



16.79%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 25 JUL 2025, 8:37 AM

Similarity report

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

 IDENTICAL	 CHANGED TEXT	 QUOTES
1.7%	15.08%	0.57%

Report #27659465

Dalam kurun waktu beberapa dekade terakhir, sektor konstruksi telah mengalami perkembangan yang signifikan, sejalan dengan meningkatnya permintaan terhadap pembangunan infrastruktur, kawasan permukiman, serta fasilitas umum. Aktivitas pembangunan tersebut berperan sebagai indikator utama yang mencerminkan kemajuan ekonomi sekaligus menjadi faktor pendukung dalam meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat. Namun, di balik perkembangan yang pesat tersebut, muncul berbagai permasalahan baru, salah satunya adalah meningkatnya volume limbah konstruksi yang dihasilkan. Tentunya seiring dengan peningkatan pembangunan konstruksi, kebutuhan untuk material konstruksi juga meningkat, salah satu material konstruksi ialah batu dan pasir. Penambangan batu alam dan pasir alam memberikan kontribusi besar dalam penyediaan material konstruksi, namun aktivitas ini juga menimbulkan berbagai dampak negatif, terutama jika dilakukan secara tidak terkendali. Secara lingkungan, penambangan dapat menyebabkan kerusakan ekosistem yang signifikan. Dalam upaya mendukung pembangunan berkelanjutan, beton terus dikembangkan agar lebih ramah lingkungan. Inovasi yang dilakukan meliputi pemanfaatan material daur ulang serta penambahan aditif khusus yang mampu menekan emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi selama proses produksi. Langkah ini sejalan dengan tren global untuk meminimalkan dampak negatif dari industri konstruksi terhadap lingkungan. Menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan



Pengelolaan Lingkungan Hidup, kerusakan lingkungan diartikan sebagai tindakan yang menyebabkan perubahan pada karakteristik fisik atau biologis lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga mengurangi kemampuan lingkungan dalam menopang pembangunan berkelanjutan. Sejalan dengan ketentuan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan alternatif pengganti agregat kasar alami dengan menggunakan agregat buatan yang dihasilkan melalui reaksi pozzolanik, sebagaimana diterapkan pada beton geopolimer. Namun, dalam penelitian ini digunakan metode pelletized yang mampu menghasilkan butiran menyerupai agregat kasar alami. Upaya ini dimaksudkan sebagai solusi untuk menekan ketergantungan terhadap penggunaan agregat alami. Abu terbang (fly ash) merupakan material pozzolanik yang kaya akan kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), sehingga memiliki peran signifikan dalam menunjang reaksi polimerisasi dan polikondensasi dalam proses pembentukan agregat buatan. Ketika bereaksi dengan larutan alkali, material ini mampu menghasilkan struktur padat dengan kekuatan mekanik yang tinggi. Meskipun demikian, apabila residu hasil pembakaran batu bara ini tidak dikelola secara tepat dan dibuang secara sembarangan, keberadaannya dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan yang signifikan. Di Indonesia, produksi abu terbang diperkirakan mencapai sekitar 8,7 juta ton setiap tahunnya. Pemanfaatannya sebagai bahan dasar dalam pembuatan agregat kasar



buatan menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk menekan penumpukan limbah hasil pembakaran batu bara. Selain itu, material limbah konstruksi, khususnya dari sisa dinding bangunan, juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi dalam konstruksi pondasi serta sebagai lapisan dasar dan permukaan pada struktur perkerasan jalan. Limbah konstruksi dinding bata merah memiliki kandungan SiO_2 sebesar 68% dan Al_2O_3 sebesar 14,5%. Sedangkan untuk limbah konstruksi dinding bata hebel memiliki kandungan SiO_2 sebesar 50-65% dan Al_2O_3 sebesar 10-30%. Menurut data sementara dari Badan Pusat Statistik Indonesia, penambangan pasir dan batu alam di Indonesia per tahun 2023, yaitu sebesar 49.661.461 m³ untuk pasir alam dan 36.741.365 m³ untuk batu alam. Agar karakteristik mekanik abu terbang dapat ditingkatkan, diperlukan penambahan material tambahan yang kaya akan kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), sehingga mampu memperkuat proses pembentukan ikatan struktur yang lebih padat dan stabil. Proses pembuatan agregat buatan diawali dengan persiapan larutan aktivator alkali, yang selanjutnya dicampurkan dengan abu terbang di dalam alat granulator. Pada tahap pelletisasi, digunakan panci granulator dengan diameter 60 cm dan kedalaman 20 cm, yang dioperasikan pada sudut kemiringan 55° serta kecepatan putar sebesar 30 rpm. Selama proses berlangsung, panci diputar secara kontinu sementara larutan aktivator dialirkan secara perlahan

selama 15 menit untuk memungkinkan terbentuknya butiran agregat (Adhitya et al., 2023). Penelitian ini membahas pembuatan agregat buatan dengan memanfaatkan campuran limbah dinding konstruksi berupa pecahan bata merah dan bata ringan, yang dikombinasikan dalam variasi proporsi sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Dalam proses ini, komposisi unsur silika (Si) dan alumina (Al) turut diperhitungkan untuk mengoptimalkan reaksi polimerisasi, sehingga terbentuk ikatan yang kuat antara abu terbang dan material limbah konstruksi dinding dalam struktur agregat hasil pelletisasi. Substitusi abu terbang dengan limbah dinding konstruksi berupa bata merah dan bata ringan dalam campuran agregat buatan bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kedua jenis limbah tersebut terhadap kekuatan agregat kasar yang dihasilkan. Penelitian ini memfokuskan pengujian pada dua parameter utama, yaitu uji abrasi menggunakan mesin Los Angeles dan uji kuat tekan mortar yang menggunakan agregat buatan sebagai bahan campuran. Menurut Singh dan Siddique (2015), terdapat keterkaitan antara kuat tekan dan ketahanan abrasi suatu material, di mana sampel dengan nilai kuat tekan yang tinggi umumnya menunjukkan ketahanan abrasi yang lebih baik pula.

1. Bagaimana perancangan agregat buatan dengan memanfaatkan abu terbang sebagai bahan utama dan limbah konstruksi dinding (bata merah dan bata ringan) sebagai material substitusi terhadap abu terbang dalam variasi proporsi sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan



100%? 2. Bagaimana pengaruh temperatur steam curing terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan campuran limbah konstruksi dinding sebagai bahan pembuat agregat kasar? 3. Berapa tingkat abrasi dan kuat tekan mortar agregat buatan? 1. Menganalisis serta merancang agregat kasar buatan dengan memanfaatkan abu terbang sebagai bahan utama, serta limbah konstruksi dinding (bata merah dan bata ringan) sebagai material substitusi terhadap abu terbang dalam variasi proporsi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%.

2. Menganalisis pengaruh temperatur steam curing terhadap kuat tekan mortar geopolimer dengan campuran limbah konstruksi dinding sebagai bahan pembuat agregat kasar. 3. Menganalisis tingkat abrasi dan kuat tekan mortar agregat buatan. 1. Memberikan informasi tentang perbandingan kuat tekan beton dengan limbah konstruksi dinding sebagai pengganti pasir sehingga dapat memberikan solusi alternatif yang lebih efektif dalam mengembangkan bahan material yang lebih ramah lingkungan.

2. Memanfaatkan bahan limbah konstruksi dinding sebagai pengganti pasir untuk mengurangi penggunaan pasir alam pada konstruksi. 34 43 1. Penelitian ini menggunakan benda uji kubus dengan ukuran 5 x 5 cm 3 . 2. Penelitian ini

menggunakan alkali aktivator 10M. 3. Perawatan mortar geopolimer dengan campuran limbah konstruksi dinding menggunakan suhu 70°C dan 90°C dengan masing-masing 2 jam. 24 25 31 34 47 4. Uji kuat tekan dilakukan saat umur

mortar 7 dan 28 hari. 25 39 Mortar merupakan campuran yang terdiri dari agregat halus, semen, dan air. Campuran tersebut berfungsi sebagai perekat

untuk mereaksikan bahan bangunan lainnya seperti batu bata. 2 Pada penelitian ini, peneliti membuat sample mortar geopolimer dengan ukuran 5x5 cm 3 . 6 Perbedaan utama

antara mortar konvensional dan mortar geopolimer terletak pada jenis bahan pengikat yang digunakan. Mortar geopolimer menggunakan aktivator alkali untuk memicu reaksi antara kandungan alumina dan silika dalam material seperti fly ash dan limbah konstruksi dinding bata merah dan bata ringan (hebel). Sebaliknya, mortar konvensional mengandalkan semen sebagai bahan pengikat utama dengan air sebagai media hidrasi. Dari segi waktu pengerasan, mortar geopolimer cenderung mengeras lebih cepat dibandingkan



mortar konvensional. 2 Mortar dengan campuran semen PPC biasanya menyerap air lebih banyak, sehingga hasil permukaannya menjadi kasar dan tidak rata. Sementara itu, campuran mortar geopolimer lebih encer saat proses pencampuran, menghasilkan permukaan yang lebih halus dan rata. Mengacu pada "SNI 1970:2008, agregat kasar didefinisikan sebagai kerikil alami atau hasil pemecahan batuan dengan ukuran partikel antara 4,75 mm (melewati saringan No. 4) hingga 40 mm (melewati saringan ½ inci) . 2 Adapun persyaratan agregat kasar menurut ASTM C33/03 meliputi: Mortar adalah campuran dari semen, agregat halus (pasir), dan air yang digunakan untuk mengikat batu bata atau bahan bangunan lainnya. 2 Pada penelitian ini, peneliti membuat sample mortar geopolimer dengan ukuran 5x5 cm. 1. Agregat kasar harus memiliki tekstur padat tanpa pori serta bersifat keras dan kuat.. 2. Material agregat kasar harus tahan terhadap pengaruh cuaca dan memiliki kestabilan bentuk maupun sifat fisik yang tidak mudah berubah. 3. Agregat kasar harus bebas dari kandungan bahan yang dapat mempengaruhi mutu beton secara negatif atau mengakibatkan kerusakan struktural dalam jangka panjang. 22 4. Agregat kasar yang memiliki kandungan lumpur melebihi 1% harus dicuci terlebih dahulu agar memenuhi syarat sebelum digunakan dalam proses pencampuran beton. 1 Agregat buatan merupakan jenis agregat yang memiliki massa jenis kering (dry density) kurang dari 1900 kg/m^3 dan dapat diproduksi dari berbagai sumber material, seperti limbah industri, limbah pertanian, maupun bahan mineral alami (Neville, 2011). Lebih lanjut, 1 "ACI Committee 223 mengelompokkan 1 agregat buatan ke dalam tiga kategori berdasarkan tingkat densitasnya, yaitu: 1. Agregat kategori ringan (lightweight aggregate) mempunyai berat densitas kering kurang dari 1200 kg/m^3 . 2. Agregat kategori sedang (moderate-density aggregate) mempunyai berat densitas kering $1200 \text{ kg/m}^3 - 1600 \text{ kg/m}^3$. 3. Agregat kategori berat (high-density artificial aggregate) mempunyai berat densitas kering 1600 kg/m^3 sampai kurang dari 1850 kg/m^3 . Agregat kasar buatan dalam penelitian ini dibuat dari campuran abu terbang, agregat halus, serta larutan alkali sebagai aktivator kimia yang berperan dalam memicu reaksi

