

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI DAN SAINS II 2016

"Peran Perguruan Tinggi dalam Pembangunan Berkelanjutan untuk Kesejahteraan Masyarakat"

23-24

Agustus 2016

Auditorium Gedung M Lt. 8

Kampus I, Universitas Tarumanagara,
Jl. Let. Jend. S. Parman No.1 Jakarta Barat 11440

Diterbitkan Oleh:

Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara
Kampus 1, Universitas Tarumanagara
Jl. Let. Jend. S. Parman No.1 Jakarta Barat 11440



REVIEWER

1. Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D.
2. Dr. Ir. Naniek Widayati, M.T.
3. Harto Tanujaya, S.T., M.T., Ph.D.
4. Dr. Lamto Widodo, S.T., M.T.
5. Ir. Priyendiswara A B, M.Com.
6. Ir. Tjandra Susila, M.Eng. Sc., Ph.D.

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI DAN SAINS (SNTS) II 2016

TEMA:

**“PERAN PERGURUAN TINGGI DALAM PEMBANGUNAN
BERKELANJUTAN UNTUK KESEJAHTERAAN MASYARAKAT”**

TIM PENYUSUN:

Dr. Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si.

Dr. Steven Darmawan, S.T., M.T.

Meirista Wulandari, S.T., M.Eng.

Denny Husin, S.T.,M.A.

Wilson Kosasih, S.T., M.T.

Ir. Arianti Sutandi, M.Eng.

Ir. Sylvie Wirawati, M.T.

Joni Fat, S.T.,M.E.

Siswadi Joko Santoso

Fandy



Fakultas Teknik
Universitas Tarumanagara
Jl. Letjend. S. Parman No. 1 Jakarta 11440
Telp. 021-5672548, 5663124, 5638335; Fax. 012-5663277
Website: www.untar.ac.id, e-mail: ft@untar.ac.id

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Sambutan Dekan Fakultas Teknik	ii
Daftar Isi	iii
Susunan Panitia	vii
Susunan Acara	viii
Jadwal Presentasi	ix
Pembicara Kunci	
Prof. Ir. Bambang Budiono, ME., Ph.D.	1
Bidang Arsitektur	
1 Kelayakan Fisik Stasiun Pemberhentian di Lokasi Rumah Sakit pada Rute Transjakarta Agnatasya Listianti Mustaram	1
2 Kajian Kenyamanan Jalur Pejalan Kaki di Kawasan Kota Lama Semarang Sintia Dewi Wulanningrum	12
3 Kajian Dampak Pemilihan Bahan Bangunan pada Karya Arsitektur James Rilatupa	22
4 Pengaruh Bentuk Plafon Terhadap Waktu Dengung (<i>Reverberation Time</i>) Yunita A.Sabtalistia	33
5 Penerapan Studi Gerak Tarian dan Musik Betawi dalam Sirkulasi Bangunan Pusat Seni Pertunjukkan Kenny Punsu, Priscilla Epifania dan Andi Surya Kurnia	41
6 Museum Alat Musik Tradisional Indonesia Caroline Kurniawan, Dewi Ratnaningrum dan Tony Winata	50
7 Museum Sejarah Kota Depok sebagai Pariwisata Budaya dan Identitas Kota Depok Christy Aneta	57
8 Kajian Aksesibilitas Difabel pada Kampus 1 Universitas Tarumanagara Theresia Budi Jayanti	64
9 Pasar Burung Jakarta Sinta Novagia dan Diah Anggraini	74
10 Pokemon Go (Kajian Ruang Kota Yang Terinvasi Gim Berbasis AR) Andi Surya Kurnia	83
Bidang Teknik Sipil	
1 Pengaruh Perpaduan <i>Copper Slag</i> dan Abu Terbang terhadap Sifat Mekanis <i>Reactive Powder Concrete</i> Widodo Kushartomo dan Nico Hendrawan	1
2 Analisis <i>Value Engineering</i> Berbasis Risiko Untuk Mengatasi Faktor Ketidakpastian Parameter Geoteknik, Studi Kasus: Jalan Tol. Inda Sumarli dan Chaidir Anwar Makarim	9

