

Beton Ramah Lingkungan dengan Ampas Tebu sebagai Substitusi Parsial Semen

Muhammad Rahman Rambe^{1*}, Noni Paisah², Rizky Febriani Pohan³, Alvi Sahrin Nasution⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara, Padangsidimpuan, Indonesia

⁴Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}rambe.rambemuhammad@gmail.com, ²nonipaisah@yahoo.com, ³rizkypohan813@gmail.com, ⁴alvinasution90@gmail.com

Abstract

Excessive use of cement in construction projects can result in air pollution which can trigger health problems. For this reason, innovation is needed by using environmentally friendly organic materials such as sugarcane bagasse waste as a partial substitute for cement to make environmentally friendly concrete. The use of sugarcane bagasse waste as a partial substitute for cement can prevent environmental pollution due to dust produced by cement. This research aims to make maximum use of sugarcane bagasse waste as a concrete mixture. The method used in this research is an experimental method through the preparation stage, aggregate inspection, job mix design, slump test, making test objects, caring for test objects, testing concrete volume weight and testing concrete compressive strength. The sugarcane bagasse powder used is 0% composition; 2.5%; 5%; 7.5% and 10%. Based on the research results obtained, it can be concluded that the average concrete compressive strength values at variations of 0%; 2.5%; 5%; 7.5% and 10% are 24.08 MPa; 21.98 MPa; 17.67 MPa; 14.54 MPa and 11.66 MPa, respectively. Sugarcane bagasse powder can be used to make environmentally friendly concrete or as a partial replacement for cement. In order to make optimally environmentally friendly concrete, it is recommended that cement be mixed with 2.5% sugarcane bagasse powder.

Keywords: Bagasse, Concrete, Environmentally Friendly, Partial, Substitution.

Abstrak

Penggunaan semen yang berlebihan dalam proyek konstruksi dapat mengakibatkan pencemaran udara yang memicu gangguan kesehatan. Untuk itu, diperlukan inovasi dengan memanfaatkan bahan organik ramah lingkungan seperti limbah ampas tebu sebagai bahan substitusi parsial semen untuk membuat beton ramah lingkungan. Penggunaan limbah ampas tebu sebagai substitusi parsial semen dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan akibat debu yang dihasilkan semen. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah ampas tebu dengan maksimal untuk bahan campuran beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen melalui tahap persiapan, pemeriksaan agregat, job mix design, uji slump, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian berat volume beton dan pengujian kuat tekan beton. Serbuk ampas tebu yang digunakan adalah komposisi 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10%. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton rata-rata pada variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% masing-masing adalah 24,08 MPa; 21,98 MPa; 17,67 MPa; 14,54 MPa dan 11,66 MPa. Serbuk ampas tebu dapat dimanfaatkan untuk membuat beton ramah lingkungan atau pengganti sebagian semen. Agar beton ramah lingkungan yang dibuat maksimal, maka disarankan agar semen dicampur dengan serbuk ampas tebu persentase 2,5%.

Kata Kunci: Ampas Tebu, Beton, Parsial, Ramah Lingkungan, Substitusi.

1. PENDAHULUAN

Ampas tebu merupakan hasil limbah buangan yang berlimpah dari proses pembuatan gula ($\pm 30\%$ dari kapasitas giling). Ampas tebu termasuk sumber daya alam yang belum maksimal pemanfaatannya. Oleh karena itu, ampas tebu dapat dijadikan sebagai salah satu bahan alternatif pengisi beton yang ramah lingkungan sekaligus untuk mengurangi pasokan limbah yang terbuang (Riyanto dkk, 2017). Limbah ampas tebu merupakan limbah organik yang banyak dihasilkan dari pabrik-pabrik pengelola gula di Indonesia dan juga dapat ditemukan pada penjual air tebu.

Ampas tebu merupakan campuran dari serat yang kuat, dengan jaringan parenkim yang lembut dan mempunyai tingkat higroskopis yang tinggi. Penggunaan serat ampas tebu dapat mengurangi lendutan, meningkatkan kuat *impact* serta mengurangi penyusutan. Kandungan dari ampas tebu terdiri dari selulosa (52,42%), hemiselulosa (25,8%), lignin (21,69%), abu (2,73%) dan etanol (1,66%). Serat ampas tebu memiliki kriteria yang dibutuhkan untuk dijadikan sebagai bahan tambah penguat beton. Diketahui bahwa serat ampas tebu memiliki modulus elastis 15-19 GPa, dan juga senyawa kimia SiO_2 (Silika 3,01%) yang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik beton (Anggrainy dkk, 2023).

Keuntungan dari penambahan serat pada beton yaitu serat terdistribusi secara acak di dalam beton pada jarak yang relatif sangat dekat satu dengan yang lainnya yang akan memberikan keuntungan material struktur yang disiapkan untuk menahan beban dari berbagai arah. Dengan jumlah limbah ampas tebu yang cukup banyak dihasilkan dari penjualan es tebu, tentunya diperlukan inovasi-inovasi baru untuk memaksimalkan limbah tersebut, salah satunya dengan memanfaatkan serat ampas tebu sebagai bahan substitusi parsial semen pada campuran beton (Nuari dan Hermansyah, 2023).

