

KANDUNGAN KIMIA DARI LIMBAH LUMPUR INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM UNTUK BETON GEOPOLIMER DENGAN XRF

Nuryanti, Ridha Arizal dan Dian Arrisujaya*
Program Studi Kimia, Universitas Nusa Bangsa
Jl. K.H. Sholeh Iskandar Km. 4, Cimanggu, Tanah Sareal, Bogor 16166
*e-mail: d1anarrisujaya@gmail.com

ABSTRACT

Chemical Containt of Waste Water Installation of Drinking Water Treatment for Geopolymer Concrete by XRF

Preparation of geopolymer concrete from waste water installation of drinking water treatment (WIDWT) was manufactured in accordance with SNI. Specimen of size 5 x 5 x 5 cm cubes was used for the concretes. The mortar material consisted of binders, activator, aggregate (fine sand) and water (60% of aggregate and 40% of activators and binders). The composition of the activator and binder mixture were 1: 2; 1: 1,5; 1: 1; 1,5: 1; and 2: 1. The results of the comparison of binders A and B were 4.2: 1 and 6.5: 1. The binders were divided into 2 types: A binder (sludge of WIDWT was dried with oven at 105°C for 24 hours) and B Binder (sludge of WIDWT was dried by kiln at 650°C for 6 hours). The highest compressive strength test was 10.00 MPa on binder A with the ratio of activator and binder 1: 1 and Si: Al ratio (4.2: 1). Binder B with a compressive strength of 9.87 MPa with the ratio of activator and binder 1.5: 1 and Si: Al ratio (6.5: 1). Samples of IPAM sludge waste were tested by X-Ray Fluorescence (XRF), compressive strength testing of mortar geopolymer with Toni-Technik compressive strength test. The highest value of compressive strength appropriated to SNI 03-0691-1996 in class D which can be applied for City Park.

Keywords: geopolymer, WIDWT, XRF, activator, binder

ABSTRAK

Pembuatan beton geopolimer dari limbah instalasi pengolahan air minum (IPAM) telah dilakukan. Beton geopolimer dibuat sesuai dengan SNI pembuatan mortar geopolimer dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm. Bahan mortar terdiri dari binder, larutan aktivator dan agregat (pasir halus) serta air dengan perbandingan 60% (agregat) dan 40% (aktivator dan binder). Parameter variasi campuran aktivator dan binder yaitu 1:2; 1:1,5; 1:1; 1,5:1; dan 2:1. Binder dibagi menjadi 2 jenis yaitu Binder A (lumpur IPAM yang dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 24 jam) dan Binder B (lumpur IPAM yang dikeringkan dengan tanur pada suhu 650°C selama 6 jam). Hasil perbandingan binder A dan B adalah 4,2:1 dan 6,5:1. Hasil uji kuat tekan tertinggi sebesar 10,00 Mpa pada binder A dengan perbandingan aktivator dan binder 1:1 dengan perbandingan Si:Al (4,2:1). Binder B dengan kuat tekan 9,87 Mpa dengan perbandingan aktivator dan binder 1,5:1 dengan perbandingan Si:Al (6,5:1). Sampel limbah lumpur IPAM diuji dengan X-Ray Fluorescence (XRF), pengujian kuat tekan mortar geopolimer dengan alat uji kuat tekan merk Toni-Technik. Nilai kuat tekan tertinggi memasuki persyaratan mutu SNI 03-0691-1996 pada kelas D yang bisa diaplikasikan untuk taman kota.

Kata Kunci: geopolimer, IPAM, XRF, aktivator, binder

PENDAHULUAN

Proses pengolahan air bersih menggunakan koagulan seperti tawas dan Poli Aluminium Klorida (PAC) sebagai media penggumpal partikel-partikel halus yang tersuspensi menjadi gumpalan-gumpalan yang lebih besar (flok). Kumpulan flok yang terbentuk selanjutnya dipisahkan dengan cara sedimentasi dan filtrasi sehingga didapatkan air yang bersih dan sisanya dalam bentuk limbah padat berupa lumpur dibuang. Lumpur yang

dibuang dan ditimbun ini masih mengandung aluminium sulfat (alum) dalam bentuk lumpur yang dapat diolah kembali menjadi alumina (Al_2O_3) melalui proses pengambilan kembali /recovery (Mirwan, 2012).

Limbah lumpur pengolahan air minum pada proses koagulasi memiliki kandungan aluminium yang tinggi, karena pada proses koagulasi ditambahkan suatu garam aluminium sebagai koagulannya. Menurut Suherman (2003), limbah lumpur IPAM masih mengandung aluminium

dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berpotensi sebagai pencemar jika langsung dibuang ke sungai. Kadar aluminium lumpur IPAM yaitu 2241,48 mg/L (Awwaludin, 2016). Jika dilihat dari kadar aluminium yang cukup tinggi tersebut, maka seharusnya lumpur tersebut tidak boleh dibuang ke sungai karena sifat aluminium yang resisten dan umumnya tidak larut dalam keadaan pH netral (antara 6,0-8,0), di bawah asam ($\text{pH} < 6,0$) atau alkali ($\text{pH} > 8,0$) (Az-zahra *et al.*, 2014).