3	Model Pemilihan Moda Antara <i>Light Rail Transit (LRT)</i> Dengan Sepeda Motor Di Jakarta. Febri Bernadus Santosa dan Najid	19
4	Evaluasi Standar Pelayanan Minimal Operasional Transjakarta Koridor 9 dan Koridor 12 Rizal Satyadi dan Najid	25
5	Model Pemilihan Moda Antara <i>Light Rail Transit (LRT)</i> Dengan Mobil Pribadi Di Jakarta Yumen Kristian Wau dan Najid	34
6	Model Pemilihan Moda Kereta Rel Listrik Dengan Jalan Tol Jakarta-Bandar Soekarno Hatta Kevin Harrison dan Najid	40
7	Pendekatan Teori Himpunan <i>Fuzzy</i> Dalam Menentukan Tingkat Risiko Kerusakan Beton Menggunakan <i>Hammer Test</i> . Phang Jordy, Iwan B. Santoso dan Widodo Kushartomo	46
8	Efisiensi Tenaga Kerja Dengan <i>Ranked Positional Weight Method</i> Julius dan Henny Wiyanto	52
9	Penerapan <i>Resource Leveling</i> Dengan <i>Minimum Moment Method</i> dan <i>Entropy Maximization</i> Miranda Budiman dan Henny Wiyanto	58
10	Analisis <i>Value Engineering</i> Pekerjaan <i>Curing</i> Pelat Beton Pada <i>High Rise Bulding</i> Romario dan Henny Wiyanto	64
11	Penentuan Parameter Reologi Lumpur Sidoarjo Dengan <i>Fall Cone Penetrometer</i> , <i>Mini Vane Shear</i> dan <i>Flow Box</i> Calvin Sunandar dan Budijanto Widjaja	72
12	Analisis Efek Penempatan Fasilitas Terhadap Kelancaran Proyek Konstruksi Gedung Bertingkat Di Jakarta. Angelia dan Arianti Sutandi	82
13	<i>Shear Strength of Reinforced Concrete Walls with Boundary Member</i> Ika Bali and Paulus Jonathan	89
14	Penggunaan Metode <i>Cross</i> pada Struktur Portal Bergoyang Statis Tak Tentu Dengan kekakuan Tidak Merata dalam Satu Balok dan Kolom. Jemy wijaya dan Fanywati Itang	94
15	Perbandingan Prediksi Durasi Proyek Antara Pendekatan Matematis dan Kumulatif Rizka Chairunnisa, Roy Handyawan, Adi Kurniawan Parjono dan Basuki Anondho	103
16	Monitoring Progres Proyek Konstruksi Dengan Pendekatan Probabilistik Edelin Hartono, Hatta Iskandar, Alvin Tanimin dan Basuki Anondho	110

Bidang Teknik Elektro

1	Prototipe Alat Penanda dan Pengawas Perimeter Lokasi Keberadaan Anak Joni Fat	1
2	Perancangan dan Realisasi Sistem Presensi Mahasiswa Menggunakan Kartu Magnetik Regine Giri Karuna, Tjandra Susila dan Suraidi	8
3	Sistem Helm Pintar Untuk Pesepeda Berlin Susanto, Meirista Wulandari dan Fahraini Bacharuddin	15
4	Kunci Pintu Otomatis untuk Rumah dengan Menggunakan Perangkat Android Agung Try Yuliato, Hang Suharto dan Suraidi	26
5	Sistem Cetak Pada Media Kertas Jarak Jauh Berbasis <i>WEB</i> Hendry Gunawan, Edy Haryono dan Nurwijayanti Kusumaningrum	34
6	Perancangan Sistem Monitoring Kondisi Gedung Menggunakan Konsep <i>Wireless Sensor Network</i> Asep Najmurokhan¹, Kusnandar², Bambang HSR Wibowo³ dan Andef Abdillah⁴	43

Bidang Teknik Mesin

1	Pengaruh Kecepatan Potong Pada Proses Pembubutan Terhadap <i>Surface Ghness</i> dan Topografi Permukaan Material <i>Aluminiym Alloy</i> Sobron Yamin Lubis, Erwin Siahaan dan Kevin Brian	1
2	Analisis Kekuatan Tarik <i>Bolted Joint</i> Struktur Komposit <i>C-Glass/Epoxy Bakalite</i> EPR 174 Ariansyah Pandu Surya, Lies Banowati dan Devi M. Gunara	10
3	Analisa Kekuatan lentur Struktur Komposit Berpenguat Mendong/Epoksi Bakalite EPR 174 Vicky Firdaus, Lies Banowati dan Ruslan Abdul Gani	18
4	Karakteristik Mekanik Material <i>Spoiler</i> Mobil Berbasis Bahan Plastik Agustinus Purna Irawan, Adianto, I Wayan Sukania, dan M. Agung Saryatmo	25

Bidang Teknik Industri

1	User Experience pada Situs E-Commerce Sebagai Studi Komparasi Antara B2C dan C2C Ronald Sukwadi, Cynthia Soenanto, Agung Nugroho dan MM Wahyuni Inderawati	1
2	Penentuan Pusat Distribusi Ritel Dengan Analisis <i>K-Means Clustering</i> (Studi Kasus PT. XYZ di Kalimantan) Filscha Nurprihatin	10
3	Implementasi <i>Lean Six Sigma</i> dan Usulan Perbaikan untuk Meminimasi <i>Non Value Added</i> pada Proses Produksi Kertas di PT. Pelita Cengkaren Paper. Ahmad, Lithrone Laricha Salomon dan Yustin Kartika Sari	20
4	Usulan Perbaikan Perancangan Tata Letak Mesin Lantai Produksi Pada Bagian Metal Works (Studi Kasus: PT. Nurinda) Hendy Tannady dan Feni Sensia	31

