

PENGEMBANGAN MORTAR BATA BETON GEOPOLIMER BERBASIS FLY ASH, CRUMB RUBBER DAN IRON TURNING WASTE UNTUK DINDING RAMAH LINGKUNGAN TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK

Jaya Putro Prihambodho¹, Anggi Rahmad Zulfikar²
D4 Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya
E-mail: jaya.22069@mhs.unesa.ac.id¹

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan material bangunan mendorong penggunaan bata beton berbasis semen Portland yang berkontribusi sekitar 7–8% terhadap emisi CO₂ global. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pemanfaatan Crumb Rubber (CRB) dari ban bekas dan Iron Turning Waste (IRW) dari limbah pembubutan logam sebagai substitusi parsial pasir terhadap sifat fisik, kuat tekan, dan penyerapan air mortar bata beton geopolimer berbasis fly ash Tipe F. Metode penelitian menggunakan eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Benda uji berupa kubus 50×50×50 mm dibuat dalam 9 variasi kombinasi CRB (0%, 5%, 10%) dan IRW (0%, 5%, 10%). Pasta geopolimer menggunakan rasio fly ash dan alkali aktivator 74%:26%, NaOH 14 M, serta rasio Na₂SiO₃:NaOH sebesar 2,5:1. Sebanyak 135 benda uji diuji kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari serta penyerapan air pada umur 28 hari sesuai SNI 03-6825-2002, kemudian dievaluasi berdasarkan SNI 03-0349-1989. Hasil penelitian menunjukkan kualitas fisik meningkat seiring bertambahnya umur perawatan, sedangkan penambahan CRB menurunkan kepadatan permukaan. Kuat tekan seluruh variasi meningkat terhadap umur, dengan nilai tertinggi sebesar 27,92 MPa pada variasi 0%CRB–10%IRW. Penambahan CRB menurunkan kuat tekan, namun IRW mampu mengompensasi penurunan tersebut melalui efek micro-filler. Nilai penyerapan air berkisar 6,11–10,61%, seluruhnya berada di bawah batas maksimum Mutu I SNI (25%). Variasi 0%CRB–10%IRW menjadi campuran paling optimal dengan kuat tekan 27,92 MPa dan penyerapan air 8,95%. Seluruh variasi memenuhi persyaratan Mutu I SNI 03-0349-1989, sehingga berpotensi sebagai alternatif bata beton geopolimer ramah lingkungan berbasis limbah industri.

Kata kunci

Bata Beton Geopolimer, Fly Ash Tipe F, Crumb Rubber, Iron Turning Waste, Kuat Tekan, Penyerapan Air

ABSTRACT

The rising demand for construction materials has driven the use of Portland cement-based concrete bricks, which contribute approximately 7–8% to global CO₂ emissions. This study aims to analyze the effect of using Crumb Rubber (CRB) from waste tires and Iron Turning Waste (IRW) from metal machining as partial sand substitutes on the physical properties, compressive strength, and water absorption of fly ash (Type F)-based geopolimer concrete brick mortar. The research employed a laboratory-based experimental method with a quantitative approach. Test specimens in the form of 50×50×50 mm cubes were prepared using nine combinations of CRB (0%, 5%, 10%) and IRW (0%, 5%, 10%). The geopolimer paste utilized a fly ash-to-alkali activator ratio of 74%:26%, 14 M NaOH, and a Na₂SiO₃:NaOH ratio of 2.5:1. A total of 135 specimens were tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days and for water absorption at 28 days in accordance with SNI 03-6825-2002, followed by an evaluation based on SNI 03-0349-1989. The results indicate that physical quality improved with curing age, whereas the addition of CRB reduced surface density. Compressive strength across all variations increased over time, with the highest value (27.92 MPa) observed in the 0% CRB–10% IRW variation. While the addition of CRB reduced compressive strength, IRW compensated for this reduction through a micro-filler effect. Water absorption values ranged from 6.11% to 10.61%, all falling below the maximum limit for SNI Quality Grade I (25%). The 0% CRB–10% IRW variation emerged as the optimal

Keywords

mixture, exhibiting a compressive strength of 27.92 MPa and water absorption of 8.95%. All variants meet the Quality I requirements of SNI 03-0349-1989, making them potential eco-friendly alternatives to concrete bricks based on industrial waste.
Geopolymer Concrete Brick, Type F Fly Ash, Crumb Rubber, Iron Turning Waste, Compressive Strength, Water Absorption

