

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 03	NOMER: 03	HALAMAN: 343 - 348	SURABAYA 2017	ISSN: 2252-5009
-------------------------------	---------------	--------------	-----------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

Universitas Negeri Surabaya

1. Gde Agus Yudha Prawira A, S.T., M.T.
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurus Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....i

DAFTAR ISI.....ii

- Vol. 03 Nomor 03/rekat/17 (2017)

ANALISIS NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) TEST PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN STABILISASI KAPUR GAMPING GRESIK

Novi Dwi Pratama, Nur Andajani, 01 – 08

ANALISIS HASIL PERHITUNGAN KONSTRUKSI GEDUNG GRAHA ATMAJA SURABAYA MENGGUNAKAN BEBAN GEMPA SNI 1726-2012 DAN PERHITUNGAN BETON SNI 2847-2013

Ferry Sandrian, Sutikno, 09 – 16

MODIFIKASI PERENCANAAN GEDUNG KANTOR BNL PATERN SURABAYA MENGGUNAKAN METODE BALOK PRATEKAN DENGAN BERDASARKAN SNI 2847:2013

Tono Siswanto, Mochamad Firmansyah S., 17 – 26

ANALISA PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN KONSTRUKSI GEDUNG GRAHA ATMAJA SURABAYA MENGGUNAKAN SNI GEMPA 1726-2002 DAN SNI GEMPA 1726-2012

Erick Ryananda Yulistiya, Sutikno, 27 – 32

ANALISIS PENINGKATAN RUAS JALAN MOJOSARI-PANDANARUM KM 42+435-51+732 KABUPATEN MOJOKERTO JAWA TIMUR

Andik Setiawan, Purwo Mahardi, 33 – 38

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT KERANG DARAH DAN SLUDGE INDUSTRI KERTAS SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR DAN PENAMBAHAN CONPLAST WP 421 DAN MONOMER PADA PEMBUATAN BATAKO

Thobagus Rodhi Firdaus, Mas Suryanto, 39 – 46

ANALISIS PEMAMPATAN WAKTU TERHADAP BIAYA PADA PEMBANGUNAN *MY TOWER HOTEL & APARTMENT PROJECT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *TIME COST TRADE OFF* (TCTO)

Aulia Putri Andhita, Hasan Dani, 47 – 55

ANALISIS MANFAAT-BIAYA PEMBANGUNAN JALAN AKSES DAN JEMBATAN MASTRIJ-JAMBANGAN

Irwan Fachri Muannas, Purwo Mahardi, 56 – 62

PENGARUH SUHU PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DENGAN MOLARITAS 8 M DAN 10 M

Laras Sukmawati Yuwono, Arie Wardhono, 63 – 69

PENGARUH SUHU PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DENGAN MOLARITAS 12 M DAN 14 M

Rifky Farandy Pramudita, Arie Wardhono, 70 – 76

PENGARUH LAMA PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLIMER MEMANFAATKAN FLY ASH DENGAN MOLARITAS 8M DAN 10M

Danan Jaya Tri Yanuar, Arie Wardhono, 77 – 83

ANALISA PERKIRAAN TOTAL WAKTU DAN BIAYA PROYEK DENGAN MENGGUNAKAN METODE COST SCHEDULE CONTROL SYSTEM CRITERIA (C/S-CSC) PADA PELAKSANAAN STRUKTUR PEMBANGUNAN FASUM (FASILITAS UMUM) DAN FASOS (FASILITAS SOSIAL) PT. INDUSTRI GULA GLENMORE KABUPATEN BANYUWANGI

Priestianti Diandra, Mas Suryanto HS., 84 – 90

IDENTIFIKASI DAN ANALISA RISIKO KONSTRUKSI YANG MEMPENGARUHI MUTU DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS DAN FAULT TREE ANALYSIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMEN GRAND SUNGKONO LAGOON SURABAYA

Trisna Anggi Prasetya, Mas Suryanto HS., 91 – 98

PENGARUH LAMA PEMANASAN TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR GEOPOLYMER DENGAN MOLARITAS TINGGI

Rizky Ismantoro Putra, Arie Wardhono., 99 – 104

PENGARUH PENAMBAHAN ABU AMPAS TEBU (*BAGASSE ASH*) PADA KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR STRUKTUR BALOK

Aris Widodo, Sutikno, 105 – 111

EFISIENSI BIAYA PEMBESIAN BERDASARKAN BESTAT PADA PEKERJAAN PIER JEMBATAN TOL *SUMO MAIN ROAD STA 12+266.746* DI PT WIJAYA KARYA (Persero) Tbk.

