

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERAT TERHADAP FLOWABILITY DAN EXTRUDABILITY MORTAR KOMPOSIT SERAT RUMPUT PAYUNG

(*Cyperus Alternifolius*) UNTUK APLIKASI BETON CETAK 3 DIMENSI

Joanito Nathaniel D.¹, Harsa Dhani²

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Katolik Widya Karya Malang

²Prodi Teknik Mesin, Universitas Katolik Widya Karya Malang

Korespondensi Penulis: nathanieldustin21@gmail.com

Abstrak

Kemajuan teknologi dalam bidang material, terutama dalam konteks konstruksi, telah memunculkan inovasi seperti 3 Dimension Concrete Printing (3DCP). Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi komposisi serat rumput payung (*Cyperus alternifolius*) terhadap sifat *flowability*, dan *extrudability* mortar komposit yang digunakan dalam aplikasi 3DCP. Mortar yang dihasilkan diharapkan memiliki karakteristik yang optimal untuk mendukung proses pencetakan mortar. Metodologi yang digunakan meliputi pembuatan variasi komposisi mortar dengan penambahan serat rumput payung, diikuti dengan pengujian *flowability* menggunakan metode *Flow Table Test* dan pengujian *extrudability* menggunakan *extrude test*. Penambahan serat alam tidak hanya meningkatkan performa mekanis, tetapi juga berkontribusi pada lingkungan dengan memanfaatkan bahan-bahan ramah lingkungan dan menjadi inovasi yang berkelanjutan dalam industri konstruksi serta mendorong teknologi cetak mortar yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan material inovatif yang dapat diterapkan dalam industri konstruksi modern, serta mendukung upaya pengurangan dampak lingkungan dari penggunaan bahan sintetis. Pada penelitian ini variasi serat rumput payung yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% yang akan dicampurkan dalam mortar benda uji berukuran 5x5x5cm. Komposisi mortar adalah semen sika keramik dan air. Hasil dari uji *flow table test* menunjukkan mortar dengan komposisi serat 0% kondisinya terlihat cair dan mudah menyebar. Sedangkan semakin meningkat nilai komposisi serat bentuk mortar tidak terlalu menyebar. Nilai maksimum untuk *Flow Table Test* didapatkan 64,7% pada variasi 0%. sedangkan nilai minimum *Flow Table Test* sebesar 35,9% terdapat pada variasi komposisi serat 6,5%. Hal ini disebabkan karena telah adanya serat yang menjaga atau mempertahankan bentuk dari mortar sehingga tidak melebar. Penurunan tren *Flow Table Test* seiring dengan bertambahnya variasi komposisi serat menunjukkan bahwa serat berpengaruh dalam peningkatan atau penurunan nilai *flowability*. Hasil dari *Extrude test* menunjukkan perbedaan bentuk yang disebabkan oleh pengaruh serat. Semakin meningkat nilai komposisi serat bentuk mortar tidak terlalu melebar. Nilai maksimum rasio b/h adalah 6 pada variasi komposisi serat 0%, sedangkan nilai minimum rasio b/h adalah 2,1 pada variasi komposisi serat 6,5%. Penurunan tren rasio b/h seiring dengan bertambahnya variasi komposisi serat menunjukkan bahwa serat berpengaruh dalam peningkatan atau penurunan nilai *extrudability*.

Kata kunci: komposisi serat, rumput payung (*cyperius alternifolius*), *flowability*, *extrudability*, dan 3DCP.

I. Pendahuluan

Ilmu material atau ilmu bahan merupakan ilmu yang mempelajari sifat-sifat material serta aplikasinya dalam berbagai bidang ilmu dan teknik (Faisal, 2019). Disiplin ilmu ini mengkaji hubungan antara struktur material dan sifat-sifatnya. Salah satu contoh penerapan teknologi dalam ilmu material adalah 3 Dimension Concrete Printing (3DCP), yang kini semakin berkembang dalam industri. Pada era sekarang perkembangan teknologi 3DCP ini menjadi semakin digunakan terutama yang berbahan serat alam, penambahan serat alam ini menjadi salah satu metode penentu keberhasilan dalam 3DCP. Dalam metode 3DCP ini mortar yang dihasilkan harus memiliki sifat *flowability*, *buildability*, dan *extrudability* M Fadholi, (2021). Peran dari *flowability* untuk mengetahui apakah mortar dan serat saat dicampurkan bisa mengalir masuk di dalam alat *nozzle*. *Extrudability* untuk mengetahui saat mortar keluar dari *nozzle*, mortar tersebut bisa dibentuk dan belum kering/tidak mudah kering. *Buildability* untuk mengetahui kekuatan yang dimiliki mortar dapat menahan berat sendiri dan kuat saat ditambah beban di atasnya.

