



8.58%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 17 JUL 2024, 6:11 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● CHANGED TEXT
8.58%

Report #22060395

27 1 BAB I PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang Beton adalah bahan konstruksi yang terbentuk dari perpaduan berbagai komponen, termasuk agregat halus, bahan pengikat, agregat kasar, serta air. Bahan pengikat yang umum dipakai dalam beton adalah semen Portland, yang bercampur dengan air untuk menghasilkan pasta semen yang berperan menjadi perekat bagi agregat halus serta kasar. Beton menampilkan sifat mekanik yang istimewa, termasuk keunggulan dalam kekuatan tekan dan rigiditas, serta kualitas fisik yang memadai, seperti ketahanan terhadap pengaruh cuaca dan kebakaran. (SNI 2847, 2019). Gambar 1. 1 Foto Penambangan Batu Krikil Alami Agregat, sebagai komponen utama dalam beton, memiliki peran penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan fungsional beton. Agregat merupakan komponen material yang terdiri dari butiran-butiran, yang difungsikan untuk bahan campuran dalam mortar atau beton. Agregat memiliki andil signifikan dalam volume total beton, mencapai sekitar 60% hingga 80%, oleh karena itu, proses pemilihan agregat memiliki pengaruh yang substansial terhadap sifat-sifat mekanik dan teknis dari mortar atau beton yang dihasilkan. (Tjokrodimulyo, 1995). Asosiasi Beton Indonesia (ABI) memproyeksikan permintaan beton ready mix di tahun 2024 mencapai 90 juta meter 3 . Sekitar 72 juta meter 3 agregat kasar dibutuhkan untuk 90 juta meter kubik beton. Dengan pembangunan yang terus berkembang, Penambangan batu krikil di Indonesia telah menimbulkan



kerusakan lingkungan yang signifikan di berbagai wilayah. Contohnya di Cibinong, Bogor, 70% habitat alami hilang, erosi tanah meningkat 50%, kualitas air sungai Cibinong turun 50%, dan kadar debu di udara naik 200%. Di Jawa Barat, 17% hutan hilang dan 30% sungainya tercemar akibat sedimentasi dan limbah penambangan. Di Kalimantan Timur, 20% hutan hilang dan pencemaran air tanah dan sungai terjadi akibat kegiatan penambangan batu bara dan batu krikil. Data- data ini menunjukkan bahwa penambangan batu krikil membawa dampak negatif yang serius bagi lingkungan dan perlu ditangani dengan tegas. Dengan pembangunan yang terus berkembang, penggunaan agregat kasar menjadi komponen utama pada beton juga meningkat, yang menyebabkan peningkatan produktivitas penambangan agregat dan kerusakan lingkungan yang signifikan. Untuk mengatasi dampak lingkungan tersebut, perlu dicari agregat yang lebih ramah lingkungan. Salah satu solusinya adalah membuat agregat geopolimer dengan silica fume dan fly ash . Fly ash adalah residu pembakaran batubara di pembangkit listrik, sementara silica fume adalah produk sampingan dari produksi silikon dan ferrosilicon alloy. Kedua material ini memiliki potensi signifikan untuk dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam produksi agregat geopolimer yang lebih ramah lingkungan serta memiliki sifat-sifat unggul. 10 14 Fly ash , juga dikenal sebagai abu terbang, adalah produk sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik di Indonesia. Potensi material ini sebagai bahan baku dalam industri konstruksi sangatlah besar. Namun, penggunaannya masih terbatas di Indonesia, dan sebagian besar fly ash yang dihasilkan masih terbuang ke tempat pembuangan akhir. Fly ash, sebagai bagian dari komponen Pezzellan, memiliki kandungan yang tinggi akan Si dan Al. Sifat ini mendukung proses polimerisasi dan polikondensasi yang terjadi selama pembentukan agregat. Ketika teraktivasi oleh aktivator, kandungan tersebut memungkinkan fly ash untuk mengeras menjadi struktur padat yang kokoh. Beton geopolimer, sebuah inovasi dalam teknologi material konstruksi, terbuat dari bahan-bahan alami seperti fly ash,

pasir, dan larutan alkali. Beton geopolimer unggul dalam beberapa aspek, termasuk kekuatan yang lebih tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan beton konvensional. **15** Berbeda dengan beton biasa yang mengalami reaksi hidrasi, beton geopolimer terbentuk melalui reaksi kimia (Davidovits, 1985). Salah satu aspek yang menonjol dari beton geopolimer adalah kekuatan tekan dan daya tahan yang tinggi (Hardjito dan Rangan, 2005). Penelitian telah menunjukkan bahwa beton geopolimer yang direstrukturisasi menjadi pilihan yang memadai untuk pengembangan di wilayah yang rentan terhadap gempa bumi (Ganesan, N., 2014). Silica fume adalah bahan pozzolanik reaktif tinggi, silica fume berpotensi untuk meningkatkan kinerja mortar beton geopolimer. Kandungan silica fume yang berkontribusi terhadap peningkatan sifat mortar geopolimer. Silica fume secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan mortar geopolimer karena partikelnya yang sangat halus mengisi celah dan rongga dalam pasta semen, memperkuat matriks dan meningkatkan kepadatannya (Malhotra, 2004; Neville, 2000). Peningkatan ini dapat mencapai 30% dibandingkan dengan mortar geopolimer tanpa silica fume. **31** Silica fume meningkatkan ketahanan mortar geopolimer terhadap serangan sulfat, klorida, dan bahan kimia agresif lainnya (ACI Committee 223, 2003). Hal ini diakibatkan oleh reaksi pozzolanik dari kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) serta silica fume pada pasta semen, menghasilkan senyawa gel silika- alumina (C-S-H) yang lebih stabil dan tahan lama. Silica fume meningkatkan workability mortar geopolimer, membuatnya lebih mudah dicampur, diaplikasikan, dan dipadatkan (ACI Committee 211, 1999). Efek pelicin partikel silica fume mengurangi gesekan antar partikel dan meningkatkan aliran campuran, memungkinkan aplikasi yang lebih mudah dan efisien. Silica fume meningkatkan ketahanan mortar geopolimer terhadap retak, abrasi, dan siklus pembekuan-pencairan (ACI Committee 318, 2019). Partikel silica fume memperkuat matriks dan meningkatkan kohesi antar partikel, menghasilkan mortar geopolimer yang lebih tahan lama dan tahan terhadap kerusakan.

5 Metode pelletized dengan wadah berputar bersudut diterapkan untuk

menghasilkan beton geopolimer. Dua belas kilogram fly ash dengan kandungan air 10% dari berat total disemprotkan ke dalam wadah berputar selama 20 menit. Dua metode curing digunakan: curing dingin dengan menempatkan agregat buatan dalam wadah plastik pada suhu dan kelembaban relatif 70% selama 28 hari, dan curing panas dengan mengeringkan agregat buatan pada suhu selama 24 jam dan kemudian menyimpannya pada suhu ruang selama 28 hari (Terzic, Pezo, Mitic, & Radojevic, 2014). Pengaruh rasio silika (SiO_2) terhadap alumina (Al_2O_3) dalam proses polimerisasi beton geopolimer fly ash. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{SiO}_3$ yang optimal untuk mencapai kekuatan tekan maksimum berkisar antara 2,6 dan 3,6. Rasio ini penting untuk memastikan polimerisasi yang tepat dan pembentukan gel silika-alumina yang kuat dalam matriks beton geopolimer (Al Rasyid, The Content Ratio of SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O dan H_2O in Geopolimer Concrete, 2015). Menurut latar belakang penelitian diatas, penelitian ini dilaksanakan guna mengeksplorasi lebih luas lagi mengenai Artificial aggregate. Agregat kasar geopolymer berbasiskan fly ash yang disubstitusikan dengan silica fume sebanyak 0%, 5%, dan 10% merupakan inovasi ramah lingkungan yang menarik dan juga memiliki potensi besar untuk menghadirkan Artificial aggregate di dunia konstruksi. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memenuhi kebutuhan konstruksi dalam meningkatkan kekuatan agregat kasar sehingga dapat tercipta beton dengan mutu yang lebih baik dan juga dapat mengetahui pengaruh yang diberikan silica fume terhadap karakteristik batu kerikil.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini rumusan masalahnya yakni :

- Bagaimana merancang campuran agregate buatan geopolymer menggunakan fly ash yang di substitusikan dengan silica fume ?
- Berapakah proporsi substitusi silica fume yang optimal dari 0%, 5%, dan 1% untuk membuat aggregate buatan yang dapat menggantikan aggregate alami?
- Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis dari agregat geopolimer yang dibuat dengan bahan dasar fly ash dan silica fume ?
- Seberapa besar pengaruh substitusi silica

fume terhadap sifat-sifat agregat geopolimer? 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan yaitu : a. Mengidentifikasi proporsi optimal agregat buatan geopolymer menggunakan fly ash yang disubstitusikan dengan silica fume dengan sifat mekanik yang diinginkan dan dampak lingkungan yang lebih sedikit. b. Mengetahui persentase optimal untuk proporsi fly ash yang disubstitusikan silica fume dengan persentase 0%, 5%, dan 10%. c. Mengetahui sifat fisik dan mekanik agregat kasar ramah lingkungan berbahan dasar geopolimer fly ash dan silica fume .

d. Mengetahui pengaruh substitusi silica fume terhadap sifat-sifat agregat geopolimer. 1.4 Manfaat Penelitian Manfaat dari penelitian ini yakni:

a. Memberikan tambahan wawasan dan pengetahuan dalam bidang material konstruksi, khususnya dalam penggunaan bahan-bahan alternatif yang lebih berkelanjutan. b. Menyediakan alternatif agregat yang lebih ramah lingkungan untuk industri konstruksi. Mengurangi dampak negatif dari penambangan agregat alami. c. Memberikan dasar bagi penelitian selanjutnya dalam mengembangkan teknologi bahan bangunan berkelanjutan. 1.5 Batasan Penelitian Berikut merupakan batasan permasalahan dalam penelitian ini yakni:

a. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis agregat geopolimer saja, tanpa melibatkan pengujian pada beton yang menggunakan agregat tersebut. b. Dalam penelitian ini, beberapa pengujian dilakukan untuk mengevaluasi sifat material, meliputi uji berat jenis, uji Bulk density, dan uji los angeles. c. Pengujian dilakukan untuk karakteristik fisik dan mekanis agregat geopolimer saja, tanpa melibatkan pengujian pada beton yang menggunakan agregat tersebut. d. Para peneliti mengevaluasi dampak silica fume terhadap karakteristik agregat buatan geopolimer yang berasal dari fly ash. Variasi persentase silica fume yang dimanfaatkan adalah 0%, 5%, dan 10%. Agregat buatan menjalani proses curing dua tahap: curing oven pada 60°C selama 4 jam dan curing suhu ruang selama 28 hari. e. Penelitian agregat kasar buatan yang akan diuji hanya menggunakan spesifikasi 8M, pada aktivator.