Penggunaan semen yang berlebihan pada pembuatan beton dapat menyebabkan pencemaran udara dan gangguan kesehatan pada makhluk hidup yang berada di sekitar daerah proyek pembangunan. Penggunaan semen menimbulkan polutan udara yang sangat berbahaya seperti: metana (CH_4), debu, nitrogen oksida (N_xO_y), sulfur oksida (S_xO_y) dan karbon dioksida (CO_2). Beberapa polutan utama dari penggunaan semen adalah debu/partikel (PM), sulfur dioksida (SO_2) dan oksida nitrat (NO_x). Diantara partikel yang dihasilkan, partikel debu dapat masuk ke sistem pernafasan melalui saluran pernafasan sehingga menyebabkan penyakit pernafasan dan kardiovaskular, disfungsi sistem reproduksi dan saraf serta kanker. Debu semen mempunyai efek iritasi pada kulit, mata dan sistem pernafasan. Konsentrasi partikel debu yang terpapar ke udara juga sangat tinggi yaitu mencapai 1.208 ug/m^3 (Rambe dkk, 2023).

Untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat penggunaan semen yang berlebihan, maka limbah ampas tebu dapat digunakan untuk solusi bahan campuran beton yang ramah lingkungan sebagai pengganti semen agar tercipta lingkungan yang sehat dan jauh dari pencemaran udara. Keberhasilan pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai pengganti semen telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya dalam kurun 5 waktu tahun sebelumnya.

Penelitian Nuari dan Hermansyah (2023) menunjukkan bahwa 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%. Hasil penelitian menunjukan penurunan nilai *slump*, hal ini disebabkan oleh semakin tinggi variasi ampas tebu yang disubstitusi terhadap berat semen dengan nilai FAS yang sama akan menurunkan tingkat *workability* dari beton. Pada kuat tekan beton dengan variasi serat tebu mengalami penurunan. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada variasi 0% yaitu 20,93 MPa, ini disebabkan oleh semakin besar persentase campuran serat ampas tebu, maka beton yang seharusnya diisi oleh agregat tapi diisi oleh serat tebu sehingga menyebabkan kuat tekan beton menurun.

Penelitian Aprilia (2021) menunjukkan bahwa penyerapan air tertinggi ada pada variasi 15% dengan nilai 13,9% dan nilai terendah ada pada variasi 0% dengan nilai 7,4% sehingga penambahan komposisi abu ampas tebu memenuhi standar penyerapan air sesuai dengan SNI 03-0349-1989. Untuk nilai kuat tekan batako dengan penambahan abu ampas tebu dengan variasi 5%, 10% dan 15% masing-masing nilainya yaitu, 26,2 kg/cm², 27,7 kg/cm², 34,8 kg/cm². Maka dapat disimpulkan bahwa hasil kuat tekan batako masih berada di atas SNI 03-0349-1989 yaitu > 25 kg/cm².

Penelitian Buulolo dkk (2023) menunjukkan bahwa nilai kuat geser langsung (S) tertinggi pada persentase 9% dan kapur 8% dengan kenaikan sebesar 3,70%, nilai kohesi 0,1132 kg/cm² serta sudut geser sebesar 28,79°. Peningkatan kuat geser mengalami reaksi pozzolanik antara unsur kimia SiO₂ dan CaO. Penelitian Alfitroh dkk (2024) menunjukkan bahwa campuran maksimum berada pada GRC board D (30% serabut kelapa dan 2,5% abu ampas tebu) karena dapat menghasilkan kuat lentur yang lebih baik dan kekakuan daripada GRC board konvensional serta harga yang lebih murah dari GRC board konvensional.

Penelitian Warsito dan Rahmawati (2020) menunjukkan bahwa beton dengan perbandingan komposisi campuran yang didapat sebelumnya dan hasil *mix design* beton normal maut sedang yaitu dengan besar kuat tekan f_c' 14,5 MPa (K175) sampai dengan f_c' 17,15 MPa (K210,6) yang kemudian ditambah dengan bahan AAT sebagai bahan penambah semen dan serat bambu. Penelitian-penelitian sebelumnya telah menemukan komposisi limbah ampas tebu untuk menghasilkan kuat tekan beton maksimal, penyerapan air pada beton maksimal, dan nilai kuat geser maksimal. Sehingga penelitian ini difokuskan untuk menemukan komposisi limbah ampas tebu optimum untuk menghasilkan beton ramah lingkungan. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dipaparkan di atas, kebaruan dalam penelitian ini adalah sampel yang diuji merupakan limbah ampas tebu yang berasal dari penjual air tebu di sekitar kota Padangsidempuan, Provinsi Sumatera Utara.

