

Pengaruh Penggunaan Limbah Ampas Tebu Merah Sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan Beton

Muhammad Rahman Rambe^{1*}, Rizky Febriani Pohan², Alvi Sahrin Nasution³, Wirna Arifitriana⁴

^{1*,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara, Padangsidempuan, Indonesia

Email: ^{1*}rambe.rambemuhammad@gmail.com, ²rizkypohan813@gmail.com,

³alvinasution90@gmail.com, ⁴wirnaariv3ana@gmail.com

Abstract

The aim of this research is to determine the effect of red sugar cane bagasse waste as a cement substitute on the compressive strength of concrete and to determine the compressive strength value of concrete after adding red sugar bagasse waste as a cement substitute. This research is experimental research which begins with preparation of tools and materials, aggregate inspection, slump test, job mix design, making test objects, caring for test objects, testing concrete volume weight and ends with testing concrete compressive strength. The research results show that the addition of red sugar cane bagasse powder as a cement substitute in making concrete has an effect on the mechanical properties of concrete such as: slump value, concrete volume weight and concrete compressive strength. The average compressive strength value of concrete produced after adding 2.5% red sugar cane bagasse waste; 5%; 7.5% and 10% at 28 days are 20.95 MPa respectively; 17.15 MPa; 14.79 MPa and 11.87 MPa. Thus, red sugar bagasse waste is not recommended to be used as a cement substitute because the compressive strength value of the planned concrete is very far from normal concrete.

Keywords: Red Sugar Cane Bagasse, Compressive Strength, Substitute, Cement.

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh limbah ampas tebu merah sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton dan mengetahui nilai kuat tekan beton setelah ditambahkan limbah ampas tebu merah sebagai pengganti semen. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dimulai dengan persiapan alat dan bahan, pemeriksaan agregat, uji *slump*, *job mix design*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian berat volume beton dan diakhiri dengan pengujian kuat tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ampas tebu merah sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton berpengaruh terhadap sifat mekanik beton seperti: nilai *slump*, berat volume beton dan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton rata-rata yang dihasilkan setelah penambahan limbah ampas tebu merah 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% pada umur 28 hari masing-masing adalah 20,95 MPa; 17,15 MPa; 14,79 MPa dan 11,87 MPa. Dengan demikian, limbah ampas tebu merah tidak direkomendasikan untuk dibuat sebagai pengganti semen karena nilai kuat tekan beton yang direncanakan sangat jauh dari beton normal.

Kata Kunci: Ampas Tebu Merah, Kuat Tekan, Pengganti, Semen.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat mendorong perkembangan di bidang konstruksi bangunan yang ditandai dengan peningkatan kebutuhan perumahan, sehingga kebutuhan penggunaan beton juga ikut meningkat (Sulaiman, 2019). Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi telah lama digunakan dan masih menjadi pilihan utama sampai saat ini, karena harganya relatif lebih murah bila dibandingkan dengan bahan konstruksi lain. Di samping itu, beton juga memiliki kelebihan, yaitu: mudah dibentuk sesuai keinginan, bahan penyusun mudah didapatkan, dan hanya memerlukan sedikit perawatan.

Beton adalah campuran dari beberapa material yang diikat dengan semen, yaitu bahan pengikat lewat reaksi kimia, yang antara lain mengandung unsur silikat. Material-material penyusun beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen dan air. Dimana agregat kasar dan agregat halus tersebut memiliki porsi sebesar 75% dari campuran beton. Pemilihan material yang baik memiliki dampak yang besar terhadap sifat-sifat mekanik beton (Mahmud, Bakarbesy, & Atiya, 2022).

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, et al., 2023).

Dampak negatif penggunaan semen yang berlebihan ini juga didukung oleh penelitian Susanti (2021) yang menyatakan bahwa produksi semen yang berlebihan berpotensi dapat menyebabkan kontaminasi atau pencemaran di udara dan dapat memberikan efek kesehatan akut dan kronis terutama pada sistem pernafasan dan kinerja fungsi paru-paru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada hubungan yang signifikan antara umur, tinggi badan dan lama kerja dengan nilai spirometri FVC dan FEV₁. Terdapat hubungan yang signifikan antara risiko paparan debu area *respirable* (p value 0,014) dengan fungsi paru (FVC) dan terdapat hubungan yang signifikan antara risiko paparan debu area *respirable* (p value 0,047) dengan gejala penyakit pernapasan. Dengan demikian, terdapat hubungan yang signifikan antara risiko paparan debu semen dengan kesehatan pernapasan pekerja di *Cement Grinding and Packing PT X*.

Di sisi lain, sampah-sampah organik yang terdapat di lingkungan juga dapat menjadi limbah dan menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu sampah organik yang sering ditemukan di area perkebunan adalah ampas tebu. Ampas tebu merupakan hasil samping dari proses ekstraksi cairan tebu untuk pembuatan gula. Ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar untuk memamaskan boiler dengan suhu 550°C - 600°C dan pembakaran 4-8 jam dilakukan pengangkutan dan pengeluaran abu dari boiler (Anggrainy, Mulyadi, & Muhaimin, 2023). Untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat limbah ampas tebu, 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. Penelitian Anggrainy, Mulyadi, & Muhaimin (2023) menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar standar tanpa limbah abu ampas tebu atau normal adalah sebesar $1,28 \text{ kg/cm}^2$, nilai kuat tekan mortar dengan limbah abu ampas tebu 6% adalah $1,44 \text{ kg/cm}^2$, nilai kuat tekan mortar dengan limbah abu ampas tebu 9% kuat tekannya $1,69 \text{ kg/cm}^2$ merupakan kadar campuran optimum pada campuran ini. Nilai kuat tekan mortar dengan limbah abu ampas tebu 12% kuat tekannya $1,61 \text{ kg/cm}^2$, mortar dengan pencampuran abu ampas tebu 3% dan 6% akan meningkat dari mortar normal. Sedangkan mortar dengan pencampuran abu ampas tebu 9%, 12% dan 15% cenderung menurun dari mortar dengan pencampuran abu ampas tebu 6%. Dengan demikian, penggunaan abu ampas tebu dengan kadar 6% yaitu $165,33 \text{ kg/cm}^2$, nilai kuat tekan mortar dengan abu ampas tebu sebagai pengganti semen pada umur 28

hari dapat digunakan sebagai bahan bangunan karena sudah memenuhi standar kuat tekan.