9 BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Agregat Kasar Agregat kasar,

sebagai salah satu material penyusun utama dalam campuran beton dan material konstruksi lainnya, memiliki karakteristik fisik dan mekanis yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas akhir dari struktur beton. Agregat kasar umumnya adalah batu pecah, kerikil, material alam lainnya, atau secara buatan dengan ukuran partikel yang bervariasi, mulai dari beberapa milimeter hingga beberapa sentimeter. Menurut ketentuan yang terdapat dalam standar ASTM C33, agregat kasar didefinisikan sebagai material berupa batu pecah ataupun kerikil rentang ukuran partikel antara 9,5 mm hingga 37,5 mm. Standar ASTM C 33/03 menetapkan serangkaian persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar. Pertama, agregat kasar wajib tersusun atas butiran yang memiliki kekerasan dan porositas yang minimal. Kedua, butiran agregat kasar harus stabil secara struktural, sehingga tidak mengalami kerusakan atau degradasi akibat pengaruh cuaca. Selanjutnya, agregat kasar tidak diperbolehkan mengandung substansi yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton. Terakhir, kadar lumpur tidak boleh melebihi 1% dari total. Jika melebihi batas tersebut, agregat kasar harus menjalani proses pencucian untuk memenuhi standar yang ditetapkan. Berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam standar SNI 1970-2008, agregat kasar diartikan menjadi kerikil yang didapatkan dari proses disintegrasi alami batuan, berbentuk batu pecah yang berukuran butir mencakup rentang dari 4,75 mm (sesuai terhadap saringan nomor 4) hingga 40 mm (sesuai dengan saringan nomor 1/2 inci). 25 Adapun persyaratan mengenai gradasi saringan yang di pergunakan untuk campuran beton berdasarkan ASTM C33/03 " Standard Spesification for Concrete Agregate " Tabel 2. 1 Gradasi Ideal Agregat Kasar (Sumber : ASTM C 33/03) 2.2

Material Penyusun Agregat Kasar Buatan Material penyusun agregat kasar ramah lingkungan buatan pada penelitian ini yakni pasir, fly ash yang disubstitusikan dengan silica fume dan alkali aktivator sehingga menyebabkan reaksi geopolimer. 2.2 1 4 8 9 20 1 Abu Terbang (Fly Ash) Menurut standar SNI 03-6414-2002, abu terbang atau abu terbang dari batubara didefinisikan sebagai sisa pembakaran batubara di tungku

pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus dan bulat dan memiliki sifat pozolanik. 1 4 Fly ash termasuk material dengan warna abu-abu serta butiran halus dari proses pembakaran batubara. 1 4 10 17 Secara esensial, pasir halus mengandung unsur kimia seperti oksida kalsium (CaO), oksida besi (Fe₂O₃), alumina (Al₂O₃), silika (SiO₂), dan unsur tambahan seperti karbon, oksida fosfor (P₂O₅), sulfur trioksida (SO₃), alkali (Na₂O dan K₂O), titanium oksida (TiO₂), dan magnesium oksida (MgO). Abu terbang, juga dikenal sebagai abu terbang, 1 1 memiliki warna abu-abu kehitaman dan memiliki partikel yang relatif halus yang dapat melewati ayakan No. 6 325 (45 mikron) sebesar 5–27% dan memiliki berat jenis khusus antara 2,15 dan 2,6 (ACI Committee 226, 1998). 1 5 6 11 Kandungan silika batubara sekitar 80%, dengan sebagian besar silika dalam bentuk amorf. 1 5 6 11 28 Karakteristik fisik abu terbang batubara termasuk kadar air sekitar 4%, densitas 2,23 gram per cm³, dan komposisi mineral yang sebagian besar terdiri dari mullite dan α-kuarsa. 1 5 6 Mengandung SiO₂ sebesar 58,75%, Al₂O₃ sebesar 25,82%, Fe₂O₃ sebesar 5,30%, CaO sebesar 4,66%, alkali sebesar 1,36%, MgO sebesar 3,30%, dan komponen tambahan sebesar 0,81% (Misbachul Munir, 2008). 1 5 11 Tembaga (Cu), seng (Zn), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan kromium (Cr) adalah beberapa logam berat yang ditemukan dalam fly ash batubara. Menurut panduan American Concrete Institute (ACI) Committee 116R, fly ash dideskripsikan menjadi sisa pembakaran batu bara dalam bentuk partikel halus yang dibawa oleh gas buang yang berasal dari zona pembakaran kepada sistem pembuangan. (ACI Committee 232, 2004). 35 Reaksi kimia antara larutan alkalin dan mineral Si-Al menyebabkan polimerisasi beton geopolimer. 29 Proses ini menghasilkan jaringan polimer tiga dimensi dan ikatan struktur yang konsisten dengan susunan Si-O-Al-O (Davidovits, 1991). Gambar 2. 4 39 2 Abu Terbang (Fly Ash) 2.2 2 1 Alkali Aktivator Alkali aktivator adalah zat yang bertanggung jawab untuk mengaktifasi oksida silika dalam fly ash dan memicu reaksi kimia yang menghasilkan pembentukan ikatan polimer. 2 23 Larutan alkali yang sering digunakan pada beton geopolimer biasanya terdiri dari campuran kalium hidroksida (KOH) atau natrium

hidroksida (NaOH) dengan kalium silikat atau natrium silikat. 2 9 14 15 24 Natrium hidroksida, salah satu jenis alkali aktivator, berfungsi untuk mereaksikan unsur silika (Si) dan alumina (Al) yang ada pada fly ash, yang menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sementara itu, natrium silikat berperan sebagai katalisator yang menjadikan jalannya reaksi kimia lebih cepat. Pada proses menghasilkan beton geopolimer, penggunaan katalisator juga menjadi hal yang penting. Dalam kajian ini, alkali aktivator yang dipergunakan tersusun atas sodium silikat (Na_2SiO_3) serta sodium hidroksida (NaOH), pada konsentrasi molar. (Adi, 2018). 1 3 Gambar 2. 3 Alkali Aktivator 2.2.2 Silica Fume Untuk menghasilkan campuran silikon dan ferrosilikon, silika fume (SF) digunakan dalam proses pemurnian silika menggunakan batu bara di tanur listrik tinggi (ACI 234R-96). Ini kaya akan silika dioksida (SiO_2) dan memiliki karakteristik khusus yang sangat kecil, sekitar 1/100 kali diameter semen (ACI Committee, 1986; Modul Silica). Silica fume, dikenal pula sebagai mikrosilica, merupakan material agregat halus yang kaya akan silika (SiO_2) dengan kandungan minimal 15%. Menurut standar ASTM C 30 1240-1995, fume silica didefinisikan sebagai material pozzolan yang dihasilkan dari alloy besi silikon atau sisa produksi silikon. Subakti (2013) dalam penelitiannya menjelaskan peran penting silica fume dalam meningkatkan sifat kimia dan mekanik beton, menjadikannya material ideal untuk konstruksi beton berperforma tinggi. Secara kimia, silica fume memiliki struktur partikel yang sangat halus, jauh lebih kecil dibandingkan partikel semen. Hal ini memungkinkan silica fume untuk mengisi rongga-rongga di antara partikel semen, meningkatkan kepadatan mikrostruktur beton, dan memperkecil diameter pori. Pengecilan diameter pori dan pengurangan total volume pori ini berimplikasi signifikan pada sifat beton. Beton dengan pori yang lebih kecil umumnya memiliki permeabilitas yang lebih rendah, meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi air, klorida, dan zat agresif lainnya. Hal ini juga berkontribusi pada peningkatan kekuatan tekan, modulus elastisitas, dan ketahanan beton terhadap siklus

pembekuan-pencairan. Sifat mekanik silica fume yang paling menonjol adalah kemampuannya untuk bereaksi terhadap kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan oleh semen pada proses hidrasi. Reaksi gel ini membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), gel silika yang merupakan fase utama dalam pasta semen dan memberikan kekuatan beton. Kandungan SiO_2 yang tinggi dalam silica fume (sekitar 80-90%) menjadikannya bahan reaktif pozzolan yang sangat efektif. Hidrasi air dan semen dengan adanya silica fume menghasilkan C-S-H dengan struktur yang lebih padat dan kuat dibandingkan C-S-H yang terbentuk dari hidrasi semen biasa. Ini meningkatkan kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan ketahanan beton terhadap retak secara signifikan.

1.5 Gambar 2.4 Silica Fume

2.2.3 Pasir

Agregat halus, sering dikenal sebagai pasir, merupakan material butiran halus dengan diameter maksimum 5 mm yang berperan krusial dalam konstruksi beton. Struktur beton yang lebih padat dan kuat dibuat dengan butiran halus ini yang mengisi celah antara agregat kasar. Selain itu, agregat halus meningkatkan workability campuran beton, membuatnya lebih mudah diaduk dan dituang. Fungsi penting lainnya dari agregat halus adalah memengaruhi kekuatan beton. Kekuatan agregat halus dan paste (campuran semen dan air) mempengaruhi kekuatan beton secara keseluruhan. Agregat halus berkualitas tinggi berkontribusi pada beton yang lebih kokoh dan tahan lama. Di Indonesia, mutu dan cara uji agregat halus diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan nomor SNI 03-1750-1990. Standar ini menetapkan persyaratan minimum untuk berbagai sifat agregat halus, seperti gradasi, kadar lumpur, kebersihan, kekuatan tekan mortar, dan ketahanan alkali-agregat. Sebelum digunakan untuk campuran beton, agregat halus harus diuji untuk memastikan kepatuhannya terhadap SNI. Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6820-2002 mendefinisikan agregat halus sebagai material butiran dengan diameter maksimum 4,76 mm, baik yang bersumber dari hasil olahan maupun alam. Agregat halus yang diolah terbuat dari pemisahan dan pecahan butiran melalui penyaringan dan teknik lain dari terak tanur tinggi atau batuan. SNI SK S-04-1989-F

menetapkan kriteria agregat halus yang berkualitas, yaitu: 1. Butiran agregat halus harus tajam, kuat, dan tahan terhadap hujan dan sinar matahari. 33 Uji ini dilakukan dengan larutan garam natrium sulfat dan magnesium sulfat, dengan batas maksimum kerusakan 12% dan 18%, masing-masing 2. Kadar lumpur (butiran halus 0,06 mm) tidak boleh melebihi 5%. 3. Kandungan zat organik harus rendah. Uji warna dilakukan memakai larutan NaOH 3%. 16 34 Warna larutan yang dibuat dari endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar atau pembanding. 16 Pasir laut dapat menyebabkan korosi pada tulangan beton, jadi tidak boleh digunakan. 4. Berdasarkan standar gradasi, modulus halus butiran harus berkisar antara 1,50 dan 3,80 untuk variasi butiran. Memenuhi kriteria-kriteria tersebut menjadi kunci agregat halus berkualitas, yang pada gilirannya menghasilkan beton kuat dan tahan lama. Penggunaan agregat halus yang tepat merupakan elemen penting dalam konstruksi bangunan yang kokoh dan tahan banting. Agregat halus berkualitas tinggi merupakan elemen fundamental dalam konstruksi bangunan yang kokoh dan tahan banting. 17 Gambar 2. 2 5 Pasir Agregat halus, juga disebut pasir, dapat diperoleh melalui proses penghancuran batu atau dari sumber alami seperti tambang atau sungai. Pasir beton adalah partikel mineral yang keras berbentuk bulat dengan kadar partikel yang lebih kecil dari 0,063 mm dan tidak melebihi 5%. Standar ASTM C 33/03 menetapkan persyaratan untuk proporsi agregat ideal sesuai dengan gradasi yang disarankan. Tabel 2. 2 Gradasi Ideal Agregat Halus (Sumber : ASTM C 33/03) Pada penelitian ini, agregat halus dipilih sebagai bahan material penyusun artificial aggregate untuk menggantikan bottom ash yang dipakai dalam penelitian sebelumnya, dengan perbandingan fly ash : bottom ash sejumlah 40% : 60% dari berat total artificial aggregate dalam satu kali pembuatan (Byung, Seung, & Byung, 2004). BAB III METODE PENELITIAN 3.1 Objek Penelitian Pada penelitian ini, objek penelitiannya yakni agregat kasar yang terdiri dari bahan-bahan ramah lingkungan, termasuk bahan agregat kasar yang terdiri dari fly ash yang disubstitusikan dengan silica fume dan pasir. Bahan- bahan tersebut