Sampel limbah ampas tebu dalam penelitian ini berbentuk dibuat dalam bentuk serbuk. Sementara, penelitian-penelitian sebelumnya telah menggunakan limbah ampas tebu berbentuk abu dan seratnya. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk meneliti beton ramah lingkungan dengan ampas tebu sebagai substitusi parsial semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan campuran serbuk ampas tebu pada variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5%, dan 10%. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum serbuk ampas tebu yang harus ditambahkan untuk menghasilkan beton yang ramah lingkungan. Dengan demikian, kadar semen dalam *mix design* beton dapat dikurangi tanpa mengakibatkan kuat beton rencana menjadi berkurang (Pohan dan Rambe, 2022).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Konstruksi Beton, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Graha Nusantara Padangsidempuan dengan beberapa tahap penelitian. Penelitian eksperimen merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui akibat dari perlakuan yang diberikan terhadap suatu hal yang sedang diteliti (Thabroni, 2021). Desain penelitian ini dipilih karena dalam penelitian ini dikaji tentang akibat dari penambahan serbuk ampas tebu terhadap nilai kuat tekan beton. Dalam penelitian eksperimen ini, dilakukan rekayasa material dalam pembuatan beton ramah lingkungan melalui substitusi parsial semen oleh serbuk ampas tebu. Penelitian ini telah dilaksanakan selama 2 bulan, yaitu Maret-Mei 2025.

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi delapan tahapan, yaitu: tahap persiapan, pemeriksaan agregat, *job mix design*, uji *slump*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian berat volume beton, dan pengujian kuat tekan beton.

2.1.1 Tahap persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi persiapan alat dan bahan serta preparasi sampel limbah ampas tebu. Persiapan alat meliputi: neraca ohaus atau timbangan listrik, satu set saringan, oven, pan bahan, mesin uji abrasi, blender, penumbuk besi, mollen, cetakan benda uji berbentuk silinder, stopwatch, alat uji aliran air dan bak perendaman. Persiapan bahan meliputi: semen Portland tipe I, air dari Laboratorium Beton, agregat kasar berupa batu kerikil dari Padangsidempuan, agregat halus berupa pasir sungai Bonan Dolok desa Kampung Tobat dan serbuk ampas tebu (Pohan dan Rambe, 2022).

Preparasi sampel limbah ampas tebu dilakukan dengan mencuci limbah ampas tebu yang telah dikumpulkan dan dikeringkan. Kemudian dipotong-potong menjadi potongan kecil berbentuk persegi panjang. Selanjutnya, sampel limbah ampas tebu yang sudah kering digiling dan ditimbang lalu diblender hingga menjadi serbuk dengan ukuran partikel 0,5-1 mm (Tasanif dkk, 2020).

2.1.2 Pemeriksaan agregat

Tahapan penelitian dimulai dengan pemeriksaan agregat yang meliputi agregat kasar dan agregat halus. Jika agregat yang telah diperiksa memenuhi syarat untuk digunakan, maka perhitungan perencanaan (*Job mix design*) dapat dibuat. Sedangkan jika agregat tidak memenuhi syarat untuk digunakan, maka penelitian diulangi dari awal (Pohan dan Rambe, 2022). Pemeriksaan agregat kasar meliputi pengujian gradasi, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, berat volume serta pengujian keausan (abrasi). Sedangkan pemeriksaan agregat halus meliputi pengujian gradasi, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, serta berat volume (Nuari dan Hermansyah, 2023). Semua parameter uji mengacu pada SNI 03-1969-2008, SNI 3407:2008, dan SNI 03-2417-2008.

2.1.3 *Job mix design*

Dalam penelitian ini, akan digunakan variasi komposisi serbuk ampas tebu 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10%. Berdasarkan hasil pemeriksaan material untuk *mix design* dengan FAS 0,55 dibutuhkan komposisi campuran beton seperti pada Tabel 1 di bawah ini (Pohan dan Rambe, 2022):

Tabel 1. Komposisi campuran beton per m³

Pengecoran ke-1	Persentase SAT	Air (kg)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)	Semen (kg)	SAT (kg)	FAS
1	0%	14,21	16,88	14,89	7,47	0	0,55
2	2,5%				7,29	0,19	0,55
3	5%				7,10	0,37	0,55
4	7,5%				6,91	0,56	0,55
5	10%				6,73	0,75	0,55

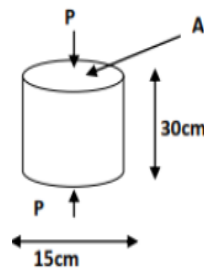
2.1.4 Uji *slump*

Setelah campuran beton dibuat, maka dilakukan uji *slump* terhadap masing-masing campuran beton. Uji *slump* dilakukan dengan panduan SKSNI-1972-2008. Jika hasil uji *slump* yang dilakukan sesuai dengan yang ditetapkan, maka penelitian dapat dilanjutkan

dengan pembuatan benda uji. Sedangkan jika hasil uji *slump* tidak sesuai dengan yang ditetapkan, maka perlu membuat *Job mix design* yang baru (Simanjuntak dkk, 2021).

2.1.5 Pembuatan benda uji

Setelah uji *slump* berhasil dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Benda uji silinder
Sumber: Pohan dan Rambe (2022)

2.1.6 Perawatan benda uji

Perawatan benda uji yang dilakukan sesuai dengan SNI-03-2493-1991. Perawatan dilakukan setelah pembongkaran cetakan lalu direndam di dalam air bersih pada temperatur 25°C sesuai dengan umur beton yang akan direncanakan. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam sehari sebelum pengujian kuat tekan beton dilakukan (Simanjuntak dkk, 2021).