Komposit yang digunakan dalam 3DCP adalah serat rumput payung (*Cyperus Alternifolius*). Rumput payung merupakan salah satu contoh tanaman hias yang mudah berkembang. Rumput payung memiliki ciri khas yaitu pada ujung batangnya terdapat bunga berwarna kuning kehijauan yang dikelilingi oleh daun-daun yang tersusun seperti payung. Pada bidang konstruksi, rumput payung telah diteliti dan dapat digunakan sebagai salah satu opsi bahan tambahan dalam komposit. Penggunaan serat alam pada material komposit juga telah banyak diteliti yang menunjukkan bahwa serat dapat memberikan peningkatan kekuatan pada material. Serat alam yang ditambahkan kedalam campuran mortar berfungsi seperti tulangan di dalam mortar yang dapat mengurangi keretakan awal dibagian tarik setelah pengaruh pembebanan. Penambahan serat alam pada mortar komposit juga dapat meningkatkan kuat tekan mortar dengan adanya batasan variasi komposisi seratnya. Jika penambahan serat terlalu banyak, dapat menurunkan kuat tekan mortar (Damas Novalda, 2023). Penelitian ini berfokus pada hubungan variasi komposisi serat alam dalam campuran mortar terhadap *flowability* dan *extrudability* dari campuran mortar tersebut dengan menggunakan *flow table test* dan *extrude test*.

II. Kajian Teoritis

Serat alam dalam 3DCP mulai banyak digunakan dan dikembangkan oleh para peneliti karena dinilai dalam meningkatkan kekuatan dalam mortar 3DCP. Serat alam ini dinilai juga mempunyai keunggulan dibandingkan dengan serat sintetis. Keunggulan serat alam ini adalah keberlanjutan dari tanaman itu sendiri, ramah lingkungan dan serat alam dapat membantu meningkatkan sifat mekanis pada beton komposit.

Serat alam yang sering digunakan yaitu serat kelapa, pelepah pisang, rafias dan serat lain yang berasal dari tanaman. Serat-serat ini yang akan membantu mortar ramah lingkungan. Serat-serat tersebut nantinya akan dicampur dengan mortar yang akan digunakan dalam proses pencetakan 3D. Campuran mortar serat ini ditujukan agar dapat mengurangi retakan pada beton, yang nantinya dapat meningkatkan ketahanan mortar terhadap tekanan.

Flow Table Test merupakan adalah salah satu uji yang bertujuan untuk mengetahui nilai *flow* dari suatu mortar (Febrianto Blasius, 2014). *Flow Table Test* pada mortar 3DCP mengacu pada SNI – 03-6825-2002 mortar 3DCP adalah mortar SCC yang memiliki nilai *flow* tinggi. Hal ini menyebabkan uji slump pada umumnya tidak dapat digunakan karena hasil dari slump biasa akan sangat tinggi dan tidak dapat memberikan gambaran dari *flow* mortar tersebut. Pengaruh *Flow Table Test* pada mortar yaitu mendapatkan nilai kekuatan tekan mortar pada umur tertentu untuk menentukan mutu semen.

Extrudability merupakan kemampuan suatu material untuk menghasilkan bentuk panjang atau tipis dengan melakukan proses ekstrusi. Proses pencetakan ini melibatkan pengaliran material melalui alat *nozzle* agar menghasilkan bentuk yang diinginkan Mahmudi Ali (2017). *Nozzle* ini nantinya berfungsi sebagai tempat keluarnya material akibat adanya tekanan dari *extruder*. Material yang akan digunakan adalah mortar dengan campuran serat alam yang di dalamnya terdapat bahan *superplasticizer*. Bahan tersebut menjadi faktor yang mempengaruhi *extrudability* karena dapat meningkatkan kemampuan aliran material. Dalam penelitian ini, *extrudability* yang ingin dilihat adalah ketika mortar dapat keluar dari *nozzle* dengan bentuk yang sempurna dan tidak mudah kering serta mudah untuk dibentuk.

III. Metodologi

Penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data dari uji *flowability* dan uji *extrudability* mortar komposit dengan menggunakan beberapa variasi komposisi serat rumput payung (*Cyperus Alternifolius*), sehingga mengetahui hubungan komposisi serat rumput payung dengan *flowability* dan *extrudability* mortar komposit.

Pada penelitian ini dilakukan uji tekan pada mortar komposit serat rumput payung dengan mengacu pada SNI – 03-6825-2002 dan pengujian *Flow Table Test* dengan mengacu pada ATSM C 230/C 230M – 08. Panjang serat rumput payung yang digunakan adalah 2mm dengan 6 variasi komposisi perbandingan, yaitu 0%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Jumlah benda uji ini adalah 36 benda uji terdiri dari 18 benda uji *extrude* dan 18 benda uji *flow table* untuk 6 variasi komposisi serat rumput payung di atas.