kemudian diolah yang memakai sodium silikat (Na_2SiO_3) serta sodium hidroksida (NaOH) untuk menghasilkan ikatan antara Si dan Al yang menghasilkan struktur yang kuat. Proses reaksi ini umumnya digunakan dalam konteks beton geopolimer. Pembuatan agregat kasar yang ramah lingkungan dari fly ash yang disubstitusikan dengan silica fume melibatkan penggunaan tiga variasi kandungan silica fume yang disubstitusikan kepada fly ash sebesar 0%, 5%, 10%. Agregat kasar yang dihasilkan akan digunakan sebagai objek penilaian dalam uji keausan terhadap mesin Los Angeles berat jenis, dan berat isi.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini memanipulasi variabel bebas dengan memvariasikan nilai persentase pada silica fume yang disubstitusikan ke dalam fly ash. Persentase silica fume yang disubstitusikan kepada fly ash dalam mencampur agregat kasar yang ramah lingkungan dari beton geopolimer fly ash adalah 0%, 5%, 10%.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian fly ash yang disubstitusikan dengan silica fume

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini melibatkan uji XRF (X-Ray fluorescence) yang memiliki tujuan guna menentukan komposisi unsur bahan. Pembuatan agregat kasar pengganti menggunakan material fly ash tipe-F dan pasir, sedangkan sodium silikat (Na_2SiO_3) dari Toko Karawaci Kimia yang terletak di jalan Imam Bonjol, Sukajadi, Kota Tangerang, digunakan sebagai bahan perekat. Dengan demikian, proporsi yang sesuai dengan batasan yang ditetapkan antara $\text{SiO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ dapat dihitung, dan karakteristik campuran dengan perhitungan SH Solid dengan H_2O dapat diidentifikasi.:

1. Pengujian XRF flyash Tipe-F - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar SiO_2 pada flyash dalam satuan persen (%) - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar Al_2O_3 pada flyash dalam satuan persen (%)
2. Pengujian XRF Silica fume - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar SiO_2 pada Silica fume dalam satuan persen (%) - Pengujian XRF untuk mengetahui kadar Al_2O_3 pada Silica fume dalam satuan persen (%)
3. Perhitungan proporsi SiO_3 dan Al_2O_3 - Proporsi SiO_3 dan Al_2O_3 dapat diestimasi dengan melakukan ekstraksi

komposisi dari fly ash, NaOH, Na_2SiO_3 , H_2O , dan silica fume dengan mengalikan massa molar (Mr) dari masing-masing senyawa dalam satuan mol. 4. Perhitungan SH Solid dan H_2O - Perhitungan SH Solid dan H_2O dapat dilakukan setelah memisahkan jumlah mol antara SH solid yang ada dalam fly ash, NaOH, Na_2SiO_3 , dan silica fume. Setelah itu, jumlah tersebut dapat dibagi dengan jumlah mol H_2O yang diekstraksi dalam perhitungan proporsi. **3 13 26** 5. Pengujian Agregat Halus - Uji agregat kadar lumpur (SNI 03-4142-1996) - Uji daya serap air dan berat jenis agregat halus (SNI 1970: 2008). 6. Pengujian Agregat Kasar Natural dan Artificial Aggregate - Uji daya serap air seta berat jenis agregat kasar (SNI 1969: 2008). - Analisis saringan agregat kasar (SNI ASTM C136-2012). - Uji berat isi agregat kasar (SNI 03-4804-1998). 3.4 Pelaksanaan Pembuatan Agregat Buatan Penelitian ini menggambarkan langkah-langkah dalam proses pembuatan geopolimer yang melibatkan aktivator, bertujuan untuk menghasilkan struktur yang kokoh dengan rasio SiO_3 dan Al_2O_3 yang diatur dengan cermat. Berbagai langkah tersebut yakni: 1. Persiapan dan penentuan proporsi serta jumlah berat senyawa kimia NaOH, Na_2SiO_3 , fly ash, dan silica fume yang akan di substitusikan pada fly ash sebagai pengganti dalam persentase Na_2SiO_3 . 2. Pembentukan alkali aktivator melalui reaksi kimia antara NaOH, Na_2SiO_3 , dan H_2O . 3. Campuran fly ash, silica fume, dan pasir dengan alkali aktivator menggunakan alat semprot yang tepat ke dalam mixer untuk menciptakan kohesi yang optimal. 4. Proses semprotan secara berkala alkali aktivator dalam campuran silica fume, fly ash, dan pasir sehingga terbentuknya agregat dalam mixer. 5. Agregat yang terbentuk kemudian dipindahkan ke dalam wadah untuk mengalami tahap pengeringan 21 selama 1-2 hari, memastikan kekakuan yang optimal. 6. Setelah tahap pengeringan, agregat dimasukkan pada oven selama 4 jam suhu pada 60 derajat Celsius atau bias juga menggunakan prose steam curing dengan suhu 80 derajat Celsius selama 1 jam untuk menguatkan strukturnya secara menyeluruh. 7. Proses curing

dilakukan dengan mempertahankan suhu ruangan selama 28 hari setelah proses oven, memungkinkan agregat untuk mencapai kekuatan maksimal. Selanjutnya, agregat disaring dengan cermat sesuai dengan gradasi agregat kasar yang diinginkan. 8. Pengujian dan analisis hasil uji agregat buatan dilakukan secara menyeluruh setelah proses curing selama 28 hari, memastikan kualitas dan keandalan struktural yang optimal. 3.5 Pengujian Material Penyusun Artificial Aggregate 3.5.1 Uji XRF (X-Ray Fluorescence)

Penelitian ini memanfaatkan analisis X-Ray Fluorescence (XRF) guna mengkaji komposisi unsur dalam fly ash dan silica fume. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam mengidentifikasi berbagai unsur, mulai dari natrium (Na) hingga uranium (U) dalam senyawa, dengan tingkat presisi tinggi. Teknik XRF dilakukan menggunakan Rigaku NexCG dengan sampel berbentuk serbuk yang ditempatkan di atas plat logam. Sampel fly ash dan silica fume diuji untuk menentukan kandungan Silikat (Si) dan Alumina (Al) di dalamnya. Klasifikasi akurat unsur-unsur ini sangat penting untuk memastikan keakuratan kandungan yang diteliti dalam penelitian ini. Pengujian XRF dilaksanakan di fasilitas sains BRIN di Puspitek Serpong. Beberapa persyaratan sampel perlu dipenuhi untuk mendapatkan hasil analisis yang optimal:

- ☒ Sampel harus berbentuk serbuk dengan ukuran lolos saringan 200 mesh atau plat berukuran 2 x 2 cm.
- ☒ Sampel harus kering total tanpa kelembaban atau kebasahan.
- ☒ Sampel harus non-higroskopik, non-volatile, dan tidak bersifat asam.
- ☒ Volume minimal sampel serbuk yang digunakan adalah satu sendok makan.

Pemenuhan persyaratan sampel ini memastikan kualitas dan akurasi hasil analisis XRF. Data komposisi unsur yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi karakteristik silica fume serta fly ash, serta potensinya menjadi bahan bangunan atau material konstruksi. (Sumber: elsa.brin.go.id) Gambar 3. 1 X-Ray Fluorescence (ED-XRF) Rigaku NexCG 2 3 3.5.2 Pengujian Agregat Halus 3.5 **32** 2.1 Pengujian Kadar Lumpur Sesuai dengan yang ada pada SNI 03-4142- 1996, Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm), pengujian kadar lumpur

dilakukan. Berikut adalah prosedur serta alat yang dipakai dari proses pengujian agregat halus: 3.5.2.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Berdasarkan standar SNI 1970-2008, Pengujian berat jenis serta daya serap air pada agregat halus memiliki tujuan guna mendapatkan informasi tentang berat jenis agregat dalam keadaan kering, berat jenis agregat dalam keadaan jenuh permukaan kering, berat jenis semu, serta tingkat penyerapan airnya. Proses ini memiliki konsep serupa terhadap pengujian untuk agregat kasar, meskipun ada beda pada rumus perhitungannya yang disesuaikan dengan sifat khusus agregat halus. Perbedaan tersebut mencakup penyesuaian formula yang digunakan untuk menganalisis karakteristik fisik agregat halus tersebut.

3.5.2.3 Pengujian Slump Pengujian Slump Beton Menurut SNI 1972:2022 bertujuan untuk menentukan kekentalan atau plastisitas serta kohesi dari beton segar. Nilai slump ini digunakan sebagai kemudahan pengerjaan beton dan kemampuannya mengisi cetakan.

3.6 Pengujian Material Artificial Aggregate & Agregat Kasar Alami Pengujian artificial aggregate dapat dilakukan ketika artificial aggregate melalui proses curing selama 4 jam dengan oven 60 o C kemudian di curing dengan suhu ruangan selama 28 hari. Hasil Pengujian agregat kasar alami mengacu dari ASTM dan juga SNI sebagai perbandingan dengan artificial aggregate.

3.6 **26** 1 Pengujian Berat Jenis dan Daya Serap Air 3.6 1.1 Agregat Kasar Alami dan Artificial Aggregate Menurut SNI 1969-2008, pengujian daya serap air serta berat jenis bertujuan untuk mengidentifikasi beberapa parameter kunci terkait artificial aggregate dan agregat kasar alami. **3 7** Dalam pengujian ini, berat jenis dalam keadaan jenuh kering, berat jenis dalam keadaan kering, permukaan, tingkat penyerapan air, dan berat jenis semu diukur. Di bawah ini adalah definisi dan rumus yang diperlukan untuk melakukan pengujian tersebut.

3.6 **13** 2 Pengujian Berat Isi Artificial Aggregate dan Agregat Kasar Alami Menurut SNI 03-1969-1990, yang mengatur mengenai Pengujian Bobot Isi serta Rongga Udara dalam Agregat pengujian bobot isi dan rongga udara pada agregat. Di bawah ini merupakan alat serta prosedur yang dipakai guna menguji agregat halus dan kasar: 2 5 Tabel 3. 2 Ukuran Nominal Agregat &

Kapasitas Maksimum Penakar Berat Isi 3.6 **3 19** 3 Pengujian Analisis Saringan Artificial Aggregate dan Agregat Kasar Alami Pengujian ini berdasarkan metode yang tercantum dalam SNI 03-1968-1990 tentang Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus, Agregat Buatan, serta Agregat Kasar Alami. Berikut adalah alat, bahan, ukuran agregat, dan langkah-langkah pelaksanaannya.