- | | | |
|---|--|----|
| 5 | Perancangan Stasiun Kerja Pembuatan Kulit Mochi Dengan Pendekatan Ergonomi
Silvi Ariyanti | 42 |
| 6 | Usulan Perencanaan dan Pengembangan Produk Asbak di Restoran Chakra
Dino Caesaron dan Samuel | 52 |

Bidang Teknik Planologi

- | | | |
|----|--|-----|
| 1 | Studi Pengembangan Pariwisata Berdasarkan Konsep <i>City Branding</i> (Studi Kasus : Kabupaten Pulau Morotai)
Muhammad Indra Rahmawan Banyo dan B. Irwan Wipranata | 1 |
| 2 | Presepsi Penghuni Terhadap Pengelolaan Rumah Susun Sewa Komarudin, Cakung Jakarta Timur
Herlin Mukti dan Parino Rahardjo | 14 |
| 3 | Evaluasi Pengelolaan Agrowisata Menjadi Agro Center Yang Berkelanjutan (Studi Kasus : Hortimart Agro Center)
Wenny dan Sylvie Wirawati | 26 |
| 4 | Penataan Kawasan Konsep Mangrove Dengan Konsep <i>Ecotourism</i> ; Studi Kasus: Muaragembong, Kabupaten Bekasi
Intan Nurul Fajriah dan B. Irwan Wipranata | 36 |
| 5 | Kajian Lokasi Minimarket Terhadap Peraturan Daerah Kota Bekasi No. 7/2012 Tentang Penataan Toko Modern
Liza Medina Novianri dan Parino Raharjo | 47 |
| 6 | Pendekatan Kualitatif Pada Rencana Detail Tata Ruang (Studi Kasus: Kawasan Sisi Banjir Kanal Timur di Kelurahan Pulogebang)
Anggy Rahmawati dan Parino Rahardjo | 56 |
| 7 | Rencana Penataan Kawasan Wisata Pesisir Pantai Kenjeran
Rizky Adhadian P dan B. Irwan Wipranata | 66 |
| 8 | Studi Neighbourhood Change dan Berkelanjutan Hunian (Studi Kasus: Perumahan Citra 1, Jakarta Barat)
Veronica Teny Lukito, I G. Oka Sindhu Pribadi dan Liang Ju Tjung | 78 |
| 9 | Mengkaji Persepsi Pengunjung Terhadap Pengelolaan Kawasan Bumi Perkemahan Cibubur
Devi Audina Wahyuni, Parino Rahardjo dan Priyendiswara | 90 |
| 10 | Studi Implementasi Program Fasilitas Likuiditas Pembiayaan Perumahan Pada Perumahan Tapak
Natalia Dahlan dan Sylvie Wirawati | 101 |
| 11 | Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sejenisnya Di Apartemen dan Perumahan Di Wilayah Jakarta Barat
Priyendiswara Agustina Bela | 111 |

PENGARUH PERPADUAN *COPPER SLAG* DAN ABU TERBANG TERHADAP SIFAT MEKANIS *REACTIVE POWDER CONCRETE*

Widodo Kushartomo¹ dan Nico Hendrawan²

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, Jl. Let. Jend. S. Parman No 1 Jakarta 11440

Email: widodo@untar.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, Jl. Let. Jend. S. Parman No 1 Jakarta 11440

Email: nichendrawan95@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menjelaskan tentang sifat mekanik penambahan paduan copper slag dan abu terbang terhadap Reactive Powder Concrete (RPC). Paduan antara copper slag dan abu terbang yang digunakan berkisar anatar 0-25%. Metode perawatan contoh uji menggunakan steam curing untuk mengatasi panas hidrasi yang berlebihan dan mempercepat terjadinya reaksi pozolanik. Contoh uji berupa silinder berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm sebanyak 30 buah dan balok beton berukuran 10x10x40cm sebanyak 18 buah. Pengujian terhadap kuat tekan contoh uji silinder mampu mencapai nilai maksimum sebesar 81,7 MPa dengan pengujian kuat lentur balok mencapai nilai sebesar 8,12 MPa, pada komposisi copper slag 10% dan abu terbang 15%.

Kata kunci : *reactive powder concrete, copper slag, abu terbang, kuat tekan, kuat lentur*

1. PENDAHULUAN

Meluasnya penggunaan beton dan meningkatnya skala pembangunan menunjukkan semakin banyak kebutuhan beton dimasa yang akan datang, sehingga mempengaruhi perkembangan teknologi beton dimana akan menuntut inovasi-inovasi baru mengenai beton itu sendiri yang kuat dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi baru adalah *reactive powder concrete* (RPC). Widodo, dkk. (2013), melakukan penelitian pengaruh volume serat lokal terhadap kekuatan lentur RPC. Menghasilkan silinder dengan kuat tekan tertinggi 90,33 MPa dan modulus elastisitas terbesar 10,87 Mpa.