Flow Table Test

Flow Table Test mengacu pada SNI-03-6825-2002 “Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil”. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Letakan cincin leleh di atas meja leleh, lalu diisi dengan mortar sampai penuh; pengisian dilakukan dalam 2 lapis, setiap lapis harus didapatkan 20 kali dengan alat pemadat;
2. Ratakan permukaan atas mortar dalam cincin leleh dan bersihkan mortar yang menempel di bagian luar cincin leleh;
3. Angkatlah cincin leleh perlahan – lahan, sehingga di atas meja leleh terbentuk mortar berbentuk kerucut terpancung;
4. Getarkan meja leleh sebanyak 25 kali selama 15 detik, dengan tinggi jatuh $\frac{1}{2}$ in (12,7 mm)
5. Ukurlah diameter mortar diatas meja leleh minimal pada 4 tempat yang berlainan, lain hitung diameter rata – rata (d) mortar tersebut;

Extruder Test

Extrude Test ini dilakukan pada saat semua bahan sudah disiapkan dan tercampur rata, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Hitung volume tabung *extruder*.
2. Siapkan dan aduk campuran bahan mortar dengan serat rumput payung secara merata.
3. Masukkan mortar ke dalam pipa *extruder* sampai memenuhi pipa *extruder*.
4. Tekan menggunakan alat penekan dengan berat 5 kg.
5. Siapkan *stopwatch* untuk melihat waktu saat aliran mortar mulai keluar dari *nozzle*.

Tabel III-1 Jumlah Benda Uji Extrude Test

No.	Kode	Variasi Serat	Jumlah Benda Uji Extrude	Jumlah Benda Uji Flow Table
1	K0-2a	0	3	3
2	K0-2b			
3	K0-2c			
4	K5-2a	5%	3	3
5	K5-2b			
6	K5-2c			
7	K55-2a	5,5%	3	3
8	K55-2b			
9	K55-2c			
10	K6-2a	6%	3	3

No.	Kode	Variasi Serat	Jumlah Benda Uji Extrude	Jumlah Benda Uji Flow Table
11	K6-2b			
12	K6-2c			
13	K65-2a			
14	K65-2b	6,5%	3	3
15	K65-2c			
16	K7-2a	7%	3	3
	K7-2b			
	K7-2c			
	Jumlah		18	18

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Flow Table Test



(a)



(b)

Gambar IV-1 Hasil Flow Table Test Variasi serat 0%: (a) Sebelum, (b) Sesudah

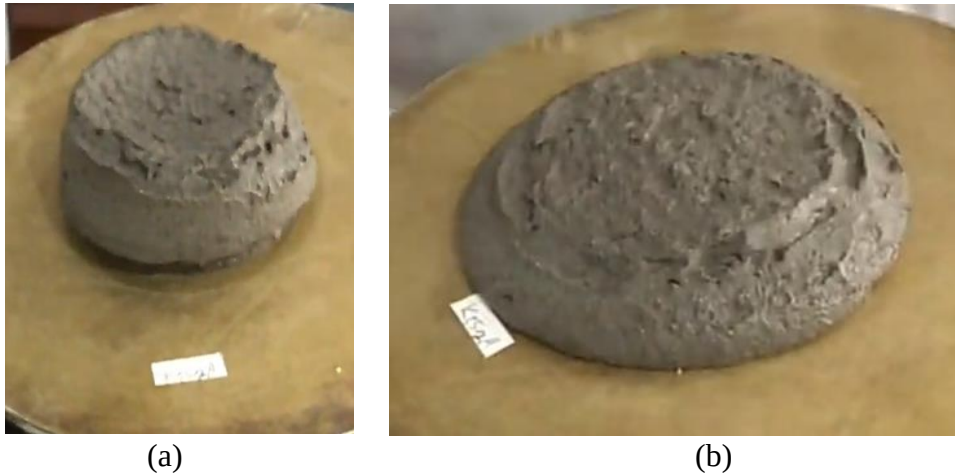


(a)

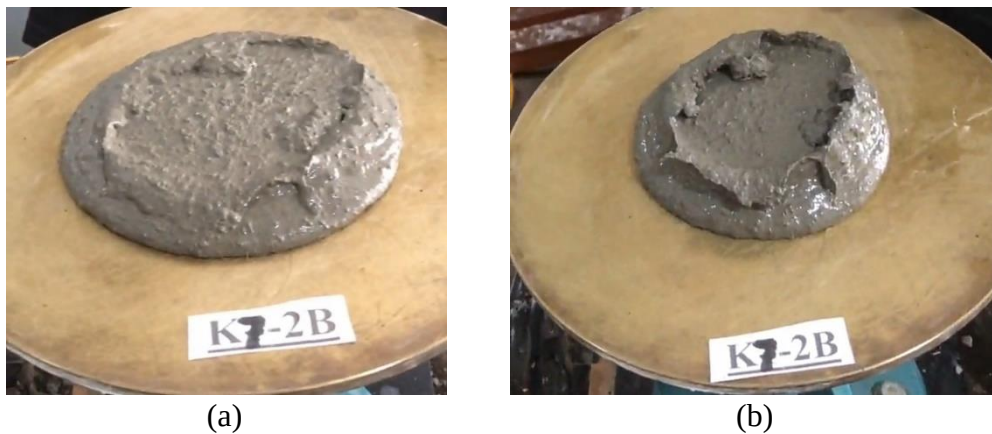


(b)