3.6.4 Uji Keausan Agregat Kasar (Los Angeles) Berdasarkan standar (SNI, 2417:2008), Uji Los Angeles digunakan menjadi metode guna menerapkan resistensi agregat kasar kepada abrasi, dengan tujuan untuk mengukur tingkat abrasi dengan membandingkan berat material yang terabrasi dengan berat material asli, diungkapkan dalam bentuk persentase. Metode pengujian melibatkan penempatan benda uji pada mesin Los Angeles, di mana mesin berputar pada kecepatan antara 30 hingga 33 rpm. Sesudah proses rotasi selesai, benda uji dikeluarkan dari mesin serta dilakukan Gambar 3. 2 Alat Uji Los Angeles penyaringan memakai saringan nomor 12 yang punya lubang selebar 1,7 mm; butiran yang tertahan di atas saringan tersebut kemudian dilakukan pencucian hingga bersih. Sesudahnya, benda uji dikeringkan pada oven di suhu $110 \pm 5^\circ$ ($230C \pm 9^\circ$)C hingga memoleh berat yang konstan. Tabel **22** . 3 Daftar gradasi dan berat benda uji Prosedur ini memiliki tujuan guna menetapkan keausan agregat kasar pada gesekan dan abrasi yang memakai mesin Los Angeles, sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 2417:2008 . 3.7 Analisis Data Studi ini akan menghasilkan agregat buatan yang berkelanjutan, berbahan dasarnya beton geopolimer fly ash yang di substitusikan dengan silica fume . Pengujian akan dilaksanakan di lingkungan laboratorium bahan dan beton, dengan menggunakan beberapa faktor variabel. 2 7 Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 4.1 Penyajian Data Penyajian data ini memuat hasil pengujian dari penelitian artificial aggregate yang diperkuat silica fume, yang dilakukan menyesuaikan terhadap standar yang sudah ditetapkan. 4.1.1 Pengujian Material Penyusun Artificial Aggregate Artificial aggregate memiliki material penyusun dari fly ash, silica fume, dan pasir yang akan di reaksikan dengan

alkali aktivator secara bertahap dalam kondisi jenuh sehingga terbentuk bulir bulir atau granular (pelletized). Reaksi geopolimer yang menghasilkan satuan yang keras tercipta dari reaksi alumina serta silikat yang ada pada material fly ash, serta silika fume yang dibantu oleh alkali aktivator.

4.1.1.1 Hasil Pengujian XRF (X-Ray Fluorescence)

Pengujian XRF (X-Ray Fluorescence) dilaksanakan di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional), berlokasi di Kawasan Puspitek (KST BJ Habibie) Gedung Geostech 820, Pusat Riset Teknologi Pertambangan (PRPTB), menggunakan alat XRF tipe Rigaku NexCG. Uji XRF ini bertujuan untuk menentukan kandungan silikat dan alumina dalam fly ash dan silica fume, sehingga perhitungan campuran artificial aggregate sesuai dengan rasio $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{SiO}_5$ yang telah ditetapkan dalam penelitian sebelumnya pada reaksi geopolimer, dengan rasio batas antara $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{SiO}_5$ sebesar 2.6 – 3.6 (Al Rasyid, The Content of Ratio of SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O and H_2O in Geopolymer Concrete, 2015). Tabel 4.1 xrf fly ash kelas f (penjelasannya & standar kelas) Hasil pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) yang dilakukan di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) di Puspitek Serpong menunjukkan bahwa fly ash dari PLTU Lontar mengandung 81,8% dari total SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Ini sesuai dengan standar ASTM C 618, yang mengkategorikan fly ash tersebut sebagai kelas F karena jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ melebihi 70%.

4.1.1.2 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilaksanakan pada sampel dari Gunung Holcim. Hasil pengujian laboratorium di PT. Jaya Beton dilakukan pada suhu ruang 29°C dengan kondisi cuaca cerah. Tabel berikut menunjukkan hasil pengukuran berat jenis agregat halus: Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Keterangan: Persentase material yang melewati ayakan

0,074 mm adalah sama dengan persentase kandungan lumpur. 4.1.1.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Pengujian berat jenis agregat halus menggunakan sampel dari Gunung Holcim dilakukan di laboratorium PT. Jaya Beton pada suhu ruangan 29°C dengan kondisi cuaca cerah. Hasil pengujian berat agregat halus ditunjukkan di sini: Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Jika ada perbedaan lebih besar dari 0,02. maka percobaan harus diulangi. 4.1.1.4 Hasil Pengujian Slump Tujuan pengujian slump pada mortar pembuat agregat kasar buatan adalah untuk menentukan konsistensi atau kekentalan mortar segar. Pengujian ini membantu memastikan bahwa mortar memiliki tingkat plastisitas dan kohesi yang tepat, yang diperlukan untuk memastikan bahwa agregat kasar buatan dapat dicetak dan dibentuk dengan baik. Nilai slump digunakan sebagai indikator kemudahan pengerjaan mortar dan kemampuannya untuk mengisi cetakan secara merata, sehingga dapat menghasilkan agregat kasar buatan dengan kualitas dan karakteristik yang konsisten. Pengujian ini juga membantu dalam mengontrol proporsi campuran dan memastikan kesesuaian dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Berikut adalah table hasil pengujian slump: Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Slump Gambar 4. 1 Hasil Pengujian Slump 4.2 Analisa Data Pada sub bab 4.2 mengenai analisis data mencakup perancangan, proses pembuatan, serta pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian ini, yaitu membandingkan berat isi, uji berat jenis, dan uji abrasi artificial aggregate 4.2.1 Perancangan Campuran Artificial Aggregate Perancangan campuran artificial aggregate pada penelitian ini dilakukan dengan meraksikan fly ash yang di substitusikan dengan silica fume dilarutkan dengan alkali aktivator campuran NaOH dan Na_2SiO_3 dengan nilai 8 M. Tabel 4. 6 Table of molar NaOH

No	Material	NaOH	H ₂ O	NaOH	H ₂ O	NaOH	H ₂ O	NaOH	H ₂ O	NaOH	H ₂ O	NaOH	H ₂ O
2Mol	4Mol	6Mol	8Mol	10Mol	12Mol	14Mol	16Mol	18Mol	20Mol	22Mol	24Mol	26Mol	28Mol

1 NaOH (Kg) 9,5
18,5 27,8 37,1 48,1 55,1 73,5 2 water (Kg) 114, 65 114, 65
114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65 114, 65

Percampuran yang digunakan untuk membuat artificial aggregate dilakukan dengan perbandingan 1:4

REPORT #22060395

antara fly ash dan alkali aktivator. Proses pembuatan ini menghasilkan 10 kg artificial aggregate dengan 8M alkali aktivator, menggunakan mixer dengan kemiringan 40°. Tabel 4. 7 Perhitungan campuran fly ash, silica fume, pasir, dan alkali aktivator

Fly ash Kelas F SiO₂ 41.40%
 0.414 Al₂O₃ 22.70% 0.227 Fe₂O₃ 17.70% 0.177 Total 81.80% 0.818 Silica fume SiO₂ 85,00% 0,85 Al₂O₃ 0,50% 0,005 12 M Larutan NaOH NaO H 320 gr Flake Air 480 gr Waterglass (Na₂SiO₃) (BE58) Na₂O 18.50% 0.185 3 3 SiO₂ 36.40% 0.364 H₂O 45.10% 0.451 NaOH (Sodium Hidroksida) Na₂O 98% 0.98 H₂O 2% 0.02 Untuk mencapai molaritas 8M pada larutan alkali, perlu diketahui kandungan H₂ O dan nilai Mr dari senyawa yang akan dilarutkan. Rumus untuk menghitung molaritas baru melibatkan penambahan Waterglass pada molaritas awal NaOH. $M_1.V_1 = M_2.V_2$

12 M x 480 gr = M₂ x 720 12 M 1 x 480 gr 720 g
 $r = 8 M_2$ Untuk mendapatkan larutan 8M dihitung menggunakan perhitungan di atas, dimana dibutuhkan molaritas awal 12M dengan memasukan (NaOH) = 320 gr NaOH flake yang dilarutkan dengan 480 ml air. Setelah di campur dengan waterglass menjadi 8M. Karena silica fume disubstitusikan kedalam fly ash dalam campuran artificial aggregate , perbandingan SiO₂ /Al₂ SiO₃ dapat dihitung dengan mengekstraksi senyawa kimia yang terlibat dalam proses pembuatannya, seperti Na₂ O, SiO₃ , dan H₂ O. Nilai Mr dari senyawa SiO₃ dan Al₂ O₃ yang terdapat dalam fly ash, silica fume , dan alkali aktivator diperoleh dari hasil uji XRF yang tercantum dalam tabel 4.1 dan table 4.2, sehingga menghasilkan perhitungan sebagai berikut. Tabel 4. 8 Tabel langkah pembuatan Alkali aktivator

Langk ah Kandungan dan Persentase Keterangan Langk ah 1 Fly ash Kelas F SiO₂ 41.40% 0.414 Al₂O₃ 22.70% 0.227 Fe₂O₃ 17.70% 0.177 Total 81.80% 0.818 Silica fume SiO₂ 85,00% 0,85 Al₂O₃ 0,50% 0,005 Waterglass (Na₂SiO₃) (BE58) Na₂O 18.50% 0.185 SiO₂ 36.40% 0.364 H₂O 45.10% 0.451 NaOH (Sodium Hidroksida Na₂O 98% 0.98 H₂O 2% 0.02 Mr SiO₂ 60 gr/ mol Na₂ O 62 g r/ Menyiapkan dan menentukan proporsi abu sekam padi serta fly ash

yang akan dipakai dalam membuat sampel artificial aggregate sekali pembuatan, dengan tujuan membandingkan kandungan senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 . Alkali aktivator yang diperlukan adalah NaOH dan Na_2SiO_3 . 3,5 mol H_2O 18 gr/ mol Al_2O_3 102 gr/ mol yang berfungsi untuk mengolah kandungan Na_2O , SiO_2 , dan H_2O . Hal ini akan menghasilkan perbandingan antara $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Flyash : AA (4 : 1) 4800 1200 $\text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3$ (10% : 15%) dari total fly ash 480 720 Langkah 2 Na_2O dalam Na_2SiO_3 massa Na_2O 133.2 gr Mol of Na_2O 3.33 mol Na_2O dalam Na_2SiO_3 3.33 mol Kandungan fly ash dan alkali aktivator diubah menjadi mol dengan membaginya dengan Mr SiO_2 dalam Na_2SiO_3 massa SiO_2 262.08 gr Mol of SiO_2 0.060667 mol SiO_2 dalam Na_2SiO_3 0.060667 mol H_2O dalam Na_2SiO_3 massa H_2O 324.72 gr Mol of H_2O 18.04 mol H_2O dalam Na_2SiO_3 18.04 mol Total H_2O dari NaOH & Na_2SiO_3 Tanpa silica fume H_2O 37.90667 mol E 682.32 ml Total SiO_2 & Al_2O_3 NaOH & Na_2SiO_3 Tanpa silica fume SiO_2 33.18067 mol Al_2O_3 10.68235 mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 3.106119677 range best = 2.6 – 3.6 dari senyawa yang dihitung. Pada langkah 2, senyawa yang dikonversi menjadi mol adalah Na_2O , SiO_2 , dan H_2O . Hasil perbandingan total $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ kemudian dapat dihitung dan harus berada dalam rentang yang ditetapkan, yaitu 2,6 – 3,6 untuk $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. 3.37 Langkah 3 Flyash : AA (4 : 1) 4800 1200 $\text{NaOH} : \text{Na}_2\text{SiO}_3$ (10% : 15%) dari total fly ash 480 720 95% FA + Silica fume 5% 240 456 0 SiO_2 dalam Na_2SiO_3 massa SiO_2 262.08 gr Mol of SiO_2 4.368 mol SiO_2 dalam Na_2SiO_3 4.368 mol H_2O dalam Na_2SiO_3 massa H_2O 324.72 gr Mol of H_2O 18.04 mol H_2O dalam Na_2SiO_3 18.04 mol SiO_2 dalam Silica fume 5% Ulangi langkah 1 dan langkah 2 untuk menghitung campuran dalam pembuatan artificial aggregate memakai silica fume padi serta fly ash sejumlah 5%. Hasil perbandingan total $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang diperoleh adalah 3,84, yang masih berada dalam rentang yang ditetapkan, yaitu 2,6 – 3,6 untuk $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. massa Si

