

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

# REKATS



# UNESA

Universitas Negeri Surabaya



| JURNAL ILMIAH<br>TEKNIK SIPIL | VOLUME:<br>01 | NOMER:<br>01 | HALAMAN:<br>412 - 423 | SURABAYA<br>2017 | ISSN:<br>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:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
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:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: [tekniksipilunesa.org](http://tekniksipilunesa.org)

Email: [REKATS](mailto:REKATS)

## DAFTAR ISI

Halaman

|                   |    |
|-------------------|----|
| TIM EJOURNAL..... | i  |
| DAFTAR ISI.....   | ii |

Vol 1 Nomer 1/rekat/17 (2017)

### ANALISIS PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

*Puspa Dewi Ainul Mala, Machfud Ridwan, ..... 01 – 12*

### PEMANFAATAN SERAT KULIT JAGUNG SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PLAFON ETERNIT

*Dian Angga Prasetyo, Sutikno, ..... 13 – 24*

### PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT BAMBU PADA PLAFON GIPSUM DENGAN PEREKAT POLISTER

*Tiang Eko Sukoko, Sutikno, ..... 25 – 33*

### PENERAPAN SAMBUNGAN MEKANIS (METODE PEMBAUTAN) PADA BALOK DENGAN PERLETAKAN SAMBUNGAN $\frac{1}{2}$ PANJANG BALOK DITINJAU DARI KUAT LENTUR BALOK

*Hehen Suhendi, Sutikno, ..... 34 – 38*

### STUDI KELAYAKAN EKONOMI DAN FINANSIAL RENCANA PELEBARAN JALAN TOL WARU-SIDOARJO

*Reynaldo B. Theodorus Tampang Allo, Mas Suryanto HS, ..... 39 – 48*

### PENGARUH SUBSTITUSI FLY ASH DAN PENAMBAHAN SERBUK CANGKANG KERANG DARAH PADA KUALITAS GENTENG BETON

*Mohamad Ari Permadi, Sutikno, ..... 49 – 55*

PENGARUH PENAMBAHAN SLAG SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PERMEABILITAS PADA CAMPURAN PANAS (HOT MIX) ASPAL PORUS

*Rifky Arif Laksono, Purwo Mahardi, ..... 56 – 64*

ANALISA PEMANFAATAN LIMBAH STYROFOAM SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI KE DALAM ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

*Taufan Gerri Noris, Purwo Mahardi, ..... 65 – 70*

ANALISIS PERSEDIAAN MATERIAL PADA PEMBANGUNAN PROYEK MY TOWER HOTEL & APARTMENT DENGAN MENGGUNAKAN METODE MATERIAL REQUIREMENT PLANNING (MRP)

*Tri Wahyuni, Arie Wardhono, ..... 71 – 85*

ANALISIS KECELAKAAN KERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN APARTEMENT GRAND SUNKONO LAGOON SURABAYA

*Great Florentino Miknyo Hendarich, Karyoto, ..... 86 - 100*

PEMANFAATAN SLAG BAJA SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS PADA PEMBUATAN PAVING BLOCK

*Arifin Kurniadi, Sutikno, ..... 101 - 106*

PENERAPAN E-PROCUREMENT PADA PROSES PENGADAAN PEKERJAAN KONSTRUKSI DI UNIT LAYANAN PENGADAAN PEMERINTAH KABUPATEN GRESIK

*Anastastia Ria Utami, Hendra Wahyu Cahyaka, ..... 107 - 116*

PENGARUH PENAMBAHAN SULFUR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI

*Qurratul Ayun, Purwo Mahardi, ..... 117 - 122*

PENGARUH PENAMBAHAN DINDING GESER PADA PERENCANAAN ULANG GEDUNG FAVE HOTEL SURABAYA

*Irwan Wahyu Wicaksana, Sutikno, ..... 123 - 128*

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK (PET) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI

*Rizky Putra Ramadhan, Purwo Mahardi, ..... 129 - 135*

PENGARUH TREATMENT LUMPUR LAPINDO TERHADAP MUTU BATU BATA BAHAN LUMPUR LAPINDO BERDASARKAN SNI 15-2094-2000

*Ah. Yazidun Ni'am, Arie Wardhono, ..... 136 - 143*

ANALISIS PRODUKTIVITAS TOWER CRANE PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG TUNJUNGAN PLAZA 6 SURABAYA

*Sofia Dewi Amalia, Didiek Purwadi, ..... 144 - 155*

ANALISIS PENAMBAHAN LIMBAH MARMER TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK

*Machfud Ridwan, Falaq Karunia Jaya, ..... 156 - 166*

ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PADA PEMASANGAN DINDING BATA RINGAN DI PROYEK PERUMAHAN

*Loga Geocahya Pratama, Sutikno, ..... 167 - 181*

ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA PADA PEMASANGAN GENTENG ATAP METAL DI PROYEK PERUMAHAN

*Siti Komariyah, Hasan Dani, ..... 182 - 191*

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KARBIT TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK

*Nur Fauzan, Nur Andajani, ..... 192 - 200*

|                                                                                                                                                                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| PEMANFAATAN BAHAN TAMBAH <i>POZZOLAN</i> LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN DENGAN AGREGAT <i>PUMICE</i> PADA KUAT TEKAN DAN POROSITAS BETON RINGAN<br><i>Dwi Kurniawan, Arie Wardhono, .....</i>                                                    | 201 - 211 |
| PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI BAHAN DASAR PENGANTI PASIR PADA PEMBUATAN <i>PAVING BLOCK GEOPOLYMER</i><br><i>Feminia Heri Cahyanti, Arie Wardhono, .....</i>                                                                                          | 212 - 219 |
| ANALISIS PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BUSUR RANGKA BAJA<br><i>Siswo Hadi Murdoko, Karyoto, .....</i>                                                                                                                                                 | 220 - 228 |
| ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN PELENGKUNG BAJA<br><i>Achmad Fajrin, Karyoto, .....</i>                                                                                                                                                         | 229 - 237 |
| ANALISA HASIL PERHITUNGAN KONSTRUKSI GEDUNG GRAHA ATMAJA MENGGUNAKAN GEMPA SNI 1726-2002 DENGAN MENGGUNAKAN PERHITUNGAN BETON SNI 2847-2013<br><i>Mohamad Sukoco, Sutikno, .....</i>                                                                       | 238 - 241 |
| ANALISA PENGARUH VARIASI BENTANG KOLOM PADA PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU FMIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TERHADAP PERSYARATAN KOLOM KUAT BALOK LEMAH PADA SRPMK<br><i>Imam Awaludin Asshidiq Ramelan, Arie Wardhono, .....</i> | 242 - 246 |
| PENGARUH PENAMBAHAN SERAT IJUK TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG<br><i>Dyah Rinjani Ratu Pertiwi, Bambang Sabariman, .....</i>                                                                                                                    | 247 - 255 |
| PENGARUH PENAMBAHAN SERAT IJUK DALAM PEMBUATAN BALOK BETON BERTULANG BERDASARKAN UJI KUAT GESER<br><i>Dennes Yuni Puspita, Bambang Sabariman, .....</i>                                                                                                    | 256 - 265 |

PERBANDINGAN PERHITUNGAN EFISIENSI BESI JEMBATAN GELAGAR BETON STRUKTUR ATAS ANTARA JARAK GELAGAR JEMBATAN 1,10 METER; 1,38 METER; 1,83 METER; DAN 2,75 METER

*Tri Wida Amaliya, Sutikno, ..... 266 - 271*

ANALISA PENYEBAB KETERLAMBATAN PROYEK PADA PEMBANGUNAN APARTEMEN ROYAL CITYLOFT DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS*

*Reffi Ike Parastiwi N, Mas Suryanto H.S, ..... 272 - 277*

ANALISA PRODUKTIVITAS KELOMPOK KERJA UNTUK PEKERJAAN PEMASANGAN ALUMUNUM COMPOSITE PANEL PADA PROYEK GEDUNG BERTINGKAT

*Eka Yuliawati, Mas Suryanto H.S, ..... 278 - 290*

STUDI KELAYAKAN INVESTASI PEMBANGUNAN PEMANFAATAN BEKAS LAHAN TAMBANG BATU KAPUR SEBAGAI PERUMAHAN DI DESA BEKTIHARJO KECAMATAN SEMANDING KABUPATEN TUBAN

*Shintiya Nofen Rosila Putri, Mas Suryanto H.S, ..... 291 - 300*

PENGARUH LEBAR PEMOTONGAN PROFIL (e) TERHADAP KEKUATAN LENTUR CASTELLATED BEAM PADA BUKAAN LINGKARAN (CIRCULAR) UNTUK STRUKTUR BALOK