Penelitian Nuari & Hermansyah (2023) menunjukkan bahwa 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%. Hasil penelitian menunjukkan 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, Soehardi, & Putri (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, Farras, Setiabudi, & Nurdiana (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 & 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.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dipaparkan di atas, kebaruan dalam penelitian ini adalah sampel yang diuji merupakan limbah ampas tebu merah yang berasal dari Desa Marancar, Kecamatan Batang Toru, Kabupaten Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatera Utara. Penelitian ini juga menganalisis pengaruh penggunaan limbah ampas tebu merah sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah ampas tebu merah sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton dan mengetahui nilai kuat tekan beton setelah ditambahkan limbah ampas tebu merah sebagai pengganti semen. Manfaat penelitian ini adalah sebagai referensi bagi praktisi maupun peneliti selanjutnya dalam memilih bahan material pengganti semen yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai media pengembangan ilmu Teknik Sipil khususnya bidang konstruksi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Konstruksi Beton, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan dengan beberapa tahap penelitian.

2.1.1 Tahap persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini meliputi persiapan alat dan bahan serta preparasi sampel limbah ampas tebu merah. 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 Batang Salae Desa Sironcitan dan serbuk ampas tebu merah (Pohan & Rambe, 2022).

Preparasi sampel limbah ampas tebu merah dilakukan dengan mencuci limbah ampas tebu merah yang telah dikumpulkan dan dikeringkan. Kemudian dipotong-potong menjadi potongan kecil berbentuk persegi panjang. Selanjutnya, sampel limbah ampas tebu merah yang sudah kering digiling dan ditimbang lalu diblender hingga menjadi serbuk (Tasanif, Isa, & Kunusa, 2020).

a. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I. Semen ini adalah semen yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah 49% (C_3S), 25% (C_2S), 12% (C_3A), 8% (C_4AF), 2,8% (MgO) dan 2,9% (SO_3). Semen Portland tipe I dipergunakan untuk pengerasan jalan, gedung, jembatan dan lain-lain jenis konstruksi beton yang tidak ada kemungkinan mendapat serangan sulfat dari tanah dan timbulnya panas hidrasi yang tinggi. Jenis semen Portland tipe I ini termasuk semen umum yang banyak digunakan masyarakat dan sering digunakan untuk konstruksi bangunan biasa. Semen ini merupakan salah satu jenis semen yang paling banyak dijual di pasaran (Parsika, 2024).

b. Agregat kasar dan agregat halus

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu kerikil yang berasal dari Padangsidempuan. Batu kerikil memainkan peran penting dalam konstruksi bangunan sebagai salah satu komponen material konstruksi. Dengan ukurannya yang relatif kecil, batu kerikil memberikan kekuatan dan kestabilan pada campuran beton atau aspal. Selain itu, keberadaan batu kerikil dalam struktur bangunan juga membantu meningkatkan daya tahan terhadap tekanan dan beban berat. Dalam penggunaannya sebagai bahan dasar campuran beton, batu kerikil menciptakan permukaan yang kokoh dan tahan lama. Kekasaran dan keberagaman ukuran batu kerikil memberikan stabilitas pada lapisan perkerasan, mencegah erosi, dan meningkatkan daya tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem. Selain itu, batu kerikil juga berperan sebagai filter alami untuk air, membantu mengurangi risiko genangan dan memperbaiki sistem drainase (Indonesia, 2024).

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir sungai Batang Salae Desa Sironcitan. Sesuai namanya, agregat ini berasal dari sungai. Partikel dari pasir sungai tidak terlalu kecil tetapi juga tidak terlalu besar. Butiran jenis pasir ini berukuran antara 0,063 hingga 5 milimeter. Pasir sungai dinilai memiliki daya tahan yang lebih dibanding pasir jenis lain. Karena kekuatannya tersebut, pasir sungai kerap dipakai sebagai bahan dasar pengecoran (Nasrudin, 2022).

c. Karakteristik limbah ampas tebu merah

Limbah ampas tebu merah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Desa Marancar, Kecamatan Batang Toru, Kabupaten Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatera Utara. Ampas tebu memiliki karakteristik potensial untuk dimanfaatkan sebagai pengganti semen karena ketahanan, kekuatan dan ciri khas visualnya (Hapida, 2019). Limbah ampas tebu merah yang sudah dikumpulkan dari sumbernya dibuat menjadi bentuk serbuk dengan ukuran yang kecil dan tekstur halus seperti terlihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Serbuk Ampas Tebu Merah
Sumber gambar: (masa44, 2021)

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 & 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 & Hermansyah, 2023).

2.1.3 *Job mix design*

Dalam penelitian ini, akan digunakan variasi komposisi serbuk ampas tebu merah 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 & Rambe, 2022):

Tabel 1. Komposisi Campuran Beton Per m³

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

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, Harahap, & Pohan, 2021).