Lumpur IPAM masih mengandung sisa aluminium dari hasil proses koagulasi sebesar 2241,48 mg/L dan mengandung kandungan $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 49,11% : 29,45%. Berdasarkan unsurnya, maka perbandingan Si:Al pada lumpur IPAM yaitu 1,5:1. Perbandingan Si:Al yang rendah yaitu 1:1 atau 2:1, dapat menghasilkan beton geopolimer yang baik (Nugteren *et al.*, 2009).

Salah satu contoh pemanfaatan limbah lumpur pengolahan air minum pada bahan bangunan yaitu pembuatan beton. Beton yang terbuat dari limbah lumpur pengolahan air minum ini biasa disebut beton geopolimer. Kelebihan beton secara umum yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi dan dapat direncanakan sesuai dengan keinginan, mudah dibentuk, tahan terhadap temperatur tinggi, biaya perawatan rendah, dapat dibuat dengan menggunakan bahan-bahan lokal, serta tahan terhadap cuaca (Cahyadi, 2013).

Geopolimer merupakan sintesis bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), abu kulit padi (*ricehusk ash*) dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumina (*prekursor*) membentuk sebuah senyawa silikat alumina anorganik (Lloyd dan Ranga, 2010). Beton geopolimer merupakan beton yang material utamanya mengandung banyak silika dan alumina tinggi yang direaksikan dengan alkali aktivator. Proses pembentukan beton geopolimer terbentuk melalui proses polimerisasi bahan yang mengandung silikat dan alumina tinggi direaksikan dengan menggunakan alkali aktivator (*polysilicate*) menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al, dengan ikatan polimer ini maka

akan terbentuk padatan berupa amorf sampai semi kristal (Pujiyanto, 2013).

Beton geopolimer dapat dibuat dengan atau tanpa menggunakan semen. Beton geopolimer mulai diperkenalkan sebagai beton ramah lingkungan karena dapat mengurangi emisi CO_2 akibat penggunaan semen Portland. Produksi tiap ton semen Portland, akan melepaskan hampir 1 ton CO_2 ke atmosfer (Anwar, 2015). Beton geopolimer memiliki kelebihan yaitu jika material ini digunakan untuk mengganti penggunaan semen Portland, maka dapat mengurangi sekitar 80% emisi karbon dioksida ke atmosfer yang disebabkan oleh industri semen dan agregat (Davidovits, 1994).

Dalam pembuatan *paving block* dikenal dengan dua metode, yaitu metode konvensional (manual) dan metode mekanis. Metode konvensional adalah metode yang paling banyak digunakan oleh masyarakat karena lebih mudah dan tidak memerlukan biaya yang terlalu tinggi. Pembuatan *paving block* dengan cara konvensional ini biasanya menggunakan alat cetak *paving* yang disebut “*gablokan*”. Alat ini masih menggunakan tenaga manusia (manual) dalam proses pemadatan sehingga kekompakan *paving block* yang dihasilkan bergantung pada tenaga orang yang memadatkannya. Mutu *paving block* yang dihasilkan dengan metode ini biasanya masuk ke dalam kelas mutu C dan D. Sementara itu, metode mekanis atau biasa disebut dengan metode *press*, menggunakan alat *press paving* yang harganya cukup mahal, sehingga hanya biasa digunakan oleh pabrik dengan skala sedang atau besar. Namun demikian, mutu *paving block* yang dihasilkan dengan metode ini lebih baik, yaitu antara mutu C hingga mutu A (Sherliana, 2016).

Bahan-bahan yang digunakan untuk *paving block* sama dengan bahan pembuatan beton seperti agregat (batu pecah, pasir) bahan pengikat hidrolis (semen) dan air. Seperti pada pembuatan beton lainnya, persyaratan yang diperlukan untuk agregat, semen dan air yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti tercantum pada spesifikasi bahan-bahan beton (Adibroto, 2014).

Bahan lain pembuatan *paving block* geopolimer yaitu alkali aktivator. Alkali aktivator merupakan bahan kimia yang digunakan untuk mengaktifkan prekursor sehingga dapat menghasilkan ikatan geopolimer yang kuat. Alkali mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan SiO₂ dan Al₂O₃ ke dalam monomer Si(OH)₄ dan Al(OH)₄. Selama proses *curing*, monomer-monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga dimensi dan berikatan silang (Septia, 2011).