*Arditya Ridho Putra Pratama, Suprpto, ..... 301 - 307*

PENGARUH SUDUT PEMOTONGAN PROFIL ((Ø)) TERHADAP KEKUATAN LENTUR CASTELLATED BEAM PADA BUKAAN RHOMB (RHOMB) UNTUK STRUKTUR BALOK

*Muhammad Irfan Yasin, Suprpto, ..... 308 - 315*

MODEL PENANGGULANGAN BANJIR PADA CATCHMENT AREA KETINTANG SURABAYA (STUDI KASUS JALAN UTAMA KETINTANG)

*Yulis Qamariyah, Kusnan, ..... 316 - 326*

ANALISA PENGARUH VARIASI DIMENSI BALOK PADA PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG LABORATORIUM TERPADU FMIPA UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TERHADAP PERSYARATAN KOLOM KUAT BALOK LEMAH PADA SRPMK

*Akhmad Aras Rosiqin, Arie Wardhono, ..... 327 - 331*

IDENTIFIKASI AWAL STASIUN DAN SHELTER YANG MENJADI TEMPAT PEMBERHENTIAN KA UNTUK PERJALANAN ORANG DI KOTA SURABAYA

*Anita Susanti, Ria Asih Aryani Soemitro, Hitapriya Suprayitno, ..... 332 - 335*

PENGARUH LEBAR PEMOTONGAN PROFIL (E) TERHADAP KEKUATAN LENTUR CASTELLATED BEAM BUKAAN BELAH KETUPAT (RHOMB) UNTUK STRUKTUR BALOK

*Mochammad Alvin Hidayatulloh, Suprpto, ..... 336 - 342*

IDENTIFIKASI AWAL LAYANAN ANGKUTAN KERETA API UNTUK PERJALANAN ORANG DI KOTA SURABAYA

*Anita Susanti, Ria Asih Aryani Soemitro, Hitapriya Suprayitno, ..... 343 - 347*

ANALISIS ALTERNATIF KERUSAKAN JALAN PADA RUAS JALAN LEGUNDI-KRIAN

*Mashita Nur Ayuningtyas, Soeparno, ..... 348 - 357*

PENGARUH KEKUATAN SAMBUNGAN BAJA TULANGAN DENGAN MENGGUNAKAN SAMBUNGAN MEKANIS DITINJAU DARI PERILAKU BALOK BETON BERTULANG

*Sony Arifianto, Andang Widjaja,..... 358 - 364*

ANALISIS KECELAKAAN LALU LINTAS PADA RUAS JALAN NASIONAL DI KOTA SURABAYA

*Nunung Fadylah, Anita Susanti,..... 365 - 370*

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KARBIT TERHADAP POTENSIAL SWELLING PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DI DAERAH DRIYOREJO GRESIK

*Machfud Ridwan, Nur Fauziah,..... 371 - 380*

ANALISIS PENGARUH SUBSTITUSI ASBUTON LGA (LAWELE GRANULAR ASPHALT) PADA ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP CAMPURAN ASPAL PORUS

*Ayuningtyas Surya Mukti, Purwo Mahardi,..... 381 - 387*

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR DALAM PEMBUATAN PAVING STONE GEOPOLMER BERBAHAN DASAR LUMPUR LAPINDO DAN ABU TERBANG TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS (PENYERAPAN)

*Siwi Dias Artini, Arie Wardhono,..... 388 - 396*

PENGARUH PENAMBAHAN PASIR SUNGAI LUMAJANG PADA BATU BATA LUMPUR LAPINDO  
UNTUK MENGURANGI PENYUSUTAN PADA SAAT PROSES PEMBAKARAN MENURUT SNI  
15-2094-2000

*Putri Dwi Rahayu, Arie Wardhono, ..... 397 – 401*

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR DENGAN BAHAN DASAR *FLY ASH* UNTUK PEMBUATAN *PAVING  
STONE GEOPOLYMER* TERHADAP NILAI KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS (PENYERAPAN)

*Jazaul Aummah, Arie Wardhono, ..... 402 – 411*

PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS *PAVING BLOCK  
GEOPOLYMER* BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN LUMPUR LAPINDO

*Alief Alfiansyah, Arie Wardhono, ..... 412 – 423*



## **PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERMEABILITAS PAVING BLOCK GEOPOLYMER BERBAHAN DASAR ABU TERBANG DAN LUMPUR LAPINDO**

Oleh:

**Alief Alfiansyah**

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Prodi S1 Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Negeri Surabaya

[Aliefalfiansyah23.02.1995@gmail.com](mailto:Aliefalfiansyah23.02.1995@gmail.com)

### **Abstrak**

Lumpur lapindo adalah salah satu bencana alam yang ada di Porong, Sidoarjo, Indonesia. Lumpur lapindo disebabkan oleh kesalahan pelaksanaan pengeboran minyak yang dilakukan oleh PT. Lapindo Brantas dan menimbulkan semburan lumpur  $\pm$  650 hektar. Sehingga dari hal tersebut peneliti akan memanfaatkan lumpur lapindo sebagai salah satu bahan baku material konstruksi ramah lingkungan.

Berkembangnya pembangunan saat ini, kebutuhan beton yang semakin meningkat sehingga kebutuhan semen sebagai bahan baku material. Proses produksi semen menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Kebutuhan 1 ton semen dapat menghasilkan 1 ton CO<sub>2</sub> (Davidovits, 1994). Produksi paving block geopolimer berbahan dasar abu terbang yang akan direduksi oleh kapur dan dengan penambahan lumpur lapindo yang menggunakan NaOH 10Molar dengan perbandingan NaOH dan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> yaitu 1,5.

Hasil pengujian menunjukkan komposisi yang paling baik adalah perbandingan semen : pasir 1:3, adalah fly ash 35%, kapur 35%, lumpur lapindo 30%, dengan nilai kuat tekan 12,669 Mpa, nilai permeabilitas 9,997 %, dan nilai ketahanan aus 0,133 mm/menit, sehingga paving block memenuhi spesifikasi mutu kelas C sesuai SNI 03-0691-1996.

**Kata kunci** : lumpur lapindo, fly ash, kapur, geopolimer, paving

### **Abstract**

Lapindo mud is one of the natural disaster in Porong, Sidoarjo, Indonesia. Lapindo mud caused by faulty execution of oil drilling carried out by PT. Lapindo Brantas mudflow and raises  $\pm$  650 hectares. Because of that, researchers will take advantage of the Lapindo mud as a raw material of environmentally friendly construction materials.

Expanding of the current construction, increasing concrete requirements needs cement as raw material. Cement production process generates CO<sub>2</sub> gas. Needs 1 ton of cement can produce 1 ton of CO<sub>2</sub> (Davidovits, 1994). Production of paving blocks geopolimer is made from fly ash to be reduced by the addition of chalk and Lapindo mud using NaOH 10Molar with NaOH and Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ratio of 1.5.

The test results showed the composition of the nicest is the ratio of cement: sand 1: 3, is fly ash 35%, calcium 35%, Lapindo mud 30%. Result the compressive strength 12.669 Mpa, the value of the permeability of 9.997%, and the value of wear resistance 0.133 mm / minutes, and paving block quality classified in grade C accordance to SNI 03-0691-1996

**Keywords** : Lapindo mud, fly ash, chalk, Geopolymer, paving block.

### **PENDAHULUAN**

Saat ini berbagai penelitian telah dilakukan untuk terus mengembangkan bahan konstruksi baru sebagai inovasi dalam pembangunan. Salah satu contoh bahan yaitu lumpur Lapindo yang mulai diteliti untuk bahan material baru, karena lumpur yang memiliki kandungan SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi sehingga lumpur ini dapat dikategorikan sebagai

material pozzolan yang baik, dan baik inovasi bahan campuran material yang sudah ada, salah satunya adalah *paving block*.

Permasalahan utama yang melatar belakangi penelitian ini adalah bencana luapan lumpur panas Lapindo di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo sejak Mei 2006 yang masih terus berlangsung hingga sekarang. Disamping itu, penggunaan material bahan bangunan pada beton yang masih

menggunakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui seperti semen, pasir dan lain – lain. Maka diperlukan upaya untuk memanfaatkan lumpur Lapindo untuk campuran pembuatan *paving block geopolymer* sebagai sumbangan pikiran dalam menangani bencana Lapindo serta melakukan upaya menghindari kelangkaan sumber daya alam di masa mendatang dengan memanfaatkan *fly ash* dan kapur sebagai campuran tambahan lainnya.

Pada umumnya material penyusun *paving block* adalah semen, pasir dan air. Sedangkan bahan campuran pada *paving block geopolymer* adalah *fly ash*, kapur, pasir, dan lumpur lapindo.