Gambar IV-2 Hasil Flow Table Test Variasi serat 6,5%: (a) Sebelum, (b) Sesudah



Gambar IV-3 Hasil *Flow Table Test* Variasi serat 5,5%: (a) Sebelum, (b) Sesudah



Gambar IV-4 Hasil *Flow Table Test* Variasi serat 7%: (a) Sebelum, (b) Sesudah

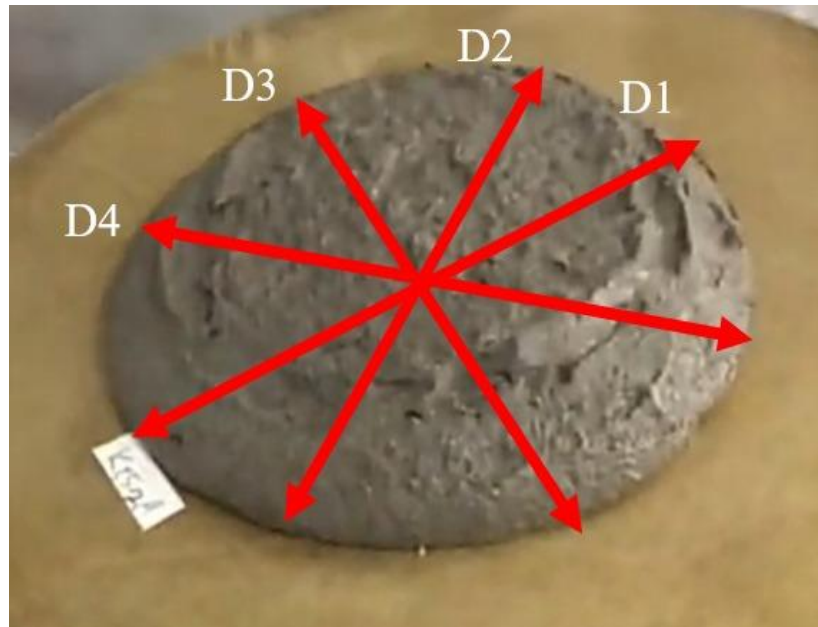
Hasil *Flow Table Test* dapat dilihat pada gambar IV.1 sampai dengan gambar IV.4. Pengukuran nilai *Flowability* dilakukan dari prosentase pertambahan “diameter” mortar komposit saat *Flow Table Test* dilakukan. Pengukuran diameter pada benda uji dilakukan sebelum *Flow Table Test* dan sesudah *Flow Table Test* pada 4 tempat berbeda (D1, D2, D3, D4), seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV-5.

Berikut adalah contoh perhitungan nilai *Flowability* dari benda uji dengan variasi serat rumput payung 6,5% (K65-2a).

Hasil pengukuran:

$$\begin{aligned} \text{Diameter 1} &= 13,3 \text{ cm} \\ \text{Diameter 2} &= 14,1 \text{ cm} \\ \text{Diameter 3} &= 13,7 \text{ cm} \\ \text{Diameter 4} &= 13,9 \text{ cm} \\ \text{Rata-rata} &= \frac{13,3+14,1+13,7+13,9}{4} = 13,75 \text{ cm} \end{aligned}$$

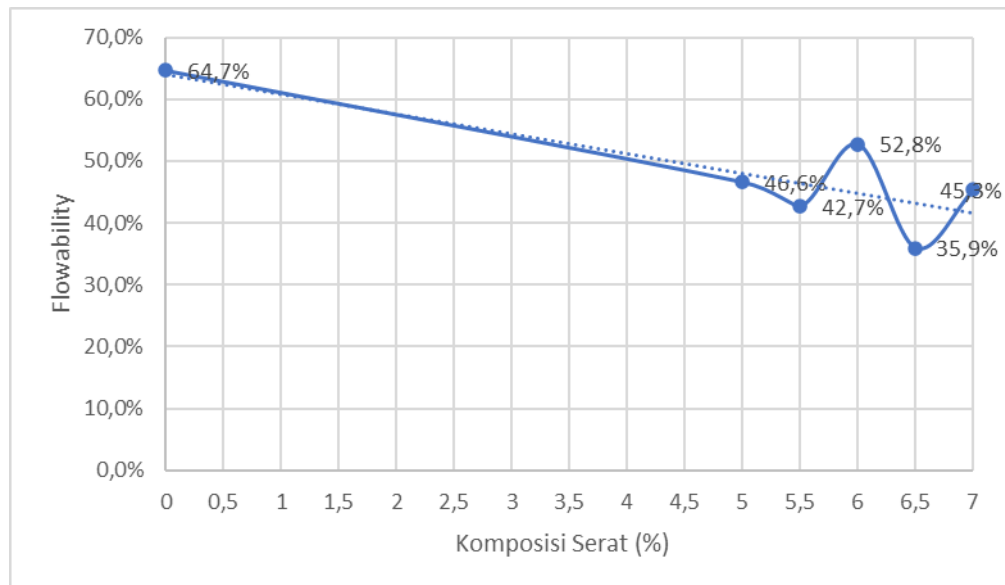
$$\begin{aligned} \text{Nilai Flowability} &= \frac{13,75-10}{10} \times 100\% \\ &= 38\% \end{aligned}$$



