 40% dengan metode *normal curing* yaitu mencapai 12.534 MPa kenaikannya sebesar 57.96% terhadap RPC tanpa *copper slag*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Yazici, Halit., Yigiter, Husein., Karabulut, Anil S., Baradan, Bulent. 2008. "Utilization of fly ash and ground granulated blast furnace slag as an alternative silica source in reactive powder concrete". *Fuel* 87, pp 2401-2407.
- [2]. Kartini, Wahyu. 2007. "Pengaruh *Copper Slag* Sebagai *Cementitious* Terhadap Kuat Tekan Beton". *Jurnal Teknik Sipil Universitas Pembangunan Nasional*. Vol IV No. 2. Juli. ISBN/ISSN:1693-5756.
- [3]. Supartono, F.X. 2004. *Beton Berkinerja Tinggi Perancangan, Masa Depan, dan Kendala dalam Pelaksanaan*. Seminar perkembangan Rekayasa Konstruksi dan Manajemen Infrastruktur. USU. Medan.
- [4]. Bridha D., T Baskaran., S Nagan. 2010. "Assesment of Corrison and Durability Characteristics of Copper Slag Admixed Concrete". *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Volume 1, No.2. ISSN : 0976-4399, pp 192-211.
- [5]. Achmadi A. 2009. "Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag Sebagai Agregat Halus dan Agregat Kasar dengan Aplikasi *Superplasticizer* dan *Silica Fume*". *Magister Teknik Jurusan Sipil*. Universitas Diponegoro.
- [6]. Kushartomo, Widodo. *et al.* 2013. "Pengaruh Penambahan *Quartz Powder*

pada *Reactive Powder Concrete* terhadap Terbentuknya Kalsium-Silikat-Hidrat". Jurnal Teknik Sipil. Universitas Tarumanagara. Vol 20 No.3. Desember. ISSN: 0853-2982.