Material *fly ash* dalam pembuatan beton dapat saja beraksi secara kimia dengan cairan alkalin pada temperatur tertentu untuk membentuk material campuran yang memiliki sifat seperti semen. Material geopolymer ini digabungkan dengan agregat batuan, kemudian menghasilkan beton *geopolymer* tanpa menggunakan semen lagi (Metha. 1997).

Penambahan kapur berfungsi sebagai pendukung *Fly ash* yang berfungsi juga sebagai *pozolan* pengganti semen, namun fungsi utama kapur adalah plastis, dapat mengeras dan memberikan kekuatan mengikat, menghasilkan rekatan yang bagus untuk mortar (I Kadek Bagus Widayana. 2010).

Di sisi lain, Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai salah satu sumber *pozolan* yang menumpuk sebagai material yang belum diolah menjadi salah satu perhatian di kalangan akademisi untuk mengurangi volumenya di lapangan (Ekaputri dan Triwulan. 2006).

Telah banyak dilakukan penelitian *paving block* dengan menggunakan bahan dasar lumpur Lapindo. Salah satunya adalah penelitian untuk penanganan limbah lumpur lapindo yang dimanfaatkan sebagai pembuatan *paving block* oleh (Fakhrian Aji. 2013).

Dari hasil penelitiannya, didapatkan kuat tekan yang dihasilkan dapat mencapai kebutuhan sesuai dengan SNI 03-0691-1996 tentang paving, pada penelitian untuk penambahan lumpur lapindo sebagai campuran pada *paving block*. Dari hasil yang didapat *paving block* memiliki kuat tekan 10,9 MPa dan ketahanan aus 0,134 mm/menit yang termasuk dalam *paving* kelas D (Dwi Septy Anggri M. 2009).

Pada penelitian ini akan dilakukan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang lumpur Lapindo yaitu pembuatan *paving block* dengan bahan tambahan *fly ash* namun dengan tambahan kapur. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih maksimal dalam pembuatan *Paving block geopolymer*.

## KAJIAN PUSTAKA

*Paving block* merupakan perkerasan block beton yang merupakan versi modern block granit. *Paving block* umumnya digunakan untuk jalan kecil atau jalan kendaraan dan apabila kegunaannya untuk pelayanan yang banyak, masalah pecahan atau pemulihan permukaan dapat diminimumkan (Wignal. 1999).

*Paving block* menurut SK SNI 0819-88 adalah suatu komposisi bahan bangunan yang terbuat dari semen portland atau bahan perekat hidrolis lainnya, seperti air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut.

Sedangkan menurut SK SNI T-04 1990-F, *Paving block* merupakan bagian dari segmen kecil yang terbuat dari beton dengan berbagai bentuk yang dipasang dengan sedemikian rupa sehingga saling mengunci. (Eka Putra, Yusuf. 2016.)

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 klasifikasi *paving block* dibedakan menurut kelas penggunaannya sebagai berikut :

- a. *paving block* mutu A digunakan untuk jalan.
- b. *paving block* mutu B digunakan untuk pelataran parkir
- c. *paving block* mutu C digunakan untuk pejalan kaki
- d. *paving block* mutu D digunakan untuk taman dan kegunaan lain.

## Beton Geopolymer

Saat ini, pengurangan penggunaan semen portland harus menjadi prioritas para praktisi dan produsen semen. Beton *Geopolymer* mulai diperkenalkan sebagai beton ramah lingkungan sebagai solusi beton inovasi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> akibat penggunaan semen portland. Material dasar pembentuk pasta *Geopolymer* adalah sumber *pozolan* baik dari alam maupun

buatan. Material yang bersifat *Pozolan* mengandung silika dan alumina dapat digunakan sebagai binder (pengikat). Diantaranya adalah *Fly ash*, metakaolin dan abu sekam atau material vulkanik (Davidovits. 2008).

Dalam campurannya, sumber silika dan alumina direaksikan dengan larutan alkali sebagai aktivatornya. Untuk itu, diperlukan komposisi aktivator yang tepat sehingga bisa membentuk pasta *Geopolymer* untuk mengikat agregat menjadi beton *Geopolymer*. Aktivator yang umumnya digunakan adalah campuran  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  dengan konsentrasi 8M sampai 14M. Perbandingan antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$  bisa diambil antara 0,4 sampai 2,5 (Hardjito et al. 2004).

### Abu terbang (*Fly Ash*)

*Fly Ash* merupakan limbah sisa pembakaran pada batu bara pada tungku pembakaran listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat *pozolanik* (SNI 03-6414-2002). *Fly Ash* bisa digunakan sebagai bahan pengganti semen karena mengandung sifat *pozolanik*, yaitu bahan dengan kandungan Silika dan Alumina yang jika dicampur dengan air maka akan bereaksi secara kimiawi dengan Kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) membentuk Kalsium Silikat hidrat (CSH) dan Kalsium Alumina hidrat (CAH).

Menurut Hidayat (1986, dikutip dari Michael, Andre, dan Handoko, 2013) penambahan limbah *fly ash* diharapkan bisa menambahkan kekuatan perekat pada beton ringan karena bentuk partikelnya yang sangat kecil. Saat suhu pembakaran antara  $1250^\circ\text{C}$  sampai  $1600^\circ\text{C}$ , material - material yang tahan terhadap api akan bergabung membentuk butiran-butiran berbentuk bola seperti kaca dengan komposisi *silica* ( $\text{SiO}_2$ ), *alumina* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), *iron oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan unsur-unsur minor lainnya.

Pengelompokan *Fly ash* menurut *Canadian Standard CSA A-23.5* terbagi menjadi 3 pada tabel sesuai dengan kadungan karbon (C) dan kadar kapur (CaO) yaitu:

Tabel 2 Perbandingan *Fly ash* ditinjau dari kandungan CaO dan karbon.

|        |            |                 |
|--------|------------|-----------------|
| Type F | CaO < 8 %  | Karbon (C) 6 %  |
| Type C | CaO 8-20 % | Karbon (C) 6 %  |
| Type N | CaO > 20 % | Karbon (C) 10 % |

Kandungan kimia sesuai type yang dibutuhkan dalam *fly ash*, tercantum dalam tabel. (ASTM C.618-95: 305) sebagai berikut:

Tabel 3 kandungan *Fly ash* sesuai jenis, menurut ASTM C.618-95: 305.

| Summary – ASTM C-618, Pozzolan                                 |       |    |    |    |
|----------------------------------------------------------------|-------|----|----|----|
| Chemical                                                       |       | F  | C  | N  |
| $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ | min % | 70 | 50 | 70 |
| $\text{SO}_3$                                                  | max % | 5  | 5  | 4  |
| Moisture Content                                               | max % | 3  | 3  | 3  |
| Loss on Ignition                                               | max % | 6  | 6  | 10 |

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  = Silika + Alumina + Besi

$\text{SO}_3$  = Trioksida sulfur

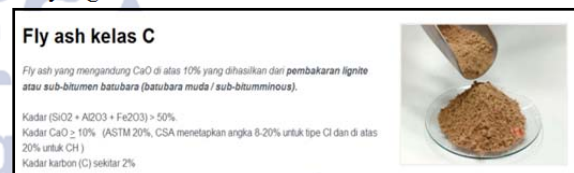
Moisture Content = Kadar air

Loss on ignition = Kehilangan panas

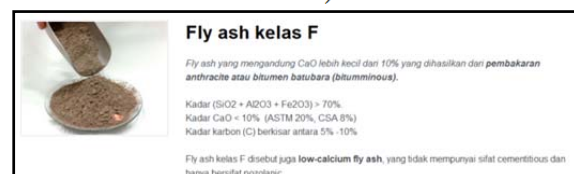
Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton memiliki beberapa keunggulan menurut Paul Nugraha dan Antoni (2007) yaitu dapat meningkatkan *workability*, mengurangi terjadinya segregasi, peningkatan kekuatan beton, meningkatkan kepadatan beton (*density*), serta mengurangi terjadinya penyusutan beton. (Skripsi; Wenny Masita Rosanti, 2016).

Dalam penelitian ini menggunakan *Fly ash C*, karena memiliki kandungan kalsium yang paling tinggi dibandingkan dengan type *Fly ash* lainnya yaitu  $\text{CaO}$  8-20% dan itu berpengaruh kepada sifat *pozolanik* yang lebih maksimal.

Ini adalah spesifikasi dari 2 macam jenis *fly ash* yang ada:



Gambar 1 Spesifikasi *Fly ash* type C (ASTM C.618-95: 305).



Gambar 2 Spesifikasi *Fly ash* type F (ASTM C.618-95: 305).

## Kapur

Kapur terdiri dari kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) dalam bentuk kalsit mineral. Kapur memiliki sifat yang mudah menyerap air.