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang terus meningkat menyebabkan kebutuhan terhadap material konstruksi, khususnya bata beton, semakin besar. Bata beton konvensional umumnya menggunakan semen Portland sebagai bahan pengikat utama, namun proses produksinya memberikan dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Produksi semen Portland menyumbang sekitar 7–8% emisi karbon dioksida (CO_2) global akibat proses kalsinasi batu kapur dan penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil (Wulandari et al., 2025). Selain menghasilkan emisi gas rumah kaca, eksploitasi batu kapur dan pasir sebagai bahan baku semen dan agregat juga menimbulkan kerusakan lingkungan berupa degradasi lahan, erosi, hilangnya ekosistem, serta penurunan kualitas lingkungan di sekitar area penambangan (Irfan Hi. Abd Rahman, 2020; Hasanbasri, 2022). Oleh karena itu, diperlukan inovasi material konstruksi yang mampu mengurangi ketergantungan terhadap semen Portland sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan (sustainable construction) melalui pemanfaatan material alternatif yang lebih ramah lingkungan (Peng et al., 2022).

Salah satu alternatif material yang berkembang adalah geopolimer berbasis fly ash sebagai pengganti semen Portland. Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang memiliki kandungan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) sehingga dapat diaktivasi menggunakan larutan alkali berupa natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk membentuk pasta geopolimer (Hamidi et al., 2016). Pemanfaatan fly ash tidak hanya mampu menekan emisi karbon, tetapi juga mengurangi penumpukan limbah industri yang jumlahnya terus meningkat. Selain fly ash, limbah industri lain seperti Crumb Rubber (CRB) dari ban bekas dan Iron Turning Waste (IRW) dari limbah pembubutan logam juga memiliki potensi sebagai substitusi parsial agregat halus. Crumb Rubber diketahui dapat menghasilkan material yang lebih ringan, sedangkan Iron Turning Waste berpotensi meningkatkan kepadatan matriks mortar melalui efek micro-filler. Pemanfaatan ketiga limbah tersebut diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah limbah sekaligus mendukung penerapan konsep ekonomi sirkular dalam industri konstruksi (Mulyani & Hamdani, 2017; Rodliya, 2018).

Meskipun pemanfaatan fly ash sebagai material geopolimer telah banyak dikembangkan, penggunaan kombinasi fly ash, Crumb Rubber, dan Iron Turning Waste sebagai bahan penyusun mortar bata beton geopolimer masih belum banyak dikaji secara komprehensif. Terutama, belum diketahui secara jelas bagaimana pengaruh variasi kadar CRB dan IRW terhadap sifat fisik, kuat tekan, serta penyerapan air mortar bata beton geopolimer. Padahal, ketiga parameter tersebut merupakan karakteristik utama yang menentukan kualitas bata beton berdasarkan SNI 03-0349-1989. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengevaluasi pengaruh variasi substitusi CRB dan IRW sebagai pengganti sebagian agregat halus sehingga dapat diperoleh formulasi campuran yang mampu menghasilkan mortar geopolimer dengan kinerja mekanis dan durabilitas yang optimal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi Crumb Rubber (CRB) dan Iron Turning Waste (IRW) sebagai substitusi parsial pasir terhadap sifat fisik, kuat tekan, dan penyerapan air mortar bata beton

geopolimer berbasis fly ash Tipe F menggunakan aktivator NaOH 14 M dan Na_2SiO_3 . Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif material dinding yang lebih ramah lingkungan, memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989, serta meningkatkan pemanfaatan limbah industri menjadi material konstruksi bernilai tambah. Selain memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi geopolimer di Indonesia, penelitian ini juga diharapkan mendukung implementasi green construction dan pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien dan berwawasan lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium (experimental method) dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi Crumb Rubber (CRB) dan Iron Turning Waste (IRW) sebagai substitusi parsial pasir terhadap sifat fisik, kuat tekan, dan penyerapan air mortar bata beton geopolimer berbasis fly ash Tipe F. Seluruh tahapan penelitian, mulai dari persiapan material, pembuatan benda uji, proses perawatan (curing), hingga pengujian, dilaksanakan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya. Langkah penelitian dilakukan sebagai berikut :

2.1 Variabel Penelitian

2.1.1 Variabel Bebas

Presentase penggunaan crumb rubber dan iron turning waste dari setengah penggunaan pasir dalam satu desain campuran bata geopolimer.

