

EFEKTIFITAS PEMANFAATAN MATERIAL TERBUANG FLY ASH KOMPOSISI BAHAN TAMBAH PENGIKAT BATA BETON

Syahrul ¹, dan Amir ²

^{1,2}Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
^{1,2}Jl. Ir. Juanda No 80, Samarinda, Kalimantan Timur, 75124
E-mail : syahrul@untag-smd.ac.id¹), amir@untag-smd.ac.id²)

ABSTRAK

Pemanfaatan *fly ash* sebagai material hasil sampingan industri menjadi fenomena yang berkembang dan memiliki potensi menjadi bahan tambah pengikat campuran beton dan sejenisnya seperti pasta, mortar, hasil sampingan industri merupakan limbah padat yang tidak dipakai lagi dan berasal dari hasil proses pengolahan, dan meningkatnya infrastruktur maka keperluan material konstruksi akan meningkat, tentunya akan berbading lurus dengan potensi pencemaran dan kerusakan lingkungan. Penambahan material terbuang dalam komposisi campuran bahan konstruksi tentu memiliki jumlah volume terukur, dan perlu dianalisa jumlah volume yang diperlukan dalam komposisi tersebut. komposisi campuran sangat dipengaruhi karakteristik material sehingga perlu pengujian melalui mekanisme laboratorium dengan cakupan pengujian berat jenis, berat isi, kadar lumpur dan lempung, hingga analisa komposisi jumlah bahan yaitu semen, pasir, *fly ash*, dan air, adapun analisa komposisi jumlah bahan menggunakan perbandingan berat. Guna mengetahui kinerja bata beton dengan bahan tambah pengikat *fly ash* maka dibuat variasi bata beton dengan komposisi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, adapun umur rencana 3 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan jumlah 45 sampel. Penelitian bertujuan mengetahui efektifitas pemanfaatan bahan tambah pengikat pada campuran, dengan membuat sampel sesuai standarisasi pembuatan bata beton dan parameter uji kekuatan tekan dan lebih utama yaitu memberi manfaat untuk mengurangi dampak terhadap tingginya produksi semen yang menghasilkan kerusakan lingkungan seperti debu, kebisingan, asap, krisis air, kerusakan tanah, udara, serta iklim.

Kata Kunci: Material, Fly Ash, Volume, Bata Beton, Kekuatan Tekan

1. PENDAHULUAN

Kegiatan industrialisasi memberikan dampak lingkungan berupa limbah, jenis limbah yang dihasilkan berupa limbah padat, dan pemerintah Indonesia memberikan syarat wajib setiap pelaku industri untuk memiliki pengolahan limbah. *Fly ash* tergolong material padat dengan butiran yang halus dari sisa limbah buangan industri pembangkit listrik, *fly ash* memiliki kandungan unsur kimia berupa silika, alumina (Lankapati *et al.*, 2023), serta fero oksida dan bahan tambah lainnya dengan warna keabu-abuan (Jayaranjan *et al.*, 2014), *fly ash* hasil industri pembangkit listrik tenaga uap tidak mengandung unsur yang membahayakan, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Sogabe *et al.*, 2023 ; Patil *et al.*, 2024), serta tidak melampaui parameter *Toxicity Reference Value* (TRV), dan digolongkan sebagai limbah tetapi bukan kategori bahan beracun dan berbahaya. Pemanfaatan bahan tambah pengikat berupa *fly ash* pada campuran beton dengan konsentrasi pengaktif NaOH akan menghasilkan karakteristik campuran beton geopolimer (Kumar *et al.*, 2013), besarnya deposit *fly ash* yang tersebar di beberapa provinsi Indonesia, akan berimplikasi pada keabawahan dan keberlanjutan bahan pengikat campuran beton yang memberikan nilai positif terhadap solusi pencemaran lingkungan akibat limbah industri. Pencampuran *fly ash* dan semen diperkirakan efektif sebesar 2 % hingga 10 % berdasarkan penelitian yang pernah ada, penggunaan bahan pengikat semen jenis

Ordinary Portland Cement dapat digantikan sebagian dengan material *fly ash* dan *bottom ash*.

Efektifitas bahan tambah pengikat pada komposisi campuran bahan konstruksi akan bermanfaat untuk mengurangi pemakaian semen tanpa mengurangi kekuatan, untuk mengetahui efektifitas *fly ash* pada komposisi campuran bata beton diperlukan sampel uji dengan variasi yang berbeda pada komposisi campuran, adapun parameter uji menggunakan kekuatan tekan. Bata beton memiliki klasifikasi sebagai komponen konstruksi dengan peruntukan jalan, parkir, pedestrian, dan keperluan taman (Shah *et al.*, 2022 ; Silva *et al.*, 2023 ; Awolusi *et al.*, 2022). Kemajuan modifikasi bahan konstruksi sebagai struktur komposit dengan kombinasi material terbuang (Ju *et al.*, 2023). Hasil industri pembakaran batubara, ketika dikombinasikan dengan bahan lain seperti silika atau metakaolin, akan meningkatkan reaktivitas dan membentuk fase semen tambahan.