Kapur memiliki beberapa sifat yang baik sebagai bahan bangunan. Sifat-sifat kapur sebagai bahan bangunan (bahan ikat) menurut I Kadek Bagus Widayana, 2010 yaitu:

1. Mempunyai sifat plastis yang baik (tidak getas)
2. Sebagai mortel, memberi kekuatan pada tembok.
3. Dapat mengeras dengan cepat dan mudah.
4. Mudah dikerjakan.
5. Mempunyai ikatan yang bagus dengan batu atau bata.

Dalam penelitian ini menggunakan kapur padam kering yang ditinjau dari bentuk, sedangkan jika ditinjau dari cara pengerasannya termasuk jenis hidrolis yang memiliki sifat apabila diaduk dengan air, dalam beberapa waktu akan mengeras di dalam air maupun udara (Frick, Heinz dan Koesmartadi, Ch. 1999, Ilmu Bahan Bangunan).

## Lumpur Lapindo

Lumpur Lapindo adalah lumpur yang berasal dari bencana luapan lumpur panas Lapindo di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo sejak Mei 2006 yang masih terus berlangsung hingga sekarang.

Bedasar dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Depudi Bidang TPSA-BPPT, lumpur lapindo mempunyai kandungan mineral serta kimia yang baik untuk pembuatan keramik dan bahan bangunan yang berbahan dasar semen karena lumpur lapindo dinilai memiliki kandungan silika yang tinggi.

## Pasir

Pasir merupakan agregat halus yang terdiri dari butiran-butiran sebesar 0,15– 4,8mm. Pasir didapat dari disintergrasi batuan alam ataupun dengan memecahnya sendiri. Terdapat beberapa jenis pasir alam yaitu pasir galian, pasir sungai.

Di daerah tertentu, pasir dapat mengandung mineral-mineral berat. Umumnya batu-batuan porous dan yang sudah berkurang kekuatannya akibat pelapukan dapat pecah

karena gaya-gaya yang terdapat di dalam sungai. (Tri Mulyono. 2003).

## Alkali aktivator

Aktivator merupakan zat yang menyebabkan zat lain bereaksi. Dalam penelitian ini, aktivator yang digunakan adalah zat alkali yang terhidrasi yaitu sodium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur Al dan Si, sedangkan sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat polimerisasi (Hardjito et al, 2004 dalam Fitriani, 2010).

## Kuat Tekan

Pemeriksaan kuat tekan *Paving block* dilakukan untuk mengetahui akan kuat tekan yang sebenarnya apakah sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan atau tidak. Mesin yang digunakan untuk pengujian kuat tekan pada *paving Block* adalah *Hidraulic universal testing machine*.

Contoh uji yang telah siap, ditekan hingga hancur dengan mesin penekan yang dapat diatur kecepatannya. Kecepatan penekanan, dari mulai pemberian beban sampai contoh uji hancur, diatur dalam waktu 1 atau 2 menit. Arah penekanan pada contoh uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaiannya (SNI 03-0691-1996).

Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L}$$

Keterangan:

P = beban tekan, N

L = luas bidang tekan  $\text{mm}^2$

## Uji Permeabilitas

Pengukuran daya serap merupakan persentase perbandingan antara selisih berat basah dengan berat kering, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 03-0691-1996. Sampel yang sudah diukur beratnya merupakan.

berat kering dan direndam selama 24 jam lalu diukur berat basahnya.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Keterangan :

A = berat paving beton basah (gr)

B = berat paving beton kering (gr)

### Ketahanan aus

Pengukuran ketahanan aus adalah dimana ketahanan permukaan bahan terhadap gesekan benda tumpul maupun keras, sesuai dengan SNI paving 03-0691-1996 dijelaskan bahwa ketahanan aus dengan satuan mm/menit.

Untuk mewujudkan itu semua digunakanlah alat bantu kertas gosok dengan kekasaran no 2.

Ketahanan aus merupakan perbandingan ketebalan bahan sebelum mengalami gesekan dan sesudah di gesekan.

### METODE PENELITIAN

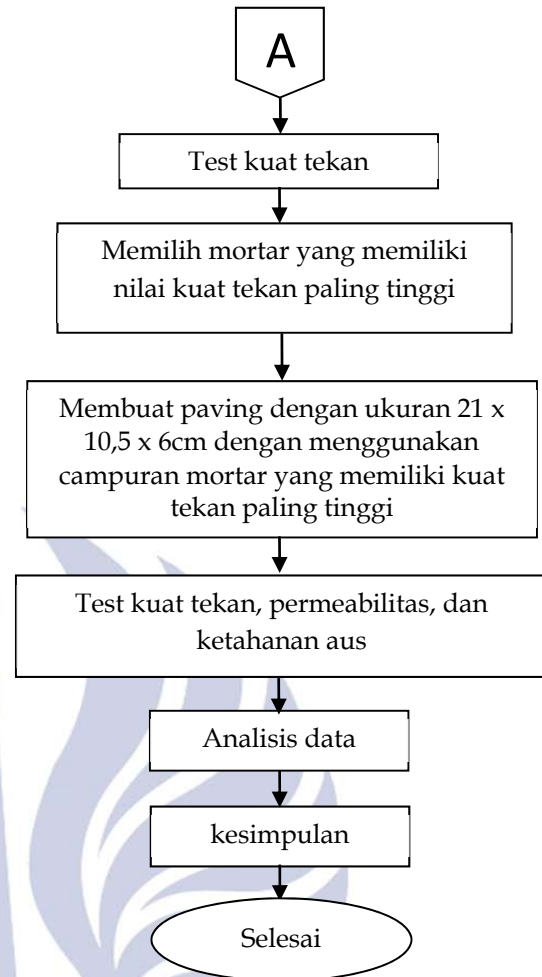
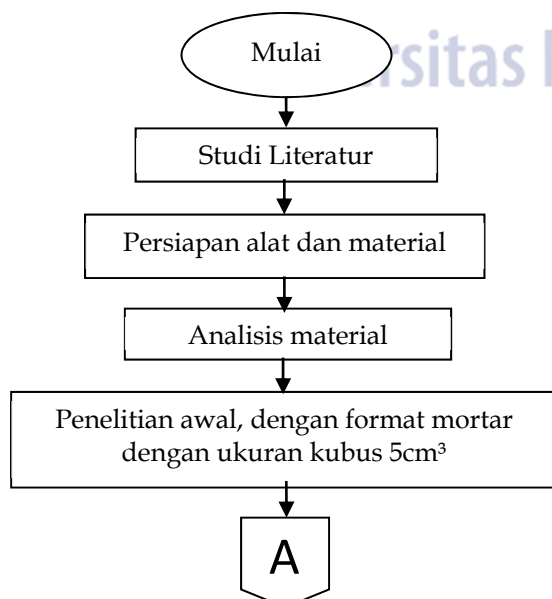
Metode penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Jursan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Tahapan pelaksanaan penelitian yaitu.

1. Tahap persiapan alat dan bahan
2. Tahap pengujian bahan

Adalah segala bahan material penyusun paving block dilakukan pengujian, agar diketahui pemenuhan persyaratan pada bahan yang dilakukan pengujian.

- a. Pengujian berat jenis, antara lain berat jenis lumpur lapindo 110°C, berat jenis *fly ash*, berat jenis pasir.
- b. Pengujian *fly ash*, kapur, dan lumpur lapindo yaitu pengujian XRF untuk mengetahui kandungan unsur kimia material.

### Prosedur penelitian



### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian Material

Semua bahan yang akan digunakan dalam pembuatan paving block *Geopolimer* telah di uji XRF (*X-ray Flourescence*) di laboratorium Lab Sentral Mineral dan Material FMIPA UM, hasil analisis XRF menunjukkan pola difraksi yang terekam dalam sudut 20 dari rentang 5° hingga 90°.

#### 1. Pengujian *Fly Ash*

| Sample results - Averages                       |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
|-------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|--|--|--|
| Fly ash                                         |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Sample ident                                    |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Application <Standardless>                      |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Sequence Average of 3                           |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Measurement period - start 16-May-2016 08:09:18 |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Measurement period - end 16-May-2016 08:39:08   |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Position 2                                      |                |                |                |                |                 |                |               |  |  |  |
| Compound                                        | Al             | Si             | K              | Ca             | Ti              | V              |               |  |  |  |
| Conc                                            | 4.9 +/- 0.2    | 13.4 +/- 0.2   | 1.4 +/- 0.01   | 18.3 +/- 0.08  | 1.21 +/- 0.007  | 0.05 +/- 0.009 |               |  |  |  |
| Unit                                            | %              | %              | %              | %              | %               | %              |               |  |  |  |
| Compound                                        | Cr             | Mn             | Fe             | Ni             | Cu              | Zn             |               |  |  |  |
| Conc                                            | 0.11 +/- 0.002 | 0.55 +/- 0.02  | 54.62 +/- 0.15 | 0.16 +/- 0.008 | 0.093 +/- 0.003 | 0.06 +/- 0.003 |               |  |  |  |
| Unit                                            | %              | %              | %              | %              | %               | %              |               |  |  |  |
| Compound                                        | Sr             | Rb             | Mo             | Ba             | Eu              | Re             |               |  |  |  |
| Conc                                            | 1.00 +/- 0.04  | 0.28 +/- 0.008 | 2.5 +/- 0.02   | 0.47 +/- 0.06  | 0.47 +/- 0.12   | 0.1 +/- 0.03   |               |  |  |  |
| Unit                                            | %              | %              | %              | %              | %               | %              |               |  |  |  |
| Compound                                        |                |                |                |                |                 |                | Hg            |  |  |  |
| Conc                                            |                |                |                |                |                 |                | 0.45 +/- 0.02 |  |  |  |
| Unit                                            |                |                |                |                |                 |                | %             |  |  |  |

Gambar 3 Tabel analisis XRF pada *fly ash*.