geopolimerisasi. Komposisi material penyusun agregat buatan tersebut dijelaskan secara rinci pada bagian berikut. Secara umum, geopolimer terbentuk dari bahan yang mengandung senyawa aluminosilikat, terutama yang kaya akan silika (Si) dan alumina (Al), karena kedua unsur ini berperan penting dalam reaksi polimerisasi yang membentuk struktur geopolimer. Aktivator alkali merupakan komponen penting yang berfungsi untuk menginisiasi reaksi kimia pada material berbasis geopolimer. Aktivator kimia dalam penelitian ini terdiri atas natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3), yang keduanya merupakan senyawa terhidrasi dan berperan penting dalam proses geopolimerisasi. Kedua jenis aktivator ini umum digunakan dalam sistem geopolimer karena ketersediaannya yang mudah dan efektivitasnya yang tinggi dalam membentuk ikatan polimer yang stabil. Dalam aplikasi beton geopolimer, Natrium Silikat umumnya tersedia dalam bentuk gel yang dikenal dengan istilah waterglass. Limbah konstruksi dari dinding bata merah dan hebel merupakan sisa material bangunan yang dihasilkan dari proses pembongkaran, renovasi, atau pembangunan yang menggunakan bata merah atau hebel (bata ringan). Limbah ini termasuk dalam kategori limbah padat non-organik yang cukup umum dijumpai di proyek konstruksi maupun pembongkaran bangunan. Kandungan Silika (SiO_2) yang diperoleh bata merah berkisar antara 50% hingga 60%, sedangkan untuk bata ringan (hebel) memiliki kandungan silika 55% hingga 65%. Dalam kajian sebelumnya yang dilakukan oleh (Byung, Seung, dan Byung, 2004), pengembangan agregat buatan dilakukan melalui pencampuran abu terbang dan bottom ash sebagai bahan utama. Penelitian tersebut juga melibatkan uji kekuatan hancur (crushing test) terhadap agregat yang dihasilkan. Rincian proporsi campuran dan hasil uji kuat tekan agregat batubara disajikan pada tabel berikut. Bottom ash dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus dalam pembuatan agregat buatan pada penelitian ini, dengan tujuan menjaga kestabilan bentuk butiran yang dihasilkan melalui proses pelletisasi. Bottom ash memiliki karakteristik fisik yang menyerupai pasir, dengan distribusi ukuran partikel yang bervariasi mulai



dari butiran halus hingga kasar. untuk Untuk dapat digunakan sebagai bahan bangunan, agregat halus harus memenuhi standar mutu tertentu sebagaimana tercantum dalam, yang meliputi sejumlah ketentuan teknis sebagai berikut: 1. Partikel agregat halus harus memiliki bentuk yang bersudut tajam, dengan karakteristik keras, padat, serta tidak mudah hancur atau terurai selama proses pencampuran dan pemadatan. 2. Agregat harus tahan terhadap pengaruh cuaca maupun perubahan lingkungan, serta tidak mudah mengalami kerusakan atau kehancuran. 3. Agregat halus tidak boleh mengandung kadar lumpur melebihi 5% dari total berat materialnya, untuk mencegah penurunan kualitas ikatan pada campuran beton. 2 4. Agregat halus harus bebas dari kandungan zat organik yang berlebihan, yang dibuktikan melalui pengujian dengan larutan NaOH 3%. 1 2 13 36 Hasil pengujian tidak boleh menunjukkan warna endapan yang lebih gelap daripada warna standar yang telah ditetapkan. 1 2 5. Agregat halus tidak boleh tercampur pasir dan air laut, karena kandungan garam yang tinggi bisa menyebabkan kerusakan pada struktur beton, sehingga tidak boleh digunakan. 1 6. 1,50 hingga 3.50 adalah modulus yang digunakan untuk agregat halus. 23 Kuat tekan beton maupun mortar merupakan ukuran kemampuan maksimum suatu material dalam menahan beban tekan per satuan luas hingga mencapai titik kerusakan. Pengujian kuat tekan mortar dalam penelitian ini mengacu pada, yang menjelaskan prosedur standar dalam menentukan nilai kuat tekan mortar menggunakan benda uji berbentuk kubus. Dalam prosedur ini, benda uji ditempatkan pada alat uji tekan, kemudian diberikan tekanan hingga benda uji mengalami kerusakan atau pecah. 2 41 Saat benda uji pecah, nilai gaya tekan maksimum yang tercatat menjadi hasil pengujian. 2 6 Dalam penelitian beton, berbagai pengujian mekanik dilakukan untuk menilai karakteristik material dan ketahanannya terhadap beban yang diberikan. Salah satu uji utama adalah uji kuat tekan, yang bertujuan untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan tekanan hingga mencapai titik kegagalan. Uji ini dilaksanakan dengan meletakkan benda uji berbentuk silinder atau kubus pada mesin tekan hingga beton mencapai batas kehancuran. Karena beton umumnya berfungsi di



bawah beban tekan dalam struktur bangunan, parameter ini menjadi dasar penilaian kualitas beton. Dalam penelitian mengenai kekuatan mortar geopolimer sebagai bahan untuk pembuatan agregat kasar, digunakan limbah fly ash, limbah konstruksi dinding bata merah dan bata ringan (hebel) sebagai bahan tambahan dalam campurannya. 35 Proses perawatan dilakukan menggunakan metode steam curing pada suhu 70°C dan 90°C masing-masing selama 2 jam. Pengujian kuat tekan dipilih sebagai metode paling tepat untuk mengevaluasi kekuatan mortar pada usia tertentu, berdasarkan variasi bahan tambahan yang digunakan. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa campuran mortar dengan 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% limbah konstruksi dinding bata merah dan bata ringan tetap memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan untuk penggunaan non struktural. 2 Oleh karena itu, uji kuat tekan memberikan informasi yang komprehensif mengenai kinerja mekanis mortar dengan komposisi tersebut, serta menilai kelayakannya untuk digunakan dalam konstruksi yang berkelanjutan dan tahan lama. Perawatan merupakan langkah penting dalam produksi mortar geopolimer karena proses ini mengoptimalkan reaksi aktivasi alkali. 2 Mortar geopolimer bergantung pada reaksi polimerisasi antara material sumber (seperti abu terbang atau abu sekam padi) dan larutan aktivator alkali (NaOH dan Na_2SiO_3), berbeda dengan mortar berbahan dasar semen Portland yang bergantung pada hidrasi semen, Proses curing umumnya dilakukan setelah 24 jam atau satu hari setelah benda uji dicetak. Terdapat beberapa jenis curing yang ada salah satunya steam curing, Pada penelitian ini proses curing yang digunakan adalah steam curing. Berikut adalah langkah-langkah dalam proses curing mortar: 1. Pasta mortar dituangkan ke dalam cetakan uji, kemudian didiamkan selama 24 jam pada kondisi ruang untuk proses awal pengerasan. 2. Setelah 24 jam, cetakan dilepas secara hati-hati, kemudian benda uji dipindahkan ke dalam media perawatan (curing) untuk proses perendaman atau penyimpanan pada kondisi lembab sesuai standar pengujian. 2 Lalu lakukan curing dengan suhu yang sudah ditentukan. 3. Setelah melaksanakan steam curing, keluarkan benda uji lalu diamkan selama 7

dan 28 hari. 4. Ukur dan timbang berat benda uji sebelum melaksanakan pengujian. 2 5.

Lakukan pengujian kuat tekan mortar sesuai standar yang berlaku setelah benda uji siap. (SNI 03-6825, 2002). Pengujian terhadap agregat buatan dilakukan setelah tahap pembuatan sampel, yang kemudian diberi perlakuan steam curing pada suhu 70°C dan 90°C selama masing-masing 2 jam.

Selanjutnya, sampel tersebut menjalani proses perawatan lanjutan di suhu ruang selama 28 hari. Merujuk pada SNI 1969:2008, pengujian berat jenis dan daya serap air bertujuan untuk memperoleh karakteristik fisik agregat kasar, baik dari sumber alami maupun buatan. 10 17

Parameter yang diuji meliputi berat jenis curah dalam kondisi kering, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, serta nilai daya serap terhadap air.

Informasi ini penting dalam mengevaluasi kualitas dan kesesuaian agregat untuk digunakan dalam campuran beton. Penjelasan masing-masing parameter berikut dengan rumus perhitungannya disajikan dalam uraian berikut. 1. Sample agregat kasar sebanyak ± 5 kg untuk keperluan pengujian. 2. Oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ digunakan untuk proses pengeringan agregat kasar hingga mencapai kondisi kering. 40 3. Wadah berisi air yang berfungsi untuk merendam agregat kasar dalam proses pengujian.. 4. Wadah

penampung agregat sebagai tempat untuk meletakkan agregat kasar selama pengujian berlangsung. 5. Neraca digital dengan ketelitian 0,1% digunakan untuk menimbang massa agregat kasar secara akurat. 6. Kain lap digunakan sebagai media untuk mengeringkan permukaan agregat kasar setelah proses perendaman, guna mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD) sebelum dilakukan penimbangan. 7. Neraca gantung dengan tingkat ketelitian minimal 0,1% digunakan untuk mengukur berat agregat dalam dua kondisi, yaitu saat berada di udara dan saat terendam dalam air, guna menentukan berat jenis serta daya serap agregat kasar secara akurat.