Widhitya Haryoko, Bambang Sabariman, 112 – 118

“PENERAPAN STATISTICAL PROCESS CONTROL UNTUK PENGENDALIAN MUTU SEMEN DI PT. SEMEN INDONESIA”

<i>Dwi Sagti Nur Yunita, Hasan Dani,</i>	119 – 130
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH MARMER TERHADAP POTENSIAL SWELLING PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO	
<i>Dian Rokhmatika Siregar, Nur Andajani,</i>	131 – 137
SUDI KELAYAKAN ASPEK FINANSIAL PEMBANGUNAN PASAR SAYUR BARU DI KABUPATEN MAGETAN	
<i>Syahrul Rizal Nur Afan, Mas Suryanto H.s,</i>	138 – 144
STUDI KELAYAKAN INVESTASI HUNIAN RUMAH SUSUN DI DESA MOJOSARIKEO KEC. DRIYOREJO KAB. GRESIK DITINJAU DARI ASPEK FINANSIAL	
<i>Nurlaili Khasanatus Salis, Mas Suryanto H.s,</i>	145 – 154
“PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN TROUGH PRATT TRUSS TIGA TUMPUAN”	
<i>Reissa Rachmania, Sutikno,</i>	155 – 167
PENGARUH PENGGUNAAN COPPER SLAG SEBAGAI PENGANTI PASIR TERHADAP KUALITAS GENTENG BETON SESUAI SNI 0096:2007	
<i>Dyah Wahyuningtyas, Suprapto,</i>	168 – 174
PENGARUH PENGGUNAAN COPPER SLAG SEBAGAI PENGANTI PASIR (<i>FINE AGGREGATE</i>) PADA CAMPURAN <i>PAVING BLOCK</i>	
<i>Lianita Kurniawati, Suprapto,</i>	175 – 180
“PENGARUH NORMALISASI KALI SADAR TERHADAP SISTEM DRAINASE PENGENDALIAN BANJIR WILAYAH KECAMATAN MOJOANYAR KABUPATEN MOJOKERTO”	
<i>Beba Shonia Nur A’zhami, Kusnan,</i>	181 – 191
PENERAPAN STATISTICAL PROCESS CONTROL UNTUK PENGENDALIAN MUTU BETON <i>READY MIX</i> DI PT. MERAK JAYA BETON	
<i>Sonia Ariyanti, Mas Suryanto HS.,</i>	192 – 201

ANALISIS PERBANDINGAN PERENCANAAN TEBAL LAPIS TAMBAH DENGAN METODE MANUAL DESAIN PERKERASAN BINA MARGA 2013 DAN AASHTO 1993
(Studi Kasus : Ruas Jl. Kalianak Osowilangun, Kecamatan Benowo, Surabaya)

- Faradita Alfianti, Purwo Mahardi,* 202 – 208
“UPAYA PENINGKATAN PENGELOLAAN KARAKTERISTIK SAMPAH RUMAH TANGGA DI KELURAHAN PERAK TIMUR SURABAYA UTARA”
- Feby Ariawan, AriTonang,* 209 – 217
ANALISIS PENGGUNAAN PANEL GLASSFIBER REINFORCED CEMENT (GRC) SEBAGAI PENGGANTI DINDING PRECAST DITINJAU DARI SEGI BIAYA, MUTU, DAN WAKTU PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMENT VENETIAN TOWER GRAND SUNGKONO LAGOON, SURABAYA
- Lailatus Sholihatul Ula, Mas Suryanto H.S.,* 218 – 223
PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BATA RINGAN PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH WIYUNG SURABAYA TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)
- Kwani Eka Gustin, Machfud Ridwan.,* 224 – 230
 PENGGUNAAN BULU AYAM HORN SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SERAT FIBER PADA CAMPURAN GRC (*GLASSFIBRE REINFORCED CEMENT*) PANEL DINDING TERHADAP UJI KEMAMPUAN MEKANIS
- Helsa Adeayu Kumala Putri, Arie Wardhono,* 231 – 237
 PENGGUNAAN POTONGAN SERAT BAMBU ORI SEBAGAI BAHAN PENGGANTI *GLASSFIBER* PADA PEMBUATAN CAMPURAN PANEL DINDING GRC (*GLASSFIBER REINFORCED CEMENT*) TERHADAP UJI KEMAMPUAN MEKANIS
- Riski Dany Saputra, Arie Wardhono,* 238 – 247
 PENGGUNAAN LIMBAH SERABUT KELAPA SEBAGAI PENGGANTI SERAT FIBER PADA PEMBUATAN PANEL DINDING *GLASSFIBER REINFORCED CEMENT*
- Iqhbala Shiddiq, Arie Wardhono,* 248 – 259

STUDI VALUE ENGINEERING PADA PEMBANGUNAN *MY TOWER HOTEL & APARTMENT PROJECT*
PT. SURYA BANGUN PERSADA INDAH (Jl. Rungkut Industri No.4 Surabaya)