Bahan konstruksi diklasifikasi menjadi dua bagian yaitu *consumable* material dan *non-consumable* material, mengenai *consumable* material didefinisikan sebagai bagian dari struktur fisik konstruksi, dan *non-consumable* material merupakan penunjang dalam proses pelaksanaan konstruksi, mengenai pemanfaatan *fly ash* (Khan *et al.*, 2023 ; Wang *et al.*, 2023), sebagai bahan tambah pengikat pada campuran bata beton merupakan bagian dari *consumable* material atau penggunaan ulang

dari sisa limbah buangan industri. Sebagai material penggunaan ulang tentu memberikan dampak yaitu menghemat penggunaan material utama berupa semen. Fenomena penggunaan konstruksi bata beton secara luas dimasyarakatkan memberikan pengaruh terhadap keperluan bahan serta biaya, dan mengingat bata beton sering digunakan untuk keperluan rehabilitasi konstruksi, sehingga penggunaan bahan pengganti atau bahan tambah pengikat akan menghemat penggunaan bahan semen dan pasir dengan tetap mempertahankan kualitas dan mutu. *Fly ash* merupakan zat berukuran lanau yang tidak kohesif dengan berat jenis lebih rendah daripada tanah biasa (Mohamed *et al.*, 2023). Komposisi campuran bata beton terbuat dari semen portland, agregat halus, dan air dengan bahan tambah atau tanpa bahan tambah, serta tidak mengurangi mutu bata beton (Badan Standardisasi Nasional, 1996)

Mann *et al.*, (2016) menyatakan bahwa batu bata komposisi *fly ash* dapat menggantikan batu bata tanah liat murni hingga 50 % beratnya dan batu bata *fly ash* dan tanah liat bermanfaat sebagai perisai, anti radiasi, pengelolaan limbah radioaktif, dan memiliki efektifitas terhadap biaya dan pemanfaatan limbah *fly ash* dengan cara yang lebih ramah terhadap lingkungan. Elahi *et al.*, (2020) melakukan penelitian dengan menggunakan *fly ash* dan semen sebagai stabilisator pada pembuatan bata tanah dengan penambahan semen berkisar 7 – 8 % dan *fly ash* 15 – 20 %, adapun hasilnya meningkatkan kekuatan tekan lebih dari 5 MPa sehingga dapat digunakan sebagai bahan konstruksi yang berkelanjutan dan menghemat sumber daya alam, mengurangi polusi dan meningkatkan efisiensi energi. Wang *et al.*, (2021) dengan penelitian efektivitas dan mekanisme superplasticizer dalam menyebarkan pasta *fly ash* kelas F, hasil penelitian menunjukkan bahwa molekul superplasticizer yang memasuki *fly ash* melalui pori-pori di permukaan *fly ash* memberikan dampak pada partikel kehilangan kemampuan menyebar.

Tran *et al.*, (2022) melakukan penelitian dengan meningkatkan efektivitas pengawetan uap untuk pasta semen yang menggabungkan *fly ash* berdasarkan kekuatan tekan jangka panjang dan tingkat reaksi *fly ash*, campuran pasta semen dengan penambahan 0, 20, 35, dan 50 % *fly ash* dengan rasio air semen 0,28. Pada campuran pasta semen dengan jumlah optimal *fly ash* yang tersubstitusi dalam pasta yang tidak hanya dapat mencapai kekuatan desain dalam jangka pendek tetapi juga dapat mengurangi dampak kerugian dan perilaku panas dalam jangka panjang. Radenovic *et al.*, (2024) dengan penelitian penggunaan kembali sedimen yang terkontaminasi secara menguntungkan penilaian jangka panjang campuran *fly ash* dan kapur, hasil analisis struktur mikro dan kekuatan menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dan kapur sebagai pengikat mempromosikan integritas struktural permanen sedimen. Sedimen yang diolah dengan 20 % *fly ash* dan 10 % kapur mencapai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang hanya mengandung 30% *fly ash*,

dan dikategorikan sebagai material ramah lingkungan, efektif dan berkelanjutan untuk jangka panjang.

Efektifitas pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah pengikat dengan variasi 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, hingga 20 % pada campuran bata beton. parameter kekuatan tekan ditinjau pada rencana umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan kekuatan tekan rencana sebanding klasifikasi bata beton mutu D. Adapun pembuatan bata beton menggunakan produk sampingan industri diperuntukkan sebagai bahan tambah pengikat bertujuan mengurangi volume semen dan tetap menjaga mutu bata beton sesuai rencana serta upaya inovasi dengan mengurai pencemaran lingkungan.

2. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian mencakup penggunaan agregat halus, *fly ash*, semen OPC, dan air. Sampel uji dibuat sebanyak 45 sampel dengan penambahan material sampingan industri berupa *fly ash* dengan tinjauan berat semen. Adapun penambahan *fly ash* dengan variasi 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 %. Setelah sampel melalui perawatan berdasarkan umur rencana yaitu umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari, maka sampel siap untuk di uji dengan cakupan parameter kekuatan tekan yang sebanding klasifikasi bata beton mutu D, Adapun hasil pengujian di analisa guna mengetahui kekuatan tekan umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari. tekan.

3. BAHAN DAN METODE

Komposisi pembuatan bata beton terdiri agregat halus, limbah hasil industri yaitu *fly ash*, semen OPC, air yang digabungkan sesuai mekanisme standar yang menghasilkan sampel bata beton, adapun bentuk fisik bata beton diuji dengan tujuan mengetahui karakteristik fisik dan selanjutnya dianalisa. Proses pembuatan bata beton dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya pengujian bahan utama, analisa komposisi campuran dengan perbandingan 1 : 4, dan rasio air semen 0,58. Setelah melalui beberapa proses pengujian dan analisa campuran, maka dibuat sampel dengan jumlah 45 buah dan dilakukan perawatan sesuai umur rencana hingga memasuki tahap uji kekuatan bata beton secara mekanik.