Gambar IV-5 Pengukuran Diameter *Flow Table Test*

Tabel IV-1 *Flowability* pada Variasi Komposisi Serat – Hasil *Flow Table Test*

No.	Kode	Variasi Serat	Diameter					Nilai Flowability	Rerata Nilai Flowability
			D1	D2	D3	D4	Rerata		
1	K0-2a	0	15,6	-	-	-	15,60	56%	65%
2	K0-2b		16,30	-	-	-	16,30	63%	
3	K0-2c		17,50	-	-	-	17,50	75%	
4	K5-2a	5%	13,9	14,5	14,4	14,3	14,28	42,8%	46,6%
5	K5-2b		14,9	14,6	15,0	15,2	14,93	49,3%	
6	K5-2c		14,7	14,8	14,5	15,1	14,78	47,8%	
7	K55-2a	5,5%	13,3	13,6	14,2	13,5	13,65	37%	43%
8	K55-2b		13,3	13,6	14,2	13,4	14,10	41%	
9	K55-2c		14,9	14,8	15,1	15,4	15,05	51%	
10	K6-2a	6%	15,6	15,3	15,8	15,6	15,58	56%	53%
11	K6-2b		15,9	15,5	15,5	15,9	15,70	57%	
12	K6-2c		15,0	14,2	14,8	14,2	14,55	46%	
13	K65-2a	6,5%	13,3	14,1	13,7	13,9	13,75	38%	36%
14	K65-2b		13,1	13,2	13,3	13,2	13,20	32%	
15	K65-2c		14,0	13,5	14,0	13,8	13,83	38%	
16	K7-2a	7%	14,7	14,6	14,6	14,5	14,60	46%	45%
17	K7-2b		14,3	14,3	14,2	14,1	14,23	42%	
18	K7-2c		14,9	14,6	14,8	14,8	14,78	48%	



Grafik IV-1 Hubungan *Flow Table Test* terhadap Variasi Komposisi Serat (Hasil hitungan rerata komposisi serat terhadap *flow table test*)

4.2 Hasil dan Pembahasan *Flow Table Test*

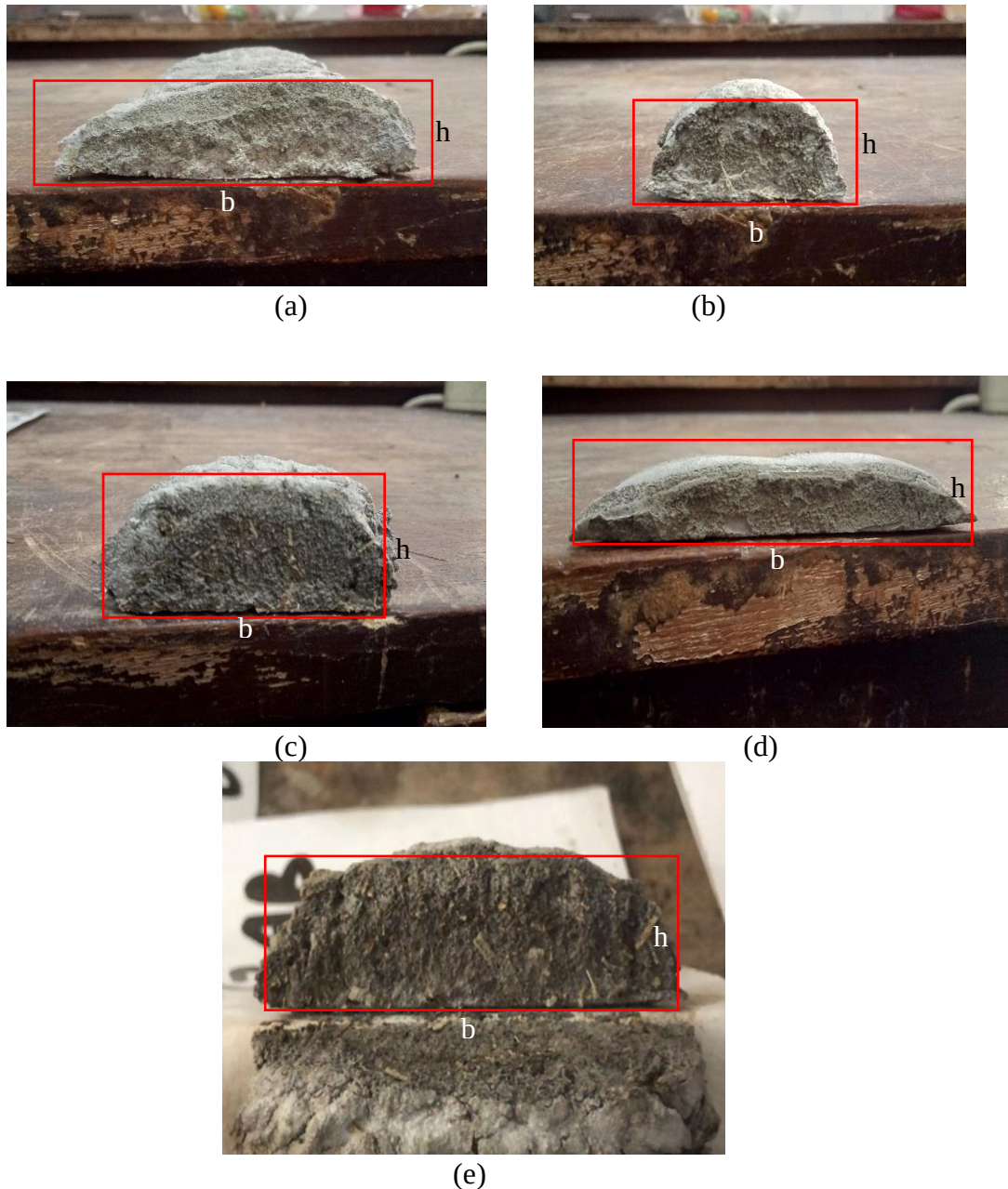
Pada hasil uji specimen *Flow Table Test*, menunjukkan perbedaan bentuk mortar untuk setiap variasi komposisi serat. Mortar dengan komposisi serat 0% kondisinya terlihat cair dan mudah menyebar. Sedangkan semakin meningkat nilai komposisi serat bentuk mortar tidak terlalu menyebar. Tabel IV-1 menunjukkan bahwa nilai maksimum untuk uji *Flow Table Test* adalah 64,7% pada variasi serat 0% dan nilai minimunnya 35,9% pada variasi serat 6,5%. Grafik IV-1 menunjukkan bahwa tren nilai *Flow Table Test* menurun seiring dengan semakin meningkatnya variasi komposisi serat. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa mortar dengan komposisi serat 0% terlihat encer dan mudah menyebar sebelum dan sesudah dilakukan *Flow Table Test*, seperti terlihat pada Gambar IV-1. Di sisi lain, dengan adanya penambahan serat membuat bentuk mortar tidak terlalu menyebar, seperti terlihat pada Gambar IV-2 untuk variasi serat 6,5%, Gambar IV-3 untuk variasi serat 5,5%, dan Gambar IV-4 untuk variasi serat 7%.