Langkah 1 : Cuci agregat kasar hingga bersih dan ambil sebanyak ± 3 kg sebagai sampel yang memenuhi persyaratan pengujian. Langkah 2 : Pengeringan sampel dilakukan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hingga diperoleh berat konstan, ditandai dengan selisih berat antara dua

penimbangan berurutan yang tidak melebihi 0,1% dari berat keseluruhan sampel. Langkah 3 : Dinginkan sampel pada suhu ruang selama 1 hingga 3 jam, kemudian lakukan penimbangan dan catat sebagai berat kering (A). 46 Langkah 4 : Rendam sampel dalam air dengan suhu ruang selama 24 ± 4 jam. Langkah 5 : Setelah proses perendaman, agregat kasar diangkat dan dikeringkan permukaannya menggunakan kain lap bersih hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (Saturated Surface Dry /SSD). 42 Selanjutnya, agregat ditimbang dan hasilnya dicatat sebagai berat SSD (B). Langkah 6 : Masukkan agregat ke dalam wadah berisi air, hilangkan gelembung udara dengan mengocok perlahan, kemudian timbang dan catat sebagai berat dalam air (C). 1 3 5 18 1. Berat Jenis Curah Kering Rumus untuk menghitung berat jenis curah kering (Sd) pada temperatur air dan agregat sebesar 23°C mengacu pada Persamaan 3.1, dan dinyatakan sebagai berikut: 2. 1 3 5 16 Berat Jenuh Kering Permukaan Rumus untuk menghitung berat jenis curah jenuh kering permukaan (SSD), mengacu pada Persamaan 3.2, pada temperatur air dan agregat sebesar 23°C , dinyatakan sebagai berikut: 3. 1 3 5 Berat Jenis Semu Rumus berat jenis semu (Sa) pada temperatur air dan agregat sebesar 23°C , mengacu pada Persamaan 3.3, dapat dinyatakan sebagai berikut: 4. Penyerapan Air Berikut adalah rumus untuk menghitung persentase penyerapan air (Sw) yang mengacu pada Persamaan 3.4: Pengujian ini mengacu pada “SNI 03-1969-1990 tentang Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat . 1 Prosedur pengujian diterapkan untuk agregat halus dan kasar, dengan menggunakan peralatan serta langkah-langkah yang sesuai dengan ketentuan dalam standar tersebut. 1 7 1. Timbangan dengan tingkat akurasi 0,1 gram. 2. Batang berdiameter 16 mm dan panjang 610 mm difungsikan sebagai alat penusuk untuk membantu pemadatan agregat. 1 3 7 21 3. Alat ukur yang digunakan berbentuk silinder, terbuat dari logam atau kain kedap air, dengan permukaan dasar yang benar-benar rata, serta memiliki volume sesuai ketentuan pada Tabel 2.2. 1 7 4. Distribusi agregat dilakukan dengan menggunakan alat bantu seperti sekop atau sendok untuk memastikan pengisian merata ke dalam wadah uji. Langkah 1 : Isi wadah penakar hingga mencapai sepertiga dari volumenya, lalu ratakan permukaan

agregat dengan menggunakan batang penyipat. **1** Langkah 2 : Agregat dipadatkan dengan menusukkan batang penusuk sebanyak 25 kali secara memutar menuju pusat campuran. Langkah 3 : Penakar kemudian diisi kembali hingga mencapai dua pertiga dari total volumenya, permukaannya diratakan kembali dan dilakukan penusukan sebagaimana pada tahap sebelumnya. Langkah 4 : Setelah penakar terisi penuh, permukaan agregat diratakan secara hati-hati dengan bantuan batang penusuk, mengikuti ketentuan prosedur pengujian. Langkah 5 : Pengukuran dilakukan terhadap berat alat ukur dalam kondisi kosong, dan berat alat ukur setelah terisi agregat. Langkah 6 : Berat dicatat menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,05 kg, kemudian berat agregat yang dimasukkan ke dalam penakar dihitung berdasarkan selisih antara berat total dan berat alat ukur kosong. Pengujian ini dilakukan berdasarkan metode yang tercantum dalam, baik yang berasal dari bahan buatan maupun agregat alami. Standar ini digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir agregat melalui proses pengayakan. **1 3** Alat, bahan, ukuran saringan, serta tahapan pelaksanaan yang digunakan dalam pengujian ini disajikan sebagai berikut: 1. **1** Timbangan digital dengan akurasi $\pm 0,2\%$ dari berat sampel uji. 2. Oven dengan pengatur suhu otomatis yang mampu mempertahankan suhu konstan sebesar $110 \pm 5^\circ\text{C}$. 3. Talam digunakan untuk menampung sampel material pada setiap tahap proses pengujian guna mempermudah penanganan dan menjaga kebersihan bahan uji 4. Wadah digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara agregat guna mempermudah penanganan dan persiapan sebelum dilakukan pengujian. **1 3** 5. Satu set saringan standar untuk agregat kasar, dengan rincian ukuran sebagai berikut: a) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 37,5 mm (**1 2** "). b) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 19,1 mm ($3/4$ **1 3**). c) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 12,5 mm ($1/2$ **1 2** "). d) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 9,5 mm ($3/8$ **1 3**). e) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 4,75 mm (No. 4). f) Saringan standar untuk agregat kasar dengan lubang berukuran 2,36 mm (No. 8). g) Saringan standar untuk agregat kasar

dengan lubang berukuran 1,19 mm (No. 16). h) Pan (penampung bagian lolos saringan terkecil) Ukuran agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini mengikuti rentang standar yang umum dipakai dalam pengujian dan pembuatan beton. Rentang ukuran tersebut meliputi: 1. 1 Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 1 " dengan berat minimal 1,25 kg. 2. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 3/4 1 dengan berat minimal 1,25 kg. 3. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 1/ 1 " dengan berat minimal 1,25 kg. 4. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan tertahan pada saringan 3/8 1 dengan berat minimal 1,25 kg. Langkah-langkah dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

Langkah 1 : Lakukan pengeringan terhadap sampel agregat halus di dalam oven pada suhu $(11 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga bobotnya tidak mengalami perubahan lagi. Langkah 2 : Lakukan proses penyaringan terhadap sampel menggunakan rangkaian saringan yang disusun mulai dari ukuran terbesar di bagian atas. Pengayakan dilakukan dengan cara diguncang, baik secara manual maupun dengan alat mekanis, selama 15 menit. Penelitian ini melakukan pengujian terhadap keausan dan kekuatan agregat kasar buatan guna mengevaluasi karakteristik fisiknya serta membandingkannya dengan agregat kasar alami. Hasil dari pengujian ini diharapkan menjadi acuan dalam menentukan kelayakan penggunaan agregat kasar buatan, khususnya dari segi kekuatannya, dalam aplikasi konstruksi.. Menurut SNI 2417:2008, pengujian abrasi bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan akibat gesekan dan tumbukan. Uji ini digunakan untuk mengukur seberapa besar material kehilangan massa setelah diputar dalam mesin Los Angeles. Hasil pengujian dinyatakan sebagai nilai keausan, yaitu persentase perbandingan antara berat agregat yang hilang (aus) dengan berat awal agregat sebelum pengujian. 26 Nilai ini menjadi indikator penting dalam menilai kelayakan agregat untuk digunakan dalam campuran beton atau pekerjaan perkerasan jalan. 8 Pengujian abrasi agregat kasar dilakukan dengan langkah- langkah sebagai berikut: sampel agregat disiapkan sesuai dengan gradasi yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan

ke dalam mesin Los Angeles bersama bola baja sebagai media tumbukan. Setelah proses pemutaran selesai, agregat hasil pengujian disaring menggunakan saringan tertentu untuk memisahkan material yang aus. 1 2 5 8 12 28 Agregat yang tertahan pada saringan dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 9^\circ$ F) hingga mencapai kondisi berat tetap. Nilai keausan diperoleh dari selisih berat awal dan berat akhir agregat. Rincian mengenai gradasi dan jumlah benda uji disajikan dalam tabel berikut. Penelitian ini menggunakan agregat kasar sebagai objek studi, dengan material yang bersumber dari limbah industri dan konstruksi yang bersifat ramah lingkungan. Bahan utama yang digunakan untuk pembuatan agregat kasar meliputi abu terbang dan limbah dinding bangunan. Kemudian, material tersebut direaksikan dengan dua bahan utama, yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) dan Natrium Silikat (Na_2SiO_3). Kedua bahan ini berperan dalam membentuk ikatan kimia dengan unsur Silika (Si) dan Alumina (Al), yang selanjutnya menghasilkan struktur ikatan yang kuat. Proses ini merupakan prinsip dasar dari pembentukan beton geopolimer melalui reaksi geopolimerisasi. Pembuatan agregat buatan dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan limbah konstruksi dinding, yaitu bata merah dan bata ringan (hebel), sebagai bahan substitusi dalam campuran. Limbah tersebut digunakan untuk menggantikan sebagian pasir dengan variasi proporsi sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari total massa abu terbang yang digunakan. Pemilihan limbah bata merah dan bata ringan didasarkan pada kandungan silika (SiO_2) yang relatif tinggi, yang diharapkan mampu mengurangi tingkat porositas dalam sampel agregat yang dihasilkan. Agregat buatan tersebut selanjutnya akan diuji untuk menilai kinerjanya melalui pengujian keausan menggunakan mesin Los Angeles, serta pengujian berat isi dan berat jenis.