Tabel 4 Susunan kandungan kimia pada analisis

| NO | XRF pada <i>fly ash</i> . |        |
|----|---------------------------|--------|
| 1  | Al                        | 4,9%   |
| 2  | Si                        | 13,3%  |
| 3  | K                         | 1,4%   |
| 4  | Ca                        | 16,3%  |
| 5  | Ti                        | 1,21%  |
| 6  | V                         | 0,05%  |
| 7  | Cr                        | 0,11%  |
| 8  | Mn                        | 0,55%  |
| 9  | Fe                        | 54,62% |
| 10 | Ni                        | 0,16%  |
| 11 | Cu                        | 0,093% |
| 12 | Zn                        | 0,06%  |
| 13 | Sr                        | 1%     |
| 14 | Rb                        | 0,28%  |

Dari hasil tabel dan gambar di atas bisa disimpulkan untuk  $\text{SiO} + \text{Al} + \text{Fe} = 72,92\%$  namun  $\text{CaO} = 18,3\%$ , dan fisik dari *Fly ash* berwarna kemerahan. Maka untuk sementara ini dapat disimpulkan *Fly ash* termasuk dalam type C.

## 2. Kapur

Dalam penelitian ini menggunakan kapur padam kering yang ditinjau dari bentuk, sedangkan jika ditinjau dari cara pengerasannya termasuk jenis hidrolis yang memiliki sifat apabila diaduk dengan air dalam beberapa waktu akan mengeras di dalam air maupun udara (Frick, Heinz dan Koesmartadi, Ch. 1999)

Kandung kimia yang telah di uji XRF di laboratorium Lab Sentral Mineral dan Material FMIPA UM dengan bentuk tabel adalah:

| Sample results - Averages                       |                  |
|-------------------------------------------------|------------------|
| Sample ident                                    |                  |
| Kapur                                           |                  |
| Application <Standardless>                      |                  |
| Sequence Average of 3                           |                  |
| Measurement period - start 16-May-2016 08:07:17 |                  |
| Measurement period - end 16-May-2016 08:37:14   |                  |
| Position 1                                      |                  |
| Compound                                        | Ca               |
| Conc                                            | 98.01 +/- 0.03   |
| Unit                                            | %                |
| Compound                                        | Fe               |
| Conc                                            | 0.31 +/- 0.002   |
| Unit                                            | %                |
| Compound                                        | Cu               |
| Conc                                            | 0.048 +/- 0.0005 |
| Unit                                            | %                |
| Compound                                        | Sr               |
| Conc                                            | 0.89 +/- 0.02    |
| Unit                                            | %                |
| Compound                                        | Yb               |
| Conc                                            | 0.76 +/- 0.02    |
| Unit                                            | %                |

Gambar 4 Analisis XRF pada kapur padam.

Tabel 5 Susunan kandungan kimia pada analisis

| NO | XRF pada kapur padam. |        |
|----|-----------------------|--------|
| 1  | Ca                    | 96,01% |
| 2  | Fe                    | 0,31%  |
| 3  | Cu                    | 0,048% |
| 4  | Sr                    | 0,89%  |
| 5  | Yb                    | 0,76%  |

Dalam tabel di atas bahwa kandungan Ca atau kalsium adalah sebesar 98 %.

## 3. Lumpur lapindo

Kandung kimia untuk lusi setelah dioven 110° yang telah di uji XRF di laboratorium Lab Sentral Mineral dan Material FMIPA UM dengan bentuk tabel adalah:

| Sample results - Averages                       |                 |
|-------------------------------------------------|-----------------|
| Sample ident                                    |                 |
| Lusi 110 C                                      |                 |
| Application <Standardless>                      |                 |
| Sequence Average of 3                           |                 |
| Measurement period - start 16-May-2016 08:11:30 |                 |
| Measurement period - end 16-May-2016 08:41:23   |                 |
| Position 3                                      |                 |
| Compound                                        | Al              |
| Conc                                            | 10 +/- 0.1      |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Si              |
| Conc                                            | 30.5 +/- 0.5    |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | S               |
| Conc                                            | 0.09 +/- 0.0003 |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | K               |
| Conc                                            | 3.47 +/- 0.13   |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Ca              |
| Conc                                            | 9.12 +/- 0.04   |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Ti              |
| Conc                                            | 2.11 +/- 0.01   |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | V               |
| Conc                                            | 0.12 +/- 0.007  |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Cr              |
| Conc                                            | 0.097 +/- 0.006 |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Mn              |
| Conc                                            | 0.58 +/- 0.007  |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Fe              |
| Conc                                            | 37.7 +/- 0.4    |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Ni              |
| Conc                                            | 0.18 +/- 0.001  |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Cu              |
| Conc                                            | 0.16 +/- 0.007  |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Zn              |
| Conc                                            | 0.08 +/- 0.003  |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Sr              |
| Conc                                            | 1.1 +/- 0.03    |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Mo              |
| Conc                                            | 3.6 +/- 0.8     |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Eu              |
| Conc                                            | 0.3 +/- 0.05    |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Yb              |
| Conc                                            | 0.05 +/- 0.01   |
| Unit                                            | %               |
| Compound                                        | Re              |
| Conc                                            | 0.2 +/- 0.02    |
| Unit                                            | %               |

Gambar 5 Analisis XRF pada Lumpur 110°.

Tabel 6 Susunan kandungan kimia pada analisis

| NO | XRF pada Lumpur lapindo 110°. |        |
|----|-------------------------------|--------|
| 1  | Al                            | 10%    |
| 2  | Si                            | 30,5%  |
| 3  | S                             | 0,09%  |
| 4  | K                             | 3,47%  |
| 5  | Ca                            | 9,12%  |
| 6  | Ti                            | 2,11%  |
| 7  | V                             | 0,12%  |
| 8  | Cr                            | 0,097% |
| 9  | Mn                            | 0,58%  |
| 10 | Fe                            | 37,7%  |
| 11 | Ni                            | 0,18%  |
| 12 | Cu                            | 0,16%  |
| 13 | Zn                            | 0,08%  |
| 14 | Sr                            | 1,1%   |

Dilihat dari tabel di atas nilai kandungan kimia yang ada, dan dari yang tertinggi adalah  $\text{Fe} = 37,7\%$ ,  $\text{Si} = 30,5\%$ ,  $\text{Ca} = 9,12\%$  dan seterusnya. Maka dari hasil kandungan lusi asli dan sesudah dioven didapat nilai peningkatan pada Fe, Si, dan Ca.

## Pengujian kuat tekan

### 1. Uji Kuat Tekan.

Pengujian kuat tekan sendiri akan disesuaikan dengan SNI 03-0691-1996 paving block, diharapkan sesuai dengan apa yang sudah

distandarisasikan oleh SNI, dan layak untuk digunakan.