- crumb rubber : 0%,5%,10%
- iron turning waste: 0%,5%,10%

2.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Pengujian sifat fisik dan mekanik berupa

- Pengamatan tekstur dimensi dan warna (dokumentasi).
- Pengujian penyerapan air (%)
- Pengujian kuat tekan (Mpa).

2.1.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan Sehingga pengaruh variabel independent tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti.

- Jenis fly ash (tipe F), konsentrasi larutan alkali (NaOH 14 M dan Na_2SiO_3)
- Menggunakan ukuran cetakan 50x50x50 mm mortar sesuai standar SNI 6825-2002
- Menggunakan persentase campuran Pasir 100 %
- Rasio fly ash dan alkali aktivator 74% : 26%.
- Pengujian mortar bata beton dilakukan di usia 7,14,28 hari.

2.2 Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No	Gambar	Nama Alat	Fungsi
----	--------	-----------	--------

1		Mixer Hand	Mixer Hand adalah alat untuk mengaduk komposisi bahan pada campuran Mortar hingga Homogen.
2		Cetok	Cetok berfungsi sebagai alat perantara dalam pengambilan Mortar untuk dimasukkan ke dalam cetakan.
3		Timba atau Ember	Timba berfungsi sebagai tempat dalam mengaduk komposisi bahan pada campuran Mortar.
4		Cetakan Bata Beton 390×190×90 mm standar SNI	-
5		Cetakan Mortar 50x50x50mm untuk benda uji	-
6		Compression Testing Machine.	Compression Testing Machine Adalah alat yang digunakan untuk Pengujian Kuat Tekan

2.3 Komposisi Campuran Mortar Bata Beton Geopolimer

Penelitian ini menggunakan rasio perbandingan antara fly ash tipe F dan aktivator alkali sebesar 74%:26%. Komposisi campuran tersebut diadopsi berdasarkan penelitian terdahulu oleh Setiawati dkk. (2022). Pada penelitian ini campuran Bata Beton geopolimer sebagai Berikut :

Tabel 2. Komposisi Varian Campuran Mortar Bata Beton Geopolimer

Variasi Campuran Bata Beton Geopolimer		
Variasi	Pasta Geopolimer	Agregat

Campuran	Fly Ash	Alkali Aktivator	Pasir	CRB	IRW
A	74%	26%.	100%	0%	0%
			95%		5%
			90%		10%
B	74%	26%.	95%	5%	0%
			90%		5%
			85%		10%
C	74%	26%.	90%	10%	0%
			85%		5%
			80%		10%

2.4 Kebutuhan Benda Uji

Pada penelitian Benda Uji yang digunakan berbentuk Kubus dengan ukuran 50x50x50 mm. Kebutuhan mix desain mengacu pada SNI-6825-2002 dan ASTM C109 dengan rasio perbandingan 1:3. Berikut ini kebutuhan material per 1 Benda Uji :

Tabel 3. Mix Desain Untuk Kebutuhan 1 Benda Uji

Jumlah Benda Uji	Kebutuhan Bahan (gr)						
	Pasta Geopolimer			Agregat			Air
	Fly Ash	Alkali Aktivator		Pasir	CRB	IRW	
		NaOH 14 Mol	Na2SiO3				
3	83,4	25,2	37,5	229,2	0	0	6,2
	83,4	25,2	37,5	217,7		11,4	6,2
	83,4	25,2	37,5	206,4		22,9	6,2
3	83,4	25,2	37,5	217,7	11,4	0	6,2
	83,4	25,2	37,5	206,4		11,4	6,2
	83,4	25,2	37,5	194,4		22,9	6,2
3	83,4	25,2	37,5	206,4	22,9	0	6,2
	83,4	25,2	37,5	194,4		11,4	6,2
	83,4	25,2	37,5	183,4		22,9	6,2

2.5 Teknik Pengumpulan Data

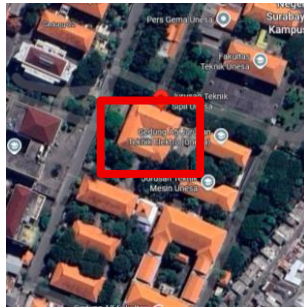
Penelitian ini menghimpun dua jenis data, yakni data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui pengukuran dimensi, uji penyerapan air, serta hasil pengujian mekanis kuat tekan menggunakan Compression Testing Machine Sementara itu, data sekunder mencakup hasil analisis laboratorium melalui pengujian Material agregat halus ,uji XRF guna memastikan kelayakan fly ash dan melalui tinjauan pustaka dari berbagai studi literatur terkait.