Beton geopolimer dibuat menggunakan Na₂SiO₃ (natrium silikat) dan NaOH (natrium hidroksida) sebagai alkali aktivator. Natrium silikat (Na₂SiO₃) merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang sering digunakan dalam industri kimia, hal ini dikarenakan proses produksi yang lebih sederhana. Natrium silikat mempunyai 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Sodium silikat merupakan salah satu senyawa yang berperan dalam pembuatan beton geopolimer yang berwarna putih berbentuk gel dan apabila dilarutkan dalam air menghasilkan larutan alkali. Sodium silikat berperan penting untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Arini *et al*, 2013).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan yaitu *binder* (sampel limbah lumpur IPAM), pasir dan alkali aktivator yaitu larutan NaOH dan *waterglass* (Na₂SiO₃ gel) dan *aquadest*. Peralatan yang digunakan yaitu peralatan gelas, oven Autonics TZN4W, tanur Thermo Scientifict, saringan 200 *mesh*, instrument *X-Ray Fluorescence* (XRF) PANalytical XVenus 200 minilab untuk menganalisis komposisi kimia lumpur

$$\text{Al (\%)} = \frac{\text{Ar Al} \times 2}{\text{Mr Al}_2\text{O}_3} \times \% \text{Al}_2\text{O}_3$$

IPAM dan Toni-Technik untuk pengujian kuat tekan *paving block*.

Preparasi sampel limbah lumpur IPAM dan Pasir

Limbah lumpur IPAM diambil dari PT Traya Tirta Cisadane. Lumpur IPAM tersebut ditampung dalam wadah dan dibiarkan mengendap agar terpisah antara lumpur dan air. Lumpur tersebut dikeringkan/dijemur dengan panas matahari selama 2-3 hari. Lalu dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 24 jam dijadikan sebagai *binder* A. setelah dikeringkan dengan oven, lumpur dikeringkan menggunakan tanur dengan suhu 650°C selama 6 jam dijadikan sebagai *binder* B. Lumpur IPAM yang sudah dikeringkan dihaluskan. Setelah halus, lumpur diayak menggunakan ayakan biasa, lalu lumpur diuji komposisi kimianya menggunakan XRF. Setelah itu, lumpur diayak dengan ayakan 200 *mesh*. Pasir yang digunakan adalah pasir Cimangkok yang berwarna hitam. Pasir dijemur dengan panas matahari selama 2-3 hari hingga kering. Untuk menghilangkan pasir yang masih kasar, pasir diayak menggunakan ayakan biasa hingga didapat tekstur pasir yang lebih halus.

Analisis Komposisi Kimia Sampel (Lumpur IPAM)

Komposisi lumpur IPAM yang sudah dikeringkan dengan oven dan tanur, dianalisis menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF) PANalytical XVenus 200 minilab. Pengujian komposisi kimia lumpur kering menggunakan XRF, dilakukan dengan menimbang lumpur sebanyak 12 gram.

Hasil analisis instrumen XRF berupa % berat senyawa oksida. Oleh karena itu, perlu perhitungan dengan menggunakan faktor kimia untuk mendapat hasil % berat sebagai unsurnya. Untuk mendapatkan kandungan Si dari SiO₂, maka dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Si (\%)} = \frac{\text{Ar Si}}{\text{Mr SiO}_2} \times \% \text{SiO}_2$$

Keterangan :

Si (%) = % berat Si

Ar Si = Massa atom relatif Si (28,09)

$M_r \text{SiO}_2$ = Massa molekul relatif SiO_2 (60,09)
 $\% \text{SiO}_2$ = Kadar SiO_2 dari hasil analisis XRF
 $\text{Al} (\%)$ = $\%$ berat Al
 $A_r \text{Al}$ = Massa atom relatif Al (27)
 $M_r \text{Al}_2\text{O}_3$ = Massa molekul relatif Al_2O_3 (102)
 $\% \text{Al}_2\text{O}_3$ = Kadar Al_2O_3 dari hasil analisis XRF

Pembuatan *Paving block* Geopolimer (SNI No. 03-6825-2002)

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah *paving block* geopolimer. *Paving block* merupakan salah satu jenis mortar yang telah banyak digunakan. Pengujian dilakukan dengan membuat *paving block* berukuran 5cm x 5cm x 5cm sesuai dengan SNI pembuatan mortar geopolimer yaitu SNI No. 03-6825-2002. Bahan mortar terdiri dari *binder*, larutan aktivator dan agregat (pasir halus) dan air. Urutan proses pencampuran pembuatan *paving block* yaitu *binder*-aktivator-pasir-air.

Binder dibagi menjadi 2 jenis yaitu *Binder A* dan *Binder B*. *Binder A* merupakan lumpur Instalasi Pengolahan Air Minum yang dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C selama 24 jam. *Binder B* merupakan lumpur Instalasi Pengolahan Air Minum yang dikeringkan oven pada suhu 105°C selama 24 jam, kemudian dikeringkan kembali dengan tanur pada suhu 650°C selama 6 jam.