29 Penelitian ini menggunakan persentase limbah bata merah dan bata ringan sebagai variabel bebas yang berperan sebagai substitusi abu terbang. Variasi persentase yang digunakan dalam campuran untuk pembuatan agregat kasar meliputi 20%, 40%, 60%, 80%, Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa uji coba untuk mengukur pengaruh

agregat buatan terhadap kuat tekan mortar geopolimer. Berikut merupakan pengujian yang akan dilakukan: 1) Pengujian Agregat Kasar a) Uji berat jenis dan daya serap air agregat kasar (SNI 03- 1968-, 1990).

b) Analisis saringan agregat kasar (SNI 3423:2008). c) Uji berat isi agregat kasar (SNI 03-1967-1990). d) Uji kadar lumpur agregat kasar (SNI 03-4804-1998). 2) Pengujian Kuat tekan mortar a) Uji kuat tekan mortar (SNI 03-6825-2002) Dalam penelitian ini, pengujian terhadap agregat halus meliputi penentuan kadar lumpur dan berat jenis. Hasil dari pengujian tersebut digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kelayakan agregat halus sebagai bahan campuran dalam proses pembuatan agregat buatan. Data tersebut penting untuk menentukan kualitas dan kesesuaian agregat halus dalam campuran beton atau mortar. Prinsip dasar dalam pengujian ini serupa dengan metode pada agregat kasar, tetapi terdapat perbedaan dalam penggunaan rumus perhitungannya. 4

Perbedaan rumus tersebut dijelaskan pada bagian berikut. 1. Timbangan yang digunakan memiliki akurasi 0,1 gram untuk menimbang agregat halus. 4 2. Piknometer yang digunakan sebagai wadah dengan kapasitas minimal 500 ml. 3. Kerucut Abrams, alat berbentuk kerucut terpancung yang digunakan untuk mengukur konsistensi campuran mortar atau beton. 4. Batang penekan datar, alat bantu yang digunakan untuk memadatkan adukan mortar atau beton dalam cetakan saat pengujian 5. Saringan agregat halus yang digunakan untuk menyaring menggunakan saringan Nomor No. 3 4 4 (4,75 mm). 1 3 4 6. Oven pengatur suhu hingga $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ untuk mengeringkan agregat halus. 4 7. Wadah yang digunakan untuk meletakkan agregat halus sebagai benda uji. 4 8. Menggunakan agregat halus dengan jumlah 700 g sebagai syarat pengujian. 4 1. Agregat halus seberat 700 gram dikeringkan terlebih dahulu dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. 2. Keluarkan agregat halus dari dalam oven dan didiamkan pada suhu ruangan. 14 31 44 Setelah itu, rendam agregat halus di dalam air selama (24 ± 4) jam. 3. Setelah perendaman selesai, air yang tersisa pada agregat dibuang seluruhnya. 3 9 12 13 27 4. Selanjutnya, agregat halus dikeringkan kembali hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (Saturated Surface Dry/SSD). 3 4 5. Untuk memastikan

kondisi SSD, agregat dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk kerucut dan dipadatkan dengan menumbuknya sebanyak 25 kali. 6. Agregat yang tumpah di sekitar cetakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian cetakan diangkat dengan hati-hati. Apabila permukaan agregat masih menunjukkan kelembapan berlebih atau tampak berjamur, maka kondisi Saturated Surface Dry (SSD) belum tercapai.

3 4 7 11 Sebalikanya, apabila agregat sedikit mengalami penurunan saat cetakan diangkat, hal tersebut menandakan bahwa kondisi SSD telah tercapai. 3 9 20 7.

Setelah agregat halus mencapai kondisi jenuh kering permukaan (Saturated Surface Dry /SSD), sebanyak (500 ± 10) gram sampel diambil dan dimasukkan ke dalam piknometer. Selanjutnya, air ditambahkan hingga mencapai sekitar 90% kapasitas piknometer, kemudian piknometer diputar dan digoyangkan secara perlahan untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap di dalamnya. 3 8. Isi air pada piknometer sampai mencapai batas kalibrasi dan lakukan penimbangan. 1 3 4 5

11 14 9. Benda uji dikeluarkan dari piknometer, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat yang konstan. 3 Setelah itu, benda uji didinginkan pada suhu kamar selama $(1,0 \pm 0,5)$ jam, kemudian dilakukan penimbangan untuk mendapatkan berat kering oven sebagai salah satu parameter dalam perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat. 10. Lakukan

penimbangan terhadap piknometer yang telah diisi penuh dengan air pada suhu $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. 24 Pengujian ini mengacu pada SNI 03-4142-1996, yang menjelaskan metode untuk menentukan jumlah partikel halus dalam agregat yang dapat melewati saringan No. 200 (0,075 mm). Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan persentase kandungan partikel halus, seperti lempung, lumpur, dan debu, yang dapat memengaruhi kualitas agregat secara keseluruhan. 1. Susun saringan dengan menempatkan saringan No. 16 (1,18 mm) di atas dan saringan No. 200 (0,075 mm) sebagai saringan paling bawah. Susunan ini digunakan untuk menyaring sampel agregat halus, sehingga fraksi partikel dapat dipisahkan berdasarkan ukuran butirnya sesuai dengan standar analisis saringan. 2. Sediakan wadah pencuci yang memiliki kapasitas cukup besar agar mampu menampung sampel uji beserta air pencuci secara bersamaan tanpa menyebabkan tumpahan. Wadah ini akan

digunakan selama proses pencucian untuk memisahkan partikel halus (seperti lumpur atau debu) dari agregat. 3. Timbangan digital dengan akurasi maksimum 0,1% dari massa benda uji digunakan untuk menjamin hasil pengukuran yang akurat dan andal dalam pengujian agregat. 4. Proses pengeringan agregat dilakukan menggunakan oven bersuhu terkontrol, dijaga pada rentang suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut. Langkah 1 : Menimbang terlebih dahulu wadah tanpa benda uji. Langkah 2 : Timbang benda uji setelah dimasukkan di 25 dalam wadah. Langkah 3 : Tuangkan larutan air pencuci yang telah dicampur dengan bahan pembersih ke dalam wadah, hingga seluruh sampel uji terendam secara merata, untuk memastikan proses pencucian berlangsung secara menyeluruh dan efektif. Langkah 4 : Aduk sampel uji di dalam wadah hingga partikel-partikel halus terlepas dari partikel kasar dan dapat lolos melewati saringan No. 200 (0,075 mm). Proses ini bertujuan untuk mendispersikan partikel halus dalam larutan pencuci, sehingga mempermudah proses pemisahan dan pengukuran kadar lumpur. Langkah 5 : Air pencuci dituangkan secara perlahan ke permukaan saringan No. 16 (1,18 mm) yang diletakkan di atas saringan No. 200 (0,075 mm), dengan tujuan agar partikel kasar tertahan pada saringan atas dan partikel halus dapat tersaring di bagian bawah, sehingga mencegah hilangnya material kasar selama proses pencucian. Langkah 6 : Langkah (3), (4), dan (5) diulangi secara bertahap hingga air pencuci yang keluar dari proses penyaringan tampak jernih, yang menandakan bahwa partikel halus telah sepenuhnya terpisah dari benda uji. Langkah 7 : Seluruh benda uji yang tertahan pada saringan No. 16 (1,18 mm) dan No. 3 4 200 (0,075 mm) dikumpulkan ke dalam wadah, lalu dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai kondisi berat konstan. 26 Setelah proses pengeringan selesai, sampel ditimbang menggunakan timbangan yang memiliki akurasi maksimum 0,1% dari berat total benda uji untuk memastikan ketelitian hasil pengukuran. Langkah 8 : Sampel yang lolos saringan Nomor 200 (0,075 mm) dihitung dibandingkan dengan berat total. Pada



penelitian ini, proses pembuatan agregat dilakukan melalui reaksi menggunakan larutan alkali aktivator yang memicu terjadinya reaksi geopolimerisasi, sehingga terbentuk agregat buatan. Tahapan proses tersebut dijelaskan sebagai berikut: Proses pembuatan agregat buatan diawali dengan perhitungan kadar SiO_3 dan Al_2O_3 untuk memastikan bahwa rasio substitusi limbah bata merah dan bata ringan terhadap abu terbang masih berada dalam kisaran yang sesuai dengan penelitian sebelumnya. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Al Rasyid (2015), rasio $\text{SiO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang ideal untuk pembentukan reaksi geopolimer yang optimal berada pada rentang 2,6 hingga 3,6. Langkah keempat dan kelima dalam proses pembuatan agregat buatan adalah merancang alkali aktivator dengan mempertimbangkan perbandingan antara abu terbang, limbah konstruksi berupa bata merah dan bata ringan, serta pasir. Rasio alkali aktivator yang digunakan adalah 1 : 2,5. Pemilihan pasir didasarkan pada karakteristik kekasarannya yang serupa dengan bottom ash, sebagaimana dijelaskan oleh (Ojha et al. 2021). Oleh karena itu, dilakukan analisis saringan dengan menggunakan saringan lolos No. 16 untuk memperoleh partikel pasir berukuran lebih halus. 27 Langkah selanjutnya dalam proses ini adalah pembuatan agregat buatan dengan menggunakan concrete mixer yang dimiringkan sebesar 40° untuk menerapkan metode pelletisasi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan granulator dalam proses pelletisasi (Adhitya et al., 2023), penelitian ini memilih pendekatan yang lebih sederhana.. Berikut merupakan cara pembuatan agregat kasar buatan menggunakan fly ash dan alkali aktivator sehingga menghasilkan buliran yang keras dengan rasio SiO_3 dan Al_2O_3 sebagai berikut: 1. Menyiapkan serta menentukan proporsi dan jumlah bahan kimia berupa natrium hidroksida (NaOH), natrium silikat (Na_2SiO_3), dan abu terbang (fly ash). 2. Mencampurkan fly ash dengan alkali aktivator dengan bantuan alat penuang kedalam mixer beton. 3. Pencampuran fly ash dengan larutan aktivator alkali di dalam alat pencampur (mixer) menghasilkan reaksi awal yang membentuk agregat buatan melalui proses geopolimerisasi. 4. Agregat yang terbentuk selanjutnya akan