Abu terbang sangat lazim di gunakan dalam teknologi beton, baik pada beton normal maupun pada beton mutu tinggi. Salah satu yang menjadi dasar pertimbangan penggunaan abu terbang dalam pembuatan beton adalah abu terbang mengandung SiO₂ dengan jenis amorphus yang sangat reaktif, sehingga dapat memicu terjadinya lanjutan setelah reaksi hidrasi pada semen yang berakibat meningkatkan kekuatan beton dan memperbaiki struktur mikro. Selain hal tersebut abu terbang juga berfungsi untuk menurunkan panas hidrasi serta meningkatkan workabilitas, mengingat bentuk butiran abu terbang yang bulat. Sama halnya *copper slag* juga mengandung SiO₂ dengan jenis amorphus, namun tidak lazim digunakan pada pembuatan beton.

RPC adalah material komposit yang berkekuatan ultra tinggi dan mempunyai daktilitas yang tinggi. Komponen utama RPC adalah semen, *silica fume*, pasir, *quartz powder* dan serat baja dengan ciri penggunaan faktor air semen sangat rendah. RPC dalam bentuk *powder* yang dapat bereaksi antara satu komponen dengan komponen lainnya, oleh para peneliti menjadi kunci untuk meningkatkan sifat mekanik, meningkatkan densitas, homogenitas dan memperbaiki struktur mikro.

Silica fume (SF) adalah hasil produksi sampingan dari pemurnian silika dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silikon (ACI 234R-96). *Silica fume*

mengandung kadar SiO_2 yang tinggi dan merupakan bahan yang sangat halus, bentuk bulat dan berdiameter yang sangat kecil sekali yaitu 1/100 kali diameter semen (ACI, Committee, 1986 dan Modul Silica). *Silica fume* dalam jumlah tertentu dapat menggantikan jumlah semen, selain itu karena *silica fume* mempunyai diameter sangat kecil, maka *silica fume* dapat juga berperan sebagai pengisi diantara partikel- partikel semen. Penambahan *silica fume* juga meningkatkan kebutuhan air. Jika menginginkan faktor air semen yang tetap, harus diperlukan tambahan *superplasticizer* untuk mempermudah workabilitas (ACI 234R-96).

Untuk menghasilkan beton mutu tinggi, salah satu faktor terpenting adalah mengurangi penggunaan air dalam beton. Namun pengurangan air ini pada umumnya akan menimbulkan pengaruh lain yang kurang menguntungkan, yaitu menurunkan tingkat kelecakan atau kemudahan pengerjaan beton (*workability*), yang merupakan faktor penting dalam proses pengecoran beton untuk bisa menghasilkan kualitas beton yang baik, terutama pada kondisi tulangan baja yang cukup rapat. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dalam hal ini *superplasticizer* dapat digunakan sebagai bahan tambahan pencampur beton (*admixture*).

Abu terbang (*Fly Ash*) merupakan limbah yang diperoleh dari sisa pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batubara sebagai sumber energi. Menurut ACI 116R, abu terbang adalah residu halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang diangkut dari tungku melalui boiler oleh gas buang, di Inggris dikenal sebagai serbuk abu bakar. ACI 116R mendefinisikan pozolan sebagai bahan yang mengandung silika (SiO_2) dari jenis amorf yang sangat reaktif atau mengandung silika dan alumina (Al_2O_3), yang dengan sendirinya pozolan tidak mempunyai kemampuan mengikat seperti semen. Dalam ukuran yang sangat halus dan dengan kelembaban cukup, secara kimiawi pozolan dapat dengan mudah bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pada suhu normal membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memiliki sifat seperti semen. Abu terbang merupakan salah satu jenis pozolan, dengan sifat seperti yang dijelaskan dalam ACI 116R tersebut, menjadikan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dan bahan tambahan untuk pembuatan beton. Secara umum reaksi pozzolanik dijabarkan seperti rumus berikut ini :



Copper slag (terak tembaga), merupakan 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. Selama ini *copper slag* banyak digunakan sebagai pengganti agregat halus, dari penelitian yang sudah dilakukan (Aulia, 1999) mengenai pemakaian *copper slag* sebagai pengganti agregat halus pada komposisi 40% dari kebutuhan pasir yang dipakai terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 10%. Semakin halus terak tembaga maka semakin bagus kontribusinya bagi peningkatan mutu beton karena luas permukaan agregat yang diselimuti akan semakin besar. Dengan porositas yang kecil, kekerasan, dan kekedapan yang tinggi dapat menjadi alasan bahwa *copper slag* dapat digunakan untuk meningkatkan mutu beton.