Tabel 7 Mutu menurut SNI 03-0691-1996 paving block

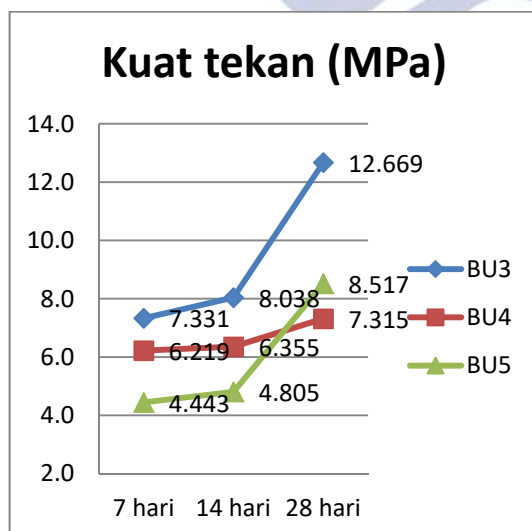
| MUTU | Kuat tekan (MPa) |      | Ketahanan aus (mm/menit) |       | Penyerapan air rata-rata maks |
|------|------------------|------|--------------------------|-------|-------------------------------|
|      | Rata-Rata        | Min  | Rata-Rata                | Min   | (%)                           |
| A    | 4                | 35   | 0,09                     | 0,103 | 3                             |
| B    | 20               | 17   | 0,130                    | 0,149 | 6                             |
| C    | 15               | 12,5 | 0,160                    | 0,184 | 8                             |
| D    | 10               | 8,5  | 0,219                    | 0,251 | 10                            |

Hasil dari pengujian kuat tekan adaah sebagai berikut:

Tabel 8 Kuat tekan paving block *Geopolymer*

| Nama | Umur    | Nilai rata-rata | Satuan | Mutu |
|------|---------|-----------------|--------|------|
| BU3  | 7 hari  | 7,331           | Mpa    | -    |
|      | 14 hari | 8,038           | Mpa    | D    |
|      | 28 hari | 12,669          | Mpa    | C    |
| BU4  | 7 hari  | 6,219           | Mpa    | -    |
|      | 14 hari | 6,355           | Mpa    | -    |
|      | 28 hari | 7,315           | Mpa    | -    |
| BU5  | 7 hari  | 4,443           | Mpa    | -    |
|      | 14 hari | 4,805           | Mpa    | -    |
|      | 28 hari | 8,517           | Mpa    | D    |

Sumber : Analisis laboratorium, 2016



Gambar 6 Grafik Kuat tekan (sumber analisis laboratorium 2016)

Analisis:

Dilihat dari grafik di atas bahwa grafik menunjukkan hasil yang bagus, dari setiap variasi saat kenaikan usia benda uji maka mengalami peningkatan nilai kuat tekan, dan itu terbilang bagus dan wajar karena kombinasi material dengan alkali aktif semakin komposit dan bekerja maksimal.

Didapat nilai kuat tekan maksimal dari setiap variasi pada usia 28 hari adalah BU3 12,669 Mpa, BU4 7,315 Mpa, dan BU5 8,517 Mpa.

Dapat dilihat nilai kuat tekan tertinggi didapat oleh variasi BU3 dengan campuran *fly ash* 35% , kapur 35%, dan lusi 30%, dengan 12,669 Mpa, dimana termasuk spesifikasi mutu kelas C dengan rata-rata kuat tekan 15 MPa dan minimal 12,5 MPa dan digolongkan sebagai paving yang baik untuk digunakan pada area pejalan kaki sesuai SNI.

Sedangkan nilai kuat tekan terendah terdapat pada variasi BU5 pada umur 7 hari dengan campuran *fly ash* 20% , kapur 50%, dan lusi 30%, dengan 4,443 Mpa, dimana tidak masuk dalam mutu paving yang ada di SNI 03-0691-1996 paving block.

## 2. Uji Permeabilitas.

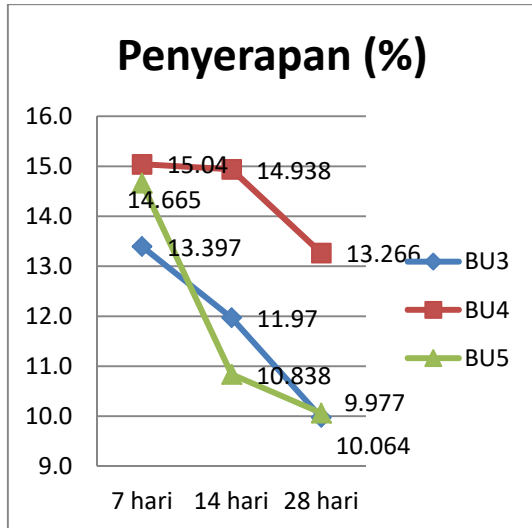
Pengujian permeabilitas sendiri akan disesuaikan dengan SNI 03-0691-1996 paving block, diharapkan sesuai dengan apa yang sudah distandarisasikan oleh SNI, dan layak untuk digunakan.

Hasil dari pengujian permeabilitas adalah sebagai berikut:

Tabel 9 Permeabilitas paving block *Geopolymer*

| Nama | Umur    | Nilai rata-rata | Satuan | Mutu |
|------|---------|-----------------|--------|------|
| BU3  | 7 hari  | 13,397          | %      | -    |
|      | 14 hari | 11,970          | %      | -    |
|      | 28 hari | 9,977           | %      | D    |
| BU4  | 7 hari  | 15,040          | %      | -    |
|      | 14 hari | 14,938          | %      | -    |
|      | 28 hari | 13,266          | %      | -    |
| BU5  | 7 hari  | 14,665          | %      | -    |
|      | 14 hari | 10,838          | %      | -    |
|      | 28 hari | 10,064          | %      | -    |

Sumber : Analisis laboratorium, 2016



Gambar 7 Grafik permeabilitas (sumber analisis laboratorium 2016)

Analisis:

Dilihat dari grafik di atas bahwa grafik menunjukkan hasil yang bagus, dari setiap variasi saat kenaikan usia benda uji maka mengalami penurunan nilai permeabilitas, dimana karena semakin lama usia paving maka semakin padat dan pori-pori permukaan akan semakin mengecil dan itu terbilang bagus.

Didapat nilai permeabilitas minimum dari setiap variasi yaitu pada usia 28 hari adalah BU3 9,977 %, BU4 13,266 %, dan BU5 10,064 %.

Dapat dilihat nilai permeabilitas terendah terdapat pada variasi BU3 pada umur 28 hari dengan campuran *fly ash* 35% , kapur 35%, dan lusi 30%, dengan 9,977%, dimana masuk mutu D dengan rata-rata daya serap maksimal 10% dan termasuk kedalam paving yang baik digunakan sebagai area taman menurut SNI.

Sedangkan nilai permeabilitas tertinggi didapat oleh variasi BU4 pada umur 7 hari dengan campuran *fly ash* 30% , kapur 40%, dan lusi 30%, dengan 15,040%, dimana tidak masuk dalam mutu paving yang ada di SNI 03-0691-1996 paving block.

### 3. Uji ketahanan aus.

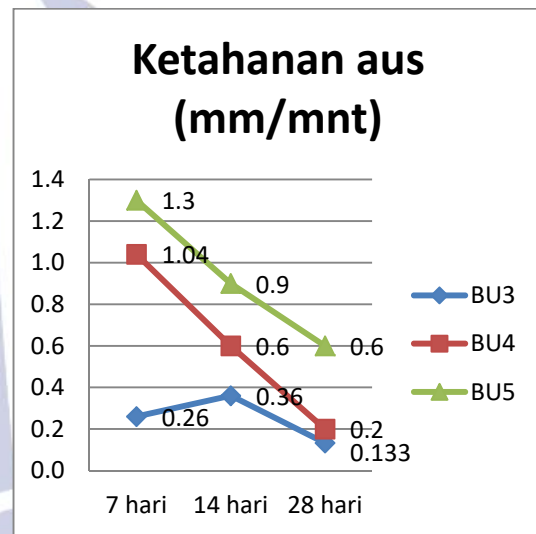
Pengujian ketahanan aus sendiri akan disesuaikan dengan SNI 03-0691-1996 paving block, diharapkan sesuai dengan apa yang sudah distandarisasikan oleh SNI, dan layak untuk digunakan.

Hasil dari pengujian ketahanan aus adalah sebagai berikut:

Tabel 10 Ketahanan aus paving block *Geopolymer*

| Nama | Umur    | Nilai rata-rata | Satuan | Mutu |
|------|---------|-----------------|--------|------|
| BU3  | 7 hari  | 0,26            | Mm/mnt | -    |
|      | 14 hari | 0,36            | Mm/mnt | -    |
|      | 28 hari | 0,133           | Mm/mnt | B    |
| BU4  | 7 hari  | 1,040           | Mm/mnt | -    |
|      | 14 hari | 0,6             | Mm/mnt | -    |
|      | 28 hari | 0,2             | Mm/mnt | -    |
| BU5  | 7 hari  | 1,3             | Mm/mnt | -    |
|      | 14 hari | 0,9             | Mm/mnt | -    |
|      | 28 hari | 0,6             | Mm/mnt | -    |

Sumber : Analisis laboratorium, 2016



Gambar 8 Grafik hubungan Ketahanan aus (sumber analisis laboratorium 2016)

Analisis:

Dilihat dari grafik di atas bahwa grafik menunjukkan hasil yang bagus, dilihat pada setiap variasi saat kenaikan usia maka seharusnya mengalami penurunan nilai ketahanan aus, namun tidak dengan grafik BU3 yang mengalami lonjakan drastis pada usia 14 hari dan turun kembali pada usia 28 hari, seharusnya semakin lama usia paving maka semakin padat dan pori-pori permukaan akan semakin mengecil dan itu menjadikan paving tahan terhadap gesekan yang ditimbulkan.