Aktivator dibuat dengan melarutkan NaOH ke dalam air dengan molaritas 14 M. Penggunaan NaOH dengan konsentrasi tinggi dapat meningkatkan nilai kuat tekan geopolimer. Setelah itu, larutan Na_2SiO_3 dicampurkan dengan larutan NaOH 14 M. Perbandingan berat campuran Na_2SiO_3 dan NaOH yaitu 1,5:1 (Ramdhani, 2016).

Paving block dibuat dengan perbandingan 60% agregat (pasir halus) dan 40% campuran aktivator dan *binder* (Ramdhani, 2016). Campuran antara aktivator dan *binder* dibuat bervariasi yaitu 1:2 ; 1:1,5 ; 1:1 ; 1,5:1 ; 2:1. Campuran yang telah homogen, dicetak pada cetakan yang telah disediakan yaitu berukuran 5cm x 5cm x 5cm, lalu campuran dipadatkan.

Hasil cetakan dioven dengan suhu 90°C selama 18 jam (Ramdhani, 2016). Kemudian hasil cetakan dikeluarkan dari oven dan dikering-anginkan. Setelah dingin, *paving block* dikeluarkan dari cetakan, lalu dilakukan pengujian kuat tekan beton.

Analisis Kuat Tekan

Paving block yang telah dicetak diuji kuat tekannya dengan menggunakan alat uji kuat tekan merk Toni-Technik. *Paving block* diletakkan pada alat diantara dua penjepit atas dan bawah. *Paving block* dijepit secara manual sehingga permukaan atas dan bawahnya menyentuh dengan alat. Mesin penguji kuat tekan dinyalakan, hingga mortar hancur dan angka yang keluar pada alat berupa satuan tekanan dicatat. Hasil pengujian kuat tekan beton geopolimer dalam bentuk *paving block* yang dihasilkan dibandingkan dengan persyaratan mutu *paving block* yaitu pada SNI No.03-0691-1996.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis XRF pada Bahan Baku

Komposisi senyawa oksida bahan baku diuji menggunakan instrumen XRF untuk mengetahui perbandingan Si:Al pada lumpur IPAM kering oven dan tanur, setelah itu dihitung dalam bentuk unsurnya (Tabel 1).

Kandungan Si dan Al (%) dari oksidanya dapat dihitung dengan menggunakan faktor kimia. Perbandingan Si:Al lumpur yang telah dikeringkan di oven dengan suhu 105°C selama 24 jam memberikan perbandingan yang cukup rendah yaitu 27,70% : 9,67% (2,86 : 1). Perbandingan Si:Al lumpur yang telah dikeringkan di tanur dengan suhu 650°C selama 6 jam memberikan perbandingan yang lebih tinggi daripada lumpur kering oven yaitu 33,60% : 8,12% (4,14 : 1). Perbandingan Si:Al yang rendah yaitu 1:1 atau 2:1, dapat menghasilkan mortar geopolimer yang baik, karena menunjukkan struktur amorf dan ukuran partikel bahan baku (contohnya *fly ash*) yang baik (Nugteren *et al*, 2009).

Mutu Paving block Geopolimer

Mutu *paving block* dapat dilihat berdasarkan hasil kuat tekan *paving block*. Hasil Kuat tekan *paving block* dapat dipengaruhi oleh pengaruh perbandingan Si:Al, larutan alkali aktivator yang digunakan dan perbandingan aktivator : *binder*.

Hasil Uji Kuat Tekan Paving block

Paving block yang direkomendasikan adalah *paving block* nomor 3 dengan perbandingan aktivator: *binder* 1:1 dan nomor 9 dengan perbandingan aktivator: *binder* 1,5:1. *Paving block* nomor 3 menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 10,00 MPa dan kuat tekan minimal sebesar 9,60 MPa. *Paving block* nomor 9 menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 9,78 MPa dan kuat tekan minimal sebesar 9,60. *Paving block* dengan nilai rata-rata 10,00 MPa dan nilai minimum 8,5 MPa, memasuki persyaratan mutu *paving block* kelas D. Oleh karena itu, *paving block* tersebut dapat digunakan untuk taman kota. Hal ini dikarenakan berdasarkan metode

pembuatannya, mutu *paving block* yang dihasilkan dengan metode konvensional atau manual hanya masuk ke kelas C, karena dengan metode tersebut mutu *paving block* biasanya masuk ke dalam kelas mutu C dan D. Sementara itu, *paving block* yang dihasilkan dengan metode mekanis atau biasa disebut dengan metode *press* biasanya masuk ke dalam kelas antara mutu C hingga mutu A (Sherliana, 2016).