Copper slag dapat digunakan sebagai cementitious tetapi butirannya harus dihaluskan seperti semen karena semakin halus terak tembaga, semakin bagus kontribusinya untuk peningkatan mutu beton. Sebelum digunakan sebagai campuran beton, *copper slag* harus dihaluskan terlebih menyerupai

butiran semen. Semakin halus butiran *copper slag* akan semakin besar *surface area* atau luasan permukaan sehingga copper slag akan semakin reaktif. Pengaruh copper slag sebagai *cementitious* pada beton, antara lain : (ACI Commiteee 233) Meningkatkan workabilitas, beton yang mengandung *copper slag* menghasilkan sifat yang lebih baik daripada beton tanpa *copper slag* hasil permukaan beton lebih halus atau rata pada campuran awal (ACI 233, 2000). Mengurangi tingkat *bleeding* pada campuran beton, bila butiran *copper slag* yang digunakan halus menyerupai semen, maka *bleeding* dapat tereduksi. Namun, bila butiran *copper slag* lebih kasar dari semen, maka *bleeding* meningkat (ACI 233, 2000).

Perawatan dengan penguapan bermanfaat meningkatkan kuat tekan awal pada beton. Hal ini dikarenakan pemanasan yang dilakukan mempercepat proses hidrasi yang terjadi saat proses awal pengikatan adonan beton.

RPC memiliki sifat mekanik yang sangat baik, namun memiliki kelemahan pada pengadaan material yang sangat mahal. Salah satu yang paling mahal adalah penggunaan *silica fume*. *Silica fume* memiliki kandungan SiO₂ dari jenis amorphus mencapai 98%, sehingga perlu mengurangi pemakaian *silica fume* pada RPC, mengganti dengan material lain yang memiliki kandungan kimia terutama SiO₂ amorphus. Atas dasar pemikiran tersebut maka penelitian ini akan mengkaji mengenai pengaruh paduan *copper slag* dan abu terbang terhadap sifat mekanis *Reactive Powder Concrete*.

2. Metodologi Penelitian

Benda uji dibuat dalam bentuk silinder berdiameter 10,0 cm dan tinggi 20,0 cm sebanyak 30 buah dan balok beton dengan ukuran 10,0 cm x 10,0 cm x 40 cm sebanyak 18 buah.

Perhitungan desain campuran pada penelitian ini menggunakan metode *Absolute Volume Method*. Rumus dari metode ini adalah sebagai berikut :

$$V_a + V_s + V_{sf} + V_{gp} + V_p + V_{sp} + V_{cs} + V_{fa} = 1 \quad (2)$$

$$\frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_s}{\rho_s} + \frac{m_{sf}}{\rho_{sf}} + \frac{m_{gp}}{\rho_{gp}} + \frac{m_p}{\rho_p} + \frac{m_{sp}}{\rho_{sp}} + \frac{m_{cs}}{\rho_{cs}} + \frac{m_{fs}}{\rho_{fs}} = 1$$

dengan: V_a = volume air, V_s = volume semen, V_{sf} = volume *silica fume*, V_{gp} = volume tepung kaca, V_p = volume pasir, V_{sp} = volume super plasticizer, V_{cs} = volume *cooper slag*, V_{fa} = volume abu terbang

Tabel 3.1 Proporsi Campuran

Material	Kg/per m ³					
	Mix-1	Mix-2	Mix-3	Mix-4	Mix-5	Mix-6
SEMEN	776,40	778,96	781,55	784,15	786,77	789,40
<i>SUPER PLASTICIZER</i>	23,29	23,37	23,45	23,52	23,60	23,68
<i>SILICA FUME</i>	194,10	194,74	195,39	196,04	196,69	197,35
TEPUNG KACA	155,28	155,79	156,31	156,83	157,35	157,88

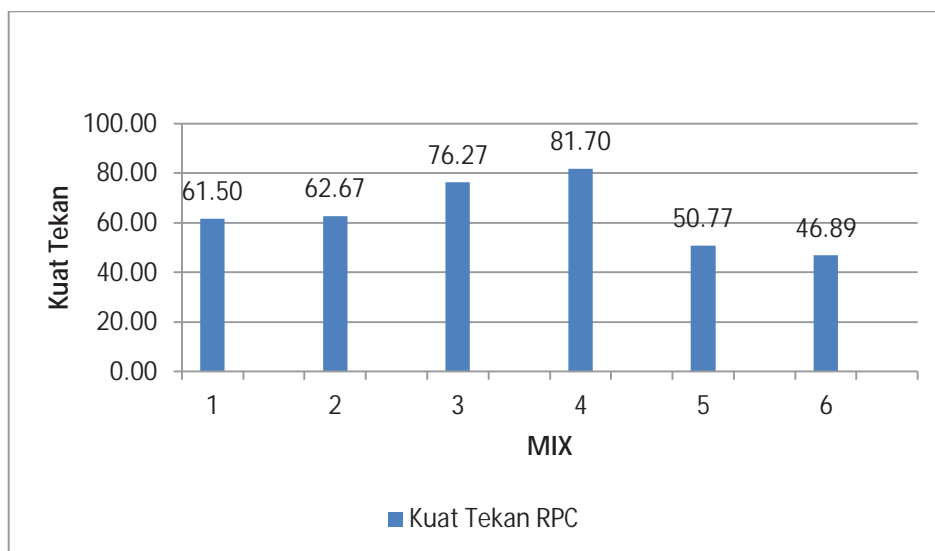
<i>COPPER SLAG</i>	194,10	155,79	117,23	78,41	39,34	0,00
ABU TERBANG	0,00	38,95	78,15	117,62	157,35	197,35
PASIR AIR	854,04	856,86	859,70	862,56	865,44	868,34
AIR	155,28	155,79	156,31	156,83	157,35	157,88