dimasukan kedalam cetakan mortar, kemudian ditunggu kering selama 1-2 hari di suhu ruangan. 5. Mortar agregat yang sudah melalui proses pengeringan dalam suhu ruangan kemudian dimasukan ke dalam alat steam curing selama 2 jam dengan suhu 70 o C dan 90 o C. 6. Setelah itu simpan sampel di suhu ruangan selama 7 dan 28 hari. Sebelum memulai proses pembuatan mortar geopolimer, terlebih dahulu dipersiapkan alat dan bahan yang diperlukan, yaitu sebagai berikut: Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan agregat buatan 28 yang disubstitusi dengan limbah konstruksi berupa bata merah dan bata ringan, menggunakan abu terbang kelas F sebagai bahan dasar. Pengujian akan dilakukan di laboratorium material dan beton dengan variasi substitusi sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Penyajian data dalam penelitian ini memuat hasil-hasil pengujian yang telah dilaksanakan terhadap agregat buatan yang mengandung tambahan limbah konstruksi dinding berupa bata merah dan bata ringan. Seluruh pengujian dilakukan berdasarkan standar acuan yang telah ditetapkan, guna memastikan validitas dan kesesuaian data terhadap kriteria teknis yang berlaku. Agregat buatan pada penelitian ini disusun dari bahan utama berupa abu terbang, limbah konstruksi dinding bata merah dan bata ringan, serta pasir sebagai agregat halus. Campuran kemudian diproses secara bertahap dengan penambahan larutan aktivator alkali dalam kondisi jenuh hingga membentuk partikel granular (pellet). Kandungan silika dan alumina dalam abu terbang, serta limbah bata merah dan bata ringan, berkontribusi signifikan terhadap berlangsungnya reaksi geopolimerisasi, sehingga memungkinkan terbentuknya struktur yang padat dan keras dengan bantuan aktivator kimia alkali. "Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan sesuai dengan SNI 1970-2016 mengenai uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus . Berikut merupakan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus: Berdasarkan hasil uji berat jenis sampel agregat halus memenuhi standar berat jenis sesuai dengan SNI-03-1969- 2008, yaitu di atas 2,5. Sedangkan sampel agregat halus nilainya 2,53. 29 Berikut merupakan hasil dari pengujian berat

isi agregat halus: Densitas agregat halus rata – rata mendapatkan nilai 1,45 g/cm³. Nilai tersebut telah memenuhi standar SNI-03- 4142-1996, yaitu batas rata rata dengan nilai melebihi 1,4 g/cm³ . Adapun hasil pengujian terhadap agregat halus tersebut disajikan sebagai berikut: Keterangan : 1. Persentase material yang lolos ayakan 0,075 mm dianggap setara dengan kadar lumpur dalam agregat. 2. Kadar lumpur yang diperoleh mendapatkan nilai rata-rata sebesar 3,31%, nilai tersebut berada di bawah batas maksimum, yaitu 7%. Pengujian terhadap kadar lumpur pada agregat halus dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 03-4428-1997. Hasil pengujian tersebut disajikan pada tabel berikut: Keterangan : Nilai presentase material lolos ayakan 0.074 mm adalah sama dengan nilai presentase kadar lumpur. Subbab 4.2 Analisis Data membahas secara rinci mengenai proses perancangan, pembuatan, serta tahapan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini. Analisis difokuskan pada perbandingan karakteristik agregat buatan dengan agregat kasar alami melalui pengujian berat jenis, berat isi, dan ketahanan abrasi. Perancangan campuran dalam penelitian ini dilakukan dengan mereaksikan abu terbang yang disubstitusi menggunakan limbah bata merah dan bata ringan, 3 menggunakan larutan alkali aktivator berupa NaOH dan Na₂SiO₃ dengan konsentrasi 10 M. Pencampuran bahan untuk pembuatan mortar geopolimer dan agregat kasar buatan dilakukan dengan rasio 1:2,5 antara fly ash dan larutan alkali aktivator.

32 Proses ini menghasilkan 10 kg agregat kasar buatan menggunakan alkali aktivator berkonsentrasi 10M dan mixer dengan sudut kemiringan 40°. Penelitian ini menggunakan beberapa bahan utama dengan komposisi kimia yang beragam. Salah satunya adalah limbah bata merah dan bata ringan, yang berfungsi sebagai bahan pozzolan dengan kandungan SiO₂ sebesar 60% dan Al₂O₃ sebesar 20% untuk bata merah, sedangkan untuk bata ringan kandungan SiO₂ sebesar 55% dan Al₂O₃ sebesar 8%. Kandungan silika dalam limbah bata merah dan bata ringan memainkan peran penting dalam mendukung proses reaksi dalam mortar geopolimer. Selain itu, penelitian ini turut memanfaatkan fly ash kelas F, yang mengandung SiO



2 sebesar 41,40%, Al_2O_3 sebesar 22,70%, dan Fe_2O_3 sebesar 17,70%. Tingginya kadar silika dan alumina dalam fly ash menjadikannya sebagai material pengikat yang berperan penting dalam proses pembentukan mortar geopolimer.

10 33 Sebagai aktivator alkali dalam penelitian ini, digunakan campuran larutan NaOH dan waterglass (sodium silikat/ Na_2SiO_3). Larutan NaOH disiapkan dalam berbagai tingkat molaritas, salah satunya adalah larutan 10M, yang dibuat dengan melarutkan 200 gram flakes NaOH ke dalam 500 gram air. Sementara itu, waterglass (Na_2SiO_3) yang digunakan memiliki komposisi Na_2O sebesar 18,50%, SiO_2 sebesar 36,40%, dan H_2O sebesar 45,10%. Waterglass berfungsi sebagai sumber silika tambahan yang berperan dalam mempercepat reaksi geopolimerisasi serta meningkatkan kekuatan mekanis mortar. Untuk memperoleh larutan alkali dengan konsentrasi 10 M, diperlukan informasi mengenai kandungan air (H_2O) dan massa molekul relatif (M_r) dari zat yang akan dilarutkan. Adapun rumus untuk menghitung molaritas adalah sebagai berikut: Untuk mendapatkan larutan 10M dihitung menggunakan perhitungan di atas, perlu memasukan (NaOH) = 200 g r dan dilarutkan dengan air sebanyak 500 ml air, sehingga mendapatkan 10M. Setelah itu tambahkan waterglass sebanyak 500 ml. Karena limbah bata merah dan bata ringan disubstitusikan dengan fly ash dalam campuran mortar geopolimer dan agregat kasar buatan, perbandingan sebagai berikut: Pengujian berat jenis untuk agregat buatan dan agregat kasar alami sebagai bahan pembanding dilakukan mengacu pada SNI 03-1969-2008 tentang Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Standar ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai sifat fisik agregat, khususnya terkait massa jenis dan kapasitas penyerapan air. Hasil pengujian berat jenis dari kedua jenis agregat tersebut disajikan dalam tabel berikut: Pengujian berat jenis agregat buatan pada penelitian ini menghasilkan dua parameter utama, yakni berat jenis semu dan berat jenis curah dalam 32 kondisi jenuh kering permukaan (SSD), yang keduanya tercatat sebesar $1,98 \text{ gram/cm}^3$. Nilai ini diperoleh dari dua variasi campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai salah satu

komponen penyusun agregat buatan. Hasil tersebut mencerminkan sifat fisik agregat buatan, terutama dalam hal kerapatan dan kelayakannya untuk diaplikasikan dalam material konstruksi. Sebagai pembanding, pengujian juga dilakukan terhadap agregat kasar alami dengan merujuk pada standar SNI, untuk mengetahui kesesuaian berat jenisnya sebagai bahan konstruksi. 30 Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisik agregat, khususnya berat isi dalam kondisi lepas maupun padat. Hasil pengujian tersebut disajikan pada tabel berikut: Berat isi agregat kasar alami adalah sebagai standar pembanding dari berat isi agregat buatan adalah sebagai berikut: Analisis saringan dilakukan untuk mengelompokkan ukuran agregat buatan yang diproduksi melalui metode pelletizing. Meskipun demikian, metode ini menghasilkan agregat dengan ukuran butiran yang bervariasi. Oleh sebab itu, pengujian ini penting dilakukan guna mengetahui distribusi ukuran butiran agregat kasar sesuai dengan standar gradasi yang ditetapkan, terutama untuk mendukung kelayakan dalam pengujian ketahanan aus menggunakan mesin Los Angeles. Dalam penelitian ini digunakan gradasi A, mengingat sebagian besar agregat kasar buatan dengan total massa sekitar 90 kg untuk tiga kali pengujian abrasi memiliki ukuran yang termasuk dalam 33 rentang gradasi tersebut. Pemilihan gradasi A bertujuan untuk memaksimalkan penggunaan agregat yang telah diproduksi serta memastikan bahwa hasil uji abrasi mewakili karakteristik dari material dominan. Gradasi A mensyaratkan agar agregat tertahan pada empat ukuran saringan, yaitu 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, dan 12,5 mm. Hasil analisis saringan yang digunakan untuk memastikan kesesuaian terhadap gradasi A dalam pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles disajikan pada tabel berikut. Hasil analisis saringan terhadap agregat buatan yang dibandingkan dengan batas gradasi A disajikan sebagai berikut: Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata merah 20% menghasilkan persamaan $y = -91x + 5757$ dan $R^2 = 0,007$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Grafik tersebut menunjukkan bahwa agregat buatan dari 20% limbah bata merah didominasi

oleh ukuran 19 sampai 12,5 mm. Namun, distribusinya belum merata, terlihat dari nilai R^2 sebesar 0,007 yang mengindikasikan bahwa sebaran partikel masih acak. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata merah 40% menghasilkan persamaan $y = -483x + 6759$ dan $R^2 = 0,0953$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Pada grafik analisis saringan agregat buatan dengan komposisi 40% limbah bata merah, terlihat bahwa distribusi butiran agregat cenderung terpusat pada rentang ukuran 19 mm hingga 12,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian 34 besar agregat buatan memiliki ukuran menengah, yang mendominasi hasil proses pelletisasi. Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = -483x + 6759$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0953. Nilai R^2 yang rendah ini menunjukkan bahwa hanya sekitar 9,53% dari variasi data yang dapat dijelaskan oleh hubungan linier antara ukuran saringan dan jumlah agregat tertahan. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata merah 60% menghasilkan persamaan $y = 273x + 5645$ dan $R^2 = 0,097$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Pada grafik analisis saringan agregat buatan dengan komposisi 60% limbah bata merah, terlihat bahwa distribusi butiran agregat terpusat pada rentang ukuran 19 mm hingga 12,5 mm, dengan berat tertahan tertinggi mencapai sekitar 8500 gram. Meskipun terdapat peningkatan kembali pada ukuran butiran terkecil ($\leq 4,75$ mm), pola distribusi secara keseluruhan menunjukkan ketidakteraturan. Persamaan regresi linear yang dihasilkan adalah $y = 273x + 5643$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,097. Nilai R^2 yang rendah ini mengindikasikan bahwa hubungan antara ukuran saringan dan berat agregat tertahan tidak bersifat linier dan gradasi agregat belum seragam. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata merah 80% menghasilkan persamaan $y = -139x + 7279$ dan $R^2 = 0,087$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Berdasarkan grafik analisis saringan agregat buatan 35 dengan komposisi 80% limbah bata merah, terlihat bahwa distribusi butiran agregat didominasi