Proses uji *slump* dimulai dengan membasahi cetakan kerucut abrams dan platnya dengan memakai kain basah. Kemudian meletakkan cetakan berada di atas plat dan mengisi kerucut abrams dengan 1/3 beton segar lalu dipadatkan dengan memakai batang logam secara merata dengan melakukan penusukan. Lapisan yang ditusuk pada bagian tepi dengan menggunakan besi miring sesuai dinding cetakan. Besi yang dipakai harus menyentuh pada bagian dasar sehingga perlu melakukan penusukan sekitar 25-30 x tusukan.

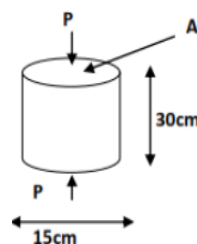
Selanjutnya, mengisi kembali cetakan kerucut dengan 1/3 bagian beton segar (2/3 beton segar dalam cetakan secara menyeluruh), lalu melakukan penusukan sebanyak 25-30 x tusukan pada lapisan pertama besi. Kemudian mengisi 1/3 beton segar ke dalam cetakan sesuai langkah sebelumnya. Setelah melakukan pemadatan, selanjutnya meratakan permukaan benda uji dan dapat menunggu kisaran waktu ½ menit. Selanjutnya, membersihkan kelebihan beton di luar cetakan dan plat selama proses menunggu. Setelah itu, mengangkat cetakan secara perlahan tegak lurus ke atas dan mengukur nilai *slump* dengan cara membalikkan kerucut abrams di sampingnya memakai beda tinggi rata-rata dari benda uji. Nilai toleransi *slump* pada beton segar kurang lebih 2 cm. Apabila nilai *slump* sudah sesuai dengan standar, maka beton segar dapat dipakai.



Gambar 2. Cara Mengukur Nilai *Slump*
Sumber gambar: (indoprecast, 2024)

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 3 di bawah ini.



Gambar 3. Benda Uji Silinder
Sumber gambar: (Pohan & Rambe, 2022)

Cara pembuatan benda uji beton berbentuk silinder dilakukan sebagai berikut:

1. Pencetakan

Pencetakan benda uji beton dilakukan dengan menempatkan cetakan pada permukaan yang datar, keras, bebas dari getaran, gangguan-gangguan lain dan sedekat mungkin dengan lokasi penyimpanan. Selanjutnya, menuangkan adukan beton dalam cetakan dengan menggunakan sekop atau sendok aduk sesekop penuh atau sesekop datar dari bejana pengaduk agar diperoleh adukan yang dapat mewakili campuran tersebut. Kemudian menusukkan sendok di seputar garis keliling lubang cetakan agar dapat dipastikan bahwa beton terdistribusi secara merata dan terhindar terjadinya segregasi. Tahap selanjutnya adalah meratakan beton dengan menggunakan batang penusuk sebelum mulai pemadatan. Kemudian memperkiraan pada akhir penuangan bahwa penambahan sejumlah adukan beton benar-benar cukup.

2. Pemadatan

Pemadatan dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu:

1) Dengan Penusukan

Memasukkan adukan beton ke dalam cetakan lapis demi lapis dengan jumlah lapisan sesuai pada penuangan akhir kelebihan tinggi tidak boleh lebih dari 6 mm. Kemudian menusuk tiap lapisan dengan batang penusuk sesuai dengan diameter silinder, jika diameter silinder 150 mm maka jumlah penusukan 25 kali, diameter silinder 200 mm maka jumlah penusukan 50 kali dan jika diameter silinder 250 mm maka jumlah penusukan 75 kali. Selanjutnya, menusuk dasar lapisan di seluruh ketebalannya dan distribusikan penusukan sesuai dengan diameter silinder. Setelah itu, memukul-mukul bagian luar cetakan pelan-pelan dengan palu kayu atau karet untuk menutup tiap lubang yang masih ada dan melepas gelembung udara yang besar-besar yang mungkin terperangkap.

2) Dengan Penggetaran

a) Penggetaran internal untuk silinder:

Membuat periode waktu getar yang seragam untuk jenis beton tertentu, alat getar dan cetakan yang terkait. Selanjutnya, mengisi cetakan dan getar dengan waktu getar yang sama untuk setiap lapisan dan hindari pengisian secara berlebihan pada penuangan terakhir kelebihan tinggi tidak boleh lebih dari 6 mm. Kemudian menusukkan alat penggetar di tiga titik yang berlainan untuk tiap lapisan dan seterusnya lakukan sesuai dengan diameter silinder dan penambahan adukan beton pada lapisan akhir setelah proses perataan tidak boleh melebihi 3 mm dan harus diratakan kembali. Selanjutnya, memukul pelan-pelan bagian luar cetakan.

b) Penggetaran eksternal:

Memastikan dengan hati-hati bahwa alat cetakan dengan mantap terikat atau teguh berhadapan dengan elemen penggetar.

3. Penyelesaian

Menghaluskan permukaan beton dengan cara memukul-mukul. Kemudian meratakan dengan roskam sampai rata dengan sisi atas cetakan dan tidak terjadi penyimpangan lebih dari 3,2 mm.

4. Penyimpanan Awal

Memindahkan benda uji segera setelah dipukul-pukul ke tempat penyimpanan sehingga tidak terganggu selama kurun waktu perawatan awal. Kemudian mengangkat

dan menopang benda uji dari bawah dengan sendok semen yang besar atau alat yang serupa, bila benda uji dibuat dalam cetakan yang penggunaannya satu per satu hendak dipindah. Selanjutnya, menandai benda uji untuk mengidentifikasi beton yang diwakilinya secara positif dan tidak mudah rusak (PU, 1998).