<i>Elsa Widya Khinanti, Hasan Dani,</i>	260 – 268
ANALISIS PENERAPAN MANAJEMEN MUTU ISO 9001:2008 PADA BETON PRECAST DI PT. <i>WASKITA PRECAST PLANT SIDOARJO</i>	
<i>Linda Heni Dwi Pratiwi, Mas Suryanto HS,</i>	269 – 278
PENGARUH HIBRIDASI ANTARA SERAT BAJA DAN <i>POLYPROPYLENE</i> PADA PEMBUATAN BETON MUTU NORMAL DENGAN <i>COPPER SLAG</i> SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR	
<i>Moch. Abdul Ghofur, Yogie Risdianto,</i>	279 – 284
STUDI VALUE ENGINEERING TAHAP DESAIN PROYEK PEMBANGUNAN PUNCAK CENTRAL <i>BUSINEES DISTRICT (CBD) SURABAYA</i>	
<i>Elvina Dwi Yustisia, Mas Suryanto,</i>	285 – 291
PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN MUTU ISO 9001:2008 TERHADAP REALISASI PRODUK BETON <i>READY MIX</i> DI PT. SCG JAYAMIX	
<i>Hana Aulia Rahma, Mas Suryanto HS,</i>	292 – 302
ANALISA KARAKTERISTIK MARSHALL LAPISAN ASPAL BETON AC-BC DAN ATB DENGAN TAMBAHAN ABU BATU SEBAGAI FILLER	
<i>Irfan Zhain, Purwo Mahardi</i>	303 – 309
PENGARUH PENAMBAHAN ABU DASAR (<i>BOTTOM ASH</i>) PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TERHADAP NILAI <i>CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)</i> TEST	
<i>Diza Witri Meidilla, Machfud Ridwan,</i>	310 – 318
PENGARUH PENAMBAHAN SERAT <i>POLYPROPYLENE</i> TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON NORMAL DENGAN PENGGUNAAN <i>COPPER SLAG</i> SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS	
<i>Amalia Novita Pratiwi-Yogie Risdianto,</i>	319 – 323
ANALISIS PERBANDINGAN RESPONSTR STRUKTUR GEDUNG DENGAN SISTEM RANGKA <i>OPEN FRAME, SHEAR WALL SEMI-RIGID, DAN SHEAR WALL FULL-RIGID</i> BERDASARKAN SNI 03-1726-2012	
<i>Afie Fakhrusy, M. Firmansyah S.,</i>	324 – 330

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN (*LAND USE*) TERHADAP DIMENSI SALURAN (Studi kasus pada SUB DAS Sidokare, Sidoarjo)

Fitra Noraya Putri, Kusnan, 331 – 342

PENGARUH SUBSTITUSI COPPER SLAG SEBAGAI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK BETON GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR FLY ASH

Ardhisa Narawita Rengganis, Arie Wardhono, 343 – 348



PENGARUH SUBSTITUSI COPPER SLAG SEBAGAI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK BETON GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR FLY ASH

Ardhisa Narawita Rengganis

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
ardhisa_nr@yahoo.co.id

Abstrak

Semen merupakan bahan pokok pembuatan beton yang membawa pengaruh buruk terhadap perusakan lapisan ozon. Produksi semen dunia memberikan kontribusi 1,6 juta ton CO₂ atau 7% pelepasan CaO ke atmosfer. *Copper slag* adalah limbah pengolahan tembaga yang mempunyai karakteristik menyerupai agregat halus. Beton geopolimer merupakan teknologi pengembangan beton yang memanfaatkan *fly ash* sebagai pengganti semen. Peneliti akan membuat beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan *copper slag* sebagai bahan pengganti agregat halus. Beton geopolimer dibuat dengan mutu beton K-225 dan molaritas sebesar 10 M. Persentase substitusi *copper slag* yaitu 0%, 10%, 30% dan 50% terhadap agregat halus. Pengujian kuat tekan dan porositas dilakukan pada usia 28 hari dengan hasil berikut; mix-0 sebesar 17,27 MPa dengan porositas 0,071%, mix-1 sebesar 20,57 MPa dengan porositas 0,051%, mix-2 sebesar 22,28 MPa dengan porositas 0,020%, mix-3 sebesar 25,87 MPa dengan porositas 0,028%. Berat volume usia 28 hari mix-0, mix-1, mix 2 dan mix-3 berturut-turut adalah 2403 kg/m³, 2441 kg/m³, 2454 kg/m³ dan 2468 kg/m³. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi *copper slag* terhadap agregat halus pada beton geopolimer mencapai nilai terbesar pada mix-3 yaitu substitusi *copper slag* 50%. Berat volume pada mix-3 memenuhi berat beton normal sehingga beton geopolimer dapat digunakan untuk kebutuhan konstruksi ringan.