Didapat minimum nilai ketahanan aus dari setiap variasi pada usia 28 hari adalah BU3 0,133 mm/menit, BU4 0,2 mm/menit, dan BU5 0,6 mm/menit.

Dapat dilihat nilai ketahanan aus terkecil diperoleh pada variasi BU3 pada umur 28 hari dengan campuran *fly ash* 35% , kapur 35%, dan

lusi 30%, dengan 0,133 mm/menit dimana termasuk mutu B rata-rata tahan terhadap aus minimal 0,149 mm/menit termasuk pada paving yang baik digunakan sebagai area parkir menurut SNI meskipun menghasilkan grafik yang kurang baik.

Ketahanan aus terbesar pada variasi BU5 pada umur 7 hari dengan campuran *fly ash* 20% , kapur 50%, dan lusi 30%, dengan 1,3 mm/menit dimana tidak masuk dalam mutu paving yang ada di SNI 03-0691-1996 paving block.

#### 4. Analisis biaya.

Analisis biaya bertujuan untuk membandingkan harga antara *paving block* *geopolymer* dengan paving yang sudah ada dipasaran dengan spesifikasi yang sama.

Langkah-langkah perhitungan biaya:

- Lampirkan harga satuan material dalam satuan kg, dan ini adalah tabel harga satuan material.

Tabel 11 Harga satuan material

| Material                         | Satuan | Harga satuan |
|----------------------------------|--------|--------------|
| Fly ash                          | kg     | Rp 1500      |
| Kapur                            | kg     | Rp 1167      |
| Pasir                            | kg     | Rp 200       |
| Lusi                             | kg     | 0            |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | kg     | Rp 10000     |
| NaOH                             | Kg     | Rp 17000     |
| Aquades                          | Kg     | Rp 2500      |
| Paving                           | Kg     | Rp 500       |

- Hitung semua kebutuhan material, lalu dikalikan dengan harga satuan material, sampai didapat biaya 1 buah paving.

Tabel 12 Harga paving untuk variasi BU3

| Material                         | Kebutuhan<br>15 buah | Satuan | Harga      |
|----------------------------------|----------------------|--------|------------|
| Fly ash                          | 5,027                | Kg     | Rp 7540,48 |
| Kapur                            | 3,296                | Kg     | Rp 3845,1  |
| Pasir                            | 38,757               | Kg     | Rp 7751,5  |
| Lusi                             | 3,770                | Kg     | 0          |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 1,658                | Kg     | Rp 16580   |
| NaOH                             | 0,4378               | Kg     | Rp 7442,6  |
| Aquades                          | 1,094                | Kg     | Rp 2735    |
| Pembuatan<br>paving              | 15                   | Buah   | Rp 7500    |
| TOTAL BIAYA                      |                      |        | Rp 53394,6 |
| BIAYA 1 BUAH                     |                      |        | Rp 3337,16 |

Tabel 13 Harga paving untuk variasi BU4

| Material                         | Kebutuhan<br>15 buah | Satuan | Harga      |
|----------------------------------|----------------------|--------|------------|
| Fly ash                          | 4,309                | kg     | Rp 6463,27 |
| Kapur                            | 3,767                | kg     | Rp 4394,3  |
| Pasir                            | 38,757               | kg     | Rp 7751,5  |
| Lusi                             | 3,770                | kg     | 0          |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 1,658                | kg     | Rp 16580   |
| NaOH                             | 0,4378               | kg     | Rp 7442,6  |
| Aquades                          | 1,094                | kg     | Rp 2735    |
| Pembuatan<br>paving              | 15                   | Buah   | Rp 7500    |
| TOTAL BIAYA                      |                      |        | Rp 52866,7 |
| BIAYA 1 BUAH                     |                      |        | Rp 3304,17 |

Tabel 14 Harga paving untuk variasi BU5

| Material                         | Kebutuhan<br>15 buah | Satuan | Harga      |
|----------------------------------|----------------------|--------|------------|
| Fly ash                          | 2,873                | kg     | Rp 4308,85 |
| kapur                            | 4,708                | kg     | Rp 5492,9  |
| Pasir                            | 38,757               | Kg     | Rp 7751,5  |
| Lusi                             | 3,770                | Kg     | 0          |
| Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> | 1,658                | Kg     | Rp 16580   |
| NaOH                             | 0,4378               | Kg     | Rp 7442,6  |
| Aquades                          | 1,094                | Kg     | Rp 2735    |
| Pembuatan<br>paving              | 15                   | Buah   | Rp 7500    |
| TOTAL BIAYA                      |                      |        | Rp 51810,8 |
| BIAYA 1 BUAH                     |                      |        | Rp 3238,18 |

Analisis:

Setelah didapat nominal harga satu buah paving dari semua variasi yang terdiri dari BU3 Rp 3337,16, BU4 Rp 3304,17 dan BU5 Rp 3238,18, bisa dilihat bahwa yang memiliki harga tertinggi adalah BU3 dan terendah BU5.

Berdasarkan tabel 4.9, 4.10, dan 4.11 yang menjelaskan tentang total biaya paving keseluruhan per 1 variasi dan 1 buah paving pada setiap variasi, jika perbandingan antara *fly ash* dan kapur semakin meningkat cenderung ke pada *fly ash* maka nominal harga akan lebih mahal, begitu berlaku sebaliknya, itu dikarenakan harga *fly ash* lebih mahal dari pada kapur.

Maka selanjutnya membandingkan harga paving *geopolymer* dengan harga yang ada dipasaran dengan spesifikasi yang sama.

Tabel 15 Harga satuan paving block pasaran

| Menurut Jurnal Fakhrian Aji, Mochtar Hadiwibowo, dan Ganjar Samudro. 2013. |        |              |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|
| Material                                                                   | Satuan | Harga satuan |
| Semen                                                                      | Kg     | Rp 1290      |
| Pasir                                                                      | Kg     | Rp 63,03     |
| Paving                                                                     | Kg     | Rp 200       |
| BIAYA 1 BUAH                                                               |        | Rp 1553,03   |

Tabel 16 Perbandingan harga paving block

| Paving geopolimer | Paving pasaran |            |
|-------------------|----------------|------------|
| BU3               | Rp 3337,16     | Rp 1553,03 |
| BU4               | Rp 3304,17     | Rp 1553,03 |
| BU5               | Rp 3238,18     | Rp 1553,03 |

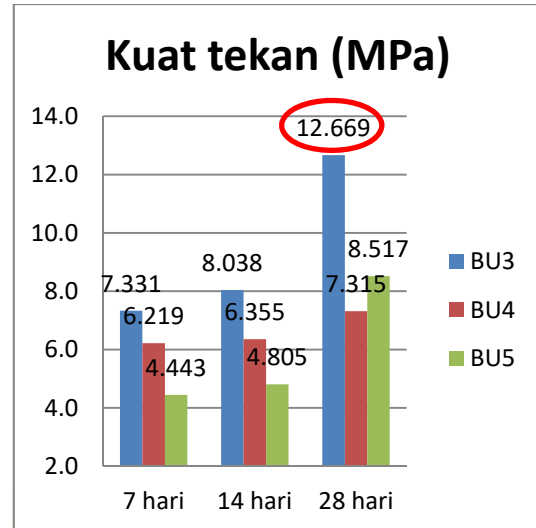
Berdasarkan tabel 16 yang menjelaskan tentang perbandingan biaya paving 1 buah pada setiap variasi antara paving geopolimer dengan yang ada di pasaran. Bisa dilihat bahwa perbandingan nilai harga terpaut jauh sampai 53,46%, lebih mahal paving *geopolymer* itu bisa diakibatkan oleh banyak faktor antara lain, harga material yang digunakan.

### Hubungan antara hasil pengujian

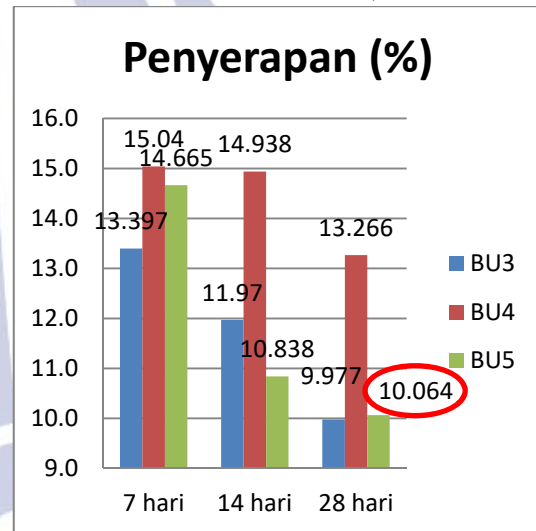
Dari data pengujian yang didapat, menghasilkan hubungan:

1. Bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin rendah nilai penyerapan yang diperoleh, karena semakin tinggi nilai kuat tekan maka paving semakin kuat dan padat, yang mengakibatkan pori-pori pada paving semakin kecil dan tertutup, maka air susah memasuki permukaan paving.