3.1 Karakteristik Agregat Halus

Penggunaan agregat halus untuk campuran bata beton (Olofinnade *et al.*, 2021), perlu di ketahui karakteristiknya melalui pemeriksaan laboratorium dan analisa komposisi volume bahan, agregat halus yang digunakan dalam campuran bata beton memiliki ukuran butiran yang ditinjau berdasarkan gradasi analisa saringan sesuai standar, penentuan karakteristik yang lain, seperti berat jenis, penyerapan, berat isi, kadar air, kadar lumpur – lempung, diuji sesuai standarisasi yang berlaku di Indonesia, dalam proses pembuatan bata beton agregat halus menjadi bahan dengan komposisi yang dominan pada struktur bata beton, terutama pada kandungan lumpur tidak boleh melebihi syarat yang tertuang pada standarisasi agregat halus. Sehingga

karakteristik agregat halus akan berpengaruh pada mutu bata beton. pada proses pembuatan bata beton, bahan agregat halus yang digunakan merupakan bahan lokal dan bersumber dari dasar Sungai Mahakam. Hasil pengujian pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Agregat Halus

Uraian	Hasil	Syarat
Analisa Saringan	-	-
Berat Jenis	2,62	≥ 2,50
Penyerapan	2,25	< 3,0 %
Kadar Air	1,25	3 – 5 %
Berat Isi	1,40	
Kadar Lumpur dan Lempung	1,50	< 5 %
Modulus Halus Butir	2,81	1,5 – 3,8

3.2 Karakteristik Fly Ash

Penggunaan *fly ash* sebagai komposisi beton akan memberi ruang pada keberlanjutan konstruksi, sehingga peran sebagai substitusi hasil buangan industri sangat memungkinkan digunakan mengingat unsur kimia *fly ash* bersifat pozzolan dan sebagai material pengikat tambahan tentu akan berpengaruh pada beton segar, workabilitas dan mekanik bata beton. *Fly ash* memiliki komposisi material yang heterogen dengan bentuk bulat kisaran antara 1 µm hingga 150 µm, secara visual *fly ash* memiliki warna keabuan dan standarisasi *fly ash* yang telah dikalsinasi memiliki persyaratan fisik tambahan berupa kadar gelembung udara yang tetap bertahan. Secara signifikan penambahan *fly ash* meningkatkan polimerisasi dan menciptakan pembentukan gel polimer, memberikan kerapatan yang tinggi dan meminimalkan pori-pori (R *et al.*, 2024). Pada proses pembuatan batu bata beton, *fly ash* yang digunakan memiliki klasifikasi kelas C dan karakteristik *fly ash* menjadi perlu diketahui karena terkait daur ulang dan kemanfaatan, walaupun sebagai material hasil buangan industri yang memiliki manfaat, tetap perlu di waspadai sebagai limbah yang dapat berdampak pada lingkungan dan kesehatan. Hasil pengujian pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Fly Ash

Parameter	Hasil	Syarat	Metode
Berat Jenis	2,50	≥ 2,50	SNI 1970 2008
Berat Isi	1,20	-	SNI 03 4804 1998
Penyerapan	0,013	< 3,0 %	SNI 1970 2008
Kadar Air	0,55	< 3,0 %	SNI 03 1971 1990

3.3 Komposisi Kimia Fly Ash Jenis C

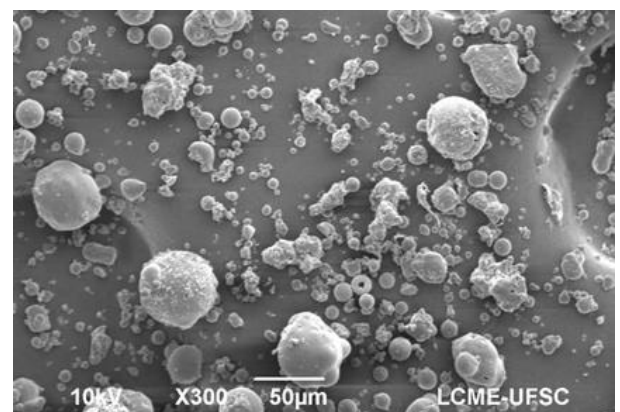
Fly ash kelas C memiliki sifat pozzolanik dan sementisius serta memiliki kadar kalsium CaO lebih tinggi 10 % dari jenis *fly ash* kelas N dan F, sehingga disebut *fly ash* dengan kalsium tinggi, kemampuan fraksi melewati 500 µm (Mohamed *et al.*, 2023). Adapun Sifat kimia *fly ash* dipengaruhi jenis batubara, proses pembakaran dan pola yang digunakan termasuk

peralatan, serta tergantung komposisi, ukuran partikel asal batubara, secara keseluruhan *fly ash* memiliki sifat seperti semen, sehingga akan memberikan solusi untuk menekan kenaikan suhu global akibat pelepasan karbon dioksida (CO₂) pada produksi semen untuk komposisi campuran beton dengan produk sampingan industri akan memastikan produksi beton yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Untuk analisa sifat kimia *fly ash* dianalisa menggunakan X-Ray Diffraction untuk mengidentifikasi kualitasi fase kristal *fly ash*, dan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* untuk mengidentifikasi komposisi fase amorf *fly ash*. Spesifikasi campuran beton dengan *fly ash* mengacu pada standar yang diuraikan pada. Hasil uji kimia pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kimia Fly Ash