2.6 Teknik Analisis Data

Penelitian ini menerapkan teknik analisis deskriptif kuantitatif untuk mengolah data numerik secara sistematis. Melalui penyajian dalam bentuk tabel dan grafik yang disertai narasi analitis, metode ini memungkinkan pengorganisasian data secara konstruktif. Fokus utama metode ini adalah pada pengukuran objektif untuk memberikan pemahaman mendalam secara ringkas, serta mengidentifikasi pengaruh variabel terhadap benda uji maupun interaksi antar variabel yang diteliti.

2.7 Lokasi Pembuatan Dan Pengujian

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, MPMG+HGV, Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60232, sebagai tempat pengamatan fisik, pengujian Kuat Tekan, Pengujian Penyerapan Air 28 hari.



Gambar 1. Lokasi Pembuatan benda uji dan pengujian benda uji

2.8 Hasil Prototipe

Prototipe pengujian berupa mortar bata beton geopolimer dari pengujian campuran mortar yang memiliki hasil sesuai SNI 03-0349-1989, campuran mortar akan di gunakan sebagai pembuatan bata beton geopolimer. Prototipe tugas akhir berupa bata beton geopolimer dan poster yang berisi tentang langkah pembuatan bata beton geopolimer.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Larutan Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator berfungsi sebagai pengikat yang memicu reaksi polimerisasi pada material prekursor (seperti fly ash atau slag). Larutan ini terdiri dari campuran Sodium Silikat (Na_2SiO_3) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Proses pembuatannya dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Tabel 4. Pembuatan Larutan Alkali Aktivator

No	Gambar	Keterangan
1		Melarutkan Natrium Hidroksida
2		Pencampuran dengan Sodium Silikat

3		Menjadi Larutan Alkali Aktivator
---	---	----------------------------------

3.2 Pembuatan Benda Uji Mortar Bata Beton Geopolimer

Setelah material telah melalui pengujian, mix design telah melewati proses trial mix, serta larutan alkali aktivator telah disiapkan, maka tahapan selanjutnya adalah proses pencampuran bahan dan pencetakan benda uji. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Pembuatan Benda Uji Mortar Bata Beton Geopolimer

No	Gambar	Keterangan
1		Siapkan cetakan benda uji 50x50x50 mm
2		Oleskan pelumas pada cetakan benda uji
3		Mencampurkan seluruh material yang sudah disiapkan dan tuangkan larutan alkali.
4		Tuangkan adonan mortar ke dalam cetakan benda uji hingga penuh
5		Berikan label pada setiap cetakan benda uji

6		Setelah proses pencetakan berlangsung selama satu hari, benda uji yang telah mengalami pengerasan awal selanjutnya dilepaskan dari cetakan.
7		Letakan benda uji ke tempat nampan benda uji untuk merawat benda uji.
8		Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah mortar bata beton geopolimer berbentuk kubus berukuran 50×50×50 mm, berbasis Fly Ash tipe F yang diaktivasi oleh larutan alkali aktivator berupa NaOH 14M dan Na ₂ SiO ₃ perbandingan 1:2,5. Pengamatan fisik dilakukan pada usia perawatan 7, 14, dan 28 hari, meliputi aspek warna permukaan, tekstur, tingkat kepadatan, dan kemunculan rongga pada permukaan benda uji. Seluruh hasil pengamatan disajikan berdasarkan kode benda uji pada masing-masing variasi campuran.