Kata Kunci: beton geopolimer, *fly ash*, *copper slag*, porositas

Abstract

Cement is a staple of concrete manufacture that has a negative effect on the destruction of the ozone layer. World cement production contributes 1.6 million tons of CO₂ or 7% of CaO release to the atmosphere. Copper slag is a copper processing wastewater that has characteristics resembling fine aggregates. Geopolymer concrete is a concrete development technology that utilizes fly ash as a substitute for cement. Researchers will make fly-based geopolymers concrete with copper slag as a substitute for fine aggregates. The geopolymers concrete is made with K-225 concrete and molarity of 10 M. The percentage of copper slag substitution is 0%, 10%, 30% and 50% against fine aggregate. Test of compressive strength and porosity was performed at 28 days with the following results; mix-0 of 17.27 MPa with 0.071% porosity, mix-1 of 20.57 MPa with 0.051% porosity, mix-2 of 22.28 MPa with 0.020% porosity, mix-3 of 25.87 MPa with 0.028 porosity %. The weight of 28 day mix-0, mix-1, mix 2 and mix-3 volume was 2403 kg / m³, 2441 kg / m³, 2454 kg / m³ and 2468 kg / m³, respectively. The results showed that the substitution of copper slag on fine aggregate on geopolymers concrete reached the greatest value in mix-3 of 50% copper slag substitution. The volume weight of mix-3 meets the normal weight of the concrete so that the geopolymers concrete can be used for light construction needs.

Key words: geopolymers concrete, *fly ash*, *copper slag*, porosity

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara berkembang yang mendukung pertumbuhan infrastruktur. Kebutuhan beton juga meningkat seiring meningkatnya permintaan. Konsumsi dunia untuk beton sekitar 8,8 juta ton setiap tahun, dan kebutuhan material ini akan meningkat dari tahun ke tahun sejalan dengan meningkatnya kebutuhan sarana dan prasarana dasar manusia (Metha, 1997)

Selain itu, dalam proses produksi semen portland terjadi pelepasan karbon dioksida (CO₂) yang merupakan kontributor utama pada emisi gas rumah kaca di atmosfer. Produksi tiap ton *clinker* semen mengakibatkan terjadinya pelepasan karbon dioksida (CO₂) sebesar satu ton ke atmosfer. Secara keseluruhan, produksi semen dunia memberikan kontribusi 1,6 ton juta ton karbon dioksida (CO₂) atau sekitar 7% dari

pelepasan CO₂ ke atmosfer (Metha, 2001; Malhotra, 1999; 2002).

Agregat buatan umumnya dibuat dari pecahan batu/ genteng yang bersih atau terak dingin dari tanur tinggi (blast-furnace-slag). Agregat buatan yang lain misalnya; *expanded shale*, *expanded slag*, *cinder*. Terak dingin ialah hasil sampingan daripembakaran bijih besi pada tanur tinggi, yang didinginkan pelan-pelan di udara terbuka. Pemilihan terak dingin secara cermat dapat menghasilkan beton yang baik, dan mungkin malah lebih baik daripada beton dengan agregat alami biasa. Betonnya juga lebih tahan bakar, akan tetapi dapat menyebabkan bajanya cepat berkarat karena kandungan belerang yang ada dalam teraknya (Tjokrodimuljo, 1992).

Copper Slag diperoleh dari PT Smelting Gresik. Perusahaan tersebut adalah pabrik pengolahan biji tembaga menjadi tembaga murni yang terletak di Gresik, Jawa Timur. PT Smelting menghasilkan limbah tembaga (*copper slag*) sebesar 655,00 ton/ tahun (Direktur Eksekutif "Ecoton", Prigi Arisandi. Kamis, 28 Januari 2016, www.voaindonesia.com).

Copper slag adalah hasil limbah industri peleburan, berbentuk pipih dan runcing (tajan) dan sebagian besar mengandung oksida besi dan silikat serta mempunyai susunan kimia (SiO_2) sekitar 30% - 36%, Iron Oxide (FeO) mencapai 45% - 55%, Calcium Oxide (CaO) sekitar 2% - 7%, Aluminium Oxide (Al_2O_3) sekitar 2% - 6%. Copper Slag diduga mempunyai beberapa keuntungan antara lain meningkatkan kekuatan beton, meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dalam air laut, mengurangi panas hidrasi, menurunkan suhu dan memperkecil porositas (Karimah, Rofikatul 2016).