Contoh uji di rawat dalam *steam generator* selama 8 jam dengan temperatur 90°C, dilanjutkan dengan perendaman pada temperatur 25°C. Pada umur 7 hari contoh uji bentuk silinder dilakukan pengujian kekuatan dengan alat test tekan dan contoh uji balok dilakukan pengujian lentur.

3. Hasil Pengujian dan Diskusi

3.1 Pengujian kuat tekan

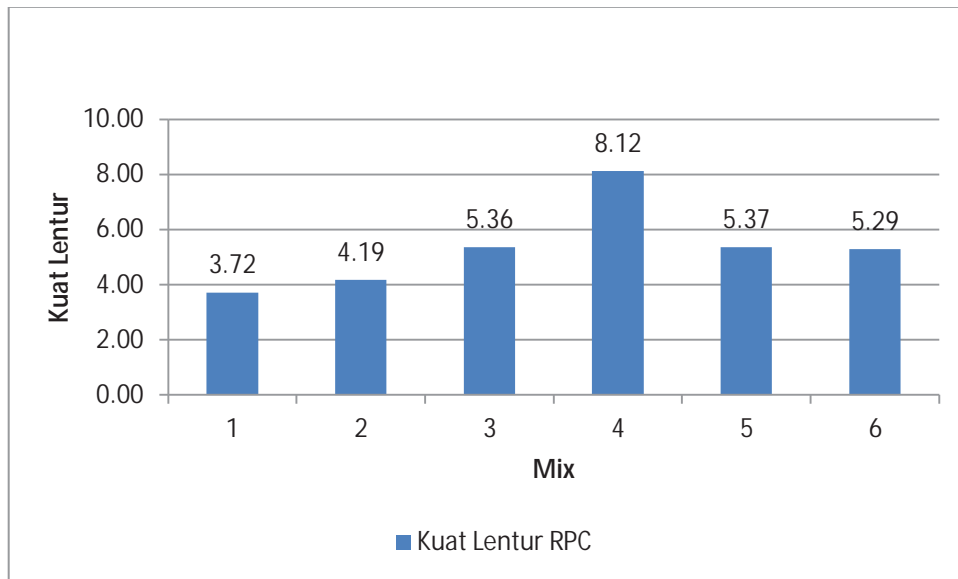
Setelah dilakukan perawatan *steam* dan pengujian tekan pada masing-masing contoh uji pada umur 7 hari untuk berbagai variasi yang sudah ditentukan, terlihat dalam bentuk Gambar 1. Hasil uji kuat tekan beton RPC dengan campuran *copper slag* 10% dan abu terbang 15% memiliki kuat tekan paling maksimal.



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan RPC

3.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Setelah dilakukan perawatan *steam* dan pengujian lentur pada masing-masing contoh uji pada umur 7 hari untuk berbagai variasi yang sudah ditentukan, maka hasilnya terlihat dalam Gambar 2. Pengujian ini juga memperlihatkan, uji kuat lentur beton dengan campuran *copper slag* 10% dan abu terbang 15% memiliki kuat lentur paling maksimal.