02 91.5 6 gr Mol of SiO₂ 1.52 6 mo l SiO₂ dalam Abu sekam
1.52 6 mo l Total SiO₂ & Al₂O₃ NaOH & Na₂SiO₃ Silica fume 5%
SiO₂ 39.014 mol Al₂O₃ 10.14824 mol SiO₂/Al₂O₃ 3.844412242 Langk ah 4
90% FA + Abu sekam 10% 480 4320 SiO₂ dalam Na₂SiO₃ massa SiO₂ 262
. 08 gr Mol of SiO₂ 4.36 8 mol SiO₂ dalam Na₂SiO₃ 4.36 8 mol
H₂O dalam Na₂SiO₃ massa H₂O 324. 72 gr Mol of H₂O 18.0 4 mol
Ulangi langkah 1 dan langkah 2 untuk menghitung campuran dalam
pembuatan artificial aggregate menggunakan fly ash dan 10% silica fume
. Hasil perbandingan total SiO₂ /Al₂O₃ .yang diperoleh adalah
4,2, 3 9 H₂O dalam Na₂SiO₃ 18.0 4 mol SiO₂ dalam Silica fume 10%
massa SiO₂ 183.1 2 gr Mol of SiO₂ 3.052 mol SiO₂ dalam silica
fume 3.052 mol Total SiO₂ & Al₂O₃ NaOH & Na₂SiO₃ Silica fume 10%
SiO₂ 40.54 mol Al₂O₃ 9.614117 6 mol SiO₂/Al₂O₃ 4.216715614 yang
seharusnya berada dalam rentang yang ditetapkan, yaitu 2,6 – 3,6 unt
uk SiO₂ /Al₂O₃ . 4.2.2 Alat dan Bahan Pembuatan Artificial
Aggregate Dalam membuat artiifical aggregate terlebih dahulusiapkan alat
dan bahan yang perlu di gunakan, berikut bahan serta alat yang
dipakai Tabel 4. 9 Tabel Alat dan Bahan No Nama Alat Keterangan 1.
Mixer merk Kuda dengan kapasitas 200 L digunakan untuk membuat
artiifical aggregate menggunakan metode pelletized . Mixer ini dipilih
karena kemiringannya dapat diatur. Saat dalam kondisi jenuh, sampel yang
digiling di dalam mixer dapat membentuk granular. Namun, granular yang
terbentuk tidak seragam karena menggunakan mixer, berbeda dengan
penggunaan granulator yang memiliki pisau pembatas ukuran sehingga
menghasilkan granular yang seragam. 2. Peralatan untuk pengujian berat
jenis dan berat isi mencakup keranjang dengan volume 7,6 L, wadah
air berkapasitas 57 L, serta timbangan dengan ketelitian 5 gram. 3.
Oven merk Mermert yang memiliki kapasitas 6 loyang berukuran 0,016 m³
digunakan. Oven ini dapat mencapai suhu maksimal 4 1 110°C. Oven
ini di guanakan untuk curing. 4. Timbangan yang digunakan adalah merek
CAS dengan ketelitian hingga 0,5 gram. 5. Saringan yang digunakan

untuk analisis terdiri dari ukuran 1 inci, $\frac{3}{4}$ inci, $\frac{1}{2}$ inci, dan $\frac{3}{8}$ inci, sesuai dengan gradasi A yang dipilih untuk pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles. 6. Mesin Los Angeles abrasi yang dipakai memiliki kapasitas perputaran hingga 4 angka. Pengujian abrasi dilakukan dengan 500 putaran dan menggunakan 12 bola baja pada sampel artificial aggregate. 7. Gelas ukur berkapasitas 1 liter dengan merek Pyrex 38 . 8. Gelas ukur air dengan kapasitas 1 . 9. Loyang berbentuk persegi sebagai wadah. 10. Wadah penuang untuk alkali aktivator yang di modifikasi dengan 6 lubang di sisi samping atas yang berkapasitas 1L. 11. Corong dengan merek pyrex dengan ukuran 100m. 4 3 12. Mesin steam curing yang di gunakan untuk curing uap dengan suhu maksimum 100° . 13. Alat Slump untuk menguji slump mortar NO Nama Bahan Keterangan

1. NaOH flake yang digunakan adalah merk Thailand dengan kandungan murni 98%.
2. Waterglass yang digunakan adalah Tipe BE 58.
3. Silica fume SIF 94.
4. Pasir yang bersumber dari PT.Jaya Beton Indonesia.
5. Abu terbang (fly ash) limbah batu bara.
- 4 5 6. Air Sebagai campuran yang akan mereaksikan NaOH dan untuk merendam pada saat Pengujian berat jenis.

4.2.3 Proses Pembuatan Artificial Aggregate

Proses yang dilakukan dalam pembuatan Artificial Aggregate geopolimer dengan campuran fly ash yang di substitusikan dengan silica fume sebagai berikut:

1. Menghitung proposi kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 terhadap fly ash, silica fume, dan alkali aktivator. Pada sub bab 4.1.1.1 menunjukkan hasil pengujian XRF untuk SiO_2 dan Al_2O_3 pada fly ash dan abu sekam padi. Kandungan Na_2O dan SiO_3 dalam alkali aktivator tercatat dalam kemasan yang dibeli dari Toko Karawaci Kimia yang terletak di jalan Imam Bonjol, Sukajadi, Kota Tangerang,. NaOH memiliki kemurnian 98%, sementara waterglass adalah tipe BE58.
2. Menentukan rasio fly ash, silica fume, pasir, dan alkali activator Rasio perbandingan antara fly ash, silica fume, pasir, dan alkali aktivator sebagai berikut di jelaskan pada perhitungan di bawah ini: Tabel 4. 10 Rasio fly ash, silica fume (0%, 5%, 10%) pasir,

dan alkali activator dalam Kg/m³ Gambar 4. 2 Rasio fly ash, silica fume 0%, pasir, dan alkali activator Gambar 4. 3 Rasio fly ash, silica fume 5%, pasir, dan alkali activator Gambar 4. 4 Rasio fly ash, silica fume 10%, pasir, dan alkali activator **18** . Rasio Sodium Silikat (Waterglass) dan Sodium Hidroksida adalah 4 : 1 Setelah mengetahui rasio aktivator alkali, langkah berikutnya adalah membagi rasio tersebut menjadi 1:4, dengan empat bagian untuk sodium silikat dan satu bagian untuk sodium hidroksida Berikut hasil 4 7 perhitungan Rasio Sodium Silikat adalah sebagai berikut: Tabel 4. 11 Rasio Alkali Aktivator terhadap fly ash, silica fume , dan pasir . Gambar 4. 5 Rasio NaOH, Air, dan Waterglass Rasio 1:4 Na₂SiO₃ terhadap NaOH adalah titik awal, dan penyesuaian mungkin diperlukan berdasarkan aplikasi dan sifat yang diinginkan. Misalnya, rasio Na₂SiO₃ yang lebih tinggi dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan, sedangkan rasio yang lebih rendah dapat digunakan untuk meningkatkan workability atau memperpanjang waktu setting (Malkawi et al., 2016). Campuran agregat buatan yang berasal dari abu terbang dengan penggantian Silica fume terbentuk melalui reaksi antara material aluminosilikat dan larutan aktivator alkali, menghasilkan komposisi Na₂O. Proses ini menghasilkan geopolimer dengan komposisi akhir Na₂O – Al₂O₃ – SiO₂ – H₂O, yang dikenal sebagai N-A-S-H (Palomo, Lodeiro, & Jimenez, 2015). Pembentukan gel N-A-S-H merupakan hasil dari proses geopolimerisasi yang mengaktivasi larutan alkali, yang menghasilkan sifat pengikat. Model pembentukan gel dari reaksi geopolimer N-A-S-H disajikan berikut ini. Gambar 4. 6 Gambar pembentukan gel dari reaksi Geopolimer N-A-S-H 3. Membuat Larutan Campuran NaOH dan Na₂SiO₃ Dalam penelitian ini, menggunakan larutan NaOH dengan molaritas 8 molar dengan memperhitungkan kebutuhan NaOH dan gram air. Untuk mencapai hasil desain tersebut, perlu menghitung menggunakan rumus berikut. $M_1.V_1 = M_2 . V_2$ (4.1) Keterangan: M₁ = molaritas permulaan V₁ = Volume permulaan larutan M₂ = molaritas akhir V₂ = volume akhir larutan Tabel 4. 12 Komposisi Larutan NaOH dan Na₂ SiO₃ Berikut ini merupakan ilustrasi

perhitungan rasio antara air dan NaOH untuk molaritas 8M. 12M (NaOH)