2.1.7 Pengujian berat volume beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton dan volume beton. Pengujian berat volume beton dilakukan pada saat beton berumur 1 hari untuk mengetahui mutu beton yang direncanakan (Pohan dan Rambe, 2022).

2.1.8 Pengujian kuat tekan beton

Masing-masing variasi komposisi serbuk ampas tebu dibuat menjadi 3 sampel, sehingga total sampel keseluruhan adalah 15 sampel dan kuat tekan betonnya diuji setelah 28 hari. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus 1 berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang (mm²)

2.2 Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data dalam penelitian ini berupa data primer yaitu data kuat tekan beton yang diperoleh langsung dari laboratorium dan data sekunder yaitu data pendukung yang diperoleh dari jurnal, SNI maupun peraturan dari instansi terkait (Rahma dkk, 2024). Data kuat tekan beton masing-masing sampel diperoleh dari hasil bagi antara beban maksimum yang diperoleh dari eksperimen dengan luas penampang benda uji silinder yang digunakan. Kemudian, nilai kuat tekan beton masing-masing sampel komposisi serbuk ampas tebu dirata-ratakan sehingga diperoleh nilai rata-rata kuat tekan

beton. Selanjutnya, dilakukan analisis statistik dengan menggunakan analisis regresi sederhana. Dimana data-data tersebut akan dianalisis dengan memplotkan antara sumbu x (variasi komposisi serbuk ampas tebu yang digunakan) dan sumbu y (nilai kuat tekan beton rata-rata yang diperoleh pada setiap variasi) untuk mencari pengaruh penambahan limbah ampas tebu sebagai pengganti semen terhadap kualitas beton, apakah layak untuk digunakan sebagai material penyusun beton ramah lingkungan atau tidak.

2.3 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan untuk memecahkan permasalahan dan menjawab tujuan penelitian adalah analisis regresi linear sederhana. Analisis regresi linear sederhana merupakan sebuah metode dalam statistik yang digunakan untuk melihat hubungan diantara variabel yakni variabel bebas (*independent*) dan terikat (*dependent*). Jenis regresi ini juga kerap disingkat menjadi SLR (*Simple Linear Regression*) dan menjadi metode yang digunakan untuk melakukan prediksi mengenai karakteristik kualitas ataupun kuantitas.

Data interval dan rasio merupakan skala data yang digunakan dalam metode statistik ini. Selain itu terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi ketika menggunakan regresi jenis ini, yaitu: jumlah sampel yang dimiliki untuk digunakan harus sama, hanya memiliki satu jumlah variabel bebas, nilai residual berdistribusi normal, adanya hubungan linier antara variabel bebas dan variabel terikat, tidak ada gejala heteroskedastisitas dan tidak ada gejala autokorelasi. Model persamaan yang digunakan untuk menghitung regresi linier sederhana adalah sebagai berikut:

$$Y = a + b_x \quad (2)$$

Keterangan:

Y = variabel terikat (*dependent*)/variabel respon atau akibat

X = variabel bebas (*independent*) /variabel prediktor atau faktor penyebab

a = konstanta

b = koefisien regresi; besaran dari respons yang dihasilkan dari prediktor

Nilai a dan b bisa dihitung menggunakan rumus 3 dan 4 sebagai berikut:

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (4)$$

Dengan rumus atau cara menghitung tersebut, alat ukur statistik ini bisa digunakan untuk mengetahui seberapa kuat hubungan antar variabel (contoh hubungan penambahan serbuk ampas tebu dan nilai kuat tekan beton). Bisa juga untuk mengetahui nilai variabel terikat pada nilai tertentu yang ada di variabel bebas (contoh nilai kuat tekan beton dengan penambahan serbuk ampas tebu pada komposisi tertentu). Langkah-langkah ketika melakukan analisis regresi linear sederhana yaitu: menentukan tujuan, mengidentifikasi variabel bebas (*independent*/penyebab) dan variabel terikat (*dependent*/respon), mengumpulkan data, menghitung X^2 , Y^2 , XY dan total masing-masingnya, menghitung a dan b menggunakan rumus yang sudah disebutkan di atas, membuat model persamaan serta melakukan prediksi pada variabel bebas/penyebab atau variabel terikat/akibat/*dependent* (Belajar, 2021).