Unsur Kimia	Komposisi (%)
SiO ₂	63,3
Fe ₂ O ₃	6,26
Al ₂ O ₃	22,4
K ₂ O	0,33
MgO	1,19
CaO	1,97
Na ₂ O	0,66
SO ₃	0,36
LOI	2,04

Adapun hasil *Scanning Electron Microscope fly ash* pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengujian SEM Fly Ash

3.4 Komposisi Kimia Semen OPC

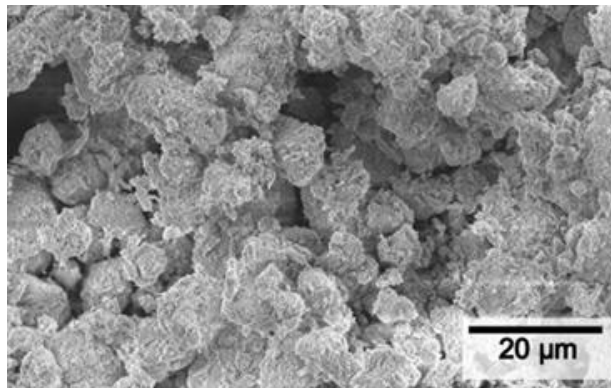
Semen OPC jenis perekat hasil pengolahan klinker yang mengandung unsur kapur – CaO, silikat – SiO₂, alumina – Al₂O₃, besi – Fe₂O₃, dan memiliki komposisi yang sama seperti *fly ash*, silika, terak, dan metakaolin (Souto *et al.*, 2017), sehingga polusi akibat industri semen dapat diminimalkan, adapun kandungan mineral memiliki kemampuan meningkatkan sifat kekuatan awal dan daya tahan. Reaksi pozzolan bahan tambah pengikat akan efektif mengurangi potensi penyerapan karbon pada produksi semen Portland, hasil penyerapan karbon

tersebut akan bereaksi dengan CH yang tersimpan untuk menghasilkan CSH sesuai mekanisme reaksi semen. Adapun sifat mekanik dan durabilitas bahan pengikat *Ordinary Portland Cement* memiliki perilaku yang sama pada jenis *Portland Pozzoland Cement* dan *Portland Composite Cement*. Nilai penyusutan beton dengan komposisi *Ordinary Portland Cement* relatif lebih kecil dibandingkan jenis *Portland Pozzoland Cement* dan *Portland Composite Cement*. Berat jenis *Ordinary Portland Cement* sebesar 3,1 dan berat isi 1,29 Hasil pemeriksaan unsur dan komposisi kimia pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Kimia Semen OPC

Unsur Kimia	Komposisi (%)
SiO ₂	20,48
Fe ₂ O ₃	4,11
Al ₂ O ₃	5,82
K ₂ O	0,44
MgO	1,36
CaO	63,56
Na ₂ O	0,21
SO ₃	1,68
LOI	1,36

Pemeriksaan menghasilkan informasi topografi atau permukaan objek dan morfologi atau bentuk ukuran partikel, komposisi unsur dan senyawa objek. Adapun hasil *Scanning Electron Microscope Ordinary Portland Cement* pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian SEM OPC

3.5 Rancangan Campuran

Analisa merupakan proses yang dilakukan dengan perhitungan untuk mendapatkan komposisi campuran bata beton, proporsi campuran dilakukan setelah tahap analisa saringan diketahui (Udawattha *et al.*, 2017), dan karakteristik bahan lainnya, penentuan rencana kualitas mutu bata beton hingga rancangan mengacu standar. Perhitungan jumlah volume bahan menggunakan perbandingan berat yaitu 1 ; 4 dan rasio air semen 0,58. Adapun penambahan *fly ash* ditinjau dari jumlah berat semen. Analisa perbandingan berat meninjau sifat fisik bahan seperti berat jenis dan berat isi bahan, mengingat parameter tersebut menjadi faktor penjumlah untuk mendapatkan jumlah volume bahan campuran bata beton dalam 1 m³. Bata beton diproduksi dengan kondisi tidak jenuh air dan diberi beban tekan pada permukaan cetakan, campuran beton dengan penambahan bahan pengikat *fly ash* memiliki keunggulan yaitu peningkatan kekuatan tekan yang bervariasi berkisar 2 – 26 persen (Hossain *et al.*, 2023). Adapun komposisi campuran pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Campuran Bata Beton 1m³

Material	Proporsi <i>Fly Ash</i> %				
	0	5	10	15	20
Semen	464,31 kg	460,03 kg	455,84 kg	451,72 kg	447,68 kg
Pasir	1520,33 kg	1506,34 kg	1492,61 kg	1479,12 kg	1465,88 kg
Air	269,95 liter	267,47 liter	265,02 liter	262,63 liter	260,28 liter
<i>Fly Ash</i>	0,00 kg	23,00 kg	45,58 kg	67,76 kg	89,54 kg
Perbandingan	1 ; 3,87 ; 1,80 ; 0,00	1 ; 3,87 ; 1,80 ; 0,06	1 ; 3,87 ; 1,80 ; 0,12	1 ; 3,87 ; 1,80 ; 0,19	1 ; 3,87 ; 1,80 ; 0,25

3.6 Jumlah Sampel

Sebagai objek penelitian dan dianggap mampu memberikan data informasi mengenai sifat mekanik bata beton dengan komposisi bahan yang digunakan, sebagai bagian dari parameter pengujian maka perlu dibuat sampel uji. Hasil pengujian sampel akan memberikan kesimpulan yang memastikan potensi penggunaan bahan lokal, metode yang digunakan dan kualitas penelitian. Standar Nasional Indonesia memberi syarat pengujian sampel uji bata beton berbentuk kubus. Pada proses penelitian yang dilakukan pembuatan sampel dicetak secara manual.