$\times 114,65$ (NaOH dan Air) = $M_2 \times 171,97$ (waterglass) 4 9 12

$\times 114,65$ 171,97 = M_2 $M_2=8$ mol 2. Membuat Artificial

Aggregate Menggunakan Metode Pelletized Pembuatan artificial aggregate

dengan metode pelletized dilakukan menggunakan mixer yang dimiringkan 40

o dan dibantu oleh sekop, sehingga mekanismenya menyerupai alat

granulator. Alkali aktivator ditambahkan secara bertahap dengan interval

waktu setiap 20 menit sampai berbentuk granular. Gambar 4. 7 Proses

Pelletized Hingga Membentuk Granular 4. Melakukan Curing Oven atau Steam

Curing dan Curing Suhu Ruang Sampel yang terbentuk dari proses

pelletized didiamkan selama 1 sampai 2 hari sebelum dilakukan curing

di oven pada suhu 60°C selama 4 jam atau steam curing selama 1

jam pada suhu 80°C, Setelah itu curing dalam suhu ruang selama 28

hari, lalu dapat dilaksanakan pengujian abrasi, berat jenis, dan berat

isi. Gambar 4. 8 Proses Curing Steam, Curing Oven, dan Curing

Suhu Ruangan 4.2.4 Hasil Pengujian Artificial Aggregate 4.2.4.1 Hasil

Pengujian Berat Jenis dan Daya Serap Air Pengujian berat jenis pada

artificial aggregate serta agregat kasar alami sebagai pembandingnya

mengikuti standar SNI 03-1969-200 **37**. Hasil pengujian berat jenis adalah

sebagai berikut: Tabel 4. 13 Hasil uji berat jenis 0% silica fume

yang di substitusikan pada fly ash kelas F Tabel 4. 14 Hasil uji

berat jenis 0% silica fume yang di substitusikan pada fly ash kelas

F Tabel 4. 15 Hasil uji berat jenis 5% silica fume yang di

substitusikan pada fly ash kelas F Tabel 4. 16 Hasil uji berat

jenis 10% silica fume yang di substitusikan pada fly ash kelas F

Tabel 4. 17 Hasil Uji Berat Jenis Agregat Kasar Natural 5 1

Penelitian ini menemukan bahwa berat jenis curah kering (Sd) agregat

geopolimer berkisar antara 1.923 g/cm³ hingga 1.986 g/cm³, lebih

rendah daripada standar ASTM C33 yang menyebutkan berat jenis curah

kering agregat alami antara 2.3 g/cm³ hingga 2.8 g/cm³. Hasil ini

sejalan dengan penelitian terdahulu yang menemukan berat jenis curah

kering agregat geopolimer fly ash berkisar antara 1.95 g/cm^3 hingga 2.10 g/cm^3 (Malkawi et al., 2016), serta penelitian lainnya melaporkan berat jenis curah kering agregat geopolimer fly ash dan silica fume berkisar antara 2.00 g/cm^3 hingga 2.20 g/cm^3 (Rajani et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa agregat geopolimer secara umum mempunyai berat jenis curah kering yang lebih rendah dibandingkan agregat alami. Berat jenis curah jenuh kering permukaan (Ss) dalam penelitian ini menunjukkan nilai antara 2.016 g/cm^3 hingga 2.137 g/cm^3 , yang juga lebih rendah daripada agregat alami yang berkisar antara 2.4 g/cm^3 hingga 2.9 g/cm^3 . Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menemukan bahwa berat jenis curah jenuh kering permukaan agregat geopolimer fly ash berkisar antara 2.05 g/cm^3 hingga 2.25 g/cm^3 (Malkawi et al., 2016), serta penelitian lainnya melaporkan kisaran antara 2.15 g/cm^3 hingga 2.35 g/cm^3 (Rajani et al., 2017). Temuan ini menunjukkan bahwa agregat geopolimer memiliki berat jenis curah jenuh kering permukaan yang lebih rendah dibandingkan agregat alami. Dalam hal berat jenis semu (Sa), penelitian ini menemukan bahwa agregat geopolimer memiliki nilai antara 2.153 g/cm^3 hingga 2.356 g/cm^3 . Meskipun mendekati nilai agregat alami yang berkisar antara 2.5 g/cm^3 hingga 3.0 g/cm^3 , agregat geopolimer tetap memiliki berat jenis semu yang lebih rendah. Penelitian terdahulu menemukan berat jenis semu agregat geopolimer fly ash berkisar antara 2.20 g/cm^3 hingga 2.40 g/cm^3 (Malkawi et al., 2016), sementara penelitian lainnya melaporkan kisaran antara 2.30 g/cm^3 hingga 2.50 g/cm^3 (Rajani et al., 2017). Hasil ini menunjukkan konsistensi bahwa agregat geopolimer memiliki berat jenis semu yang mendekati agregat alami, namun tetap lebih rendah. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa agregat geopolimer memiliki penyerapan air yang lebih tinggi, dengan rata-rata berkisar antara 5.833% hingga 10%, dibandingkan agregat alami yang berkisar antara 1% hingga 5%. Hal ini menunjukkan bahwa porositas agregat geopolimer lebih tinggi daripada agregat alami. Penelitian terdahulu menemukan bahwa penyerapan air agregat

geopolimer fly ash berkisar antara 6.5% hingga 8.5% (Malkawi et al., 2016), sementara penelitian lainnya melaporkan kisaran antara 7.0% hingga 9.0% (Rajani et al., 2017). Temuan ini sesuai terhadap penelitian sebelumnya, menjelaskan yakni agregat geopolimer cenderung memiliki lebih tingginya penyerapan air dibandingkan agregat alami, yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan material. Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Daya Serap Air Terhadap Berat Jenis Agregat Buatan 5 3 Grafik di atas menggambarkan pengaruh daya serap air pada berat jenis agregat buatan dengan variasi kandungan silica fume (0%, 5%, dan 10%), menampilkan tiga jenis berat jenis: kering (biru), jenuh (merah), dan semu (hijau). Hasil menunjukkan bahwa penambahan silica fume cenderung meningkatkan berat jenis semu dari 2,15 gr/cm³ pada 0% menjadi 2,36 gr/cm³ pada 10%. Berat jenis kering juga menunjukkan peningkatan dari 1,90 gr/cm³ menjadi 1,92 gr/cm³, sedangkan berat jenis jenuh sedikit menurun dari 2,02 gr/cm³ menjadi 2,12 gr/cm³. Garis tren linear menunjukkan korelasi positif antara kandungan silica fume dengan berat jenis kering ($R^2 = 0,8296$) dan berat jenis semu ($R^2 = 0,4126$), namun korelasi negatif dengan berat jenis jenuh ($R^2 = 0,3502$), menunjukkan bahwa penambahan silica fume mempengaruhi ketiga jenis berat jenis dengan cara yang berbeda.

4.2.4.2 Hasil Pengujian Berat isi Pengujian densitas artificial aggregate dan Daya Serap 5,83% (% Silica Fume)
 Daya Serap 7,58% (5% Silica Fume) Daya Serap 1% (10% Silica fume)

Daya Serap (%)	Berat Jenis Kering (gr/cm ³)	Berat Jenis Jenuh (gr/cm ³)	Berat Jenis Semu (gr/cm ³)
0%	1.90	2.02	2.15
5%	1.99	2.14	2.15
10%	1.92	2.12	2.36

$f(x) = .09166666666666499 x + 1.919555555555556$ $R^2 = 0.4616816914$
 $f(x) = .04949999999999999 x + 1.990777777777778$ $R^2 = 0.59433085844038$
 $f(x) = .115 x + 2.801111111111111$ $R^2 = 0.80388401282043$

Berat Jenis Agregat Buatan Berat Jenis Kering Linear (Berat Jenis Kering) Berat Jenis Jenuh Linear (Berat Jenis Jenuh) Berat Jenis (gr/cm³) agregat kasar alami dilakukan mengacu pada SNI 03- 4804-1992 mengenai pengujian rongga udara serta berat isi pada agregat. Tabel 4. 18 Berat isi artificial aggregate Tabel 4. 19 Berat isi Agregat Natural Penelitian

ini menemukan bahwa persentase volume padatan agregat buatan adalah 42,18%, lebih rendah dibandingkan dengan agregat alami yang memiliki persentase volume padatan sebesar 57,24%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat buatan memiliki lebih banyak ruang kosong atau porositas yang lebih tinggi sebesar 15,06% dibandingkan agregat alami. Temuan ini selaras dengan penelitian terdahulu yang menemukan bahwa persentase volume padatan agregat geopolimer fly ash berkisar antara 45% hingga 50% (Malkawi et al., 2016), serta penelitian lainnya melaporkan persentase volume padatan agregat geopolimer fly ash dan silica fume berkisar antara 48% hingga 52% (Rajani et al., 2017). Hasil penelitian ini konsisten terhadap penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa agregat geopolimer memiliki persentase volume padatan yang lebih rendah daripada agregat alami.

4.2.4.3 Hasil Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengklasifikasikan artificial aggregate yang dibuat menggunakan metode pelletized, meskipun ukuran agregat yang dihasilkan tidak seragam. Oleh karena itu, analisis saringan dilakukan untuk mengelompokkan ukuran agregat kasar tersebut sesuai dengan gradasi untuk pengeujian los angeles dengan jenis gradasi A. Gradasi A dipilih karena mayoritas ukuran agregat kasar yang dibuat, yaitu sebesar 90 kg, memenuhi syarat untuk tiga kali uji los angeles dalam ukuran gradasi A. Ini memaksimalkan jumlah agregat kasar yang digunakan dalam pengujian. Syarat gradasi A adalah tertahan di saringan yang berukuran 37.5 mm, 12.5 mm, 25 mm, serta 19 mm.

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Analisis saringan s 25 mm 19 mm 12,5 mm 9,5 mm 4.75 mm

Ukuran Saringan (mm)	Tertahan (gram)
37.5	24
12.5	68
25	112
19	12
12,5	112
9,5	4
4.75	12

Gambar 4. 10 Grafik Analisis Saringan Variable 0% Dari grafik di atas dapat dilihat produksi paling banyak tertahan pada ukuran 12,5 mm atau saringan nomor 1/2 sebanyak 11,2 kg dan paling sedikit tertahan pada ukuran 9,5 mm atau tertahan pada saringan nomor 3/8 sebanyak 4,25 kg.

Ukuran Saringan (mm)	Tertahan (gram)
25	88
19	65
12,5	125
9,5	43
4.75	27

Silica fume 5% Tertahan Ukuran Saringan gram

Gambar 4. 11 Grafik Analisis Saringan Variable 5% Dari grafik di atas dapat dilihat produksi paling banyak tertahan pada ukuran 12,5 mm atau saringan nomor 1/2 sebanyak 12,5 kg dan paling sedikit tertahan pada ukuran 4,75 mm sebanyak 2,7 kg. 25 mm 19 mm 12,5 mm 9,5 mm 4.75 mm 5 1 15 2 46 885 145 75 935 Silica fume 1% ukuran saringan gram

Gambar 4. 12 Grafik Analisis Saringan Variable 10% Dari grafik di atas dapat dilihat produksi paling banyak tertahan pada ukuran 12,5 mm atau saringan nomor 1/2 sebanyak 14,5 kg dan paling sedikit tertahan pada ukuran 25 mm atau tertahan pada saringan nomor 1 sebanyak 4,6 kg. Pengujian analisis saringan pada artificial aggregate menunjukkan bahwa distribusi ukuran 5 7 butir agregat yang dihasilkan menggunakan metode pelletized tidak seragam, sehingga perlu dilakukan pengelompokan sesuai dengan gradasi untuk pengujian Los Angeles dengan jenis gradasi A. Berdasarkan hasil analisis saringan, produksi agregat buatan yang paling banyak tertahan adalah pada saringan nomor 1/2 (12,5 mm). Gambar 4. 13 Hasil Pengujian saringan agregat kasar buatan dan natural Pada grafik tersebut, dapat dilihat bahwa pada ukuran saringan kecil (0-5 mm), persentase agregat yang lolos cenderung sangat rendah, berada dalam kisaran 0-20%. Ketika ukuran saringan mencapai sekitar 10 mm, terjadi peningkatan tajam pada batas atas (ditunjukkan dengan garis biru) yang mencapai 100%, sementara batas bawah, serta campuran 0%, 5%, dan 10% juga mengalami peningkatan, meskipun dengan laju yang lebih lambat. Selanjutnya, pada ukuran saringan sekitar 15-25 mm, persentase agregat yang lolos mulai menurun pada campuran 0%, 5%, dan 10%, sementara batas atas tetap konstan di angka 100%. Kesimpulannya, grafik ini menunjukkan bagaimana ukuran saringan mempengaruhi persentase agregat yang lolos pada berbagai campuran. Ukuran saringan yang lebih besar cenderung mengizinkan lebih banyak agregat untuk lolos hingga mencapai ukuran tertentu (10 mm), setelah itu jumlah agregat yang lolos mulai berkurang pada campuran yang berbeda. Batas atas yang tetap konstan pada ukuran tertentu menunjukkan adanya batas maksimum