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, Harahap, & Pohan, 2021). Perawatan benda uji dilakukan dengan menyelimuti benda uji dengan pelat atau lembaran plastik kedap air, tidak reaktif dan membungkusnya dengan kain basah serta hindari agar tidak menyentuh permukaan beton. Melakukan perawatan pada benda uji harus menjaga kelembapan sampai saat benda uji dilepas dari cetakan dan disimpan pada atau sedekat mungkin dengan struktur dan suhu kelembapannya harus sama. Kemudian mengangkat benda uji ke laboratorium dengan lama maksimal 4 jam dan harus dilindungi dari kerusakan serta dijaga kelembapannya (PU, 1998).

2.1.7 Jumlah sampel yang digunakan

Jumlah sampel yang digunakan pada setiap variasi persentase limbah ampas tebu merah masing-masing 3 sampel. Dengan demikian, jumlah sampel yang akan diuji sebanyak 15 sampel, yaitu 3 sampel beton normal dan 12 sampel beton campuran serbuk ampas tebu merah.

2.1.8 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 & Rambe, 2022). Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk pengujian berat volume beton adalah dengan menimbang dan mencatat berat takaran (W_1). Kemudian mengisi tiap cetakan dengan benda uji tiga lapis dengan ketentuan tiap-tiap lapisan dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan lapisan pertama, tongkat tidak boleh mengenali dasar cetakan, pemadatan lapisan kedua dan ketiga, tusukan tongkat kira-kira 2,5 cm di bawah lapisan sebelumnya. Setelah selesai pemadatan, dinding cetakan diketuk perlahan-lahan sampai tidak tampak gelembung-gelembung udara pada permukaan serta rongga-rongga bekas tusukan tertutup. Selanjutnya, meratakan permukaan benda uji dengan sendok semen dan menentukan beratnya. Perhitungan berat volume beton sesuai dengan rumus 1 berikut ini.

$$D = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (1)$$

Dimana: W_1 = berat cetakan (gr), W_2 = berat cetakan + beton (gr), V = volume cetakan (cm^3) (Abadi, 2018)

2.1.9 Pengujian kuat tekan beton

Masing-masing variasi komposisi serbuk ampas tebu merah dibuat menjadi 3 sampel, sehingga total sampel keseluruhan adalah 15 sampel dan kuat tekan betonnya diuji setelah 28 hari. Tahapan-tahapan melakukan uji kuat tekan beton adalah menyiapkan cetakan silinder dengan ukuran tinggi 30 cm serta diameter 15 cm untuk melakukan kuat tekan beton silinder. Cetakan ini berfungsi untuk mencetak beton yang nantinya akan dimasukkan ke mesin. Agar beton dengan mudah lepas dari cetakan, maka cetakan harus dilapisi dengan pelumas. Setelah selesai melapisi cetakan, selanjutnya memasukan

adukan beton yang formulanya nanti akan digunakan dalam konstruksi bangunan. Kemudian menuangkan adukan beton dalam tiga lapis. Untuk setiap lapisan beton yang masuk, ditusuk pada tiap lapisan beton sebanyak 25 kali untuk memadatkan beton.

Setelah itu, bagian atas diratakan dari cetakan adukan dan kemudian cetakan ditutup. Jika sudah selesai, sampel diberikan label yang berisi tentang waktu pembuatan beton dari tanggal hingga jam pembuatan. Adukan beton dibiarkan mengering dan mengeras sekitar 24 jam. Setelah itu, silinder beton yang telah di lepaskan dari cetakan dibawa ke laboratorium atau tempat pengujian. Kemudian mesin kompresor yang akan digunakan untuk pengujian kuat tekan beton disiapkan. Selanjutnya, beton silinder dimasukkan dan mesin kompresor dinyalakan. Lalu mesin ini akan secara bertahap memberikan tekanan pada beton untuk pengujian kekuatannya. Pengujian oleh mesin ini dilakukan hingga beton silinder yang dibuat menjadi hancur.

Untuk pengumpulan data, tingkat maksimum dari tekanan yang beton dapatkan dari mesin kompresor dicatat. Setelahnya kekuatan beton dihitung dengan menggunakan rumus standar tekanan beton dan akan diperoleh hasil uji kuat tekan beton. Pengujian ini diulangi terhadap silinder beton dari adukan yang sama pada hari yang berbeda dan setiap hasil pengujian dicatat secara terperinci (Asia, 2023). Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus 2 berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A} (2)$$

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, Munir, & Fauziah, 2024). Dimana data-data tersebut akan dianalisis dengan memplotkan antara sumbu x (variasi komposisi serbuk ampas tebu merah yang digunakan) dan sumbu y (nilai kuat tekan beton rata-rata yang diperoleh pada setiap variasi) untuk mencari pengaruh penambahan limbah ampas tebu merah 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:

$$Y = a + b_x \quad (3)$$

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 4 dan 5 sebagai berikut:

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

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (5)$$

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 merah 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 merah 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)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

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

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Parameter	Hasil	Standar	Keterangan
Gradasi	2,99	Maksimum 4,76	Memenuhi standar
Kadar lumpur	86%	> 70%	Memenuhi standar
Berat jenis	2,61	Minimal 2,5	Memenuhi standar
Penyerapan terhadap air	1,44	Maksimal 3	Memenuhi standar
Berat volume	1,82	Minimal 1	Memenuhi standar
Abrasi	20,66%	< 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.