Adapun ukuran sampel 100 x 200 x 80 mm persegi panjang dengan jumlah 45 buah, dari jumlah tersebut direncanakan umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari. Agar reaksi pozzolan berproses maka dilakukan *curing* hingga memasuki periode pengujian kekuatan tekan. Potensi *fly ash* memiliki kemanfaatan yang besar namun masih terdapat tantangan berupa minimnya spesifikasi standar dan variasi sifat sampel yang di *curing*. Eksperimen penggunaan material lokal dan limbah buangan industri menjadi bahan konstruksi

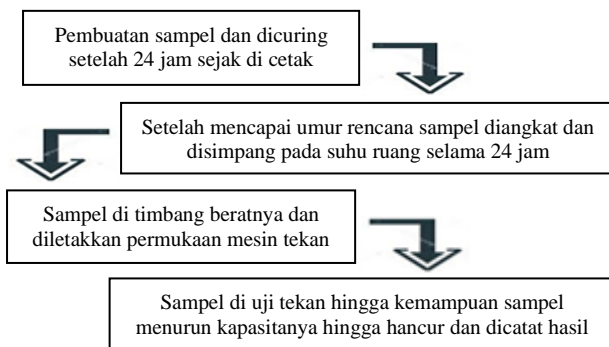
serta menjangkau keberlanjutan konstruksi. Desain jumlah sampel pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Sampel

Umur (Hari)	Proporsi Fly Ash (%)					Total
	0	5	10	15	20	
3	3	3	3	3	3	15
14	3	3	3	3	3	15
28	3	3	3	3	3	15
Jumlah	9	9	9	9	9	45

3.7 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan merupakan parameter uji dasar dengan memberikan beban monoton secara berlanjut dan kecepatan yang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik sampel dan terlebih dahulu di *curing* selama periode tertentu hingga memasuki umur pengujian. Pengembangan bahan tambah *fly ash* sebagai pengikat berperan untuk mengevaluasi kekuatan tekan, dan persiapan yang menjadi perhatian adalah pengambilan sampel yang tepat, penanganan, penyimpanan, hingga fase pengujian. Kinerja sampel uji dalam menerima momen vertikal akan mengukur dan berperan menentukan karakteristik komposit bata beton (Syahrul *et al.*, 2023). Dalam penelitian metode analisa campuran menggunakan perbandingan berat, dengan menguji dan mengetahui berat jenis dan berat satuan masing – masing bahan campuran, sehingga setiap jumlah bahan akan diketahui beratnya dan akan memberikan kesesuaian dengan rasio air semen. Adapun tahap pengujian sampel pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahap Pengujian Sampel

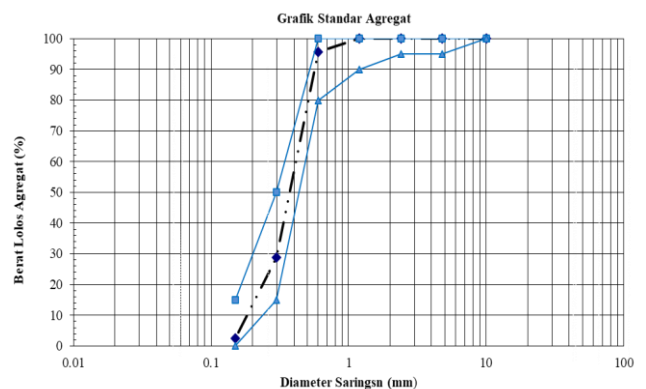
4. PEMBAHASAN

Keberlanjutan bahan konstruksi dengan menggunakan material buangan industri menjadi fenomena mekanis yang berkembang di daerah maju secara pengetahuan dan teknologi, sehingga potensi bahan lokal secara teknis dan mekanisme penelitian akan dimanfaatkan. Pembuatan bata beton dengan efektifitas penggunaan bahan tambah pengikat yang memiliki kesamaan komposisi kimia akan meminimalkan pengaruh lingkungan terhadap produksi semen. Bahan konstruksi dengan kualitas terukur secara kuantitatif berdasarkan standarisasi, tentu tidak akan serupa.

Sehingga hasil penelitian yang diperoleh merupakan data pendekatan secara kuantitatif.

4.1 Gradasi

Agregat halus memiliki butiran maksimal 4,76 mm, yang akan diketahui setelah pengujian distribusi butiran. Gradasi merupakan parameter uji agregat yang dipergunakan untuk bahan konstruksi, terdapat tiga kategori berupa gradasi seragam, gradasi menerus, dan gradasi sela. Gradasi memiliki kontribusi terhadap stabilitas campuran dan distribusi agregat yang menggambarkan variasi ukuran butir bahan dan berpengaruh pada volume rongga, campuran serta kemudahan pekerjaan. Pada penelitian kinerja bata beton pengujian gradasi, agregat harus dengan kondisi kering, metode tersebut bertujuan agar butiran agregat mudah terpisah, terbagi sesuai ukuran saringan. Dan hasil gradasi pada campuran bata beton dikategorikan sebagai gradasi menerus dan disimpulkan bahwa butiran memiliki distribusi yang baik. Adapun penggolongan gradasi agregat terletak pada daerah 4, dan diperoleh agregat agak halus. Hasil gradasi agregat halus pada Gambar 4.