Relevansi dan penerapan analisis regresi sederhana dalam penelitian ini terlihat dari penentuan korelasi/hubungan antara variasi komposisi serbuk ampas tebu yang ditambahkan sebagai pengganti semen dengan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Dimana nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh menunjukkan besarnya pengaruh penambahan serbuk ampas tebu terhadap nilai kuat tekan beton. Sedangkan nilai

koefisien korelasi (R) yang diperoleh menunjukkan besarnya hubungan linear antara variasi komposisi serbuk ampas tebu yang ditambahkan dengan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Nilai slope menyatakan arah garis linear (kepekaan arah kurva) dan nilai intersep menyatakan perpotongan kurva dengan sumbu x (Ananda dan Fadhli, 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang dipakai pada penelitian ini adalah batu kerikil yang berasal dari Padangsidempuan. Hasil pemeriksaan agregat kasar tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil pengujian agregat kasar

Parameter	Hasil	Standar	Keterangan
Gradasi	3,04	Maksimum 4,76	Memenuhi standar
Kadar lumpur	89%	> 70%	Memenuhi standar
Berat jenis	2,83	Minimal 2,5	Memenuhi standar
Penyerapan terhadap air	1,57	Maksimal 3	Memenuhi standar
Berat volume	1,83	Minimal 1	Memenuhi standar
Abrasi	21,33%	< 50%	Memenuhi standar

Berdasarkan Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa agregat kasar yang akan digunakan dalam penelitian ini memenuhi standar yang sudah ditetapkan sehingga agregat kasar tersebut layak digunakan sebagai campuran beton (Mahmud dkk, 2022). Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Rambe dkk (2024) yang memperoleh hasil pemeriksaan agregat kasar batu kerikil dari Padangsidempuan yaitu: gradasi 2,99, kadar lumpur 86%, berat jenis 2,61, penyerapan terhadap air 1,44, berat volume 1,82, dan abrasi 20,66%.

3.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai pada penelitian ini adalah pasir sungai Bonan Dolok desa Kampung Tobat. Hasil pemeriksaan agregat halus tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat halus

Parameter	Hasil	Standar	Keterangan
Gradasi	3,09	Maksimum 4,76	Memenuhi standar
Kadar lumpur	91%	> 70%	Memenuhi standar
Berat jenis	2,83	Minimal 2,5	Memenuhi standar
Penyerapan terhadap air	1,87	Maksimal 3	Memenuhi standar
Berat volume	1,46	Minimal 1	Memenuhi standar

Berdasarkan Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa agregat halus yang akan digunakan dalam penelitian ini memenuhi standar yang sudah ditetapkan sehingga agregat halus tersebut layak digunakan sebagai campuran beton (Mahmud dkk, 2022). Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Rambe dkk (2024) yang memperoleh hasil pemeriksaan agregat halus pasir sungai Batang Salae dari Sironcitan yaitu: gradasi 3,05, kadar lumpur 94%, berat jenis 2,65, penyerapan terhadap air 1,71, dan berat volume 1,37.

3.3 Hasil Uji Slump

Uji *slump* dilakukan untuk mengetahui workabilitas dari campuran beton (Octaviandy dkk, 2021). Pemeriksaan nilai *slump* dilakukan pada masing-masing variasi komposisi campuran dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Nilai *slump* campuran beton

Variasi SAT	Nilai <i>Slump</i> (mm)
0%	87
2,5%	85
5%	82
7,5%	79
10%	75

Berdasarkan Tabel 4 di atas, dapat dilihat bahwa nilai *slump* yang diperoleh setiap kali pengecoran pada masing-masing campuran sesuai dengan nilai *slump* yang ditetapkan yaitu 75-100 mm. Setiap campuran dengan dan tanpa serbuk ampas tebu merah bisa diterapkan karena memiliki workabilitas yang baik (Pohan dan Rambe, 2022). Berdasarkan Tabel 4 juga menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah serbuk ampas tebu akan menyebabkan penurunan nilai *slump* di setiap penambahan variasinya. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi variasi serbuk ampas tebu merah yang disubstitusi terhadap berat semen dengan nilai FAS yang sama akan menurunkan tingkat *workability* dari beton (Nuari dan Hermansyah, 2023).

Hal ini terjadi karena secara kimia serbuk ampas tebu mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pozzolan yang baik untuk menggantikan sebagian semen dan waktu ikat awal beton yang dicampur dengan serbuk ampas tebu cukup tinggi sehingga waktu alirnya semakin besar. Dengan demikian, semakin tinggi komposisi serbuk ampas tebu yang dicampurkan pada beton maka semakin lama waktu yang dibutuhkan beton untuk mengalir sehingga penambahan serbuk ampas tebu menurunkan nilai *slump* beton (Setyawan dan Saleh, 2016).

Nilai *slump* yang diperoleh komposisi serbuk ampas tebu 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% masing-masing adalah 87 mm, 85 mm, 82 mm, 79 mm, dan 75 mm. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Pratama dan Chairina (2023) yang menunjukkan bahwa nilai *slump* beton yang dicampurkan dengan abu ampas tebu sebesar 0%, 6%, dan 8% masing-masing adalah 90 mm, 81 mm, dan 77 mm. Dalam penelitian Pratama dan Chairina (2023) ini juga menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah abu ampas tebu akan menyebabkan penurunan nilai *slump* di setiap penambahan variasinya.