Copper Slag layak digunakan sebagai pengurang jumlah agregat halus dalam beton. Beton normal yang ditambahkan *copper slag* mengalami kenaikan nilai kuat tekan dengan prosentasi *copper slag* 40% dari agregat halus. Kenaikan kuat tekan mencapai 3,9351% dari beton normal tanpa *copper slag* (Asunta H, Maria and Siswandi, 2008)

Usaha untuk mendapatkan beton ramah lingkungan ialah melalui pengembangan beton menggunakan bahan pengikat anorganik. Bahan yang dimaksud yaitu alumina-silikat polymer atau dikenal dengan geopolimer. Geopolymer merupakan sintesa dari material hasil produk sampingan industri seperti abu terbang yang kaya akan kandungan silika dan alumina (Davidovits, 1999).

Alternatif yang dapat diambil dari uraian diatas adalah pemanfaatan bahan limbah industri untuk memenuhi kebutuhan beton yang terus meningkat. *Copper slag* sebagai bahan limbah pengolahan tembaga memiliki kandungan silika yang tinggi sehingga dianggap mampu untuk dijadikan material pengisi sebagian agregat halus. Butiran *copper slag* yang menyerupai agregat halus dan berat jenis lebih besar dibandingkan dengan agregat halus pada umumnya, diharapkan mampu meningkatkan nilai kuat tekan beton geopolimer. Nilai kuat tekan dipengaruhi oleh tingkat kerapatan material penyusun beton tersebut. Semakin padat beton tersebut, maka semakin baik nilai kuat tekannya. Semakin padat beton tersebut, maka semakin sedikit volume pori yang mengisi beton tersebut, sehingga beton tersebut tidak mudah menyerap air. Untuk mengetahui videri pori pada beton, maka perlu dilakukan pengujian porositas pada beton tersebut.

Berdasarkan uraian masalah tersebut, penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi *copper slag* terhadap karakteristik beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan porositas pada beton usia 7 dan 28 hari.

METODE

1. Alat dan Bahan

- Alat uji tekan menggunakan Hidraulic Universal Testing Machine WE-600B, 360V.



Gambar 1. Mesin kuat tekan

b. Copper Slag : PT. Smelting Company, Gresik



Gambar 2. Copper slag

- Agregat halus : Pasir Lumajang
- Agregat kasar : Mojokerto
- Fly Ash : PLTU Paiton
- Air : Air bersih laboratorium

2. Mix Design

Perhitungan *mix design* dibuat berdasarkan pada penelitian Nath & Sarker (2014)

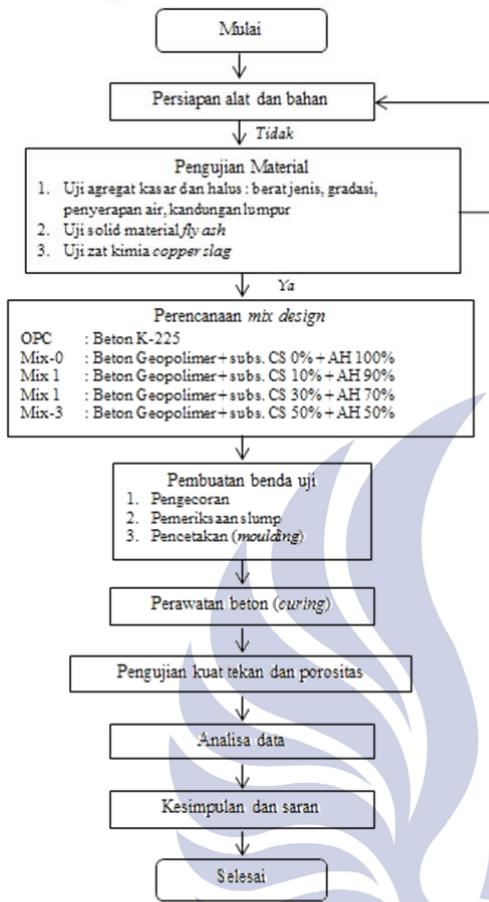
Tabel 1. Mix Design

Kode	Agregat Kasar	Agregat Halus	Copper Slag	Fly Ash	Aktivator	
					S. Silikat	S. Hidroksida
OPC						
Kontrol	1,857	1,000	0,000	0,614	0,147	0,098
Mix 1	1,857	0,900	0,100	0,614	0,147	0,098
Mix 2	1,857	0,700	0,300	0,614	0,147	0,098
Mix 3	1,857	0,500	0,500	0,614	0,147	0,098

Tabel 2. Jumlah sample penelitian

Variasi	Spesifikasi	Umur Pengujian		Kuat Tekan	Porositas
		28 Hari	3		
OPC	K - 225		3	6	6
Mix 0	Subs. copper slag 0%		3	6	6
Mix 1	Subs. copper slag 10%		3	6	6
Mix 3	Subs. copper slag 30%		3	6	6
Mix 5	Subs. copper slag 50%		3	6	6
Total Benda Uji				30	30

3. Metode Eksperimen



1. Persiapan Bahan

a. Pengujian agregat

Pengujian agregat yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, kadar lumpur, gradasi dan berat jenis.

b. Pengujian gradasi copper slag

c. Pengujian kandungan kimia copper slag

d. Pengujian kandungan kimia fly ash

e. Larutan Aktivator

1) Timbang sodium hidroksida sesuai rencana penelitian.