3.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai pada penelitian ini adalah pasir sungai Batang Salae yang berasal dari Desa Sironcitan. Hasil pemeriksaan agregat halus tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

Parameter	Hasil	Standar	Keterangan
Gradasi	3,05	Maksimum 4,76	Memenuhi standar
Kadar lumpur	94%	> 70%	Memenuhi standar
Berat jenis	2,65	Minimal 2,5	Memenuhi standar
Penyerapan terhadap air	1,71	Maksimal 3	Memenuhi standar
Berat volume	1,37	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.

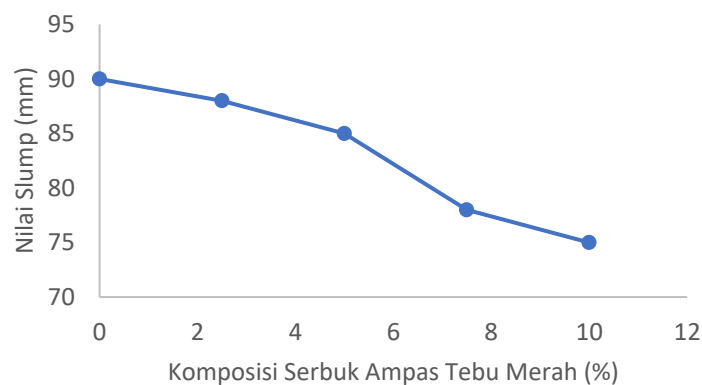
3.3 Hasil Uji Slump

Uji *slump* dilakukan untuk mengetahui workabilitas dari campuran beton (Octaviandy, Harahap, & Pohan, 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 SATM	Nilai <i>Slump</i> (mm)
0%	90
2,5%	88
5%	85
7,5%	78
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 & Rambe, 2022). Berdasarkan Tabel 4 juga didapatkan nilai *slump* pada variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10%, berturut-turut yaitu 90 mm, 88 mm, 85 mm, 78 mm dan 75 mm. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Komposisi SATM Dengan Nilai *Slump*

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah serbuk ampas tebu merah akan menyebabkan penurunan nilai *slump* di setiap penambahan variasinya. Nilai *slump* tertinggi terdapat pada variasi 0% sebesar 90 mm, dan selanjutnya dengan semakin ditambahkan variasi serbuk ampas tebu merah menunjukkan nilai *slump*

yang semakin menurun. 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 & Hermansyah, 2023).

Penurunan *workability* beton akibat penambahan serbuk ampas tebu merah terjadi karena pemakaian serbuk ampas tebu merah dalam berat yang sama dengan semen memiliki volume yang lebih besar sehingga menyebabkan penyerapan air juga semakin besar dan menyebabkan kurang mengikatnya pasta dengan agregat kasar (Akbar, Djauhari, & Suryanita, 2019).

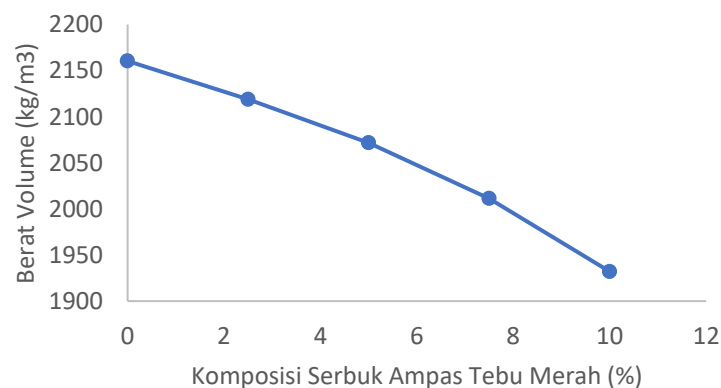
3.4 Hasil Pengujian Berat Volume Beton

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

Tabel 5. Rata-Rata Berat Volume Beton

Variasi SATM	Berat Kering Rata-Rata (kg)	Rata-Rata Berat Volume Beton (kg/m ³)
0%	11,45	2160,377
2,5%	11,23	2118,868
5%	10,98	2071,698
7,5%	10,66	2011,321
10%	10,24	1932,075

Dari Tabel 2 didapatkan bahwa nilai berat volume dari masing-masing variasi yaitu pada variasi 0% = 2160,377 kg/m³, 2,5% = 2118,868 kg/m³, 5% = 2071,698 kg/m³, 7,5% = 2011,321 kg/m³, dan pada variasi 10% = 1932,075 kg/m³ pada umur beton 28 hari berat volume beton dihitung dengan persamaan, berat yang digunakan dalam perhitungan yaitu berat rata-rata setiap jenis campuran. Dari Tabel 2 di atas maka dibuat grafik hubungan sehingga lebih mudah untuk mengetahui bentuk dari naik atau turunnya setiap variasi.



Gambar 5. Grafik Hubungan Komposisi SATM Dengan Berat Volume

Berdasarkan Gambar 5 rata-rata berat volume beton pada penelitian ini berkisar 1932,075 kg/m³ sampai 2160,377 kg/m³. Nilai berat volume tertinggi terdapat pada variasi 0% yaitu sebesar 2160,377 kg/m³ dan mengalami penurunan seiring dengan ditambahkan variasi serbuk ampas tebu merah. Hal ini disebabkan karena beton yang seharusnya diisi oleh agregat dan pasta, akan tetapi diisi oleh serbuk ampas tebu merah. Dalam ampas tebu merah ini terdapat rongga pada serbuk itu sendiri, yang menyebabkan beton menjadi semakin ringan (Nuari & Hermansyah, 2023).