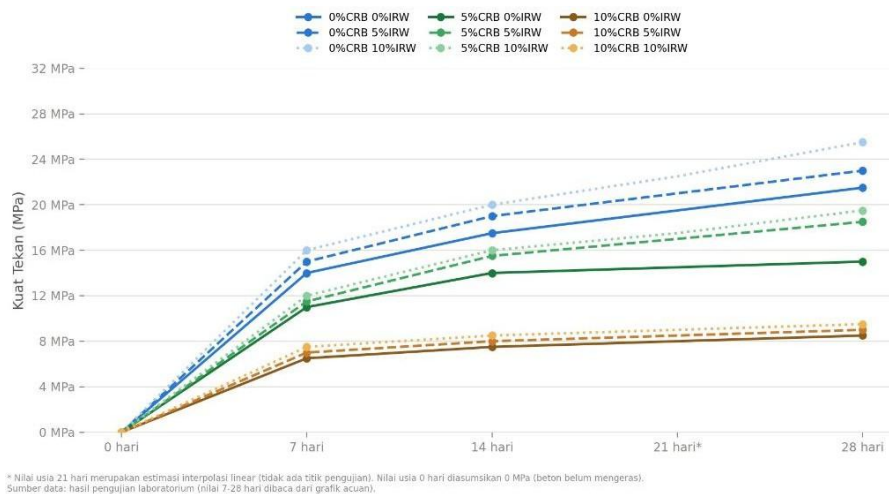
3.3 Hasil Kuat Tekan Keseluruhan

Merangkum nilai rata-rata kuat tekan dari seluruh variasi campuran pada ketiga usia pengujian, disertai persentase peningkatan dari usia 7 ke 28 hari.

Tabel 6. Hasil Kuat Tekan Keseluruhan

Variasi Campuran	7 Hari (MPa)	14 Hari (MPa)	28 Hari (MPa)
0%CRB 0%IRW	12,94	16,31	21,94
0%CRB 5%IRW	14,39	18,06	23,63
0%CRB 10%IRW	15,62	18,89	25,80
5%CRB 0%IRW	10,59	13,32	15,29
5%CRB 5%IRW	11,52	13,88	17,68
5%CRB 10%IRW	12,49	14,75	19,54
10%CRB 0%IRW	5,34	7,36	8,76
10%CRB 5%IRW	6,21	8,42	9,55

10%CRB 10%IRW	7,10	9.27	10,46
---------------	------	------	-------



Gambar 2. Grafik Perkembangan kuat tekan rata-rata per variasi (Mpa)

Berdasarkan grafik di atas yaitu merupakan rekapitulasi nilai kuat tekan rata-rata dari seluruh variasi campuran pada umur 7, 14, dan 28 hari, yang memudahkan perbandingan antar variasi secara menyeluruh. Data pada tabel ini menegaskan dua kecenderungan utama yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu:

- Kuat tekan beton meningkat secara konsisten seiring bertambahnya umur perawatan pada seluruh variasi campuran
- Penambahan kadar CRB menurunkan kuat tekan, sedangkan penambahan kadar IRW meningkatkan kuat tekan, pada setiap kombinasi umur pengujian.

Variasi dengan kuat tekan tertinggi secara keseluruhan adalah 0%CRB 10%IRW pada umur 28 hari (25,80 MPa), sedangkan variasi dengan kuat tekan terendah secara keseluruhan adalah 10%CRB 0%IRW pada umur 7 hari (5,34 MPa).

3.4 Pengujian Penyerapan Air Usia 28 Hari



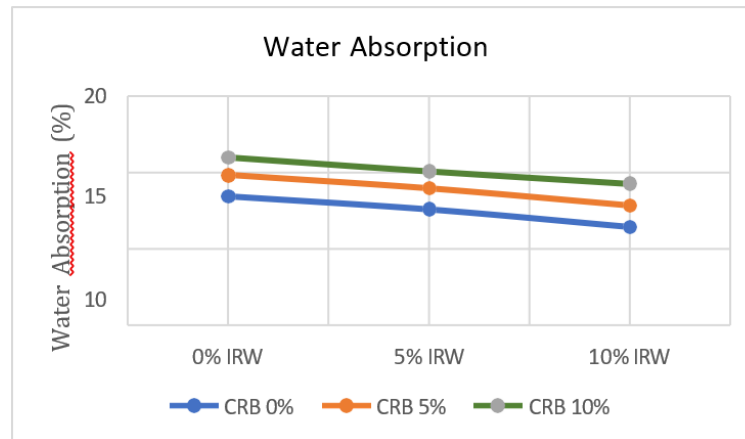
Gambar 3. Pengujian Penyerapan Air

Pengujian penyerapan air dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 50×50×50 mm benda uji berusia 28 hari. Dilakukan proses perendaman selama 24 jam di dalam air, setelah perendaman dilakukan penimbangan berat basah menggunakan timbangan sains digital. Selanjutnya, benda uji dimasukkan ke dalam oven pada suhu 100°C ± 5°C selama 24 jam. Proses pengeringan selesai, benda uji kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh nilai berat kering oven dengan menggunakan timbangan digital.