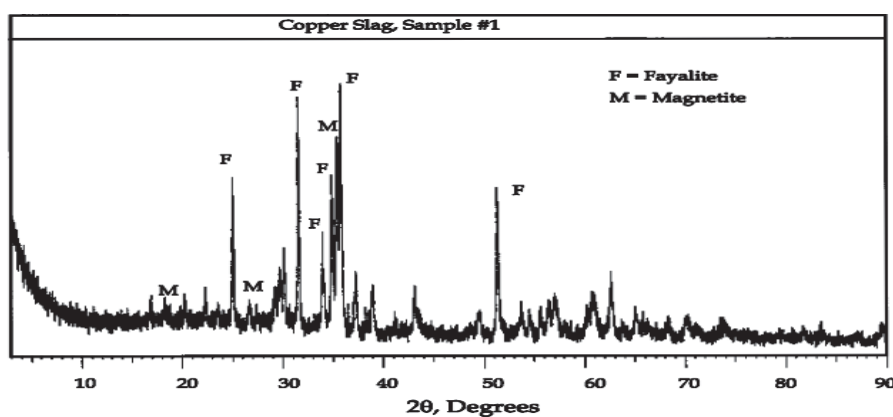


Gambar 2. Grafik Kuat Lentur RPC

3.3 Analisis Peranan *Copper Slag* dalam Beton RPC

Penelitian menunjukkan bahwa *Copper slag* memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis *Reactive Powder Concrete* (RPC). Berdasarkan Studi dari Mobasher dan Devaguptapu (1996), menunjukkan aspek yang bermanfaat penggunaan *copper slag* sebagai bahan pozzolanic. *copper slag* secara meyakinkan dapat meningkatkan kekuatan tekan beton campuran. Reaksi pozzolanic dinyatakan dengan cara dari uji XRD seperti Gambar 3. Penggunaan kapur sebagai penggerak sebuah hidrasi adalah evaluasi dan ditunjukkan untuk meningkatkan tingkat kekuatan.

Hasil yang diperoleh dari studi ini menunjukkan potensi terak tembaga sebagai mineral campuran dalam beton.



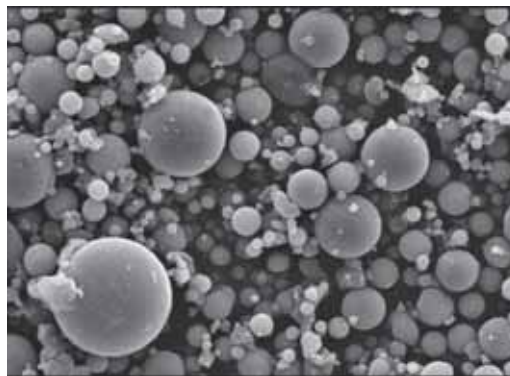
Gambar 3. Grafik XRD sampel *copper slag* (Mobasher dan Devaguptapu, 1996)

Gambar 3. Menandakan, *copper slag* cenderung bersifat *Amorphous* ditandai dengan grafik didominasi *noise* (pada range 80-90 degrees) bukan *peak* (grafik tinggi menjulang pada range 34-37 degrees) yang merupakan ciri dari *Kristalin*, hal ini mendukung bahwa *copper slag* dapat meningkatkan mutu beton karena bersifat *reactive filler* (mengandung SiO_2 yang *Amorphous*),

Namun perlu dibuktikan melalui hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk lebih memastikan kandungan *copper slag* yang ikut bereaksi. Dari penelitian Naganur dan Chentan (2014) dari hasil SEM didapat beton dengan campuran 40% memiliki tekstur yang lebih padat dibanding beton tanpa campuran *copper slag* sehingga meningkatkan kekuatan beton.

3.4 Analisis Peranan Abu Terbang dalam Beton RPC

Penelitian menunjukkan bahwa Abu terbang memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis *Reactive Powder Concrete* (RPC). Menurut ACI 116 R karena kehalusan dan bentuk bulat butirannya seperti ditunjukkan pada Gambar 4, maka pemakaian abu terbang pada adukan beton dapat menambah kelecakan pada adukan beton. Jika beton memiliki kelecakan yang baik maka beton lebih mudah dipadatkan sehingga tidak menimbulkan banyaknya rongga udara pada cetakan beton dan tidak menyebabkan terjadinya segregasi (terpisahnya komponen-komponen beton segar dari adukan).

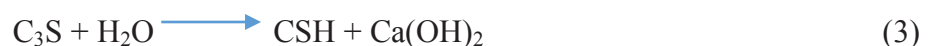


Gambar 4. Ukuran fisik abu terbang (*Kentucky Ash*, 2016)

ACI 116R mengatakan, abu terbang mengandung silika (SiO_2) dari jenis amorf yang sangat reaktif dan dalam ukuran yang sangat halus, abu terbang dapat dengan mudah bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pada suhu normal membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memiliki sifat seperti semen sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis beton. Pada umumnya kandungan SiO_2 pada abu terbang adalah 40-60 %.

3.5 Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan *Reactive Powder Concrete*

Gambar 1. Menyajikan nilai kuat tekan yang mampu dicapai RPC dengan paduan *copper slag* dan abu terbang, hasil pengujian kuat tekan didapatkan bahwa kuat tekan paling maksimal adalah 10% *copper slag*–15% Abu terbang yaitu sebesar 81,70 MPa.



Hal ini disebabkan *copper slag* dan Abu terbang akan bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ produk hidrasi semen pada persamaan 3 yang disebut sebagai reaksi pozzolanik seperti yang dituliskan pada persamaan 1. CSH_{II} yang terbentuk pada reaksi pozzolanik berakibat beton menjadi semakin kuat, komposisi optimal untuk paduan *copper slag* dan abu terbang adalah *copper slag* 10% dan abu terbang 15% terhadap massa semen.