Gambar 4. Gradasi Agregat Halus

4.2 Modulus Halus Butir

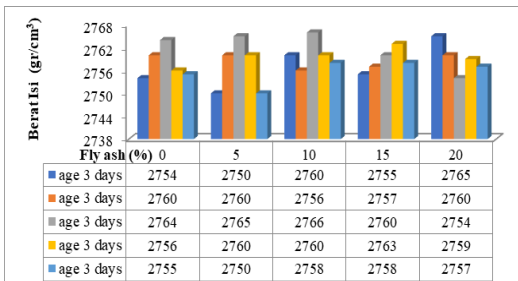
Nilai indek modulus butir diketahui melalui mekanisme pengukuran kehalusan butiran bahan atau kekerasannya. Presentasi bahan ditinjau pada hasil kumulatif gradasi dan dibagi seratus (Syahrul, 2022). Modulus halus merupakan parameter pembagian dan mengklasifikasikan agregat halus berdasarkan butirannya serta dapat digunakan untuk mendapatkan nilai perbandingan berat agregat pada campuran beton. Spesifikasi modulus halus butir agregat sebesar 1,5 – 3,8 dan tidak melebihi 7 % pada campuran beton. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang digunakan semakin bervariasi ukuran dalam campuran dan akan memiliki kuat geser yang memadai serta kemampuan ketahanan terhadap deformasi. Selain memberikan ketahanan gelincir pada permukaan, kekuatan dan workabilitas menjadi faktor yang memiliki pengaruh. Adapun modulus halus butir hasil penelitian diperoleh 2,528. Adapun hasil uji pada Tabel 7.

Tabel 7. Jumlah Sampel

Ayakan (mm)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)
10	0,00	0,00
4,8	0,00	0,00
2,4	0,00	0,00
1,2	0,00	0,00
0,6	4,24	4,24
0,3	71,24	75,48
0,15	97,57	173,05
Sisa	2,43	-
Jumlah	100	2,528

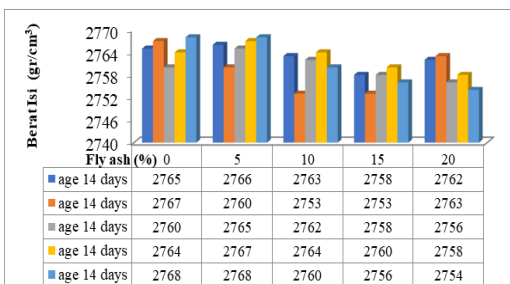
4.3 Berat Isi

Berat isi bata beton diperoleh dari perbandingan berat atau massa dengan volume dan rongga pori bata beton, sehingga jumlah partikel campuran dan rongga pori akan berpengaruh pada kepadatan sampel uji. Semakin banyak dan padat jumlah partikel yang terdapat pada sampel tentu akan mengurangi volume rongga pori dan berat sampel uji akan tinggi, korelasi berat isi dan kualitas mutu sampel terhadap kekuatan tekan akan berbanding lurus, hal tersebut dipengaruhi umur *curing* dan kepadatan atau kerapatan sampel, termasuk kemampuan partikel penyusun bata beton dalam menahan dan tidak mengalami perubahan bentuk dalam waktu yang lama hingga mencapai kerutuhan. Hasil berat isi bata beton umur 3 hari pada Gambar 5.



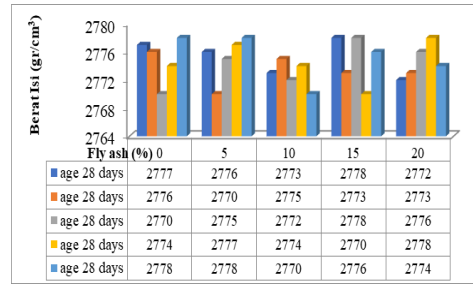
Gambar 5. Berat Isi Umur 3 Hari

Berat isi bata beton akan menentukan volume isi dan berat jenis material serta memberi pengaruh terhadap berat isi sampel, Adapun hasil berat isi sampel bata beton umur 14 hari pada Gambar 6.



Gambar 6. Berat Isi Umur 14 Hari

Berat isi bata beton umur 28 hari pada Gambar 7.



Gambar 7. Berat Isi Umur 28 Hari

4.4 Komposisi Keperluan Penelitian

Dimensi bata beton 100 x 200 x 80 mm sesuai perencanaan komposisi campuran dan acuan standar, untuk memperoleh campuran yang ideal diperlukan perhitungan bahan sesuai volume cetakan 0,0016 m³ dan jumlah sampel uji 45 buah, dicetak dan dikondisikan pada umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari. Peran perencanaan komposisi campuran sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan dan proses pembuatan bata beton secara manual dengan komposisi perbandingan berat 1 ; 4 dan rasio air semen 0,58. Peran rasio air semen berdampak pada hidrasi bata beton, semakin kecil rasio air semen maka proses hidrasi tidak akan optimal dan workabilitas rendah. Jika komposisi air lebih besar dari massa semen, maka bata beton memiliki pori yang besar, mudah ditembus air, memiliki struktur fisik yang tidak kokoh, dan menghasilkan kepadatan, daya tahan serta kekuatan bata beton yang rendah. Mekanisme pembuatan yaitu pasir dan bahan tambah pengikat *fly ash* di aduk merata, setelah pasir dan *fly ash* bahan tercampur, semen ditambahkan dan diaduk kembali hingga homogen, selanjutnya di beri air dan proses adukan tetap dilakukan hingga adonan tercampur merata menjadi mortar, kemudian sampel uji dicetak sesuai ukuran cetakan. Komposisi keperluan bahan bata beton pada Tabel 8.

