

Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Serbuk Kulit Kayu Galam

Budi Kurniawan¹ Ines Saraswati Machfiroh¹
Intan Safitri¹

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Tanah Laut

✉ budikurniawan@politala.ac.id

Pembangunan infrastruktur di Provinsi Kalimantan Selatan akan terus meningkat khususnya pada Kabupaten Tanah Laut. Hal ini terjadi mengingat Kabupaten Tanah Laut merupakan Kabupaten yang direncanakan memiliki Kawasan Industri Strategis Nasional yang terletak di Kecamatan Jorong. Maka diperlukannya bahan material untuk mendukung pelaksanaan pembangunan kawasan industri tersebut. Selain itu, Kabupaten Tanah Laut dikenal dengan daerah penjual kayu galam yang sebagian hanya dipergunakan berupa batangnya saja dan untuk kulit kayu galam tidak ada nilai ekonomisnya hanya menghasilkan sampah yang biasa ditumpuk atau dibakar. Di Kecamatan Jorong juga terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menghasilkan limbah B3 dalam jumlah cukup banyak sekitar 120 ton per hari setiap pengoperasian PLTU tersebut. Diharapkan dalam pemenuhan bahan material pembangunan kawasan industri tersebut dapat memanfaatkan limbah yang ada di sekitar seperti beton geopolimer. Dalam pembuatan beton geopolimer dilakukan penggantian bahan baku semen oleh Fly Ash yang dicampurkan dengan alkali aktivator dan penambahan campuran dengan serbuk kulit kayu galam dengan perbandingan 74:26 antara Fly Ash dan alkali aktivator dalam bahan pengganti semen. Dan perbandingan antara Fly Ash dan alkali aktivator dengan serbuk kulit kayu galam sebanyak 75:25. Hasil dari analisa kuat tekan beton umur 28 hari didapatkan hasil rata-rata paling tinggi adalah kuat tekan campuran beton normal tanpa ada pengganti semen dengan Fly Ash dan serbuk kulit kayu galam sebesar 21,153 MPa.

Kata kunci: beton geopolimer, Fly Ash, kuat tekan, serbuk kulit kayu galam

Diajukan: 7 November 2023

Direvisi: 27 Februari 2024

Diterima: 3 April 2024

Dipublikasikan online: 4 April 2024

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur terus berkembang di Provinsi Kalimantan Selatan, khususnya di Kabupaten Tanah Laut, mulai dari konstruksi jalan, konstruksi jembatan, konstruksi bendungan, konstruksi irigasi, hingga pekerjaan konstruksi pelindung pantai. Mengingat tujuan pembangunan infrastruktur fisik pada konstruksi yang berbeda-beda, maka dukungan pasokan bahan bangunan dalam jumlah besar dalam kebutuhan pembangunan termasuk beton. Harus diakui sampai dengan saat ini beton masih menjadi bahan konstruksi utama karena bahan ini mempunyai banyak keunggulan yang menonjol dibandingkan bahan konstruksi lainnya.

Keunggulan dari material beton, yaitu kuat tekan yang tinggi dan tahan terhadap api. Selain itu beton juga mempunyai kelemahan seperti (1) kuat tarik yang

rendah, (2) untuk menjadi suatu struktur, bahan-bahan penyusun beton harus dicampur, dicetak dan diolah hingga mencapai kuat tarik tekan yang diinginkan, (3) biaya pembuatan cetakan beton cukup mahal, (4) kemungkinan munculnya keretakan pada beton akibat penyusutan beton dan beban hidup, (5) mutu beton yang dihasilkan tergantung pada proses produksi pencampuran pada saat pengecoran beton. (Purwanto & Cakra Wardani, 2020)

Beton yang berkualitas baik memiliki beberapa keunggulan seperti kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap karat atau pembusukan akibat kondisi lingkungan, dan tahan terhadap cuaca buruk (panas, dingin, terik matahari, hujan). Beton juga mempunyai beberapa kelemahan seperti kuat tarik yang rendah (Polopadang et al., 2023), muai dan susut bila terjadi perubahan suhu, sulit kedap air secara sempurna, dan rapuh (Tjokrodiluljo, 1996). Untuk mengatasi

Cara mensitasi artikel ini:

Kurniawan, B., Machfiroh, I.S., Safitri, I. (2024) Analisis Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Serbuk Kulit Kayu Galam. *Buletin Profesi Insinyur*, 7(1), 039-044



This is an open access article under the CC BY-NC-SA license

kekurangan tersebut, diperlukannya inovasi material terhadap beton dengan geopolimer.

Berdasarkan BPSILHK Banjarbaru (2019), Pohon Galam (*melaleuca cajuputi subsp. cumingiana*) adalah tanaman berkayu asli rawa yang tumbuh di hutan lahan gambut dangkal, menjadi tumpuan kehidupan masyarakat Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan. Salah satu kelebihan dari kayu galam adalah merupakan sumber daya alam yang berkelanjutan yaitu sumber yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan, dapat mengurangi ketergantungan pada bahan-bahan non-daur ulang (RVJ, 2023) dan kayu galam memberikan kekuatan mekanis yang memadai pada beton. Selain itu, salah satu kekurangannya ialah daya tahan terhadap serangan organisme dengan rentan terhadap serangan serangga atau pembusukan jika tidak diolah dengan benar yang dapat mempengaruhi masa pakai beton yang dibuat dengan bahan kayu galam.