2) Siapkan wadah untuk molarutkan sodium hidroksida.

3) Isi wadah tersebut dengan air sesuai takaran.

4) Kemudian masukkan sodium hidroksida yang telah di timbang ke dalam wadah berisi air. Masukkan perlahan dan aduk hingga tercampur.

5) Setelah semua sodium hidroksida tercampur, biarkan panasnya reda kemudian simpan di tempat dengan suhu normal.

6) Larutan hidroksida siap digunakan setelah mengalami penyimpanan selama 24 jam.

7) Esok hari menjelang 24 jam larutan hidroksida, penguji perlu menyiapkan wadah berbahan kacar atau gelas ukur untuk menimbang sodium silikat.

8) Timbang sodium silikat sesuai rencana penelitian.

9) Jika larutan sodium hidroksida sudah lewat 24 jam, maka larutan tersebut siap untuk ditambahkan sodium silikat ke dalamnya.

10) Masukkan sodium silikat ke dalam larutan sodium hidroksida.

11) Aduk hingga tercampur rata.

12) Larutan aktivator siap digunakan.

2. Pembuatan Benda Uji

Berikut ini adalah langkah pembuatan adonan beton untuk silinder;

a. Siapkan wadah untuk menimbang masing-masing material pengisi beton.

b. Timbang material sesuai rencana penelitian.

c. Masukkan fly ash, pasir dan copper slag kedalam mesin pengaduk.

d. Aduk material tersebut dengan kecepatan rendah.

e. Setelah fly ash, pasir dan copper slag tercampur, pindahkan material tersebut ke dalam mesin pengaduk yang lebih besar. Kemudian masukkan kerikil yang telah ditimbang.

f. Aduk material dengan kecepatan sedang.

g. Pastikan material sebelumnya telah tercampur. Kemudian masukkan larutan aktivator sedikit demi sedikit sambil mengaduk dengan kecepatan rendah.

h. Lakukan menerus sampai larutan aktivator habis dituangkan dan adonan beton tercampur dengan baik

3. Perawatan Benda Uji (curing)

Benda uji yang sudah dilepas dari cetakan, diletakkan di ruangan dengan suhu normal sampai waktu pengujian tiba.

4. Pengujian Benda Uji

a. Pengujian Kuat Tekan

b. Pengujian Porositas

5. Pengolahan Data

Hasil penelitian diitung kemudian disajikan dalam bentuk grafik.

6. Kesimpulan dan Saran

Penulisan laporan disertai hasil pengujian sehingga memunculkan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

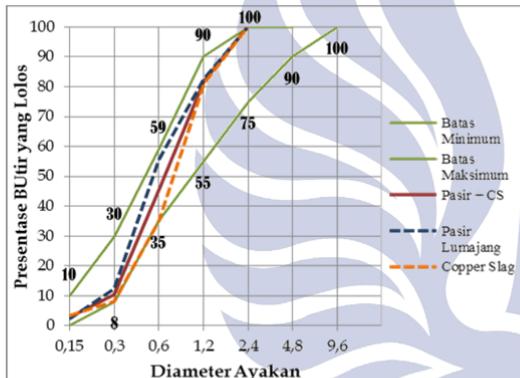
Pengujian Material

Hasil pengujian kandungan kimia copper slag dilakukan oleh pihak laboratorium PT. Smelting Company, Gresik.

Tabel 3. Hasil Uji XRF Copper Slag

Component	Content	
Specification		
Cu	1.02	%
Fe	36.09	%
SiO ₂	34.71	%
S	0.34	%
Al ₂ O ₃	5.56	%
CaO	4.76	%
MgO	1.28	%
Pb	0.12	%
Zn	0.51	%
As	0.045	%
Sb	0.003	%
Bi	<0.001	%
Se	0.001	%
Te	<0.001	%
Ni	<0.001	%
Sn	0.009	%
Cd	0.003	%
F	334	ppm

Pengujian gradasi agregat halus dan *copper slag* dilakukan untuk mengetahui ukuran butiran material tersebut. Berikut ini adalah hasil pengujian gradasi pasir lumajang dan *copper slag*.