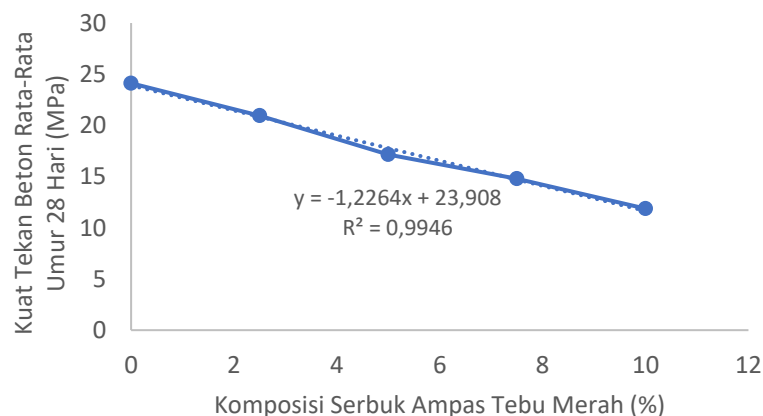
3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

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 Umur 28 Hari

Variasi SATM	Kode Sampel	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)	Standar Deviasi
0%	BN1	24,08	24,12	0,0464
	BN2	24,13		
	BN3	24,15		
2,5%	BSATM 2,51	20,95	20,95	0,0122
	BSATM 2,52	20,94		
	BSATM 2,53	20,96		
5%	BSATM 51	17,19	17,15	0,0505
	BSATM 52	17,12		
	BSATM 53	17,14		
7,5%	BSATM 7,51	14,82	14,79	0,0346
	BSATM 7,52	14,78		
	BSATM 7,53	14,77		
10%	BSATM 101	11,89	11,87	0,0308
	BSATM 102	11,88		
	BSATM 103	11,84		

Dari Tabel 6 didapatkan bahwa nilai kuat tekan beton rata-rata pada variasi 0% yaitu 24,12 MPa; 2,5% = 20,95 MPa; 5% = 17,15 MPa; 7,5% = 14,79 MPa; dan pada variasi 10% adalah 11,87 MPa pada umur 28 hari. Untuk lebih sederhana dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Rata-Rata Umur 28 Hari

Gambar 6. Grafik Hubungan Komposisi SATM Dengan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 6, hubungan kuat tekan beton dengan variasi penambahan serbuk ampas tebu merah menghasilkan kuat tekan beton tertinggi pada variasi 0% yaitu 24,12 MPa. Kuat tekan beton rata-rata mengalami penurunan pada setiap penambahan variasi serbuk ampas tebu merah, hal ini disebabkan oleh ampas tebu merah memiliki rongga pada serbuk itu sendiri yang menyebabkan serbuk ampas tebu merah dapat menyerap air lebih besar sehingga terjadi penggumpalan pada adukan beton dan membentuk bola berongga yang tentunya dapat mengurangi kekuatan pada beton (Nuari & Hermansyah, 2023). Penurunan kuat tekan beton setelah penambahan serbuk ampas tebu merah juga terjadi karena reaksi pozzolan dengan Ca(OH)_2 belum terjadi secara

sempurna pada umur 28 hari, sehingga kontribusinya terhadap kekuatan beton membutuhkan waktu yang lebih panjang (Saputra, Gunawan, & Safarizki, 2019).

3.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian agregat yang telah dilakukan menunjukkan bahwa agregat kasar dan agregat halus yang digunakan sebagai bahan campuran beton telah memenuhi standar untuk digunakan. Hal ini dapat dilihat dari penilaian terhadap gradasi, kadar lumpur, berat jenis, penyerapan terhadap air, berat volume dan abrasi. Agregat kasar memiliki gradasi 2,99; kadar lumpur 86%; berat jenis 2,61; penyerapan terhadap air 1,44; berat volume 1,82 dan abrasi 20,66%. Sedangkan agregat halus memiliki gradasi 3,05; kadar lumpur 94%; berat jenis 2,65; penyerapan terhadap air 1,71 dan berat volume 1,37. Hasil pengujian agregat yang diperoleh ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Kurniasari, Saleh, & Sugiarto (2018) yang menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan memiliki berat jenis 2,80; berat volume 1,60 dan abrasi 21,52. Sementara itu, agregat halus yang digunakan memiliki berat jenis 2,80.

Hasil pengujian agregat pada penelitian ini juga didukung oleh hasil penelitian Fauziah, Kushari, & Ranski (2014) yang menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan memiliki berat jenis 2,64 dan penyerapan terhadap air 1,73. Penelitian Alfitroh, Farras, Setiabudi, & Nurdiana (2024) juga menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitiannya memiliki gradasi 2,35 dan kadar lumpur 96%. Penelitian Anggrainy, Mulyadi, & Muhaimin (2023) juga menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitiannya memiliki gradasi 2,86 dan berat jenis 2,55.

Hasil uji *slump* pada masing-masing variasi penambahan serbuk ampas tebu merah sebagai pengganti semen menunjukkan penurunan nilai *slump*. Artinya semakin banyak serbuk ampas tebu merah yang ditambahkan pada beton, maka nilai *slump* yang dihasilkan semakin kecil atau variasi penambahan serbuk ampas tebu merah berbanding terbalik dengan nilai *slump*. Hal ini sejalan dengan penelitian Nuari & Hermansyah (2023) yang menunjukkan semakin ditambahkan variasi serat ampas tebu menunjukkan nilai *slump* yang semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi variasi serat ampas tebu yang disubstitusi terhadap berat semen dengan nilai FAS yang sama akan menurunkan tingkat *workability* dari beton. Penurunan *workability* beton akibat penambahan serbuk ampas tebu merah terjadi karena pemakaian serbuk ampas tebu merah dalam berat yang sama dengan semen memiliki volume yang lebih besar sehingga menyebabkan penyerapan air juga semakin besar dan menyebabkan kurang mengikatnya pasta dengan agregat kasar (Akbar, Djauhari, & Suryanita, 2019).