Tabel 7. Pengujian Penyerapan Air

Varian	Benda uji	Berat Basah (gr)	Berat Kering Oven (gr)	Serap Air (%)	Rata - rata (%)
	1	256	226	13,3	

0%CRB 0%IRW	2	257	227	13,2	13,43
	3	251	221	13,6	
	4	252	222	13,5	
	5	251	221	13,6	
0%CRB 5%IRW	6	268	238	12,6	12,57
	7	269	239	12,5	
	8	270	240	12,5	
	9	267	237	12,6	
	10	270	240	12,5	
0%CRB 10%IRW	11	272	242	12,4	11,42
	12	278	253	9,9	
	13	271	241	12,5	
	14	278	253	9,9	
	15	271	241	12,5	
5%CRB 0%IRW	1	248	218	13,8	14,82
	2	248	218	13,8	
	3	249	214	16,4	
	4	248	218	13,8	
	5	249	214	16,4	
5%CRB 5%IRW	6	260	226	15,1	13,94
	7	260	225	15,6	
	8	261	231	13,0	
	9	260	230	13,1	
	10	261	231	13,0	
5%CRB 10%IRW	11	264	234	12,8	12,82
	12	264	234	12,8	
	13	265	235	12,8	
	14	264	234	12,8	
	15	265	235	12,8	
10%CRB 0%IRW	1	238	208	14,4	15,96
	2	238	200	19,0	
	3	237	207	14,5	
	4	238	203	17,3	
	5	237	207	14,5	
10%CRB 5%IRW	6	250	217	15,2	15,07
	7	250	220	13,7	
	8	249	214	16,4	
	9	250	220	13,7	
	10	249	214	16,4	
10%CRB 10%IRW	11	254	219	16,0	14,27
	12	254	221	15,0	
	13	253	223	13,5	
	14	254	224	13,4	
	15	253	223	13,5	



Gambar 4. Grafik Penyerapan Air

Berdasarkan hasil di atas yaitu menyajikan hasil pengujian daya serap air benda uji pada umur 28 hari untuk kesembilan variasi campuran yang sama. Nilai penyerapan air rata-rata tertinggi terjadi pada variasi 10%CRB 0%IRW sebesar 15,96%, sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi 0%CRB 10%IRW sebesar 11,42%. Peningkatan kadar CRB dari 0% menjadi 10% (pada 0% IRW) meningkatkan penyerapan air sebesar 18,8%, sedangkan peningkatan kadar IRW dari 0% menjadi 10% (pada 0% CRB) menurunkan penyerapan air sebesar 15,0%. Pola ini berbanding terbalik dengan pola kuat tekan, di mana variasi dengan penyerapan air yang lebih rendah cenderung memiliki kuat tekan yang lebih tinggi, dan sebaliknya. Hubungan berbanding terbalik ini sesuai dengan prinsip umum dalam teknologi beton, yaitu semakin rendah porositas atau daya serap air suatu benda uji, semakin rapat struktur pori betonnya, sehingga kuat tekan yang dihasilkan cenderung semakin tinggi.