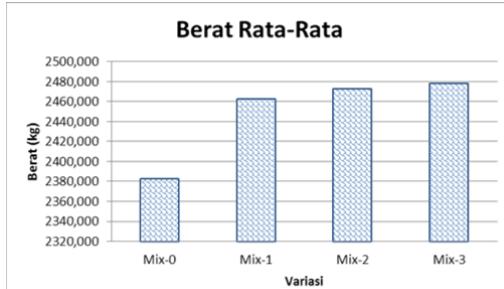
Gambar 2. Hasil Uji Gradiasi Pasir dan Copper Slag

Unit Weight

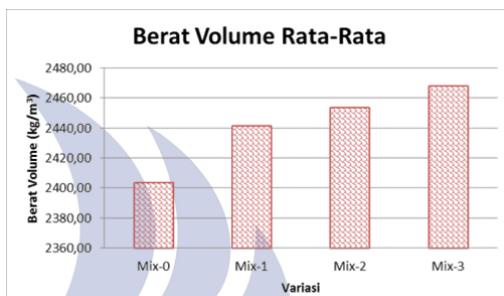
Hasil pengukuran berat isi dapat digunakan sebagai tolak ukur klasifikasi berat jenis beton. Hal ini memudahkan dalam hal penggolongan beton. Pada hasil pengukuran berat dan berat volume beton, menunjukkan bahwa keduanya terus bertambah seiring bertambahnya variasi substitusi *copper slag*.

Tabel 4. Berat Volume Rata-Rata Usia 28 Hari

Variasi	Berat Rata-Rata	Berat Volume Rata-Rata
	(kg)	(kg/m ³)
PC	3,825	2390,875
Mx-0	3,846	2403,542
Mx-1	3,906	2441,458
Mx-2	3,900	2453,958
Mx-3	3,949	2468,125



Gambar 3. Diagram Berat Rata-Rata Beton Usia 28 Hari



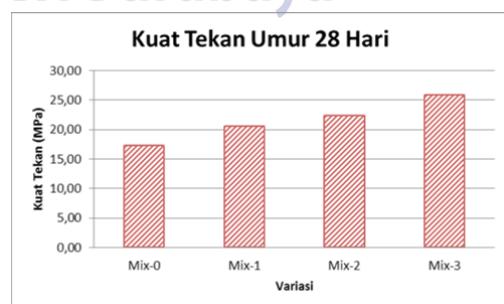
Gambar 4. Diagram Berat Volume Rata-Rata Beton Usia 28 Hari

Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton silinder dapat digunakan sebagai penentuan kualitas beton tersebut. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan rata-rata beton geopolimer. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan berikut, menunjukkan bahwa variasi dengan substitusi copper slag 50% mempunyai nilai kuat tekan terbesar dibandingkan dengan variasi substitusi dibawahnya.

Tabel 5. Kuat Tekan Rata-Rata Usia 28 Hari

Variasi	Kuat Tekan Rata-Rata
	(Mpa)
PC	15,470
Mx-0	17,270
Mx-1	20,570
Mx-2	22,280
Mx-3	25,870



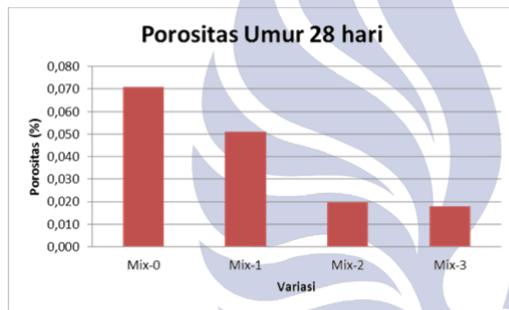
Gambar 5. Kuat Tekan Beton Geopolimer

Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk membantu mengetahui besar pori pada beton geopolimer. Hasil porositas yang besar, menunjukkan bahwa pori pada beton tersebut besar, begitu sebaliknya. Pada hasil pengujian porositas berikut ini, menunjukkan bahwa nilai porositas mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi substitusi copper slag. Nilai porositas terendah yaitu pada variasi substitusi copper slag 50%.

Tabel 6. Porositas Rata-Rata Usia 28 Hari

Variasi	Porositas Rata-Rata
	(%)
PC	0,028
Mx-0	0,071
Mx-1	0,051
Mx-2	0,020
Mx-3	0,018



Gambar 6. Diagram porositas beton

Pembahasan

Beton K-225 tergolong beton mutu rendah dengan nilai kuat tekan sebesar 18,68 Mpa. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan mampu melebihi beton K-225. Berat rata-rata yang tercatat menyatakan bahwa berat beton geopolimer mengalami kenaikan seiring bertambahnya substitusi copper slag. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, beton geopolimer yang dibuat memiliki berat volume yang tergolong dalam beton normal dengan batasan 2500 kg/m^3 – 2500 kg/m^3 .