Kabupaten Tanah Laut memiliki kawasan industri yang terletak di Kecamatan Jorong Desa Asam-asam. Di kawasan ini banyak industri yang beroperasi, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) UPSK Asam-Asam milik PT. PLN Persero. Dalam penelitian Haryanti (2014), keluaran *Fly Ash* harian dari proses pembakaran pembangkit PLTU Asam-Asam bisa mencapai ± 120 ton. Jumlah sampah akan terus bertambah dan menumpuk jika tidak dimanfaatkan di kemudian hari.

Fly Ash tergolong limbah B3 karena mengandung oksida logam berat yang akan terlarut dan mencemari lingkungan. Yang dimaksud dengan Bahan Berbahaya dan Beracun atau biasa disingkat (B3), adalah sisa suatu usaha dan/atau operasi yang mengandung bahan berbahaya dan beracun, karena sifat atau konsentrasi dan kuantitasnya, baik langsung maupun tidak langsung jumlahnya dapat menimbulkan pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup dan dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, dan kelangsungan hidup manusia dan organisme lain. *Fly Ash* ini ditemukan dalam jumlah yang cukup besar sehingga perlu dikelola sesuai ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 terkait dengan penyelenggaraan pengelolaan dan perlindungan lingkungan hidup, salah satunya pengelolaan *Fly Ash* dan *bottom ash*. Limbah tersebut dapat dimanfaatkan secara luas dan luas tanpa menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pencemaran udara atau air dan penurunan kualitas ekosistem dikarenakan masuk dalam golongan limbah B3. Sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengganti dari semen atau agregat dalam campuran beton geopolimer (Tambingon et al., 2018).

Menurut Ilyas et al., (2022); Salain et al., (2020), beton geopolimer merupakan jenis beton yang tidak menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya melainkan menggunakan *fly ash* sebagai bahan penggantinya. Sebagai aktivator digunakan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan larutan basa dengan

menggunakan natrium hidroksida (NaOH) memudahkan proses ikatan antar partikel (Kurniasari Tri & Rosyid, 2014; Prasetyo et al., 2015). Dalam penelitian Ridwan (2018) didapatkan bahwa komposisi optimal pada perbandingan alkali activator *fly ash* antara natrium silikat dan natrium hidroksida adalah 4:2 atau 2:1 dengan mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 43 MPa. Penelitian yang dilakukan oleh (Iftah, 2022) didapatkan kuat tekan beton geopolimer yang tertinggi pada umur benda uji 28 hari yaitu beton geopolimer normal pada perbandingan 75: 25 N (5:2) sebesar 15,1168 MPa dan beton geopolimer menggunakan abu sekam padi dan abu ampas kopi dengan perbandingan 70:30 (5:2) sebesar 20,6653 MPa. Akan tetapi dalam penelitian (Sulianti et al., 2021) dengan menggunakan 4 variasi kombinasi *fly ash* dan abu sekam (100% FA: 0%ASP, 75% FA:25%ASP, 50%FA:50%, dan 25%FA:75% ASP) dengan perbandingan larutan alkali 5:1 pada umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari didapatkan hasil penelitian bahwa nilai kuat tekan beton geopolimer 100% FA:0% ASP dengan nilai 395, 643 kg/cm² umur 28 hari. Variasi lainnya mengalami penurunan nilai kuat tekan terhadap beton normal sehingga abu sekam padi menjadi kurang tepat digunakan sebagai bahan pengganti semen pada beton geopolimer. Selain *fly ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti semen, ada juga bubuk cangkang ampas tebu yang digunakan dalam produksi beton geopolimer yang kuat tekan dan modulus elastisitasnya telah diuji oleh (Thifari, 2015).

Saat memproduksi beton geopolimer, agregat kasar dan agregat halus akan dipertimbangkan, yang memungkinkan penggunaannya dalam hal kondisi/kualitas dan kuantitas. Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah pasir sungai, agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah lokal dan limbah kulit kayu galam. Limbah serbuk kulit kayu galam dimanfaatkan sebagai bahan tambahan campuran beton. Namun untuk mencapai hasil yang optimal perlu diambil data sekunder dari data desain komposit, sedangkan data primer diperoleh dari perlakuan kayu galam dengan serbuk kulit galam.