Hasil pengujian berat volume beton pada masing-masing variasi penambahan serbuk ampas tebu merah sebagai pengganti semen menunjukkan penurunan berat volume beton. Artinya semakin banyak serbuk ampas tebu merah yang ditambahkan pada beton, maka berat volume beton yang dihasilkan semakin kecil atau variasi penambahan serbuk ampas tebu merah berbanding terbalik dengan berat volume beton. Hal ini sejalan dengan penelitian Nuari & Hermansyah (2023) yang menunjukkan semakin ditambahkan variasi serat ampas tebu menunjukkan berat volume beton yang semakin menurun. Hal ini disebabkan karena beton yang seharusnya diisi oleh agregat dan pasta, akan tetapi diisi oleh serat ampas tebu. Dalam ampas tebu ini terdapat rongga pada serbuk itu sendiri, yang menyebabkan beton menjadi semakin ringan.

Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari pada masing-masing variasi penambahan serbuk ampas tebu merah sebagai pengganti semen menunjukkan penurunan kuat tekan beton rata-rata. Artinya semakin banyak serbuk ampas tebu merah yang ditambahkan pada beton, maka kuat tekan beton rata-rata yang dihasilkan semakin kecil atau variasi penambahan serbuk ampas tebu merah berbanding terbalik dengan kuat tekan

beton. Hal ini sejalan dengan penelitian Nuari & Hermansyah (2023) yang menunjukkan semakin ditambahkan variasi serat ampas tebu menunjukkan kuat tekan beton rata-rata umur 28 hari yang semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh ampas tebu memiliki rongga pada serat itu sendiri yang menyebabkan serat ampas tebu dapat menyerap air lebih besar sehingga terjadi penggumpalan pada adukan beton dan membentuk bola berongga yang tentunya dapat mengurangi kekuatan pada beton.

Penelitian Mahmud, Bakarbesy, & Atiya (2022) menunjukkan bahwa berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik beton, diperoleh kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan Abu Ampas Tebu (AAT) di atas 5% nilai mekanik beton mengalami penurunan sehingga tidak disarankan menggunakan abu ampas tebu sebagai bahan pengganti semen. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat dijelaskan bahwa pemanfaatan limbah ampas tebu merah 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 merah yang lain, kecuali 0%.

Walaupun kuat tekan beton yang dihasilkan oleh serbuk ampas tebu merah dengan persentase 0% paling tinggi, menunjukkan bahwa komposisi tersebut tidak mengandung serbuk ampas tebu merah (100% semen) sehingga masih belum ramah lingkungan. Dengan demikian, disarankan untuk membuat beton ramah lingkungan dari serbuk ampas tebu merah dengan persentase campuran 2,5% agar hasil yang diharapkan maksimal (Pohan & Rambe, 2022). Hal ini sejalan dengan penelitian Alfitroh, Farras, Setiabudi, & Nurdiana (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 hasil-hasil penelitian yang telah dipaparkan di atas menunjukkan bahwa terdapat persamaan dan perbedaan hasil penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Persamaannya dapat dilihat bahwa penambahan serbuk ampas tebu merah sebagai pengganti semen dapat menurunkan sifat mekanik beton seperti: nilai *slump*, berat volume beton dan kuat tekan beton. Sedangkan perbedaannya dapat dilihat dari preparasi sampel yang digunakan. Pada penelitian ini, sampel limbah ampas tebu yang digunakan berbentuk serbuk sedangkan pada penelitian sebelumnya berbentuk serat dan abu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa korelasi antara komposisi serbuk ampas tebu merah dengan kuat tekan beton ($R^2 = 0,9964$) lebih baik dari hasil penelitian sebelumnya ($R^2 = 0,9178$) (Nuari & Hermansyah, 2023).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk ampas tebu merah sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton berpengaruh terhadap sifat mekanik beton seperti: nilai *slump*, berat volume beton dan kuat tekan beton karena menurunkan tingkat workabilitas beton, membuat rongga pada beton dan menyerap banyak air. Nilai kuat tekan beton rata-rata yang dihasilkan setelah penambahan limbah ampas tebu merah 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% pada umur 28 hari masing-masing adalah 20,95 MPa; 17,15 MPa; 14,79 MPa dan 11,87 MPa. Dengan demikian, limbah ampas tebu merah tidak direkomendasikan untuk dibuat sebagai pengganti semen karena nilai kuat tekan beton yang direncanakan sangat jauh dari beton normal. Untuk penelitian selanjutnya, limbah serbuk ampas tebu merah ini dapat dicampur dengan bahan aditif pengganti semen lainnya yang dapat meningkatkan mutu beton agar sesuai dengan beton rencana dan ramah terhadap lingkungan.