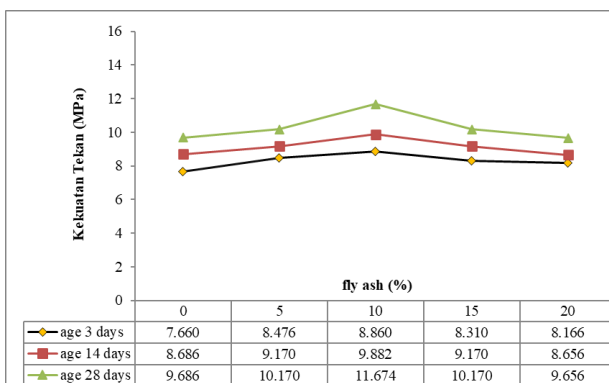
Tabel 8. Komposisi Campuran

Material	Proporsi Fly Ash %					Satuan
	0	5	10	15	20	
Semen	2,23	2,21	2,19	2,17	2,15	Kg
Pasir	7,30	7,23	7,17	7,10	7,04	Kg
Air	1,30	1,28	1,27	1,26	1,25	Ltr
Fly Ash	0,00	0,11	0,22	0,33	0,43	Kg

4.5 Kekuatan Tekan

Penambahan bahan tambah pengikat akan memberi pengaruh reaksi partikel campuran dan kekuatan tekan, rasio penggunaan bahan tambah pengikat dengan volume yang besar pada komposisi campuran, pada penelitian terdapat efek kekuatan tekan menurun, kondisi tersebut dipengaruhi komposisi semen yang berkurang dan perbedaan pengolahan bahan pengikat yang berbeda sehingga memiliki reaksi pozzolan yang tidak kompak untuk meningkatkan rekatan partikel campuran bata

beton. Penambahan *fly ash* 10 % pada umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari memiliki nilai uji kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan variasi 5 %, 15 %, dan 20 %. Kenaikan kualitas mutu bata beton memiliki pola linier dari umur 3 hari ke 14 hari meningkat 10,34 %, dan umur 14 hari ke 28 hari meningkat 15,35 %. Umur 3 hari ke 28 hari kenaikan mutu bata beton 24,10 %. Adapun penambahan bahan pengikat *fly ash* secara keseluruhan memiliki kekuatan tekan reaktif lebih tinggi dari bata beton normal. Semakin tinggi penambahan bahan pengikat *fly ash*, maka potensi penurunan kekuatan tekan akan lebih meningkat juga, penurunan tersebut diketahui bahwa komposisi kimia semen dan *fly ash* belum menghasilkan reaksi pozzolan yang optimal, hal tersebut diakibatkan proses pembentukan partikel klinker untuk menghasilkan ikatan akhir semen berupa *Calcium Silicate Hydrate* terpisah. Hasil kekuatan tekan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kekuatan Tekan

5. KESIMPULAN

Karakteristik bahan, perencanaan komposisi campuran dan variasi bahan tambah pengikat memberikan dampak signifikan terhadap kualitas mutu bata beton, Penambahan *fly ash* 10 % pada umur 3 hari, 14 hari, dan 28 hari memiliki nilai uji kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan variasi 5 %, 15 %, dan 20 %. Kenaikan kualitas mutu bata beton memiliki pola linier dari umur 3 hari ke 14 hari meningkat 10,34 %, dan umur 14 hari ke 28 hari meningkat 15,35 %. Umur 3 hari ke 28 hari kenaikan mutu bata beton 24,10 %. penurunan tersebut diketahui bahwa komposisi kimia semen dan *fly ash* belum menghasilkan reaksi pozzolan yang optimal, hal tersebut diakibatkan proses pembentukan partikel klinker untuk menghasil ikatan akhir semen berupa *Calcium Silicate Hydrate* terpisah. Adapun efektifitas pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah pengikat terdapat pada variasi 10 %, dengan capaian kekuatan tekan 28 hari sebesar 11,674 MPa.

6. SARAN

Melimpahnya bahan hasil sampingan industri yang terdapat di Provinsi Kalimantan Timur, menjadi potensi untuk menghasilkan inovasi material komposit. Kombinasi penggunaan bahan tambah pengikat *fly ash*,

rice husk ash dan material industri lainnya menjadi pertimbangan dan perlu pengembangan guna keberlanjutan bahan konstruksi, adanya kesamaan komposisi kimia yang terdapat semen akan semakin memberi ruang penggunaan bahan tambah *fly ash* dan *rice husk ash*.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Awolusi, T., Taiwo, A., Aladegboye, O., Oguntayo, D., & Akinkulore, O. (2022). Optimisation of quinary blended supplementary cementitious material for eco-friendly paving unit using taguchi orthogonal array design. *Materials Today: Proceedings*, 65, 2221–2227. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.263>
- Elahi, T. E., Shahriar, A. R., Alam, M. K., & Abedin, M. Z. (2020). Effectiveness of saw dust ash and cement for fabrication of compressed stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120568>
- Hossain, M. A., Datta, S. D., Akid, A. S. M., Sobuz, M. H. R., & Islam, M. S. (2023). Exploring the synergistic effect of fly ash and jute fiber on the fresh, mechanical and non-destructive characteristics of sustainable concrete. *Heliyon*, 9(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21708>
- Jayaranjan, M. L. D., van Hullebusch, E. D., & Annachhatre, A. P. (2014). Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 13(4), 467–486. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9336-4>
- Ju, M., Rashid, K., Zafar, I., & Ltifi, M. (2023). Developing FA-based cementless binder composite by opting sustainable technology: Application of brick and paving block. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 48(June). <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101580>
- Khan, M. A., Ayub Khan, S., Khan, B., Shahzada, K., Althoey, F., & Deifalla, A. F. (2023). Investigating the feasibility of producing sustainable and compatible binder using marble waste, fly ash, and rice husk ash: A comprehensive research for material characteristics and production. *Results in Engineering*, 20(September). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101435>
- Kumar, A., & Kumar, S. (2013). Development of paving blocks from synergistic use of red mud and fly ash using geopolymerization. *Construction and Building Materials*, 38, 865–871. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.013>
- Lankapati, H. M., Lathiya, D. R., Choudhary, L., Dalai, A. K., & Maheria, K. C. (2023). Modification and