Adapun 8 variasi *paving block* lainnya, diantaranya 6 variasi *paving block* memasuki persyaratan mutu bata beton untuk pasangan dinding sesuai SNI 03-0349-1989. Sisanya, 2 variasi *paving block* tidak memenuhi persyaratan *paving block*, maupun persyaratan mutu bata beton untuk pasangan dinding (Tabel 2). *Paving block* dengan hasil uji kuat tekan optimum 10,00 MPa jika dibandingkan dengan standar mutu bata beton untuk pasangan dinding (bata beton pejal), memasuki persyaratan mutu kelas I dan *Paving block* dengan hasil uji kuat tekan optimum 9,78 memasuki persyaratan mutu kelas II.

Tabel 1. Komposisi Senyawa Oksida dan Unsur Bahan Baku (Lumpur IPAM)

Senyawa	Konsentrasi (% berat)		Konsentrasi (% berat)	
	Lumpur kering oven 105°C, 24 jam		Lumpur kering tanur 650°C, 6 jam	
	Oksida (%)	Unsur (%)	Oksida (%)	Unsur (%)
SiO ₂	59,25	27,70	71,87	33,60
Al ₂ O ₃	18,27	9,67	15,33	8,12
Fe ₂ O ₃	7,63	5,34	5,60	3,92
CaO	1,25	0,89	0,93	0,66
MgO	0,70	0,42	0,64	0,39
Na ₂ O	1,097	0,81	1,135	0,84
K ₂ O	0,706	0,59	0,638	0,53

Tabel 2. Persyaratan Mutu Bata Beton untuk Pasangan Dinding

Syarat fisis	Satuan	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlubang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
		Kuat tekan bruto* rata-rata min.	MPa	10	7	4	2,5	7	5
Kuat tekan bruto masing- masing benda uji min.	MPa	9	6,5	3,5	2,1	6,5	4,5	3	1,7

(Sumber : SNI 03-0349-1989, SNI bata beton untuk pasangan dinding)

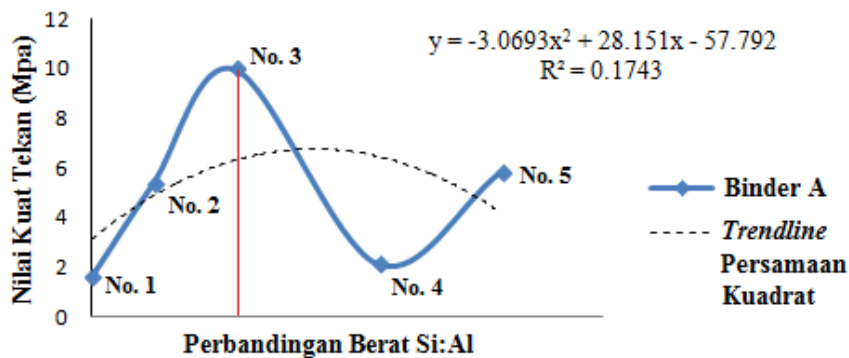
Pengaruh Perbandingan Si:Al

Perbandingan Si:Al awal yaitu pada *binder*/lumpur yang telah dikeringkan di oven dengan suhu 105°C selama 24 jam memberikan perbandingan yang cukup rendah yaitu 27,70% : 9,67% (2,86:1). Perbandingan Si:Al lumpur yang telah dikeringkan di tanur dengan suhu 650°C selama 6 jam memberikan perbandingan yang lebih tinggi daripada lumpur kering oven yaitu 33,60% : 8,12% (4,14:1).

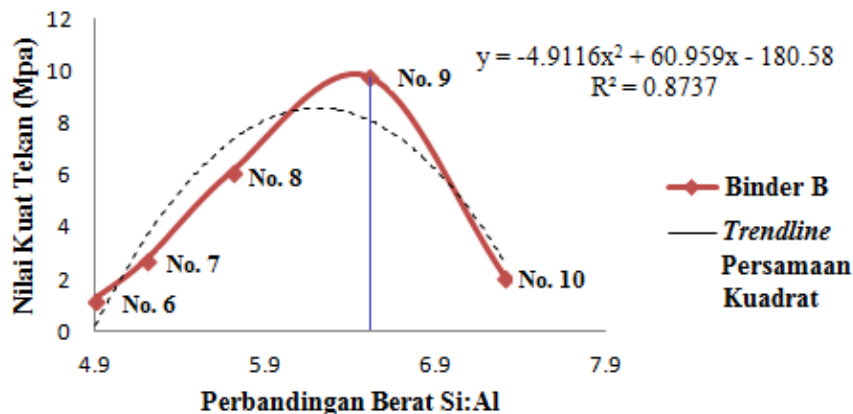
Gambar 1 menunjukkan bahwa hasil kuat tekan yang optimum terdapat pada *paving block* nomor 3 yang memberikan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu sebesar 10,00 MPa pada perbandingan Si:Al = 4,2:1. kemudian turun secara drastis sebesar 78,60% pada nomor 4 menjadi 2,14 MPa dengan perbandingan Si:Al = 4,9:1. Semakin tinggi perbandingan Si:Al, maka semakin rendah nilai kuat tekan yang diperoleh. Hal ini dikarenakan semakin tinggi perbandingan Si:Al akan menghasilkan geopolimer yang kurang baik dengan menghasilkan nilai kuat tekan yang rendah begitupun sebaliknya

(Nugteren *et al.*, 2009). Namun, pada *paving block* nomor 5 mengalami kenaikan menjadi 5,84 MPa.