3.4 Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Hasil perhitungan berat volume beton adalah berat volume rata-rata beton pada umur 1 hari (Simanjuntak dkk, 2021). Rata-rata berat volume beton yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Rata-Rata Berat Volume Beton

Variasi SAT	Berat Kering Rata-Rata (kg)	Rata-Rata Berat Volume Beton (kg/m^3)
0%	11,20	2113,208
2,5%	11,07	2088,679
5%	10,78	2033,962
7,5%	10,55	1990,566
10%	10,21	1926,415

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa berat volume beton mengalami penurunan seiring dengan ditambahkan variasi serbuk ampas tebu. Hal ini disebabkan karena beton yang seharusnya diisi oleh agregat dan pasta, akan tetapi diisi oleh serbuk ampas tebu. Dalam ampas tebu ini terdapat rongga pada serbuk itu sendiri, yang menyebabkan beton menjadi semakin ringan (Nuari dan Hermansyah, 2023). Struktur berongga pada serbuk ampas tebu terjadi karena serbuk ampas tebu memiliki daya serap (hidrolis) yang tinggi terhadap

air sehingga mengganggu reaksi pengikat agregat oleh semen. Hal ini terjadi karena untuk mengikat agregat, semen membutuhkan air yang cukup. Sementara itu, air banyak diserap oleh serbuk ampas tebu yang terdapat dalam campuran beton sehingga terbentuk rongga pada serbuk ampas tebu akibat terkikis air sehingga massa serbuk ampas tebu yang ditambahkan pada beton berkurang. Dengan demikian, massa beton dan volume beton otomatis juga berkurang (Riyanto dkk, 2017).

Berdasarkan Tabel 5 di atas juga dapat dilihat bahwa rata-rata berat volume beton yang telah dicampurkan dengan serbuk ampas tebu 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% masing-masing adalah 2113,208 kg/m³, 2088,679 kg/m³, 2033,962 kg/m³, 1990,566 kg/m³, dan 1926,415 kg/m³. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Rambe dkk (2024) yang menunjukkan rata-rata berat volume beton yang telah dicampurkan dengan serbuk ampas tebu merah 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% masing-masing adalah 2160,377 kg/m³, 2118,868 kg/m³, 2071,698 kg/m³, 2011,321 kg/m³, dan 1932,075 kg/m³.

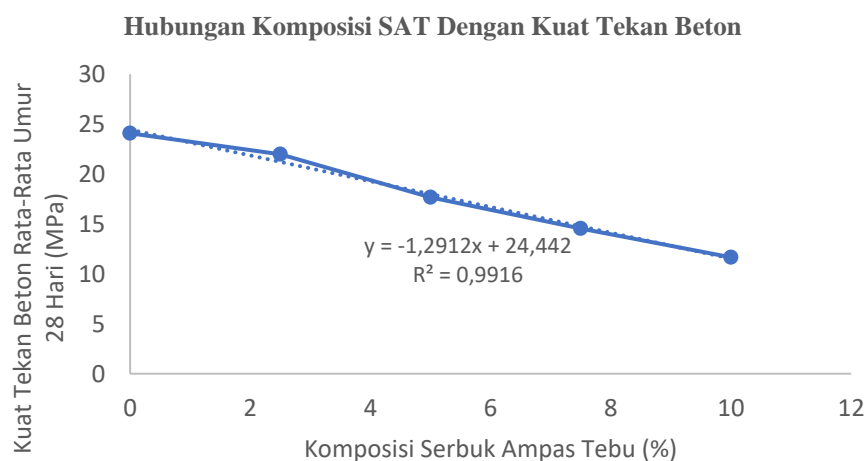
3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah direndam selama 28 hari, maka pengujian kuat tekan beton terhadap 15 sampel berbentuk silinder yang telah dibuat. Hasil pengujian kuat tekan beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Kuat Tekan Beton Rata-Rata

Variasi SAT	Kuat Tekan Beton (MPa)
0%	24,08
2,5%	21,98
5%	17,67
7,5%	14,54
10%	11,66

Dari Tabel 6 didapatkan bahwa nilai kuat tekan beton rata-rata pada variasi 0% yaitu 24,08 MPa; 2,5% = 21,98 MPa; 5% = 17,67 MPa; 7,5% = 14,54 MPa; dan pada variasi 10% adalah 11,66 MPa pada umur 28 hari. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Nuari dan Hermansyah (2023) yang menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang telah dicampurkan dengan serat tebu 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% masing-masing adalah 20,93 MPa; 16,12 MPa; 15,13 MPa; 14,85 MPa dan 13,01 MPa. Untuk lebih sederhana hunungan penambahan serbuk ampas tebu dengan kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Grafik Hubungan Komposisi SAT Dengan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 2, hubungan kuat tekan beton dengan variasi penambahan serbuk ampas tebu menghasilkan kuat tekan beton tertinggi pada variasi 0% yaitu 24,08 MPa. Kuat tekan beton rata-rata mengalami penurunan pada setiap penambahan variasi serbuk ampas tebu, hal ini disebabkan oleh ampas tebu memiliki rongga pada serbuk itu sendiri yang menyebabkan serbuk ampas tebu dapat menyerap air lebih besar sehingga terjadi penggumpalan pada adukan beton dan membentuk bola berongga yang tentunya dapat mengurangi kekuatan pada beton (Nuari dan Hermansyah, 2023).