Untuk variasi CS0-FA25 memiliki kekuatan yang paling rendah hal ini terjadi karena Abu terbang yang tidak mengalami proses pengikatan C-S-H akan menjadi *filler* pengisi dari rongga udara/

rongga kosong. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak Abu terbang yang digunakan belum tentu mutu beton akan baik, karena dalam proses pengikatan dibutuhkan reaksi kedua yang terjadi dari semen, yaitu reaksi pozolanik seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1.

Pada variasi CS0-FA25 memiliki kadar SiO_2 yang lebih banyak dibanding dengan Ca(OH)_2 , karena kelebihan dari SiO_2 akan menjadi pengganggu dalam proses reaksi dan menjadi *filler* dalam beton sedangkan pada variasi optimal (CS10-FA15) memiliki kadar SiO_2 yang hampir sama dengan Ca(OH)_2 sehingga reaksi pozzolanik yang terjadi adalah maksimal.

3.6 Analisis Hasil Pengujian Kuat Lentur *Reactive Powder Concrete*

Gambar 2. Menunjukkan nilai pengujian kuat lentur balok beton, pada variasi CS10-FA15 menghasilkan kuat lentur terkuat yaitu 8,12 MPa. Hal ini sebanding dengan kuat tekan yang telah dilakukan pada penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak copper slag ataupun Abu terbang belum tentu dapat meningkatkan sifat mekanis dari RPC namun harus tepat pada kadar optimumnya. Dari hal ini juga menunjukkan kolerasi antara kuat tekan dan kuat lentur seperti yang ditetapkan ACI nilai $0.75\sqrt{f'c}$ untuk *modulus of rupture* beton normal tidak berlaku pada *Reactive Powder Concrete* (RPC).

4 KESIMPULAN

Berdasar pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peningkatan kekuatan RPC dapat dilakukan dengan menambahkan *copper slag* pada ukuran yang sangat kecil yaitu $60\mu\text{m}$.
2. Nilai *modulus of rupture* yang dihitung berdasarkan kuat tekannya dimana nilai *modulus of rupture* adalah hasil kali suatu konstanta dengan akar kuat tekannya, ternyata tidak relevan untuk digunakan pada *Reactive Powder Concrete* (RPC) nilainya tidak berlaku $0.75\sqrt{f'c}$.
3. Pada paduan antara *copper slag* dan abu terbang dalam pembuatan RPC, *Copper slag* berfungsi sebagai *reactive filler* karena mengandung SiO_2 yang *Amorphous* sehingga memicu terjadinya reaksi pozolanik.
4. Pada paduan antara *copper slag* dan abu terbang dalam pembuatan RPC, abu terbang juga berfungsi sebagai *reactive filler* karena mengandung SiO_2 yang *Amorphous* sehingga dapat juga memicu terjadinya reaksi pozolanik.
5. Paduan dengan jumlah yang tepat dapat menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur yang tinggi.
6. Paduan kadar 10% *copper slag* dan 15% abu terbang mampu menghasilkan kuat tekan maksimal yaitu 81,7 MPa
7. Paduan kadar 10% *copper slag* dan 15% abu terbang mampu menghasilkan kuat lentur maksimal yaitu 8,12 Mpa

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute Committee 233. (2000). "*Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Counstituent in Concrete*".
- American Concrete Institute Committee 116. (2000). "*Cement and Concrete Terminology*". Detroit: American Concrete Institute.
- American Concrete Institute Committee 234. (1996). "*Guide for the Use of Silica Fume in Concrete*". Detroit : American Concrete Institute.
- American Concrete Institute Committee 232. (2003). "*Use of Fly Ash in Concrete*". Detroit: American Concrete Institute.

- Aulia Hamzah,(1999). “*Sifat Fisik dan Mekanik Beton Mutu Tinggi dengan Campuran Copper Slag*”. Tugas Akhir S-1. FTSP,ITS.
- Citra Wijaya Supiono. (2015). “*Pengaruh Copper Slag Terhadap Sifat Mekanis Reactive Powder Concrete*”. Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil. Jakarta Barat : Universitas Tarumanagara.
- Kentucky Ash. (2016). “*Class F fly ash sample as viewed via SEM at 2000x magnification*”. <http://www.caer.uky.edu/kyasheducation/flyash.shtml>
- Kushartomo, W., F.X. Supartono, T. Kurniawan. (2013). *Pengaruh Penggunaan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Reactive Powder Concrete*. Jurnal Kajian Teknologi , Vol. 9, No.3. Jakarta Barat : Universitas Tarumanagara.
- Mobasher, B., Devaguptapu, R., & Arino, A. M. (1996). “*Effect of copper slag on the hydration of blended cementitious mixtures*”, In K. P. Chong (Ed.), “*Proceedings of the Materials Engineering Conference*”. ASCE. Vol. 2. New York. pp. 1677-1686.