Gambar 2 menunjukkan bahwa hasil kuat tekan yang optimum terdapat pada *paving block* nomor 9 yang memberikan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu sebesar 9,78 MPa pada perbandingan Si:Al = 6,5:1. Kemudian turun secara drastis pada nomor 10 sebesar 78,53% menjadi 2,10 MPa dengan perbandingan Si:Al = 7,3:1. Semakin tinggi perbandingan Si:Al, maka semakin rendah nilai kuat tekan yang diperoleh. Hal ini dikarenakan semakin tinggi perbandingan Si:Al, akan menghasilkan geopolimer yang kurang baik dengan menghasilkan nilai kuat tekan yang rendah begitupun sebaliknya (Nugteren *et al.*, 2009). Perbedaanannya yaitu pada *paving block* berbahan dasar *binder* A sudah mencapai nilai optimum pada perbandingan aktivator dan *binder* 1:1, sedangkan *paving block* berbahan dasar *binder* B baru mencapai nilai kuat tekan optimum pada perbandingan aktivator:*binder* 1:1,5.



Gambar 1. Trendline Persamaan Kuadrat Paving Block Binder A



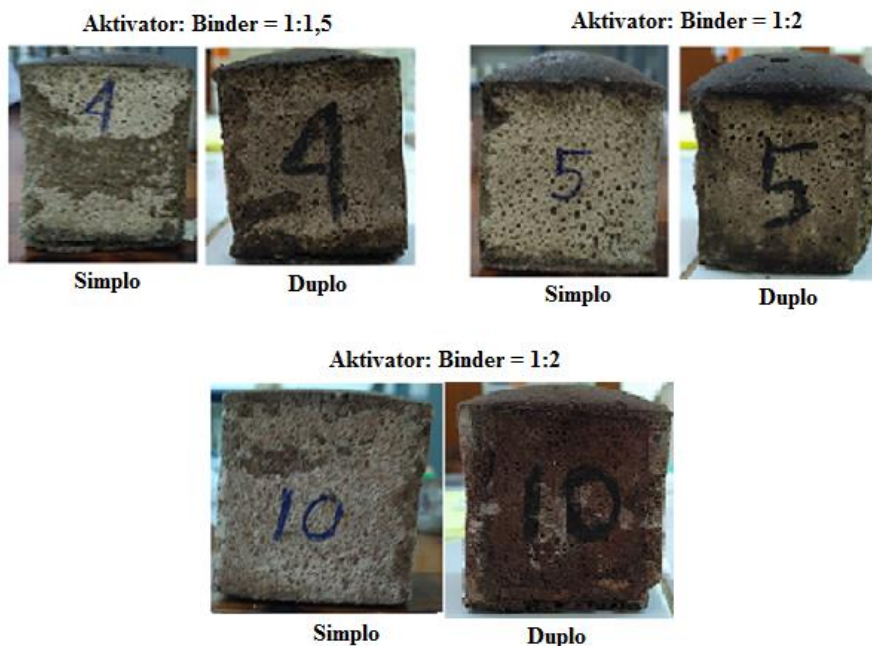
Gambar 2. Trendline Persamaan Kuadrat Paving Block Binder B

Pengaruh Larutan Alkali Aktivator dan Perbandingan Aktivator : *Binder*

Penggunaan larutan NaOH 14 M sebagai alkali aktivator dapat menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih besar jika dibandingkan dengan beton geopolimer dengan molaritas yang rendah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, semakin banyak jumlah mol OH pada reaksi, sehingga ikatan pada reaksi geopolimerisasi menjadi sempurna (Ekaputri dan Triwulan, 2013). Selain NaOH, penelitian ini juga menggunakan Na₂SiO₃ gel (*waterglass*) dengan spesifikasi teknis yang dibeli dari toko kimia. Komposisi teknis hasil analisis Na₂SiO₃ gel dengan menggunakan AAS diperoleh hasil kadar NaOH sebesar 22,0%, SiO₂ sebesar 46,0%, H₂O sebesar 19,3% dan senyawa lain sebesar 12,7% (Swastika, 2010). Konsentrasi NaOH yang tinggi yaitu 14 M dan dengan rasio perbandingan Na₂SiO₃ gel dan NaOH 1,5:1 memberikan nilai kuat tekan paling tinggi pada penelitian

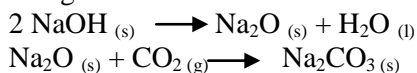
sebelumnya yaitu sebesar 20,21 MPa (Ramdhani, 2016). Jumlah berat aktivator dan *binder*/lumpur, dijadikan sebagai variabel bebas, sedangkan konsentrasi NaOH, jumlah perbandingan Na₂SiO₃ gel : NaOH, jumlah berat pasir, suhu dan waktu *curing* dijadikan variabel tetap.