Gambar 7. Hubungan Berat Volume dengan Copper Slag

Berdasarkan nilai kuat tekan beton geopolimer dengan substitusi copper slag tergolong dalam beton mutu sedang (*medium strength concrete*) dengan batasan 21 Mpa – 40 Mpa. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan, beton geopolimer dengan substitusi copper slag menghasilkan nilai kuat tekan lebih dari beton K-225. Beton geopolimer mix-0 mengalami kenaikan kuat tekan sebesar 0,981% terhadap beton OPC, mix-1 mengalami kenaikan sebesar 1,493%, mix-2 mengalami kenaikan 1,555% dan mix-3 mengalami kenaikan sebesar 1,660%.



Gambar 7. Hubungan kuat tekan dengan berat volume beton geopolimer

Kenaikan berat volume beton geopolimer usia 28 hari terhadap beton OPC sebagai berikut; mix-0 mengalami kenaikan 1,005%, mix-2 mengalami kenaikan 1,016%, mix-2 mengalami kenaikan 1,026% dan mix-3 mengalami kenaikan sebesar 1,032%.



Gambar 8. Diagram Hubungan Kuat Tekan dan Porositas Umur 28 Hari

Hubungan kuat tekan dan porositas beton geopolimer dengan substitusi copper slag berbanding terbalik antara kuat tekan porositas. Beton dengan substitusi copper slag yang lebih besar mempengaruhi kepadatan sehingga mempengaruhi volume pori. Dalam grafik terbaca bahwa semakin besar nilai kuat tekan, maka semakin kecil nilai porositasnya. Berarti, beton dengan substitusi copper slag yang lebih banyak mempunyai kuat tekan yang lebih besar dan nilai porositasnya kecil karena tingkat kepadatannya tinggi.

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan adalah sebagai berikut;

1. Beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan substitusi *copper slag* sebagai agregat halus mempunyai kuat tekan terbesar yaitu 25,18 MPa pada usia 28 hari. Kuat tekan beton geopolimer dengan substitusi *copper slag* sebagai agregat halus mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan beton OPC dan nilai kuat tekan beton geopolimer masih terus mengalami peningkatan.
2. Porositas beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan substitusi *copper slag* sebagai agregat halus mampu menghasilkan nilai terkecil yaitu 0,018%. Nilai tersebut diperoleh pada variasi substitusi *copper slag* sebesar 50%. Bertambahnya jumlah persentase *copper slag* mampu mengurangi nilai porositas beton geopolimer, namun belum sepenuhnya mampu menghilangkan volume pori yang terdapat pada beton geopolimer tersebut.
3. Komposisi terbaik beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* dengan substitusi *copper slag* terhadap agregat halus beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* yaitu dengan perbandingan 50 : 50.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, muncul beberapa saran untuk mencapai penelitian dan hasil yang lebih baik. Adapun saran-saran tersebut adalah sebagai berikut;

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menambah variasi substitusi *copper slag* sehingga memperoleh nilai kuat tekan optimum.
2. Perlu menambah variasi usia pengujian beton geopolimer untuk mengetahui usia optimum pengikatan beton.
3. Untuk penelitian berikutnya, perlu memperhatikan proses pengrajan pembuatan beton geopolimer mengingat *setting time* beton tersebut lebih cepat dibanding beton normal.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perbedaan substitusi *copper slag* pada agregat halus dengan penambahan *copper slag* pada beton normal maupun beton geopolimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Brindha, D., dan S. Nagan. 2011. Durability Studies On Copper Slag Admixed Concrete. *Asian Journal od Civil Engineering*, India
- Davidovits, J., 1999. *Chemistry of Geopolymer System, Terminology*. Paper presented at the Geopolymer '99 International conference, Saint-Quentin, France.
- Hardjito, D., dan Rangan, B. V., 2003, *Development and Properties of Low Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete*. Research report GC 1, Curtin University of Technology, Pert, Australia.

- Hardjito D, et al. 2004. On The Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journal*.
- Kartini, Wahyu. 2003. *Pengaruh Copper Slag Sebagai Cementitious Terhadap Kuat Tekan Beton*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim. Surabaya.
- Khadafi, Muhammad. 2015. *Pemanfaatan Copper Slag Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton Mutu K-225*. Universitas Sriwijaya. Indralaya.
- Manuahe, Riger. Dkk. 2014. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- McCormac, Jack C. 2004. *Reinforced Desain Beton Bertulang Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Metha, P. K., 2001, *Reducing The Enviroment Impact of Concrete*, ACI Concrete International, 23 (10); pp.61-66.
- Tjokrodimuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas gajah Mada, Yogyakarta.
- Wallah, Steenie E., 2014. *Pengaruh Perawatan dan Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang*. Universitas Sam Ratulang. Manado.