oleh ukuran 19 mm hingga 12,5 mm, dengan berat tertahan tertinggi mencapai lebih dari 10.000 gram. Ukuran lainnya, terutama ukuran terkecil ($\leq 4,75$ mm), menunjukkan jumlah agregat yang relatif sedikit. Persamaan regresi linier yang dihasilkan adalah $y = -139x + 7279$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0087. Nilai ini menunjukkan bahwa hubungan antara ukuran saringan dan berat agregat tertahan sangat lemah dan tidak mengikuti pola distribusi yang seragam. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata merah 100% menghasilkan persamaan $y = 580x + 4536$ dan $R^2 = 0,1594$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Persamaan regresi $y = 580x + 4536$ dengan nilai R^2 sebesar 0,1594 menunjukkan hubungan yang masih lemah antara ukuran saringan dan berat agregat, meskipun lebih baik dibandingkan persentase limbah yang lebih rendah. Dengan demikian, distribusi ini belum sepenuhnya memenuhi karakteristik gradasi yang ideal. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata ringan 20% menghasilkan persamaan $y = -634x + 7880$ dan $R^2 = 0,2046$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Berdasarkan grafik analisis saringan agregat buatan dengan komposisi 20% limbah bata ringan, terlihat bahwa distribusi butiran agregat didominasi oleh ukuran 19 mm hingga 12,5 mm, dengan berat tertahan tertinggi mencapai 36 sekitar 9400 gram. Persamaan regresi yang dihasilkan adalah $y = -634x + 7880$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,2046. Nilai ini menunjukkan bahwa hubungan antara ukuran saringan dan berat agregat tertahan cukup lebih baik. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata ringan 40% menghasilkan persamaan $y = 15x + 6092,6$ dan $R^2 = 0,0003$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Berdasarkan grafik analisis saringan agregat buatan dengan komposisi 40% limbah bata ringan, terlihat bahwa distribusi partikel didominasi oleh ukuran 19 mm hingga 12,5 mm, dengan berat tertahan sekitar 8200 gram. Ukuran lainnya memiliki jumlah yang lebih rendah dan cenderung fluktuatif. Persamaan regresi yang diperoleh adalah

$y = 15x + 6092,6$ dengan nilai R^2 sebesar 0,0003. Nilai ini menunjukkan bahwa hubungan antara ukuran saringan dan berat agregat tertahan hampir tidak ada, sehingga distribusi agregat dapat dikategorikan tidak seragam. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata ringan 60% menghasilkan persamaan $y = 283,6x + 6901,8$ dan $R^2 = 0,0498$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut : Berdasarkan grafik analisis saringan agregat buatan dengan komposisi 60% limbah bata ringan, distribusi butiran didominasi oleh ukuran 19 mm hingga 12,5 mm dengan berat tertahan lebih dari 10.000 gram. Ukuran lainnya memiliki distribusi yang lebih rendah, menunjukkan gradasi 37 yang belum merata. Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah $y = 283,6x + 6901,8$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,0498. Nilai ini menunjukkan bahwa hubungan antara ukuran saringan dan berat agregat tertahan masih sangat lemah. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata ringan 80% menghasilkan persamaan $y = -345,7x + 7952,7$ dan $R^2 = 0,0852$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Grafik menunjukkan bahwa berat tertinggi agregat terdapat pada fraksi ukuran $19 \text{ mm} \leq 12,5 \text{ mm}$, mendekati 10.000 gram, menandakan dominasi butiran berukuran menengah. Sebaliknya, fraksi berukuran lebih kecil dari 9,5 mm hingga 4,75 mm memiliki berat terendah, kurang dari 5.000 gram. Persamaan garis tren yang dihasilkan adalah $y = -345,7x + 7952,7$ dengan nilai R^2 sebesar 0,0852. Nilai ini menunjukkan bahwa hubungan linier antara ukuran butiran dan massa agregat tergolong lemah, yang mengindikasikan distribusi partikel tidak sepenuhnya seragam dan dipengaruhi oleh variasi bentuk serta ukuran limbah bata ringan. Hasil rekapitulasi analisis saringan agregat buatan dengan campuran limbah bata ringan 100% menghasilkan persamaan $y = 265,6x + 5055,6$ dan $R^2 = 0,0599$ ditampilkan dalam gambar sebagai berikut: Hasil pengujian menunjukkan bahwa distribusi agregat 38 membentuk pola menyerupai kurva lonceng, dengan fraksi ukuran $19 \text{ mm} \leq 12,5 \text{ mm}$ memiliki massa tertahan tertinggi, mendekati 8.000 gram. Hal ini



menunjukkan dominasi butiran berukuran menengah. Sementara itu, pada fraksi paling kasar ($37,5 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$) dan paling halus ($9,5 \text{ mm} \leq 4,75 \text{ mm}$), massa tertahan relatif rendah, yaitu di bawah 5.000 gram. Persamaan garis tren yang diperoleh adalah $y = 265,6x + 5055,6$ dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,0599. Nilai ini mencerminkan hubungan linier yang lemah antara ukuran butiran dan massa agregat, sehingga distribusi gradasi dinilai kurang teratur dan menunjukkan keragaman ukuran butiran yang tinggi. Berdasarkan grafik analisis saringan, distribusi agregat buatan menunjukkan kecenderungan yang sebanding dengan peningkatan proporsi limbah bata merah dan bata ringan. Namun, nilai koefisien determinasi (R^2) pada persamaan regresi yang dihasilkan tergolong rendah, yang mengindikasikan adanya penyimpangan data, terutama pada ukuran saringan $\frac{3}{4}$ inci dan $\frac{1}{2}$ inci, di mana kelima variasi persentase limbah menghasilkan jumlah agregat yang hampir sama. Selain itu, semakin tinggi persentase abu sekam padi yang digunakan dalam campuran, semakin banyak agregat buatan yang tertahan maupun lolos pada saringan ukuran $\frac{3}{8}$ inci, yang menjadi fraksi dominan dalam hasil gradasi. Pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan agregat kasar terhadap keausan yang disebabkan oleh tumbukan dan gesekan dengan bola baja di dalam drum berputar. Drum tersebut dioperasikan pada kecepatan antara 45 39 hingga 55 putaran per menit (rpm), dengan jumlah putaran berkisar antara 100 hingga 500 putaran, sesuai dengan ketentuan standar. Metode ini merujuk pada SNI 2417:2008, dan digunakan untuk menilai apakah agregat kasar memenuhi standar kelayakan dalam konstruksi berdasarkan ketahanannya terhadap abrasi. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk mengklasifikasikan kualitas agregat kasar. Pengujian ini diterapkan pada agregat buatan yang disusun dari campuran abu terbang, pasir, serta limbah bata merah dan bata ringan dengan variasi proporsi sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% dari total campuran. Dua sampel uji digunakan untuk masing-masing variasi, dengan gradasi A sebagai acuan dalam proses analisis saringan. Proses

curing dilakukan pada dua temperatur berbeda, yaitu 70°C dan 90°C. Rincian hasil pengujian abrasi ditampilkan dalam tabel berikut. Hasil pengujian terhadap agregat kasar alami dengan gradasi B ditampilkan pada Tabel 4.49. Pengujian mortar geopolimer dilakukan berdasarkan acuan SNI 03-6820:2002.

19 Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya gaya maksimum per satuan luas yang diterima oleh benda uji mortar geopolimer berbentuk kubus dengan dimensi 5 × 5 cm dan volume 125 cm³. 24 38 Jumlah total benda uji sebanyak 80 buah, dengan variasi variabel dan umur mortar 7 serta 28 hari. Subbab

4.3 membahas hasil pengujian yang meliputi uji abrasi, uji berat jenis, dan uji berat isi terhadap agregat buatan. Pembahasan dilakukan berdasarkan data yang telah dianalisis pada Subbab 4.2, dengan penyajian dalam bentuk grafik untuk menggambarkan tren dan perbandingan hasil pengujian secara visual.. 4 Pada pekerjaan konstruksi sipil, kondisi agregat sangat memengaruhi kinerja, khususnya dalam hal ketahanan aus selama proses pencampuran hingga pemadatan. Uji Los Angeles digunakan untuk menilai tingkat keausan, dengan klasifikasi bahwa agregat keras memiliki nilai abrasi ≤20%, sementara agregat lunak menunjukkan nilai >50%. Pengujian keausan agregat didahului dengan analisis saringan untuk mengklasifikasikan gradasi agregat dominan, apakah termasuk kategori A, B, C, atau D. Klasifikasi tersebut juga menjadi dasar dalam menentukan jumlah bola baja yang digunakan, sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 2.3. Dalam gradasi ini, agregat kasar yang digunakan memiliki ukuran butiran mulai dari 9,5 mm (3/8 inci) hingga 37,5 mm (1 ½ inci), dan pengujian dilakukan selama 500 putaran. Grafik di bawah ini menunjukkan hasil uji abrasi dari agregat buatan pada masing-masing variasi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Pengujian abrasi dilakukan dengan 2 sampel pada masing-masing persentase. Pada pengujian limbah bata merah dengan suhu curing 70 ° C menghasilkan persamaan $y = 1.279x + 42.203$ dan $R^2 = 0.1858$ menandakan adanya bias pada sampel limbah bata merah dengan persentase 20%, 40%, 60%, 80%, 100% yang mengalami penurunan persentase berat hancur. Pada pengujian limbah bata merah dengan suhu