agregat yang bisa lolos pada ukuran saringan tertentu. 4.2.4.4 Hasil Pengujian Los Angeles Uji los angeles bertujuan untuk mengetahui tingkat kehancuran artificial aggregate dengan menggadukan bola baja dalam wadah yang berputar pada kecepatan 45 – 55 rpm selama 500 putaran dengan gradasi A. Uji Los Angeles ini mengukur kekuatan abrasi untuk menentukan kelayakan agregat kasar sesuai pedoman SNI 2147-2008. Standar ini membantu mengklasifikasikan apakah artificial aggregate dianggap baik atau buruk untuk digunakan dalam konstruksi. Pengujian Los Angeles yang dilakukan pada artificial aggregate yang terbuat dari fly ash, pasir, dan tanpa tambahan silica fume 0% menghasilkan rata-rata keausan sebesar 26,85% dari total 3 sampel menggunakan ukuran gradasi A pada analisis saringan. Berikut adalah tabel hasil pengujian Los Angeles untuk artificial aggregate dengan variabel silica fume 0%. 5 9 Tabel 4. 21 Hasil uji los angeles alwa 0% silica fume fly ash kelas F (penjelasan) Gambar 4. 14 Hasil Pengujian Los Angeles variable 0% Pengujian Los Angeles yang dilakukan pada artificial aggregate yang terbuat dari fly ash, pasir, dan tanpa tambahan silica fume 5% menghasilkan rata-rata keausan sebesar 15,94% dari total 3 sampel menggunakan ukuran gradasi A pada analisis saringan. Berikut adalah tabel hasil pengujian Los Angeles untuk artificial aggregate dengan variabel silica fume 5%. Tabel 4. 22 Hasil uji los angeles alwa 5% silica fume fly ash kelas F (penjelasan) Gambar 4. 15 Hasil Pengujian Los Angeles variable 5% Pengujian Los Angeles yang dilakukan pada artificial aggregate yang terbuat dari fly ash, pasir, dan tanpa tambahan silica fume 10% menghasilkan rata-rata keausan sebesar 18,38% dari total 3 sampel menggunakan ukuran gradasi A pada analisis saringan. Berikut adalah tabel hasil pengujian Los Angeles untuk artificial aggregate dengan variabel silica fume 10%. Tabel 4. 23 Hasil uji los angeles alwa 10% silica fume fly ash kelas F (penjelasan) 6 1 Gambar 4. 16 Hasil Pengujian Los Angeles variable 10% Gambar 4. 17 Grafik Pengujian Abrasi Agregat Buatan Grafik di

atas menunjukkan hasil pengujian abrasi agregat buatan dengan variasi kandungan silica fume (0%, 5%, dan 10%) untuk tiga sampel berbeda (Sampel I, II, dan III). Persentase berat hancur setelah abrasi tertera pada sumbu Y, dengan Sampel I, II, dan III ditampilkan masing-masing dalam warna biru, oranye, dan abu-abu. Hasil menunjukkan bahwa penambahan silica fume mengurangi persentase berat hancur, menunjukkan peningkatan ketahanan abrasi agregat. Sampel II mengalami penurunan paling signifikan dalam berat hancur, diikuti oleh Sampel I dan Sampel III. Garis tren linear untuk setiap sampel menunjukkan korelasi negatif antara kandungan silica fume dan persentase berat hancur, dengan nilai R^2 yang lebih tinggi untuk Sampel I dan II dibandingkan Sampel III, menunjukkan korelasi yang lebih kuat untuk kedua sampel tersebut. Penelitian ini meneliti keausan artificial aggregate yang terbuat dari fly ash, pasir, dan silica fume dengan Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Agregat Kasar variasi kandungan silica fume (0%, 5%, dan 10%). Hasil penelitian ini menunjukkan rata-rata keausan artificial aggregate dengan 0% silica fume adalah 26,85%, 5% silica fume adalah 15,94%, dan 10% silica fume adalah 18,38%. Rata-rata keseluruhan keausan agregat adalah 18,92%. Hasil penelitian ini sesuai terhadap penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa keausan agregat geopolimer berkisar antara 12% hingga 22% (Malkawi et al, 2016 dan Rajani et al., 2017). Temuan ini menunjukkan bahwa artificial aggregate memiliki keausan yang sebanding dengan agregat alami. Penambahan silica fume pada artificial aggregate menunjukkan efek positif dalam menurunkan keausan agregat. Artificial aggregate dengan kandungan silica fume 5% memiliki keausan terendah (15,94%). Hal ini menunjukkan bahwa silica fume dapat meningkatkan ketahanan agregat terhadap keausan. Berdasarkan hasil penelitian ini, artificial aggregate yang terbuat dari fly ash, pasir, dan silica fume dapat dijadikan alternatif agregat alami yang menjanjikan dalam konstruksi. Penambahan silica fume dapat meningkatkan ketahanan agregat terhadap keausan dan memenuhi standar

mutu yang ditetapkan. Gambar 4. 18 Grafik rasio silika dan alumina pada hasil pengujian abrasi artificial aggregate dengan tambahan persentase silica fume Pada pengujian kali ini diketahui bahwa semua jenis artificial aggregate yang diuji memenuhi ketentuan SNI 2417-2008 dengan batas keausan agregat di bawah 40%, sehingga layak digunakan untuk konstruksi. Dari segi ketahanan keausan, artificial aggregate dengan 5% silica fume menunjukkan performa terbaik, bahkan lebih baik daripada agregat alami. Grafik di atas menunjukkan pengaruh rasio silika dan alumina pada hasil pengujian abrasi artificial aggregate dengan penambahan persentase silica fume. Dari grafik, terlihat bahwa rasio silika dan alumina yang optimal berada dalam rentang 2,6 hingga 3,6, yang diwakili oleh area berbayang. Pada variabel tanpa penambahan silica fume (0%), rasio silika dan alumina adalah 3,106, dengan hasil abrasi sebesar 26,85%. Penambahan 5% silica fume menurunkan rasio menjadi 4,029 dan hasil abrasi menurun signifikan menjadi 15,94%, yang merupakan hasil terbaik dalam uji ini. Namun, penambahan 10% silica fume meningkatkan rasio menjadi 4,607 dengan hasil abrasi meningkat menjadi 18,38%. Dari analisis ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan silica fume hingga 5% memberikan hasil abrasi terbaik dengan rasio silika dan alumina mendekati rentang optimal. Penambahan silica fume lebih dari 5% meningkatkan rasio silika dan alumina, yang pada gilirannya meningkatkan keausan agregat.

Tabel 4. 25 Uji Reliabilitas Tabel 4. 26 Uji Validitas Uji reliabilitas dilakukan untuk memastikan konsistensi internal instrumen yang dipakai pada penelitian ini, yang memakai Cronbach's Alpha sebagai ukuran reliabilitas. Dalam tabel "Reliability Statistics", nilai Cronbach's Alpha tercatat sejumlah 0,713, yang menunjukkan bahwa instrumen tersebut memiliki reliabilitas yang baik. Biasanya, nilai Cronbach's Alpha di atas 0.7 dikatakan bisa diterima, sehingga nilai ini menunjukkan konsistensi yang memadai dalam instrumen yang digunakan. Selanjutnya, uji validitas dilaksanakan guna melakukan pengukuran seberapa jauh item-item dalam instrumen tersebut mengukur konstruk yang dimaksud. Dalam tabel "Item-Total

Statistic ", kol m " Corrected Item- Total Correlatio " menjelaskan korelasi dari masing-masing item dengan total skala. Nilai ini menunjukkan seberapa baik setiap item berkorelasi dengan skor total skala. Untuk VARIABEL0%, nilai korelasi adalah 0.824; untuk VARIABEL5% adalah 0.796; dan untuk VARIABEL10% adalah 0.999. Semua nilai ini cukup tinggi, menunjukkan bahwa setiap item memiliki validitas yang baik dalam mengukur konstruk yang dimaksud. Hasil uji reliabilitas dan validitas menunjukkan bahwa geopolymer yang digunakan dalam penelitian ini valid dan dapat diandalkan. Meskipun terdapat indikasi bahwa VARIABEL10% memiliki dampak yang cukup besar terhadap reliabilitas total skala, nilai reliabilitas awal sudah cukup baik dan dapat diterima untuk penelitian lebih lanjut. Uji abrasi agregat kasar merupakan tahapan penting dalam evaluasi mutu beton, menunjukkan ketahanan agregat terhadap keausan dan gesekan, yang mempengaruhi kekuatan dan ketahanan beton. Penelitian terdahulu menunjukkan hubungan positif antara hasil abrasi dan kuat tekan beton, namun tidak selalu linier dan dipengaruhi faktor lain seperti gradasi agregat, rasio air- semen, metode curing, dan jenis semen (Haryadi, 2017). 6 5 Agregat kasar dengan hasil abrasi rendah umumnya menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi. Tabel di atas menunjukkan hasil regresi linier untuk variabel "Kandungan". Model ini memiliki nilai intercept 12.323, yang berarti nilai "Kandungan" ketika semua variabel independen bernilai nol. Koefisien "Sampel1" sebesar 0.017 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit pada "Sampel1" akan meningkatkan "Kandungan" sebesar 0.017 unit. Sebaliknya, koefisien "Sampel3" sebesar -0.018 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit pada "Sampel3" akan menurunkan "Kandungan" sebesar 0.018 unit. Standard Error menunjukkan variabilitas dari koefisien, dengan nilai lebih kecil menunjukkan estimasi yang lebih akurat. Koefisien standar (Beta) menunjukkan pengaruh variabel independen yang telah di-standardisasi, di mana "Sampel1" memiliki pengaruh positif (Beta 1.456) dan "Sampel3" memiliki pengaruh negatif (Beta -2.151) terhadap

"Kandungan". Namun, karena nilai t dan signifikansi tidak diberikan, kita tidak dapat menilai apakah pengaruh ini signifikan secara statisti **8 21** . BAB

V KESIMPULAN DAN SARAN 5.1 Kesimpulan Kesimpulan dari penelitian terkait pembuatan agregat buatan geopolimer berbahan dasar fly ash yang disubstitusi dengan silica fume , serta membandingkan karakteristiknya dengan agregat alam

36 . Berdasarkan hasil penelitian, berikut adalah kesimpulan yang dapat ditarik: .

Perancangan Campuran Agregat Buatan Geopolimer: Campuran agregat buatan geopolimer berhasil dirancang menggunakan fly ash sebagai bahan dasar

utama yang disubstitusi dengan silica fume pada proporsi yang berbeda (0%, 5%, dan 10%). Proses pencampuran dilakukan dengan perbandingan fly ash dan alkali aktivator 1:4, menggunakan alkali aktivator 8M untuk menghasilkan 10 kg agregat geopolimer. Metode pelletized dengan

menggunakan mixer berkemiringan 40 derajat menghasilkan agregat buatan dengan karakteristik yang diinginkan. 2. Proporsi Substitusi Silica Fume

yang Optimal: Dari berbagai proporsi substitusi silica fume yang diuji, proporsi 5% menunjukkan hasil yang paling optimal. Agregat buatan dengan kandungan silica fume 5% memiliki berat jenis rata- rata $2,44 \text{ g/cm}^3$,

penyerapan air sebesar 7,59%, dan keausan sebesar 15,94%. Hasil ini

menunjukkan kinerja yang seimbang antara sifat fisik dan mekanik, serta

memenuhi ketentuan standar SNI 2417-2008 untuk keausan agregat kasar. 3.