Bentuk fisik *paving block* nomor 4 dan 5 (berbahan dasar *binder* A), dan 10 (berbahan dasar *binder* B) terlihat mengembang dan memiliki pori yang terbuka (Gambar 3). Ada dua macam pori yaitu pori terbuka dan tertutup. Pori terbuka yaitu pori yang bersifat *permeable* (dapat ditembus, baik oleh udara ataupun air). Pori tertutup adalah pori yang bersifat *impermeable* (tidak dapat ditembus). Pori yang tertutup lebih baik dari pori yang terbuka karena pori yang tertutup memiliki tekanan hidrostatik yang menambah kuat tekan beton dan terhindar dari retak, sedangkan pori yang terbuka membuat beton menjadi keropos dan dapat menurunkan kuat tekan beton (Ekaputri *et al.*, 2007).



Gambar 3. *Paving Block* yang Mengembang dan Memiliki Pori Terbuka

Bentuk *paving block* yang mengembang dan memiliki pori yang terbuka disebabkan karena jumlah aktivator lebih banyak daripada *binder*/lumpur, sehingga lambat laun *paving block* tersebut akan mengalami keretakan karena terjadi reaksi samping sebagai berikut.



Larutan NaOH tidak mengion menjadi Na^+ dan OH^- , tetapi mengurai menjadi Na_2O (berwujud serbuk putih) dan H_2O . Air inilah yang mengisi ruang pada *paving block*. Pada saat dilakukan *curing*, air menguap sehingga meninggalkan lubang atau pori terbuka pada *paving block* dan mengakibatkan mudah retak dan rapuh. Kemudian Na_2O yang dihasilkan mudah bereaksi dengan CO_2 di udara membentuk Na_2CO_3 yang merupakan suatu kristal jarum putih yang menimbulkan warna putih pada *paving block* (Arizal, 2016).

Paving block berbahan dasar lumpur IPAM kering oven mencapai nilai kuat tekan optimum pada perbandingan aktivator : *binder* (1:1). Sedangkan *paving block* berbahan dasar lumpur IPAM kering tanur mencapai nilai kuat tekan optimum pada perbandingan aktivator : *binder* (1,5:1). Dari data tersebut, lumpur kering tanur membutuhkan jumlah aktivator lebih banyak daripada lumpur IPAM kering oven. Hal ini dikarenakan pada lumpur IPAM kering tanur, berbagai bahan pelarut, senyawa organik dan unsur lain seperti karbon dan sulfur hilang dan hanya tersisa senyawa anorganiknya saja sehingga bahan dasar lumpur kering tanur ini membutuhkan jumlah aktivator yang lebih banyak (Pujiyanto *et al.*, 2013).

Proses polimerisasi juga dapat mempengaruhi hasil uji kuat tekan. Proses polimerisasi terdiri dari dua tahap yaitu proses disolusi yang diikuti proses polikondensasi. Pada proses disolusi menghasilkan monomer silikat $\text{Si}(\text{OH})^4$ dan ion aluminat $\text{Al}(\text{OH})^4$. Untuk mencapai disolusi yang sempurna diperlukan larutan alkali aktivator yang mencukupi (Pujiyanto, 2013).

KESIMPULAN

Lumpur IPAM yang merupakan lumpur hasil koagulasi dapat dijadikan sebagai bahan baku alternatif pembuatan geopolimer dalam bentuk mortar jenis *paving block* karena mengandung Al dan Si yang tinggi. *Paving block* berbahan dasar *binder* A memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 10,00 MPa pada variasi perbandingan aktivator : *binder* (1:1) dengan perbandingan Si:Al (4,2:1). *Paving block* berbahan dasar *binder* B memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 9,78 MPa pada variasi perbandingan aktivator : *binder* (1,5:1) dengan perbandingan Si:Al (6,5:1). *Paving block* dengan nilai kuat tekan tertinggi 10,00 MPa dan 9,78 MPa memasuki persyaratan mutu D sesuai dengan SNI 03-0691-1996, dapat digunakan sebagai *paving block* taman kota. Terdapat 8 *Paving block* yang tidak memenuhi persyaratan mutu *paving block*, 6 *paving block* memasuki persyaratan mutu bata beton untuk pasangan dinding sesuai dengan SNI 03-0349-1989, 2 sisanya tidak memenuhi persyaratan manapun. *Paving block* dengan hasil uji kuat tekan optimum 10,00 MPa dan 9,78 MPa, jika dibandingkan dengan standar mutu bata beton untuk pasangan dinding, berturut-turut memasuki persyaratan mutu kelas I dan II.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, F. 2014. *Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Serat Pada Kuat Tekan Paving block*. *Jurnal Rekaya Sipil Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang*. Vol. No. 1 Februari 2014 ISSN : 1858-2133. Padang.
- Anwar, S. 2015. *Pemanfaatan Serat Batang Pohon Pisang dalam Sintesis Material Hibrida Berbasis Geopolimer Abu Layang Batu Bara*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Arini, R.N., Triwulan dan J.J. Ekaputri. 2013. *Pasta Ringan Geopolimer Berbahan Dasar Lumpur Bakar Sidoarjo dan Fly Ash Perbandingan*