- characterization of Mordenite zeolite derived from waste coal fly ash and its application as a heterogeneous catalyst for the n-butyl levulinate synthesis. In *Catalysis Communications* (Vol. 183).
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106772>
- Mann, H. S., Brar, G. S., Mann, K. S., & Mudahar, G. S. (2016). Experimental Investigation of Clay Fly Ash Bricks for Gamma-Ray Shielding. *Nuclear Engineering and Technology*, 48(5), 1230–1236.
<https://doi.org/10.1016/j.net.2016.04.001>
- Mohamed, A. A. M. S., Yuan, J., Al-Ajamee, M., Dong, Y., Ren, Y., & Hakuzweyezu, T. (2023). Improvement of expansive soil characteristics stabilized with sawdust ash, high calcium fly ash and cement. *Case Studies in Construction Materials*, 18(November 2022).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01894>
- Momoh, E. O., Osofero, A. I., & Menshykov, O. (2024). Design considerations for eco-friendly palm-strand reinforced concrete for low-cost housing. *Case Studies in Construction Materials*, 20(December 2023).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02929>
- Olofinnade, O., Morawo, A., Okedairo, O., & Kim, B. (2021). Solid waste management in developing countries: Reusing of steel slag aggregate in eco-friendly interlocking concrete paving blocks production. *Case Studies in Construction Materials*, 14(2021).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00532>
- Patil, S., Ramesh, B., Sathish, T., Saravanan, A., Almujiyah, H., Panchal, H., Makki, E., & Giri, J. (2024). Evaluation and optimization of mechanical properties of laterized concrete containing fly ash and steel fiber using Taguchi robust design method. *January 2023*.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.12.009>
- Radenovic, D., Kerkez, D., Pilipovic, D. T., Dubovina, M., Seslija, M., Tenodi, S., & Pesko, I. (2024). The beneficial reuse of contaminated sediment: Long-term assessment of fly ash and lime-based mixtures. *Case Studies in Construction Materials*, 20(October 2023).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02711>
- R, S. R., Arulraj, G. P., Anand, N., Kanagaraj, B., & Lubloy, E. (2024). Developments in the Built Environment Influence of Nano-Fly Ash on mechanical properties, microstructure characteristics and sustainability analysis of Alkali Activated Concrete. 17(February).
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100352>
- Shah, S. H. A., Ali, B., Ahmed, G. H., Tirmazi, S. M. T., El Ouni, M. H., & Hussain, I. (2022). Effect of recycled steel fibers on the mechanical strength and impact toughness of precast paving blocks. *Case Studies in Construction Materials*, 16(March), 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01025>
- Silva, W. B. C., Barroso, S. H. A., Cabral, A. E. B., Stefanutti, R., & Picado-Santos, L. G. (2023). Assessment of concrete road paving blocks with coal bottom ash: Physical and mechanical characterization. *Case Studies in Construction Materials*, 18(March).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02094>
- Sogabe, T., Shoji, Y., Miyashita, N., Farrell, D. J., Shiba, K., Hong, H., & Okada, Y. (2023). *Next Materials. 1*(April).
- Souto, M. A., Delesky, E. A., Foster, K. E. O., & Srubar, W. V. (2017). A mathematical model for predicting the carbon sequestration potential of ordinary portland cement (OPC) concrete. *Construction and Building Materials*, 147, 417–427.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.133>
- Syahrul, S. (2022). Kinerja Beton Mengandung Agregat Kasar Daur Ulang Limbah Bongkahan Beton. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 6(1), 33.
<https://doi.org/10.20961/jrrs.v6i1.63206>
- Syahrul, S., & Amir. (2023). ANALISA NILAI KONVERSI MUTU BETON PENGUJIAN. 27(2), 472–479.
<https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i2.2407>
- Tran, V. M., Nguyen, L. T., & Nguyen, T. H. Y. (2022). Enhancing the effectiveness of steam curing for cement paste incorporating fly ash based on long-term compressive strength and reaction degree of fly ash. *Case Studies in Construction Materials*, 16(March).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01146>
- Udawattha, C., Galabada, H., & Halwatura, R. (2017). Mud concrete paving block for pedestrian pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 7(March), 249–262.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.005>
- Wang, C., Kayali, O., & Liow, J. L. (2021). The effectiveness and mechanisms of superplasticisers in dispersing class F fly ash pastes. *Powder Technology*, 392, 81–92.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.054>
- Wang, X., Chin, C. S., & Xia, J. (2023). Study on the properties variation of recycled concrete paving block containing multiple waste materials. *Case Studies in Construction Materials*, 18(October 2022).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01803>