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat dijelaskan bahwa pemanfaatan limbah ampas tebu maksimal digunakan untuk campuran beton atau pengganti semen pada persentase 2,5% karena pada keadaan ini nilai kuat tekan beton yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan persentase komposisi serbuk ampas tebu yang lain, kecuali 0%. Walaupun kuat tekan beton yang dihasilkan oleh serbuk ampas tebu dengan persentase 0% paling tinggi, menunjukkan bahwa komposisi tersebut tidak mengandung serbuk ampas tebu (100% semen) sehingga masih belum ramah lingkungan. Sementara itu, serbuk ampas tebu dengan persentase 2,5% sudah mengandung serbuk ampas (97,5% semen) sehingga menggambarkan potensi serbuk ampas tebu sebagai pengganti semen dalam memperbaiki kualitas beton.

Dengan demikian, disarankan untuk membuat beton ramah lingkungan dari serbuk ampas tebu dengan persentase campuran 2,5% agar hasil yang diharapkan maksimal (Pohan dan Rambe, 2022). Hal ini sejalan dengan penelitian Alfitroh dkk (2024) yang menyatakan bahwa substitusi abu ampas tebu 2,5% dari berat semen dapat dikatakan merupakan kombinasi yang optimal dalam pembuatan inovasi *GRC Board*, sedangkan sebagai serat penguat persentase optimal serabut kelapa sebesar 30% dari berat serat. Berdasarkan Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa koefisien determinasi yang dihasilkan menunjukkan besarnya pengaruh penambahan serbuk ampas tebu terhadap nilai kuat tekan beton yang dihasilkan.

Dalam hal ini, penambahan serbuk ampas tebu memiliki pengaruh sebesar 99,16% terhadap nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Harga R^2 yang dihasilkan dari grafik di atas masuk ke dalam kategori ideal karena $R^2 \geq 0,995$ (Arikunto, 2016). Jika koefisien determinasi diakarkan, maka akan diperoleh nilai koefisien korelasi (R) = 0,9958. Hal ini menunjukkan bahwa besar hubungan linear antara komposisi serbuk ampas tebu dengan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan adalah 0,9958 atau 99,58%. Hubungan linear yang diperoleh masuk dalam kategori sangat kuat karena $0,8 \leq |r| < 1$ (Nuryadi dkk, 2017).

3.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan di atas, diperoleh bahwa pembuatan beton ramah lingkungan maksimal jika menggunakan penambahan serbuk ampas tebu 2,5%. Karena pada beton dengan penambahan 2,5% ampas tebu dihasilkan kuat tekan beton tertinggi. Namun, untuk komposisi 5-10% kuat tekan beton yang dihasilkan semakin menurun. Dengan demikian, tidak direkomendasikan pembuatan beton ramah lingkungan menggunakan campuran serbuk ampas tebu di atas 5%. Hasil penelitian ini belum menunjukkan perubahan atau dampak yang baik terhadap sifat mekanik beton jika diaplikasikan pada penambahan serbuk ampas tebu di atas 5%. Hal ini sejalan dengan penelitian Alfitroh dkk (2024) yang menunjukkan bahwa substitusi abu ampas tebu 2,5% dari berat semen dapat dikatakan merupakan kombinasi yang optimal dalam pembuatan inovasi *GRC Board*.

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi yang sangat penting terhadap literatur yang ada, yaitu menjelaskan secara detail dan memperkuat teori bahwa penggunaan serbuk ampas tebu untuk pembuatan beton ramah lingkungan sangat optimal pada komposisi 2,5%. Hal ini dapat digunakan sebagai inovasi baru atau perbandingan dengan

material organik lainnya. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk masyarakat maupun ahli konstruksi bangunan tentang kadar optimum penambahan serbuk ampas tebu pada beton.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton rata-rata pada variasi 0% yaitu 24,08 MPa; 2,5% = 21,98 MPa; 5% = 17,67 MPa; 7,5% = 14,54 MPa; dan pada variasi 10% adalah 11,66 MPa pada umur 28 hari. Hasil penelitian ini juga menyimpulkan bahwa serbuk ampas tebu dapat dimanfaatkan untuk membuat beton ramah lingkungan atau pengganti sebagian semen. Agar beton ramah lingkungan yang dibuat maksimal, maka disarankan agar semen dicampur dengan serbuk ampas tebu persentase 2,5%. Namun, untuk komposisi serbuk ampas tebu di atas 5% perlu diteliti lebih lanjut pengaruhnya terhadap pembuatan beton ramah lingkungan dan dapat juga ditambahkan dengan material organik lain untuk memperbaiki sifat mekanik beton tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Konstruksi Beton, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan yang telah banyak membantu kelengkapan fasilitas dalam penelitian ini. Kami juga mengucapkan rasa terima kasih kepada civitas akademika Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan yang banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian ini terutama dalam pengambilan sampel dan administrasi surat menyurat. Mudah-mudahan Allah SWT meridhoi apa yang sudah kita laksanakan.