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

- Abadi, A. A. (2018, February 19). *Berat Isi Beton*. Dipetik July 19, 2024, dari Aneka Alam Abadi Website: <https://jualbuisbeton.com/berat-isi-beton/>
- Akbar, I., Djauhari, Z., & Suryanita, R. (2019). Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Sifat Mekanik Beton Campuran Beton Normal. *Jom FTEKNIK*, 6(1), 1-8. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/22716/21985>
- 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
- Anggrainy, R., Mulyadi, A., & Muhaimin, A. (2023). Pemanfaatan Limbah Abu Ampas Tebu Sebagai Pengganti Semen Untuk Campuran Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 13(2), 166-173. doi:10.36546/tekniksipil.v13i2.1091
- 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/>
- Asia, G. T. (2023, June 27). *Apa Itu Uji Kuat Tekan Beton? Pengertian Dan Cara Mengujinya*. Dipetik July 19, 2024, dari garudatesting.co.id: <https://garudatesting.co.id/kuat-tekan-beton/>
- 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-sederhana/>
- Buulolo, D. C., Soehardi, F., & Putri, L. D. (2023). 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
- Fauziah, M., Kushari, B., & Ranski, F. (2014). Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pengganti Terhadap Karakteristik Marshall Campuran Superpave. *The 17th FSTPT International Symposium*. 17, hal. 912-925. Jember: Jember University. Dipetik June 26, 2024
- Hapida, Y. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) Di Kota Palembang Dan Sumbangsihnya Pada Mata Pelajaran Biologi Di SMA. *Bioilmi*, 5(1), 23-28. doi:10.19109/bioilmi.v5i1.3508
- Indonesia, L. G. (2024, January 1). *Kenapa harus Batu Kerikil?* Dipetik July 18, 2024, dari lightgroupindonesia.com: <https://lightgroupindonesia.com/batu-kerikil/>
- indoprecast. (2024, January 1). *Slump Beton Dan Tahap Pengujian*. Dipetik July 18, 2024, dari indoprecast.com: <https://indoprecast.com/slump-beton-dan-tahap-pengujian/>
- Kurniasari, F. D., Saleh, S. M., & Sugiarto. (2018). Pengaruh Filler Abu Ampas Tebu (AAT) Dengan Bahan Pengikat Aspal Pen 60/70 Pada Campuran Laston AC-WC. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan (JARSP)*, 1(4), 69-78. doi:10.24815/jarsp.v1i1.12457

- Mahmud, K., Bakarbesy, D., & Atiya, A. F. (2022). Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai Bahan Pengganti Semen Terhadap Sifat-Sifat Mekanik Beton. *Portal Sipil*, 11(2), 52-61. <https://doi.org/10.58839/portal.v1i2.1165>
- masa44. (2021, November 16). *Bubuk gula tebu coklat dan gula batu dengan latar belakang putih*. Dipetik July 18, 2024, dari istockphoto.com: <https://www.istockphoto.com/id/foto/bubuk-gula-tebu-coklat-dan-gula-batu-dengan-latar-belakang-putih-view-dari-atas-gm1353366540-428486038>
- Nasrudin, F. (2022, November 2). *Macam-macam Pasir Bangunan beserta Fungsi, Karakter, & Kualitas*. Dipetik July 18, 2024, dari tirto.id: <https://tirto.id/macam-macam-pasir-bangunan-beserta-fungsi-karakter-kualitas-gyag>
- 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
- Octaviandy, A., Harahap, S., & Pohan, R. F. (2021). Analisa Perbandingan Penggunaan Pasir Sungai Bonan Dolok Dengan Pasir Sungai Paya Sordang Desa Huta Lombang Terhadap Kuat Tekan Beton. *Statika*, 4(2), 10-19. <https://jurnal.ugn.ac.id/index.php/statika/article/view/762/577>
- Parsika. (2024, July 3). *Jenis dan Tipe Semen Portland serta Perbedaannya*. Dipetik July 18, 2024, dari Arsitur.com Studio: <https://www.arsitur.com/2019/04/jenis-portland-cement-yang-beredar.html>
- Pohan, R. F., & Rambe, M. R. (2022). Beton Ramah Lingkungan Dengan Cangkang Telur Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Metiks*, 2(1), 15-19. doi:10.30598/metiks.2022.2.1.15-19
- PU, P. B. (1998, October 3). *SNI 03-4810-1998 Tentang Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Di Lapangan*. Dipetik July 2024, 2024, dari Pusjatan Balitbang PU: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lauwtjunnji.weebly.com/uploads/1/0/1/7/10/171621/sni-03-4810-1998_metode_pembuatan_dan_perawatan_benda_uji_beton_di_lapangan.pdf
- Rahma, F. A., Munir, M., & Fauziah, L. F. (2024). 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). 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>
- Saputra, E. B., Gunawan, L. I., & Safarizki, H. A. (2019). Pengaruh Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton Sebagai Bahan Tambah dalam Pembuatan Beton Normal. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (Modulus)*, 1(2), 67-71. doi:10.32585/modulus.v1i2.589
- Simanjuntak, S., Harahap, S., & Pohan, R. F. (2021). Pengaruh Penambahan Pecahan Serbuk Aqua Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Massa dan Kuat Tekan Beton. *Statika*, 4(2), 67-75. <https://jurnal.ugn.ac.id/index.php/statika/article/view/768/582>
- Sulaiman, F. (2019). Pemanfaatan Abu Ampas Tebu dan Polimer Alam Lateks Sebagai Bahan Substitusi Pembuatan Beton Polimer Ramah Lingkungan. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 5(2), 7-12. doi:<http://dx.doi.org/10.36055/fwl.v1i1.6419>
- Susanti, W. E. (2021). *Analisis Risiko Paparan Debu Semen Terhadap Kesehatan Pernapasan Pada Pekerja di Cement Grinding and Packing PT. X*. Universitas Sriwijaya, Fakultas Kesehatan Masyarakat. Palembang: Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat (S2).
- Tasanif, R., Isa, I., & Kunusa, W. R. (2020). Potensi Ampas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat Cd, Cu dan Cr. *Jamb.J.Chem*, 2(1), 33-43. doi:10.34312/jambchem.v2i1.2608
- Warsito, W., & Rahmawati, A. (2020). 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