- 3:1 dengan Tambahan Powder dan Serat Alam. *Jurnal Teknik Pomits Vol. 1. No. 1, (2013) : 1-5.* Surabaya.
- Arizal, R. 2016. *Penelitian Geopolimer Kimia UNB Kerjasama dengan PT Antam UBPE Pongkor. Penelitian tidak diterbitkan.* Universitas Nusa Bangsa. Bogor.
- Az-zahra, S., Rachmawati, S.DJ., dan Eka, W. 2014. *Karakteristik Kualitas Air Baku dan Lumpur sebagai Dasar Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur IPA Badak Singa PDAM Tirtawening.* *Jurnal Rekayasa Lingkungan.* ITENAS. Bandung.
- Awaludin, A. 2016. *Aplikasi Tawas Cair Recovery sebagai Koagulan Limbah Cair Industri Perisa Minuman.* Skripsi. Universitas Nusa Bangsa. Bogor.
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. SNI 03-0349-1989: *Bata Beton Untuk Pasangan Dinding.*
- Badan Standarisasi Nasional. 1996. SNI 03-0691-1996: *Bata Beton (Paving block).*
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. SNI 03-6825-2002: *Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil.*
- Cahyadi, D. 2013. *Sifat Mekanik dan Durabilitas Polypropylene Fiber Reinforced Geopolymer Concrete (PFRGC).* *Jurnal Teknik Sipil Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Vol. No. 1 Oktober 2013 ISSN : 2339-0271.* Surakarta.
- Davidovits, J. 1994. *Global Warming IMPact on the Cement and Aggregates Industries, World Resource Review, 6(2), 263-278.* Saint-Quentin.
- Ekaputri, J.J., Triwulan, dan Oktavina, D. 2007. *Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Jawa Powder Paiton Sebagai Material Alternatif.* *Jurnal PONDASI. Vol. 13 No. 2, Desember 2007. ISSN: 0853-814X.* Surabaya.
- Ekaputri, J. J. dan Triwulan. 2013. *Sodium Sebagai Aktivator Fly Ash, Trass dan Lumpur Sidoarjo dalam Beton Geopolimer.* *Jurnal Teknik Sipil. Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Vol. 20 No. 1, April 2013 ISSN : 0853-2982.* Surabaya.
- Mirwan, A. 2012. *Pemanfaatan Kembali Limbah Padat Lumpur PDAM Untuk Penjernihan Air dari Sungai Martapura Kalimantan Selatan.* *Jurnal Teknik Kimia.* Universitas Lambung Mangkurat. Kalimantan Selatan.
- Nugteren, H.W, V.C.L. Butselaar-Orthlieb dan M. Izqueredo. 2009. *High Strength Geopolymers Produced From Coal Combustion Fly Ash. Global NEST Journal, Vol 11. No 2, pp 155-161.* 2009. Yunani.
- Pujianto, A. Anzila N. A., Martyana D.C., dan Hendra. 2013. *Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Bahan Utama Bubuk Lumpur Lapindo dan Kapur.* Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta.
- Ramdhani, S. A. 2016. *Pengaruh Komposisi Kaolin dalam Pembuatan Mortar Geopolimer Berbahan Dasar Tailing Pertambangan Emas.* Skripsi. Universitas Nusa Bangsa. Bogor.
- Swastika, N. 2010. *Analisis Ketahanan Beton Geopolimer Berbahan Abu Terbang dan Berbahan Metakaolin Terhadap Paparan Air Laut ASTM.* Tesis. Universitas Indonesia. Depok.
- Septia, P. (2011). *Studi Literatur Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Rasio*

NaOH:Na₂SiO₃, Rasio Air/Prekursor Suhu Curing, Dan Jenis Prekursor Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer. Skripsi. Universitas Indonesia.

Modifikasi. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Sherliana. 2016. *Studi Kuat Tekan Paving block dengan Campuran Tanah, Semen dan Abu sekam padi Menggunakan Alat Pemasak*