REFERENCES

- Alfitroh, A. M., Farras, R. M., Setiabudi, B., & Nurdiana, A. (2024). Pemanfaatan Serabut Kelapa dan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Fiberglass dan Semen Pada Pembuatan GRC Board. *Potensi: Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 7(1), 27-32. doi: 10.14710/potensi.2024.19976
- Ananda, R., & Fadhli, M. (2018). *Statistik Pendidikan: Teori dan Praktik Dalam Pendidikan*. Medan, Sumatera Utara, Indonesia: CV. Widya Puspita.
- Anggrainy, R., Mulyadi, A., & Muhaimin, A. (2023, November). Pemanfaatan Limbah Abu Ampas Tebu Sebagai Pengganti Semen Untuk Campuran Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 13(2), 166-173.
- Aprilia, R. (2021). *Pengaruh Pemakaian Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Tambahan Semen Terhadap Kualitas Batako Berdasarkan Kuat Tekan Dan Penyerapan Air*. Politeknik LPP, Teknik Kimia. Yogyakarta: DIII-Teknik Kimia Politeknik LPP. Diambil kembali dari <https://repository.polteklpp.ac.id/id/eprint/508/>
- Arikunto, S. (2016). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Belajar, C. (2021, June 15). *Regresi Linier Sederhana | Pengertian, Rumus, Uji Analisis & Contohnya*. Dipetik June 22, 2024, dari catatanbelajar.id: <https://catatanbelajar.id/regresi-linier-ederhana/>
- Buulolo, D. C., Soehardi, F., & Putri, L. D. (2023, October). Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Dan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Terhadap Nilai Kuat Geser. *JUTEKS: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 76-79. doi:10.32511/juteks.v8i2.1014
- Mahmud, K., Bakarbesy, D., & Atiya, A. F. (2022, December). Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Pengganti Semen Terhadap Sifat-Sifat Mekanik Beton. *Portal Sipil*, 11(2), 52-61.

- Nuari, R. A., & Hermansyah. (2023). Pemanfaatan Serat Ampas Tebu Sebagai Bahan. *JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(3), 526-532. doi: 10.31004/jutin.v6i3.15856
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. Yogyakarta: Sibuku Media.
- Octaviandy, A., Harahap, S., & Pohan, R. F. (2021, April). Analisa Perbandingan Penggunaan Pasir Sungai Bonan Dolok Dengan Pasir Sungai Paya Sordang Desa Huta Lombang Terhadap Kuat Tekan Beton. *Statika*, 4(2), 10-19.
- Pohan, R. F., & Rambe, M. R. (2022, May). Beton Ramah Lingkungan Dengan Cangkang Telur Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Metiks*, 2(1), 15-19.
- Pratama, A., & Chairina, E. (2023). Pengaruh Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Tambahan Dalam Pembuatan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil (JTSIP)*, 2(1), 118-124.
- Rahma, F. A., Munir, M., & Fauziah, L. F. (2024, April). Hubungan Pemberian ASI eksklusif, Kelengkapan Imunisasi Dasar dan Penyakit Infeksi pada Balita Usia 1-5 Tahun dengan Kejadian Wasting Di Kabupaten Tuban. *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(2), 215-225. doi:10.55123/insologi.v3i2.3437
- Rambe, M. R., Patriotika, F., Pohan, R. F., Nasution, A. S., Nasution, B. H., & Harahap, N. (2023, October). Sosialisasi Pemanfaatan Cangkang Telur Sebagai Pengganti Semen Untuk Membuat Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Nauli*, 3(1), 1-11. doi:https://doi.org/10.1234/jurnal%20nauli.v3i1.1218
- Rambe, M. R., Pohan, R. F., Nasution, A. S., & Arifitriana, W. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Ampas Tebu Merah Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(4), 375-391.
- Riyanto, P., Rahmawati, A., & Nurhidayati, A. (2017). Studi Eksperimen Kuat Lentur Beton Ramah Lingkungan Berbahan Tambah Abu Ampas Tebu dan Serat Bambu. *Seminar Nasional Pendidikan Vokasi ke 2*, 2, hal. 487-42. Semarang: Pusat Pengembangan Pendidikan Vokasi FKIP-UNS.
- Setyawan, D., & Saleh, F. (2016). Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Flow Ability dan Kuat Tekan Pada Self Compacting Concrete. *Seminar Tugas Akhir* (hal. 1-10). Yogyakarta: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Simanjuntak, S., Harahap, S., & Pohan, R. F. (2021, April). Pengaruh Penambahan Pecahan Serbuk Aqua Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Massa dan Kuat Tekan Beton. *Statika*, 4(2), 67-75.
- Tasanif, R., Isa, I., & Kunusa, W. R. (2020, July). Potensi Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Cu dan Cr. *Jamb.J.Chem*, 2(1), 33-43.
- Thabroni, G. (2021, February 12). *Metode Penelitian Eksperimen: Pengertian, Langkah & Jenis*. Dipetik July 26, 2025, dari serupa.id: <https://serupa.id/metode-penelitian-eksperimen/>
- Warsito, W., & Rahmawati, A. (2020, August). Variasi Abu Ampas Tebu dan Serat Bambu sebagai Bahan Campuran Pembuatan Beton Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(2), 109-117. doi:10.26760/jrh.v4i2.62-70