Grafik IV-1 menunjukkan bahwa serat memiliki pengaruh di dalam mengendalikan *flowability* mortar komposit. Untuk setiap variasi komposisi memiliki bentuk spesimen yang berbeda, pada saat sebelum diuji dan setelah diuji. Hal ini dipengaruhi oleh variasi jumlah komposisi serat yang berbeda

Nilai maksimum untuk *Flow Table Test* didapatkan 64,7% pada variasi 0%. Hal ini disebabkan karena belum adanya serat sehingga mortar cenderung encer dan melebar. Nilai minimum *Flow Table Test* sebesar 35,9% terdapat pada variasi komposisi serat 6,5%. Hal ini disebabkan karena telah adanya serat yang menjaga atau mempertahankan bentuk dari mortar sehingga tidak melebar.

Penurunan tren *Flow Table Test* seiring dengan bertambahnya variasi komposisi serat menunjukkan bahwa serat berpengaruh dalam peningkatan atau penurunan nilai *flowability*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Damas Novalda (2023), bahwa serat *Polypropylene* yang ditambahkan ke dalam campuran *Self Compacting Mortar* dapat mempengaruhi *workability*, yaitu semakin banyak jumlah serat, maka semakin rendah juga nilai *slump flow*.

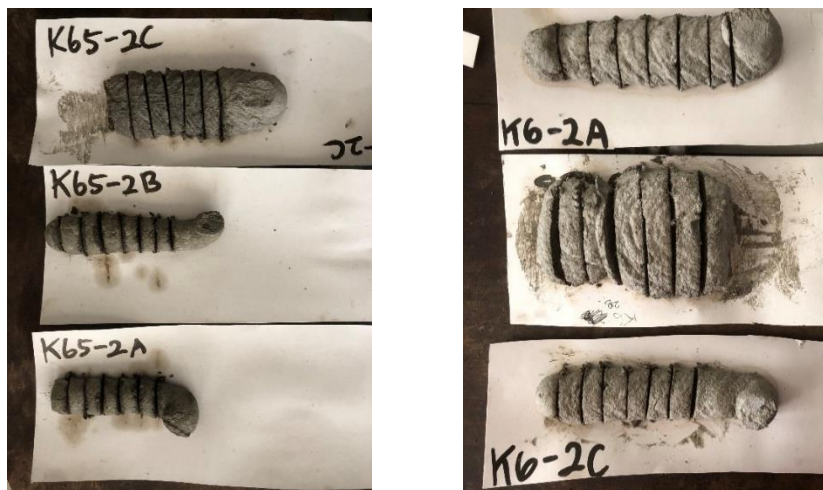
4.3 Data *Extrude Test*



Gambar IV-6 Hasil Pengukuran Rasio b/h *Extrude Test* (a) variasi 5,5%, (b) variasi 0%, (c) variasi 6,5%, (d) variasi 6%, (e) variasi 7%
(Sumber : dokumentasi pribadi)



Gambar IV-7 Hasil Extrude Test Variasi 5% dan 5,5% Ukuran Serat 2mm
(Sumber : dokumentasi pribadi)