curing 90 ° C menghasilkan persamaan $y = 2.413x + 34.197$ dan $R^2 = 0.5859$ menandakan adanya bias pada sampel limbah bata merah dengan persentase 20%, 40%, 60%, 80%, 100% yang mengalami penurunan persentase berat hancur. Pengujian abrasi agregat buatan dengan campuran limbah bata merah 20% menghasilkan nilai keausan 39,4% pada suhu curing 90 ° C, campuran 41 limbah bata merah 40% menghasilkan nilai keausan sebesar 37,58% pada suhu 90 ° C, dan campuran limbah bata merah 60% menghasilkan nilai keausan sebesar 39,86% pada suhu curing 90 ° C. Pengujian abrasi pada campuran limbah bata merah dengan persentase 20%, 40%, dan 60% dengan suhu curing 90 ° C. Pada pengujian limbah bata ringan dengan suhu curing 70 ° C menghasilkan persamaan $y = 8.121x + 24.675$ dan $R^2 = 0.8572$ menandakan adanya bias pada sampel limbah bat a ringan dengan persentase 20%, 40%, 60%, 80%, 100% yang mengalami penurunan persentase berat hancur. Pada pengujian limbah bata ringan dengan suhu curing 90 ° C menghasilkan persamaan $y = 6.204x + 27.884$ dan $R^2 = 0.8525$ menandakan adanya bias pada sampel limbah bata ringa n dengan persentase 20%, 40%, 60%, 80%, 100% yang mengalami penurunan persentase berat hancur. Pengujian abrasi agregat buatan dengan campuran limbah bata ringan 20% menghasilkan nilai keausan 38,36% pada suhu 70 ° C dan 38,14% pada suhu 90 ° C, campuran limbah bata ringan 40% menghasilkan nilai keausan sebesar 38,42% pada suhu 70 ° C dan 38,93% pada suhu 90 ° C. Hasil pengujian abrasi limbah bata merah dan bata ringan berdasarkan SNI 2417-2008, limbah merah mendapatkan hasil nilai keausan 39,4% pada persentase 20% suhu curing 90 ° C, 37,58% pada persentase 40% suhu curing 90 ° C, 39,86% pada persentase 60% suhu curing 90 ° C. Limbah bata ringan mendapatkan hasil nilai keausan 38,36% pada suhu 70 ° C dan 38,14% pada suhu 90 ° C persentase 20%, 38,42% pada suhu 70 ° C dan 38,93% pada suhu 90 ° C. Hasil pengujian yang didapatkan menunjukkan bahwa hasil tersebut memenuhi syarat nilai keausan sesuai 42 dengan SNI 2417-2008, yaitu nilai abrasi <40%. Pada suhu 70°C, grafik menunjukkan bahwa kuat tekan bata merah cenderung menurun

seiring dengan meningkatnya persentase campuran, terutama pada pengujian umur 7 hari. Pada umur 7 hari, kuat tekan tertinggi tercapai pada campuran 20% (7,20 MPa), kemudian menurun secara konsisten hingga mencapai 4,00 MPa pada campuran 100%. Penurunan ini ditunjukkan dengan persamaan garis regresi $y = -1,14x + 10,38$ $y = -1,14x + 10,38$ $y = -1,14x + 10,38$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0,5217$ $R^2 = 0,5217$ $R^2 = 0,5217$, yang menunjukkan adanya hubungan linier negatif moderat antara peningkatan persentase campuran dengan kuat tekan. Sebaliknya, pada umur 28 hari, kuat tekan mengalami fluktuasi. Nilai tertinggi terdapat pada campuran 40% (15,60 MPa), yang kemudian menurun secara signifikan pada campuran 60% (10,60 MPa) dan naik kembali pada campuran 80% (12,60 MPa), sebelum akhirnya turun pada 100% (10,20 MPa). Persamaan garis regresi linier $y = -0,94x + 15,30$ $y = -0,94x + 15,30$ $y = -0,94x + 15,30$ dengan $R^2 = 0,4572$ $R^2 = 0,4572$ $R^2 = 0,4572$ menunjukkan tren penurunan, namun tidak sekuat penurunan pada umur 7 hari. Pada suhu 90°C, kuat tekan mengalami peningkatan yang signifikan pada umur 28 hari dibandingkan umur 7 hari. Untuk umur 7 hari, nilai tertinggi terlihat pada campuran 40% (11,40 MPa), kemudian menurun menjadi 5,60 MPa pada campuran 100%. Persamaan regresi $y = -1,26x + 10,80$ $y = -1,26x + 10,80$ $y = -1,26x + 10,80$ dan $R^2 = 0,5564$ $R^2 = 0,5564$ $R^2 = 0,5564$ kembali mengindikasikan penurunan kuat tekan seiring kenaikan campuran. Sementara itu, pada umur 28 hari, nilai kuat tekan tertinggi 43 diperoleh pada campuran 20% dan 40% yang masing-masing mencapai 17,20 MPa, kemudian menurun menjadi 12,40 MPa pada 60%, dan sedikit turun menjadi 15,40 MPa di 80%, serta turun lagi di 100% (12,20 MPa). Persamaan regresi linier $y = -1,08x + 18,81$ $y = -1,08x + 18,81$ $y = -1,08x + 18,81$ dengan $R^2 = 0,6238$ $R^2 = 0,6238$ $R^2 = 0,6238$ menunjukkan tren penurunan yang cukup kuat. terlihat bahwa curing bata merah pada suhu 90°C menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan suhu 70°C, terutama setelah 28 hari pengujian. Namun, peningkatan persentase campuran cenderung menurunkan kuat tekan, baik pada

7 hari maupun 28 hari. Hal ini dapat disebabkan oleh komposisi campuran yang terlalu tinggi dapat melemahkan ikatan antar partikel dan mengganggu hidrasi semen, sehingga mempengaruhi kekuatan akhir beton. Penggunaan terhadap limbah bata merah dan bata ringan sebagai bahan substitusi dalam pembuatan mortar geopolimer merupakan pendekatan yang menarik dalam bidang konstruksi berkelanjutan. Salah satu cara penting untuk menilai mutu mortar geopolimer adalah melalui pengamatan terhadap kuat tekan yang dihasilkan mortar itu. Grafik pengujian kuat tekan didasarkan pada berbagai variasi komposisi campuran (20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%) juga dua suhu curing 70°C serta 90°C, sehingga terlihat sebuah tren yang cukup konsisten serta mencerminkan pengaruh signifikan baik dari komposisi limbah juga suhu curing terhadap performa mekanik mortar geopolimer. Mortar geopolimer itu menggunakan limbah bata ringan serta dicuring pada suhu 70°C. Pada campuran dengan 20% mortar ini, kuat tekannya tertinggi, yaitu 24,20 MPa pada umur hingga 28 hari serta 11,60 MPa pada umur sampai 7 44 hari. Persentase limbah meningkat menjadi 40%, 60%, sampai 100%, sehingga nilai kuat tekan menurun signifikan secara bertahap sampai nilai itu mencapai titik terendah yaitu 0,20 MPa pada komposisi 100%. Penurunan tersebut linier, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan regresi linier $y = -5,48x + 29,6$. Nilai determinasi yang tinggi yaitu $R^2 = 0,9859$ menunjukkan konsistensi pada data juga keandalan terhadap tren penurunan itu. Ketika hasil ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu, ditemukan keselarasan yang kuat. Neville (2011) dalam bukunya *Properties of Concrete* menyebutkan bahwa campuran dengan bahan substitusi sebaiknya dibatasi tidak lebih dari 30–40% untuk menjaga integritas struktural beton atau mortar. Demikian pula, penelitian oleh Hardjito dan Rangan (2005) menyatakan bahwa curing pada suhu 60–90°C memang mempercepat kekuatan awal pada material geopolimer, namun dapat menyebabkan penguapan air internal terlalu cepat dan meningkatkan risiko retakan mikro, terutama jika campuran tidak dikendalikan dengan baik. Selain itu, Sata et al. (2007) dalam jurnal



Construction and Building Materials menemukan bahwa penggunaan fly ash dan limbah keramik secara berlebihan dalam geopolimer akan menyebabkan penurunan kekuatan tekan akibat distribusi partikel yang tidak optimal dan rendahnya rasio bahan reaktif terhadap bahan pengisi. Temuan ini senada dengan penurunan kekuatan tekan pada campuran limbah 60–100% pada pengujian ini, yang gagal menghasilkan struktur padat dan kuat. Hal lain yang menarik dari hasil ini adalah bahwa suhu curing 90°C memang dapat mempercepat pengembangan 45 kekuatan pada usia awal, namun tidak selalu menjamin kekuatan jangka panjang yang lebih baik. Sebaliknya, suhu 70°C memberikan kekuatan 28 hari yang cenderung lebih stabil, khususnya untuk komposisi 20–40%. Ini menunjukkan bahwa dalam praktiknya, kontrol suhu curing harus mempertimbangkan target umur beton dan keseimbangan hidrasi atau reaksi geopolimerisasi. Selain itu, bata ringan memiliki kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang tinggi dan bersifat lebih reaktif terhadap larutan alkali. Ini sangat mendukung terbentuknya struktur ikatan geopolimer berupa Natrium Alumino Silikat Hidrat (N-A-S-H) yang memperkuat ikatan antar partikel. Sebaliknya, bata merah memiliki struktur yang sudah terbentuk stabil akibat proses pembakaran suhu tinggi, sehingga reaktivitas kimianya terhadap alkali rendah dan kurang mendukung proses geopolimerisasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi curing suhu 70°C dan komposisi limbah 20–40% adalah kondisi optimal untuk mortar geopolimer berbasis limbah bata ringan, dengan hasil kuat tekan yang melebihi 17 MPa. Sementara itu, penggunaan limbah bata merah pada grafik lain cenderung menghasilkan nilai kuat tekan lebih rendah dibanding bata ringan, kemungkinan karena sifat fisik dan kimia limbah bata merah yang kurang mendukung pembentukan ikatan geopolimer yang kuat. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai penggunaan limbah konstruksi dinding berupa bata merah dan bata ringan sebagai substitusi terhadap abu terbang dalam pembuatan agregat kasar buatan untuk mortar geopolimer, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah konstruksi dinding berpengaruh signifikan terhadap



sifat mekanik mortar, khususnya kuat tekan dan tingkat abrasi. 1.