Ini dibuktikan dengan adanya grafik yang didapat dari pengujian kuat tekan dan penyerapan yaitu, didapat nilai kuat tekan maksimal dari setiap variasi pada usia 28 hari adalah BU3 12,669 Mpa dan didapat nilai penyerapan minimum dari setiap variasi yaitu pada usia 28 hari adalah BU3 9,977 %.



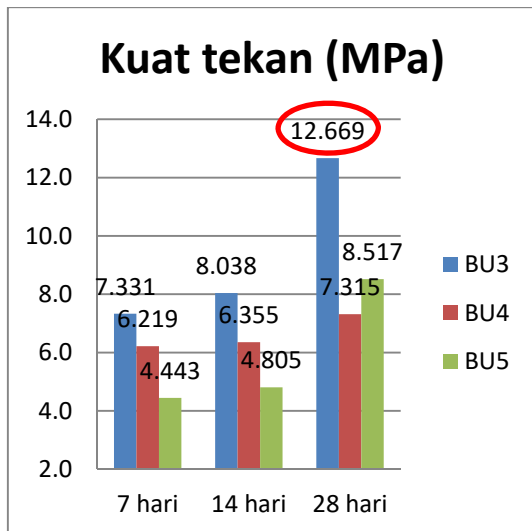
Gambar 6 Grafik Kuat tekan (sumber analisis laboratorium 2016)



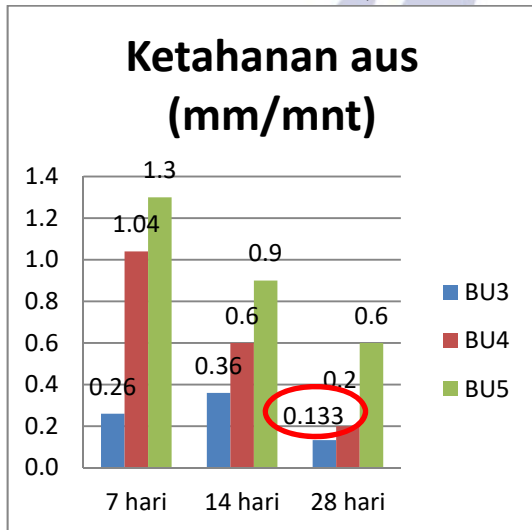
Gambar 7 Grafik permeabilitas (sumber analisis laboratorium 2016)

2. Bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin rendah pula nilai ketahanan aus, karena semakin tinggi nilai kuat tekan maka paving semakin kuat dan padat, dan menjadikan permukaan paving tidak mudah tergores oleh gesekan.

Ini dibuktikan dengan adanya grafik yang didapat dari pengujian kuat tekan dan ketahanan aus, didapat nilai kuat tekan maksimal dari setiap variasi pada usia 28 hari adalah BU3 12,669 Mpa dan didapat minimum nilai ketahanan aus dari setiap variasi pada usia 28 hari adalah BU3 0,133 mm/menit.



Gambar 6 Grafik Kuat tekan (sumber analisis laboratorium 2016)



Gambar 8 Grafik Ketahanan aus (sumber analisis laboratorium 2016)

- Bahwa semakin tinggi kebutuhan *Fly ash* dan diikuti berkurangnya kebutuhan kapur dalam komposisi bahan *paving block geopolimer* dengan NaOH 10M dan perbandingan 1,5 pada campuran NaOH dengan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , semakin tinggi pula harga paving block dalam 1 buah.

Ini dibuktikan dengan adanya perhitungan analisis biaya yang sudah dilakukan.

- Bahwa semakin cepat waktu *setting time* atau waktu pengerasan adonan paving dari pengujian vikat yang sudah dilakukan yaitu tidak lebih dari 7 jam dan kurang dari 1 hari maka tidak ada pengaruhnya terhadap hasil pengujian apapun.

Dan itu terbukti dari hasil grafik yang didapat dari pengujian vikat sesuai gambar grafik 4.52 dan 4.53.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, peneliti akhirnya dapat menyimpulkan sebagai berikut :

- Didapatkan hasil dari paving geopolimer dengan variasi BU3 dengan komposisi *fly ash* 35% , kapur 35%, dan lusi 30% dengan nilai molaritas sebesar 10M dan perbandingan NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  sebesar 1,5 bisa dibuat dalam bentuk masal dan bisa dipasarkan dengan spesifikasi kelas C.
- Pada perbandingan analisis biaya pembuatan dan pemasaran *paving block geopolimer* dengan paving yang ada dipasaran dengan komposisi yang sama, cenderung lebih mahal *paving block geopolimer* sebesar 53,46%, dikarenakan biaya alkali aktifator cenderung lebih mahal yaitu NaOH dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Namun dari selisih tersebut ada dampak positif yang didapat yaitu adalah mengurangi penggunaan semen yang berlebih atau tidak sama sekali, dan mengurangi dampak negatif dari penggunaan semen.

### Saran

Berdasarkan dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, timbul saran yang harus disampaikan antara lain adalah:

- Bisa ditingkatkan kembali penelitian ini yaitu dengan cara menambahkan nilai molaritas NaOH dari 10M menjadi lebih dari 10M, karena pengaruh tingginya molaritas NaOH mengakibatkan meningkatnya nilai kuat tekan pada benda uji *geopolymer*.
- Bisa ditingkatkan kembali penelitian ini yaitu dengan cara mengubah nilai perbandingan komposisi paving dari 1:3 menjadi 1:2 atau 1:1 (pasir : semen) supaya lebih meningkatkan nilai kuat tekan dan lebih mencapai mutu yang lebih bagus dari penelitian ini sesuai SNI 03-0691-1996 paving block.

### DAFTAR PUSTAKA

Adam, Andi Arham. 2009. *Strenght and durability properties of alkali actived slag and fly ash-based geopolimer concrete*. Thesis. Australia: RMIT University.

Mashuri, Joy Fredi Batti dan Listiana. 2013. "Pengaruh penambahan kapur padam

- sebagai bahan pengisi *filler* pada ketahanan pengelupasan beton aspal lapis aus AC-WC”.
- Agus Martoyo. 2001. “Pengaruh penggunaan high volume *Fly ash* pada kuat tekan mortar”.
- Eka Putra, Yusuf. 2016. Pemanfaatan limbah *Sandblasting* sebagai bahan campuran *paving block*. Surabaya: PPs Universitas Negeri Surabaya.
- Fakhrian Aji, Mochtar Hadiwidodo, Ganjar Samudro. 2013 “Solidifikasi Lumpur Lapindo dalam Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan sebagai Bahan Campuran *Paving Block*”. Jurnal penelitian teknik sipil.
- Dwi Septy Anggri M dan Mas Agus Mardyanto. “Studi lumpur lapindo sebagai bahan campuran pembuatan *perious paving* dengan bahan pengisi campuran kramik untuk menurunkan *Run off*”. Jurnal penelitian teknik sipil.
- Januarty Jaya Ekaputri dan Triwulan. 2013. “Sodium sebagai aktifator *fly ash*, trass dan lumpur sidoarjo dalam beton *geopolymer* ”. Jurnal penelitian teknik sipil.
- Giwangkara Ricky Perdanan, Juni 2012: Studi sifat mekanik *paving block* terbuat dari campuran limbah adukan beton dan bahan tambahan serat ijuk.
- Ngk. Made Anom Wiryasa dan I Wayan Sudarsana., 2009: Pemanfaatan lumpur lapindo sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan bata beton pejal.
- M. Shofi;ul Amin, Januarty Jaya Ekaputri, dan Triwulan., 2014: Potensi lumpur Sidoarjo bakar dan *fly ash* pada pembuatan mortar ringan *Geopolymer*.
- Wardhono, Arie, David W.Law dan Tom C.K Molyneaux. 2015. *Long term performance of alkali activated slag concrete*. Journal of Advance Concrte Technology, March 2015, Vol. 13, No. 3, page 187-192.
- Wardhono, Arie, David W.Law dan Anthony Strano, 2015. *The Strength of alkali activated slag and fly ash mortar blends at ambient temperatur*. Journal of Procedia Engineering, Vol. 125, page 650-656.
- Wardhono, Arie, David W.Law dan Tom C.K Molyneaux. 2016. *Flexural Strength of low calcium class F Fly ash-based Geopolymer concrete in Long term Performance*. Journal of Material Science Forum, Vol. 841, page 104-110.