3.5 Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan Air Usia 28 Hari

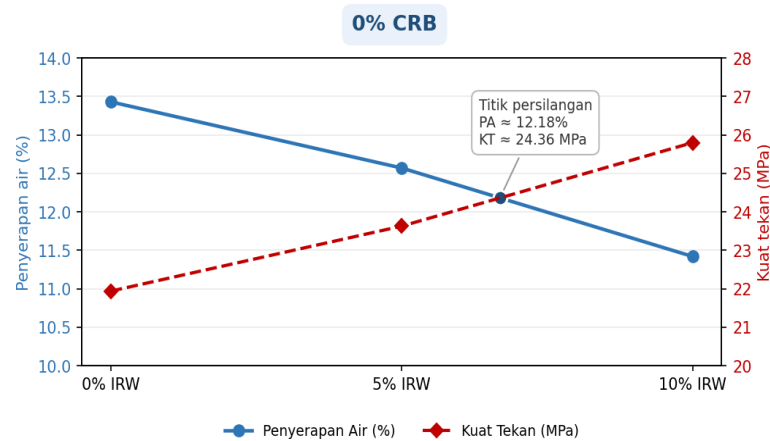
Tabel 8. Variasi Campuran

Varian Campuran	Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	Penyerapan Air (%)
0% CRB – 0% IRW	21.94	13.43
0% CRB – 5% IRW	23.63	12.57
0% CRB – 10% IRW	25.8	11.42
5% CRB – 0% IRW	15.29	14.82
5% CRB – 5% IRW	17.68	13.94
5% CRB – 10% IRW	19.54	12.82
10% CRB – 0% IRW	8.76	15.96
10% CRB – 5% IRW	9.55	15.07
10% CRB – 10% IRW	10.46	14.27

Hasil pengujian kuat tekan dan penyerapan air pada umur 28 hari menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik, di mana semakin tinggi kuat tekan maka semakin rendah nilai penyerapan air. Variasi ****0%CRB-10%IRW**** menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar ****25,80 MPa**** dengan penyerapan air terendah sebesar ****11,42%****, sedangkan variasi 10%CRB-0%IRW memiliki kuat tekan terendah sebesar 8,76 MPa dan penyerapan air tertinggi sebesar 15,96%. Hubungan ini dipengaruhi oleh porositas matriks mortar, di mana penambahan Crumb Rubber (CRB) cenderung membentuk rongga (void) pada zona transisi sehingga meningkatkan porositas, memperbesar

penyerapan air, dan menurunkan kuat tekan. Sebaliknya, Iron Turning Waste (IRW) berperan sebagai *micro-filler* yang mengisi pori-pori kapiler, meningkatkan kepadatan matriks, sehingga mampu menurunkan penyerapan air sekaligus meningkatkan kuat tekan.

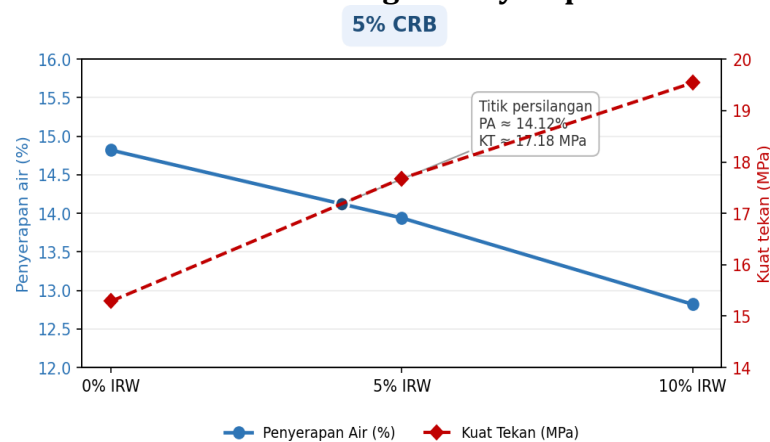
3.6 Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan CRB 0%



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan CRB 0%

Pada kelompok 0%CRB, penyerapan air menurun secara konsisten dari 13,43% (0%IRW) menjadi 11,42% (10%IRW), sedangkan kuat tekan meningkat dari 21,94 MPa menjadi 25,80 MPa. Titik persilangan kedua garis pada skala grafik berada di sekitar 6,7% IRW, dengan estimasi penyerapan air sebesar 12,18% dan kuat tekan sebesar 24,36 MPa.

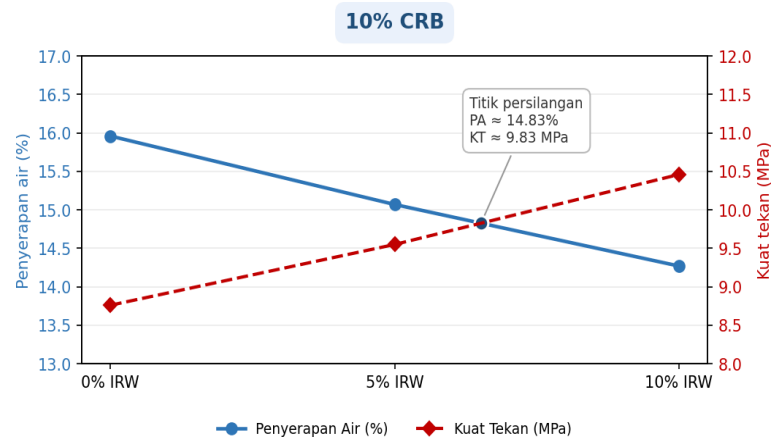
3.7 Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan CRB 5%