Variasi komposisi limbah dinding sebesar 20%, 40%, 60%, 80%, hingga 100% menunjukkan bahwa substitusi optimal tercapai pada rentang campuran 20% hingga 40%. Semakin tinggi persentase limbah yang digunakan, semakin menurun pula kuat tekan yang dihasilkan, terutama pada suhu curing tinggi (90°C), yang mempercepat reaksi awal tetapi dapat menyebabkan keretakan mikro akibat penguapan air yang terlalu cepat. 45

2. Suhu curing memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan mortar. Suhu 70°C lebih mendukung pembentukan kekuatan jangka panjang dibanding suhu 90°C. Kuat tekan optimum diperoleh pada campuran 20% bata ringan yang dirawat pada suhu 70°C selama 2 jam, dengan hasil mencapai lebih dari 24 MPa pada umur 28 hari, menjadikannya memenuhi kriteria sebagai agregat buatan berkualitas baik untuk keperluan non-struktural. 3. Pengujian abrasi menunjukkan nilai terbaik ditem pada komposisi rendah (20–40%), menunjukkan bahwa semakin besar kandungan limbah, semakin rendah pula ketahanan terhadap aus. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa limbah konstruksi dinding dapat dimanfaatkan sebagai campuran material alternatif yang berpotensi menggantikan agregat kasar alam, asalkan digunakan dalam batas proporsional tertentu. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh substitusi limbah bata merah dan bata ringan pada agregat buatan dapat disimpulkan saran sebagai berikut. 1. Pada pengujian hanya dilakukan pada benda uji mortar 47 kubus berukuran 5×5 cm, sehingga hasil kuat tekan yang diperoleh masih terbatas. Untuk mengetahui kinerja pada skala aplikatif di lapangan, diperlukan pengujian lanjutan menggunakan benda uji yang lebih besar, seperti silinder beton. 2. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis konsentrasi larutan alkali aktivator, yaitu 10M. Akan lebih baik jika dilakukan variasi molaritas (misalnya 8M, 12M, atau 14M) untuk mengetahui sejauh mana pengaruh konsentrasi terhadap kekuatan ikatan geopolimer yang terbentuk. 15

3. Pembuatan agregat kasar ada baiknya menggunakan alat yang memadai, seperti pan granulator untuk meminimalisir



REPORT #27659465

terjadinya gagal produk dan gradasi agregat buatan bisa dibentuk dengan ukuran yang diinginkan. 48



REPORT #27659465

Results

Sources that matched your submitted document.

● IDENTICAL ● CHANGED TEXT

INTERNET SOURCE	
1. 5.65% eprints.upj.ac.id	● ●
https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/9169/8/BAB%20II.pdf	
INTERNET SOURCE	
2. 4.35% eprints.upj.ac.id	● ●
https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/10827/9/9.%20BAB%20II.pdf	
INTERNET SOURCE	
3. 4.22% eprints.upj.ac.id	●
https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/9268/25/10.%20BAB%20III.pdf	
INTERNET SOURCE	
4. 2.07% eprints.upj.ac.id	● ●
https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/9169/11/BAB%20III.pdf	
INTERNET SOURCE	
5. 1.19% eprints.upj.ac.id	●
https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/7992/4/10.%20BAB%20III.pdf	
INTERNET SOURCE	
6. 0.98% eprints.upj.ac.id	●
https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/10797/9/BAB%20II.pdf	
INTERNET SOURCE	
7. 0.91% repo.itera.ac.id	●
https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2108240001/21116120_8_150730.p..	
INTERNET SOURCE	
8. 0.52% ejurnalunsam.id	●
https://ejurnalunsam.id/index.php/jmtss/article/download/7444/3974	
INTERNET SOURCE	
9. 0.46% media.neliti.com	●
https://media.neliti.com/media/publications/139546-ID-pengaruh-agregat-kasa...	



REPORT #27659465

INTERNET SOURCE

10. **0.46%** eprints.unram.ac.id

<https://eprints.unram.ac.id/38292/1/DISERTASI.pdf>

INTERNET SOURCE

11. **0.43%** www.ocw.upj.ac.id

<https://www.ocw.upj.ac.id/files/Textbook-CIV-203-Modul-Praktikum-Material-Ko..>

INTERNET SOURCE

12. **0.39%** repository.unwira.ac.id

<https://repository.unwira.ac.id/1155/4/FILE%20BAB%20III.pdf>

INTERNET SOURCE

13. **0.37%** digilib.itb.ac.id

<https://digilib.itb.ac.id/assets/files/2024/QkFCIEIJIC0gQU5HR0kgUFJBVEFNQSB...>

INTERNET SOURCE

14. **0.32%** lib.ui.ac.id

<https://lib.ui.ac.id/file?file=digital/old6/123173-R210808-Studi%20karakteristik-...>

INTERNET SOURCE

15. **0.29%** eprints.upj.ac.id

<https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/10827/12/12.%20BAB%20V.pdf>

INTERNET SOURCE

16. **0.29%** eprints.upj.ac.id

<https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/6418/10/BAB%20III.pdf>

INTERNET SOURCE

17. **0.28%** jurnal.poltekba.ac.id

<https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jtt/article/viewFile/2311/pdf>

INTERNET SOURCE

18. **0.27%** repository.ums.ac.id

<https://repository.ums.ac.id/bitstream/handle/123456789/30146/F.%20BAB%20...>

INTERNET SOURCE

19. **0.26%** repositori.untidar.ac.id

<https://repositori.untidar.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=43973&bid=18143>

INTERNET SOURCE

20. **0.26%** erepository.uwks.ac.id

<https://erepository.uwks.ac.id/17953/4/BAB%20III.pdf>



REPORT #27659465

INTERNET SOURCE

21. **0.25%** eprints.ummetro.ac.id

<https://eprints.ummetro.ac.id/1333/4/BAB%20III.pdf>

INTERNET SOURCE

22. **0.24%** repository.unifa.ac.id

<https://repository.unifa.ac.id/711/1/YAPNER%20MARANTE%20sip19.pdf>

INTERNET SOURCE

23. **0.23%** ejournal.um-sorong.ac.id

<https://ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/rancangbangun/article/download/3..>

INTERNET SOURCE

24. **0.21%** jim.usk.ac.id

<https://jim.usk.ac.id/CES/article/viewFile/99/8016>

INTERNET SOURCE

25. **0.21%** repository.uhn.ac.id

<https://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/11808/Geofan%20Jul...>

INTERNET SOURCE

26. **0.2%** eprints.untirta.ac.id

https://eprints.untirta.ac.id/47907/1/Bintang_Miraj_Ali_3334200030_Fulltext..pdf

INTERNET SOURCE

27. **0.2%** repository.unja.ac.id

<https://repository.unja.ac.id/57427/1/1.%20PENGARUH%20PENAMBAHAN%20AB..>

INTERNET SOURCE

28. **0.19%** imsippoliban.files.wordpress.com

<https://imsippoliban.files.wordpress.com/2016/03/sni-03-2417-1991-metode-pe...>

INTERNET SOURCE

29. **0.19%** download.garuda.kemdikbud.go.id

<http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=310397&val=7370...>

INTERNET SOURCE

30. **0.19%** repository.umsu.ac.id

<http://repository.umsu.ac.id/bitstream/123456789/16017/1/SKRIPSI%20ARDI%2...>

INTERNET SOURCE

31. **0.18%** jicnusanantara.com

<https://jicnusanantara.com/index.php/jicn/article/download/861/975>



REPORT #27659465

INTERNET SOURCE

32. **0.18%** eprints.upj.ac.id

<https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/9158/11/BAB%204.pdf>

INTERNET SOURCE

33. **0.18%** eskripsi.usm.ac.id

<https://eskripsi.usm.ac.id/files/skripsi/C11A/2016/C.111.16.0138/C.111.16.0138-1..>

INTERNET SOURCE

34. **0.18%** www.academia.edu

https://www.academia.edu/73284870/Analisis_Pengaruh_Biji_Karet_Terhadap...

INTERNET SOURCE

35. **0.17%** jurnal.um-palembang.ac.id

<https://jurnal.um-palembang.ac.id/bearing/article/download/5498/3235>

INTERNET SOURCE

36. **0.17%** repository.unj.ac.id

<http://repository.unj.ac.id/348/1/SKRIPSI%20KHOIRUR%20RIZKY%20541513425...>

INTERNET SOURCE

37. **0.15%** ejournal.lppmunidayan.ac.id

<https://ejournal.lppmunidayan.ac.id/index.php/sipil/article/download/637/478/...>

INTERNET SOURCE

38. **0.13%** elibrary.unikom.ac.id

https://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/2517/8/UNIKOM_Muhamad%20Ichsan%2..

INTERNET SOURCE

39. **0.13%** repository.unhas.ac.id

https://repository.unhas.ac.id/36166/2/D012221022_tesis_14-05-2024%201-2.pdf

INTERNET SOURCE

40. **0.13%** eprints.umg.ac.id

<http://eprints.umg.ac.id/13422/7/BAB%20III.pdf>

INTERNET SOURCE

41. **0.11%** herbycalvinpascal.files.wordpress.com

<https://herbycalvinpascal.files.wordpress.com/2019/04/sni-6825-2002-metode-p..>

INTERNET SOURCE

42. **0.11%** jurnal.fp.unila.ac.id

<https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JA/article/download/11113/6335>



REPORT #27659465

INTERNET SOURCE

43. **0.1%** repository.unhas.ac.id

https://repository.unhas.ac.id/35589/2/D011201024_skripsi_04-04-2024%201-2....

INTERNET SOURCE

44. **0.1%** repository.unwira.ac.id

<https://repository.unwira.ac.id/15372/4/BAB%20III.pdf>

INTERNET SOURCE

45. **0.1%** journal.undiknas.ac.id

<https://journal.undiknas.ac.id/index.php/reinforcement/article/download/4689/..>

INTERNET SOURCE

46. **0.1%** repository.uhn.ac.id

<https://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/11046/PAUL%20VORT..>

INTERNET SOURCE

47. **0.08%** nusantarahasanajournal.com

<https://nusantarahasanajournal.com/index.php/nhj/article/download/1041/855...>

● QUOTES

INTERNET SOURCE

1. **0.57%** eprints.upj.ac.id

<https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/9169/8/BAB%20II.pdf>

INTERNET SOURCE

2. **0.22%** eprints.upj.ac.id

<https://eprints.upj.ac.id/id/eprint/9268/25/10.%20BAB%20III.pdf>