Sifat Fisik dan Mekanik Agregat Buatan Geopolimer: \square Berat Jenis: Berat jenis agregat geopolimer meningkat seiring dengan penambahan silica

fume . Berat jenis rata-rata adalah $2,36 \text{ g/cm}^3$ untuk 0% 6 7

silica fume , $2,44 \text{ g/cm}^3$ untuk 5% silica fume , dan $2,51 \text{ g/cm}^3$

untuk 10% silica fume . \square Penyerapan Air: Penyerapan air juga bervariasi

i dengan kandungan silica fume . Rata-rata penyerapan air adalah 5,83%

untuk 0% silica fume , 7,59% untuk 5% silica fume , dan 10%

untuk 10% silica fume . \square Keausan: Pengujian Los Angeles menunjukkan

n keausan agregat bervariasi sesuai kandungan silica fume . Rata-rata

keausan adalah 26,85% untuk 0% silica fume , 15,94% untuk 5% silica

fume , dan 18,38% untuk 10% silica fume . Semua hasil keausan ini

berada pada batas maksimal yang ditetapkan oleh SNI 2417-2008. 4.

Pengaruh Substitusi Silica Fume terhadap Sifat-sifat Agregat Geopolimer :

Berdasarkan hasil penelitian, substitusi silica fume memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat-sifat agregat geopolimer, terutama dalam hal ketahanan aus dan berat jenis. Penambahan silica fume menurunkan keausan agregat geopolimer. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian yang membuktikan bahwa rata-rata keausan agregat geopolimer dengan 0% silica fume adalah 26,85%, 5% silica fume adalah 15,94%, dan 10% silica fume adalah 18,38%.

7 12 Daripada agregat alami, agregat geopolimer memiliki berat jenis curah kering, berat jenis curah jenuh kering permukaan, dan berat jenis semu yang lebih rendah 3 7 12 Agregat geopolimer memiliki berat jenis curah kering, berat jenis curah jenuh kering permukaan, serta berat jenis semu yang lebih rendah daripada agregat alami Hal ini menunjukkan bahwa agregat geopolimer memiliki kepadatan yang lebih rendah dibandingkan agregat alami. Agregat geopolimer memiliki penyerapan air yang lebih tinggi dan porositas yang lebih tinggi daripada agregat alami. Hal ini dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan material geopolimer. Agregat geopolimer memiliki persentase volume padatan yang lebih rendah daripada agregat alami. Hal ini menunjukkan bahwa agregat geopolimer memiliki lebih banyak ruang kosong atau rongga. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa agregat buatan geopolimer berbahan dasar fly ash dan silica fume SF-94 dapat digunakan sebagai geopolimer yang baik untuk agregat kasar alami. Proporsi silica fume 5% memberikan kinerja yang optimal, baik dari segi berat jenis, penyerapan air, maupun keausan. Penelitian ini membuka peluang lebih lanjut untuk pemanfaatan fly ash dan silica fume sebagai bahan baku dalam pembuatan agregat kasar geopolimer yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. 5.2 Saran Menurut hasil penelitian dan pembuatan agregat buatan geopolimer memakai bahan dasar fly ash yang disubstitusi dengan silica fume, terdapat beberapa hal yang disarankan. 1. Penelitian lebih lanjut, Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menguji proporsi substitusi silica

fume sebesar 7,5% dan lebih dari 10%, menggunakan metode uji berat jenis, penyerapan air, keausan, dan kekuatan tekan, sesuai dengan standar SNI 2417-2008. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan proporsi optimal dari silica fume yang dapat memberikan peningkatan signifikan pada karakteristik fisik dan mekanik agregat, 6 9 sehingga dapat digunakan secara efektif dalam aplikasi konstruksi yang membutuhkan daya tahan tinggi. Menggunakan proporsi 7,5% dapat membantu menemukan titik optimal antara 5% dan 10%, sementara menguji lebih dari 10% akan mengevaluasi batas maksimum penggunaan silica fume tanpa menimbulkan dampak negatif. Pengujian harus mencakup evaluasi berat jenis, penyerapan air, keausan, dan sifat mekanik lainnya seperti kekuatan tekan. 2. Selain pengujian yang telah dilakukan, sangat disarankan untuk melakukan uji crushing test pada agregat buatan geopolymer. Pengujian ini penting untuk menilai kekuatan tekan agregat, yang merupakan geopolyme utama kemampuan agregat untuk menahan beban kompresi yang diterapkan. Pengujian crushing test ini akan memberikan informasi tambahan yang sangat berharga mengenai kekuatan mekanik agregat buatan geopolymer, sehingga dapat lebih yakin dalam penerapannya pada proyek konstruksi yang membutuhkan material dengan kekuatan tekan tinggi. 3. Untuk lebih memahami dan mengoptimalkan sifat fisik dan mekanik dari agregat buatan geopolymer, disarankan untuk mencoba metode steam curing sebagai alternatif curing, karena metode ini dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas material geopolymer. Steam curing diharapkan dapat mempercepat proses hidrasi dan menghasilkan mikrostruktur yang lebih padat, sehingga meningkatkan kekuatan mekanikEagregat. 4. Implementasikan penggunaan agregat buatan dalam produk seperti beton atau produk lainnya untuk memonitor kinerja strukturalnya, dan bandingkan dengan struktur yang menggunakan agregat alam



REPORT #22060395

Results

Sources that matched your submitted document.

● IDENTICAL ● CHANGED TEXT

INTERNET SOURCE		
1.	1.71% repository.unhas.ac.id http://repository.unhas.ac.id/14762/2/D11116012_skripsi_bab%201-2.pdf	●
INTERNET SOURCE		
2.	1.34% e-journal.uajy.ac.id http://e-journal.uajy.ac.id/17542/4/TS159663.pdf	●
INTERNET SOURCE		
3.	0.99% repositori.untidar.ac.id https://repositori.untidar.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=32383&bid=12624	●
INTERNET SOURCE		
4.	0.93% eskripsi.usm.ac.id https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2017/C.111.17.0153/C.111.17.0153-1..	●
INTERNET SOURCE		
5.	0.82% jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id https://jurnalrekayasa.bunghatta.ac.id/index.php/JRFTSP/article/download/130..	●
INTERNET SOURCE		
6.	0.76% repository.unri.ac.id https://repository.unri.ac.id/bitstream/handle/123456789/8954/bab2.pdf?seque...	●
INTERNET SOURCE		
7.	0.69% id.scribd.com https://id.scribd.com/document/109844176/Berat-Jenis-amp-Agregat-Kasar	●
INTERNET SOURCE		
8.	0.65% repository.unj.ac.id http://repository.unj.ac.id/540/5/11.%20BAB%201%20-%20BAB%205.pdf	●
INTERNET SOURCE		
9.	0.6% repository.unhas.ac.id http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/21031/2/D12116312_skripsi_bab%201-2....	●



REPORT #22060395

INTERNET SOURCE		
10. 0.59%	jurnal.untirta.ac.id https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jft/article/download/8515/6509	●
INTERNET SOURCE		
11. 0.55%	digilib.unila.ac.id http://digilib.unila.ac.id/11377/3/BAB%201.pdf	●
INTERNET SOURCE		
12. 0.47%	repository.unwira.ac.id http://repository.unwira.ac.id/1449/5/BAB%20IV.pdf	●
INTERNET SOURCE		
13. 0.47%	eprints.upj.ac.id https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/2515/11/11.%20BAB%20IV.pdf	●
INTERNET SOURCE		
14. 0.44%	e-jurnal.pnl.ac.id https://e-jurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/viewFile/2655/2205	●
INTERNET SOURCE		
15. 0.44%	politeknikpu.ac.id https://politeknikpu.ac.id/wp-content/uploads/2024/05/KOMPARASI-KUAT-TEKA..	●
INTERNET SOURCE		
16. 0.44%	eprints.upj.ac.id https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/7988/10/9.%20Bab%202.pdf	●
INTERNET SOURCE		
17. 0.4%	jurnal.um-palembang.ac.id https://jurnal.um-palembang.ac.id/bearing/article/download/5498/3235	●
INTERNET SOURCE		
18. 0.37%	eprints.upj.ac.id https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/6418/11/BAB%20IV.pdf	●
INTERNET SOURCE		
19. 0.35%	dspace.uui.ac.id https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/10484/05.5.%20BAB%205....	●
INTERNET SOURCE		
20. 0.34%	www.ilmubeton.com https://www.ilmubeton.com/2017/11/penggunaan-fly-ash-sebagai-pengganti.ht...	●



REPORT #22060395

INTERNET SOURCE		
21.	0.3% jurnal.ugn.ac.id https://jurnal.ugn.ac.id/index.php/jurnalLPPM/article/view/866/638	●
INTERNET SOURCE		
22.	0.28% repository.unika.ac.id http://repository.unika.ac.id/26584/5/16.B1.0095-IQLAUZAL%20ZUHAL%20ZENI...	●
INTERNET SOURCE		
23.	0.28% e-journal.uajy.ac.id http://e-journal.uajy.ac.id/24978/4/16%2002%2016452_3.pdf	●
INTERNET SOURCE		
24.	0.25% ejournal.unesa.ac.id https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/25799...	●
INTERNET SOURCE		
25.	0.25% repository.usbykp.ac.id https://repository.usbykp.ac.id/1432/1/1.%20Judul%20dan%20Lembar%20Pe...	●
INTERNET SOURCE		
26.	0.24% eprints.upj.ac.id https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/7992/4/10.%20BAB%20III.pdf	●
INTERNET SOURCE		
27.	0.23% core.ac.uk https://core.ac.uk/download/pdf/291473624.pdf	●
INTERNET SOURCE		
28.	0.22% ojs.unsiq.ac.id https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/article/download/6053/2876/	●
INTERNET SOURCE		
29.	0.2% eproceeding.itenas.ac.id https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/download/2558/1947/30...	●
INTERNET SOURCE		
30.	0.19% www.slideshare.net https://www.slideshare.net/slideshow/presentation-beton-silica-fumepptx/2654..	●
INTERNET SOURCE		
31.	0.19% depobeta.com https://depobeta.com/magazine/artikel/manfaat-faba-dalam-konstruksi-bangu...	●



REPORT #22060395

INTERNET SOURCE		
32. 0.18%	eprints.upj.ac.id https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/2515/9/9.%20BAB%20II.pdf	●
INTERNET SOURCE		
33. 0.17%	eprints.itn.ac.id http://eprints.itn.ac.id/14265/3/1621101_BAB%20II.pdf	●
INTERNET SOURCE		
34. 0.16%	adoc.pub https://adoc.pub/download/bab-iii-landasan-teori1361e1c83d44828553fe568bd...	●
INTERNET SOURCE		
35. 0.13%	repository.its.ac.id https://repository.its.ac.id/51045/2/3114041048-Undergraduate_Theses.pdf	●
INTERNET SOURCE		
36. 0.1%	dspace.uui.ac.id https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/11501/05.5%20bab%205.p..	●
INTERNET SOURCE		
37. 0.07%	dspace.uui.ac.id https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/16648/05.5%20bab%205.p..	●
INTERNET SOURCE		
38. 0.05%	eprints.undip.ac.id http://eprints.undip.ac.id/34310/6/2119_chapter_III.pdf	●
INTERNET SOURCE		
39. 0.03%	jurnal.untan.ac.id https://jurnal.untan.ac.id/index.php/IJoPAC/article/download/53072/pdf	●