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan CRB 5%

Pada kelompok 5%CRB, penyerapan air menurun dari 14,82% menjadi 12,82%, sedangkan kuat tekan meningkat dari 15,29 MPa menjadi 19,54 MPa seiring bertambahnya kadar IRW. Titik persilangan kedua garis berada di sekitar 4,0% IRW, dengan estimasi penyerapan air sebesar 14,12% dan kuat tekan sebesar 17,18 MPa lebih awal dibandingkan kelompok 0%CRB, menunjukkan pengaruh IRW yang relatif lebih cepat terlihat pada kadar CRB menengah.

3.8 Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan CRB 10%



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Hasil Kuat Tekan Dengan Penyerapan CRB 10%

Pada kelompok 10%CRB, penyerapan air menurun dari 15,96% menjadi 14,27%, sedangkan kuat tekan meningkat dari 8,76 MPa menjadi 10,46 MPa. Titik persilangan berada di sekitar 6,5% IRW, dengan estimasi penyerapan air sebesar 14,83% dan kuat tekan sebesar 9,83 MPa. Meskipun pola hubungan berbanding terbalik tetap konsisten pada kelompok ini, rentang kuat tekan yang dicapai tetap berada pada level terendah dibandingkan kelompok 0%CRB dan 5%CRB, sejalan dengan dua dari tiga variasinya yang hanya memenuhi Mutu II.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa kesimpulan utama:

1. Variasi substitusi Crumb Rubber (CRB) dan Iron Turning Waste (IRW) memberikan pengaruh terhadap karakteristik fisik mortar bata beton geopolimer. Peningkatan kadar CRB meningkatkan porositas dan ketidakseragaman permukaan akibat lemahnya ikatan dengan matriks geopolimer, sedangkan IRW berperan meningkatkan kepadatan matriks. Kondisi fisik terbaik diperoleh pada variasi 0%CRB–10%IRW dengan permukaan yang padat, homogen, dan minim rongga.
2. Penambahan CRB menurunkan kuat tekan, sedangkan penambahan IRW meningkatkan kuat tekan pada kadar CRB yang sama. Nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari dicapai oleh variasi 0%CRB–10%IRW sebesar 25,80 MPa, sedangkan nilai terendah diperoleh pada variasi 10%CRB–0%IRW sebesar 8,76 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa IRW mampu mengompensasi penurunan kuat tekan akibat penambahan CRB.
3. Penyerapan air menunjukkan hubungan berbanding terbalik dengan kuat tekan. Peningkatan kadar CRB meningkatkan penyerapan air, sedangkan IRW menurunkannya melalui efek *micro-filler* yang mengurangi porositas matriks. Nilai penyerapan air berkisar antara 11,42%–15,96%, dan seluruh variasi memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989, dengan variasi 0%CRB–10%IRW sebagai campuran paling optimal karena menghasilkan kuat tekan tertinggi dan penyerapan air terendah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Hamidi, R. M., Man, Z., & Azizli, K. A. (2016). Concentration of NaOH and the effect on the properties of fly ash based geopolymer. *Procedia Engineering*, 148, 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.568>
- Hasanbasri, M. (2022). Identifikasi dampak industri semen yang merugikan. 280–289.
- Irfan Hi Abd Rahman, P. S. (2020). Analisis dampak penambangan pasir pantai terhadap kerusakan lingkungan fisik di Kecamatan Morotai Selatan Kabupaten Pulau Morotai. 6(4). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4310457>
- Mulyani, S., & Hamdani, D. (2017). Teknik pencampuran yang optimal antara crumb rubber dan aspal pen 60/70. 34(1), 8–19.
- Peng, J., Zhao, Z., & Yin, G. (2022). Evaluation of urban land resource value based on sustainable environment space governance. *Alexandria Engineering Journal*, 61(7), 5585–5593. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.11.042>
- Rodliya, L. S. (2018). *Jurnal Rodliya Lisana Sidqi*.
- Wulandari, F. S., Zulfikar, A. R., Syaibatul, R., & Nafis, A. (2025). Potential assessment of utilizing rice husk ash and fly ash in concrete production to advance sustainable building materials. 3(2), 1–8.