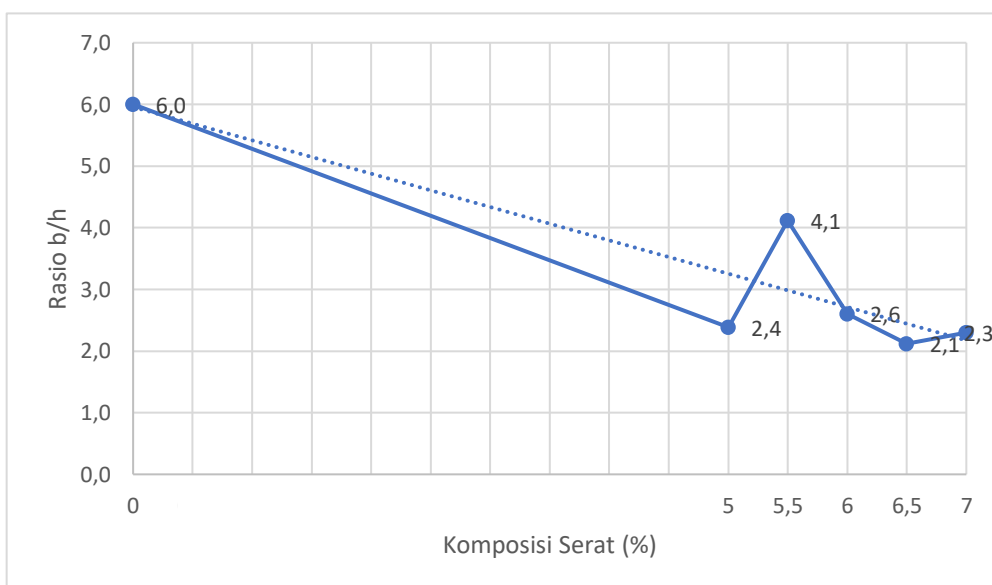
Gambar IV-8 Hasil Extrude Test Variasi 6% dan 6,5% Ukuran Serat 2mm
(Sumber : dokumentasi pribadi)



Gambar IV-9 Hasil Extrude Test Variasi 7% Ukuran Serat 2mm
(Sumber : dokumentasi pribadi)



Gambar IV-10 Hasil *Extrude Test* Variasi 0% Ukuran Serat 2mm
(Sumber : dokumentasi pribadi)



Grafik IV-2 Hubungan Rasio b/h terhadap Variasi Komposisi Serat
(Hubungan komposisi serat terhadap *Extrude Test*)

Tabel IV-2 Rasio b/h pada Variasi Komposisi Serat – Hasil *Extrude Test*

No.	Kode	Variasi Komposisi	Rasio (b/h)
1	k5-0	0	6,0
2	k5-2	5	2,4
3	k5,5-2	5,5	4,1
4	k6-2	6	2,6
5	k6,5-2	6,5	2,1
6	k7-2	7	2,3

4.4 Hasil dan Pembahasan *Extrude Test*

Gambar IV-6 sampai Gambar IV-10 menunjukkan hasil *Extrude Test* yang dilakukan. Gambar IV-6 menunjukkan hasil *extrude test* dengan berbagai variasi komposisi. Pada gambar IV-6(a) adalah hasil *extrude test* dengan variasi komposisi serat 6,5% yang bentuk mortarnya sempurna tidak melebar (rasio $b/h = 2,1$). Berbeda dengan gambar IV-6(b) variasi komposisi serat 5% yang sudah mulai terlihat melebar karena kadar air yang semakin banyak (rasio $b/h = 2,4$). Sedangkan pada gambar IV-6(c) variasi komposisi serat 0% saat keluar dari *nozzle* mortarnya sangat melebar (rasio $b/h = 6,0$).

Nilai maksimum rasio $b/h = 6$ terjadi pada variasi komposisi serat 0%, sedangkan nilai minimum rasio $b/h = 2,1$ terjadi pada variasi komposisi serat 6,5%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV-2. Pada variasi komposisi serat 6,5% dipengaruhi karena telah adanya serat yang menjaga atau mempertahankan bentuk dari mortar sehingga tidak melebar. Grafik IV-2 memperlihatkan bahwa tren rasio b/h berbanding terbalik dengan jumlah komposisi prosentase serat. Tren rasio b/h semakin menurun seiring dengan bertambahnya variasi komposisi serat. Hal ini menunjukkan bahwa serat berpengaruh dalam peningkatan atau penurunan nilai *extrudability*.

Dari penelitian yang telah dilakukan, seluruh mortar dengan variasi komposisi serat dapat mengalir dengan baik pada alat *extrude*. Setiap spesimen memiliki bentuk yang beragam dan berbeda, yang mengartikan adanya pengaruh air dan serat.

V. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Nilai maksimum untuk *Flow Table Test* didapatkan 64,7% pada variasi 0%. Hal ini disebabkan karena belum adanya serat sehingga mortar cenderung encer dan melebar. Nilai minimum *Flow Table Test* sebesar 35,9% terdapat pada variasi komposisi serat 6,5%. Hal ini disebabkan karena telah adanya serat yang menjaga atau mempertahankan bentuk dari mortar sehingga tidak melebar. Penurunan tren *Flow Table Test* seiring dengan bertambahnya variasi komposisi serat menunjukkan bahwa serat berpengaruh dalam peningkatan atau penurunan nilai *flowability*.
2. Nilai maksimum rasio b/h adalah 6 pada variasi komposisi serat 0%, dipengaruhi karena belum adanya serat sehingga mortar cenderung encer dan melebar, sedangkan nilai minimum rasio b/h adalah 2,1 pada variasi komposisi serat 6,5% dipengaruhi karena telah adanya serat yang menjaga atau mempertahankan bentuk dari mortar sehingga tidak melebar. Penurunan tren rasio b/h seiring dengan bertambahnya variasi komposisi serat menunjukkan bahwa serat berpengaruh dalam peningkatan atau penurunan nilai *extrudability*.

5.2 Saran

1. Perlu adanya perbaikan alat penggiling serat atau metode penggilingan serat, sehingga diperoleh diameter dan ukuran serat yang lebih beragam.
2. Melakukan pengujian kuat tekan pada penelitian selanjutnya untuk memperoleh nilai *buildability*.

VI. Daftar Referensi

- Bagos Aji Saputra, Sutrisno, Sudarno, 2018, Pengaruh Fraksi Volume Serat Pelepah Pisang Sebagai Komposit Polimer dengan Matriks Resin Polyester Terhadap Kekuatan Tarik dan Daya Serap Air, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI, ITATS*, pp. 561-566.
- Chandra Gemilang, Darmawan Pontan, 2021, Analisis Perbandingan Produktivitas Waktu dan Tenaga Kerja Pada Pekerjaan Dinding Bangunan Rumah Sederhana Menggunakan Metode

- Pencetakan Beton 3 Dimensi dan Metode Konvensional, *Jurnal Rekayasa Lingkungan Terbangun Berkelanjutan*, Vol. 2(1), pp. 136–146.
- Damas Novalda Suma, Vera Agustriana Noorhidana, Surya Sebayang, Mohd. Isneini, 2023, Pengaruh Komposisi Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Self Compacting Mortar, *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, Vol. 11(1), pp. 43–52.
- Dean Edbert Natanael Siagian, Muhammad Hakiem Sedo Putra, 2024, Serat alam sebagai bahan komposit ramah lingkungan, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, Vol. 5(1), pp. 55–60.
- Febrianto Blasius Malau, 2014, Penelitian Kuat Tekan dan Berat Jenis Mortar Untuk Panel dengan Membandingkan Penggunaan Pasir Bangka dan Pasir Baturaja dengan Tambahan Foaming agent dan Silica Fume, *Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol. 2(2), pp. 287-296.
- Heri Sunardi, Achmad Zainuri, Agus Dwi Catur, 2013, Pengaruh Tahapan Proses Pelubangan dan Arah Serat Terhadap Kekuatan Tarik Material Komposit Polyester-Pandan Wangi, *Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 3(1), pp. 1-9.
- M Fadholi Afinanto, 2020, *Mix Design Mortar Untuk Bangunan Dengan Metode 3D Print Construction*, Skripsi Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.
- Mega Yunanda, 2019, Perbandingan Kuat Tekan Mortar Dengan Memanfaatkan Coal Ash Waste, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 7(2), pp. 33-40.
- Salman, I Made Adi Sayoga, Rahmat Maulana, 2018, Pengaruh Fraksi Volume Serat Kulit Jagung Terhadap Kekuatan Tarik dan Penyerapan Air Komposit Polyurethane, *Jurnal Teknik Mesin Universitas Mercu Buana*, Vol. 7(1), pp. 29-32.
- I Gede Adi Saputra, 2016, *Pengaruh Variasi Komposisi Serat Rumput Payung (Cyperus Alternifolius) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Komposit*, Skripsi Teknik Sipil Universitas Katolik Widya Karya.
- Saripuddin M., Jamaluddin, Darmadi Azis, Haslinah, 2022, Pengaruh Volume Komposit Serat Serabut Kelapa Bermatrik Polimer Termoseting Polyester Terhadap Kekuatan Lentur, *ILTEK Jurnal Teknologi*, Vol. 17(1), pp. 15-19.
- Frederikus Setitit, 2016, *Pengaruh Variasi Komposisi Serat Rumput Payung (Cyperus Alternifolius) Terhadap Kuat Tekan Beton Komposit*, Skripsi Teknik Sipil Universitas Katolik Widya Karya.
- SNI 03-6825-2002, 2002, *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil ICS 27.180*, Badan Standardisasi Nasional.
- Sofyan, Fasdarsyah, Sucitya J. B. Fahrosa, 2017, Pengaruh variasi Abu Batu Terhadap Flowability dan Kuat Tekan Self Compacting Concrete, *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 7(2), pp. 292-300.
- Sunaryo Wongso Suharto, Firman Sarifudin, Fuk Jin Oei, 2023, Teknologi 3D Printing Dalam Industri Kontruksi, *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Vol. 7(2), pp. 455–464.
- Varela, H., Barluenga, G., Sonebi, M., 2024, Evaluation of basalt fibers and nanoclays to enhance extrudability and buildability of 3D-printing mortars, *Journal of Building Engineering*, Vol. 97, pp. 1-13.