Metode

Dalam penelitian ini, sampel yang menjadi objek penelitian merupakan beton dengan menggunakan abu terbang (*Fly Ash*) dengan bahan tambahan kulit kayu galam sebagai pengganti semen secara keseluruhan yang direaksi dengan alkali aktivator berupa larutan NaOH dan Natrium Silikat (*waterglass*). Sampel beton menggunakan perbandingan antara agregat dan pasta sebesar 75 : 25 (Ridwan, 2018) dengan agregat kasar 59% dan agregat halus 41%. Kemudian untuk pasta (binder) menggunakan faktor $w/f_a = 0,25$, sedangkan perbandingan antara *Fly Ash* dengan aktivator sebesar 74 : 26 yang dapat dilihat pada Gambar 1. Penambahan serbuk kulit galam dalam campuran beton geopolimer yaitu perbandingan antara *Fly Ash* dan serbuk kulit kayu

galam sebesar 75 : 25 yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pada penelitian ini perbandingan Na_2SiO_3 : NaOH sebesar 2 : 1. Sampel benda uji berbentuk silinder. Silinder yang digunakan dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm yang akan diuji kuat tekan pada umur 28 hari. Komposisi campuran beton per 1m^3 dirangkum pada Tabel 1, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 1
Pencampuran NaOH dan Na_2SiO_3



Gambar 2
Campuran beton geopolimer

Metode penelitian meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Langkah-langkah persiapan meliputi pengumpulan bahan baku, pemeriksaan kualitas bahan baku dan pemeriksaan peralatan pengujian untuk memastikan kesesuaian dengan standar yang berlaku.
2. Tahap pengolahan benda yang akan diuji meliputi pengolahan aktivator alkali, pengujian nilai *slump* dan *slump flow* untuk benda uji bentuk silinder.

Campuran beton normal

- Masukkan semen dan agregat halus ke dalam wadah pencampur kemudian gunakan cetok untuk mengaduk hingga adonan homogen.
- Tambahkan agregat kasar dan aduk hingga diperoleh campuran homogen. Lanjutkan mengaduk sambil menambahkan air pencampur sedikit demi sedikit.
- Setelah menambahkan semua air pencampur ke dalam wadah pengaduk, lanjutkan pengadukan hingga beton menjadi homogen.

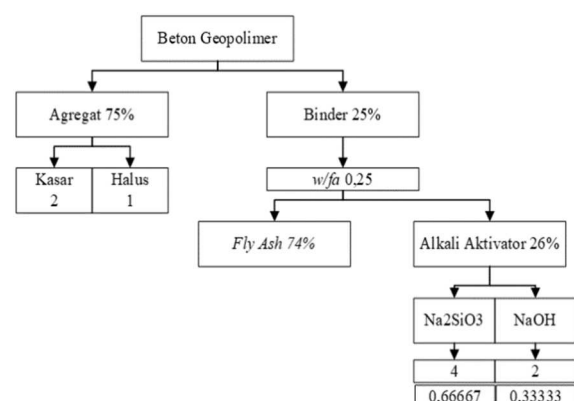
Pencampuran beton geopolimer

- Masukkan agregat halus dan agregat kasar ke dalam wadah pencampur kemudian gunakan cetok untuk mengaduk rata hingga adonan homogen.
- Tambahkan campuran geopolimer dan aduk hingga adonan homogen, campuran geopolimer merupakan campuran natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan menambahkan air.

- Setelah menambahkan semua air pencampur ke dalam wadah pengaduk, lanjutkan pengadukan hingga beton menjadi homogen.
3. Langkah-langkah pemeriksaan sifat-sifat benda uji, termasuk pemeriksaan kuat tekan beton pada umur 28 hari.
 - Tahap pengumpulan data hasil pengujian beton di laboratorium.
 - Tahap pengolahan data meliputi analisis hasil tes dan peninjauan kesimpulan.

Tabel 1 Komposisi campuran beton per 1m^3

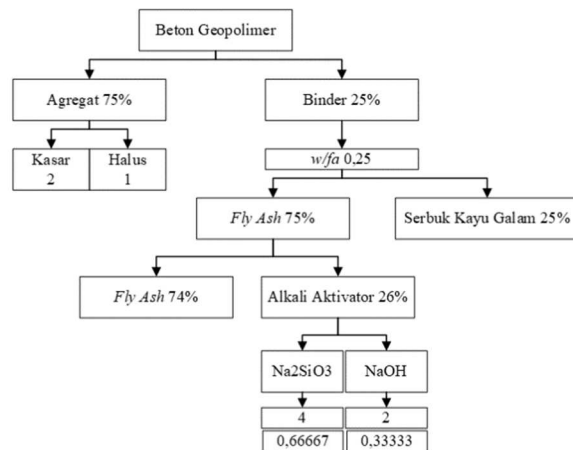
Material	Satuan	Beton Normal	Beton Geopolimer (Fly Ash)	Beton Geopolimer
Semen	(Kg)	341,50	-	-
Fly Ash	(Kg)	-	1004,55	1004,55
Natrium Hidroksida (NaOH)	(Kg)	-	117,65	117,65
Natrium Silikat (Na_2SiO_3)	(Kg atau Liter)	-	235,30	235,30
Serbuk Kulit Kayu Galam	(Kg)	-	-	452,5
Air	(Kg atau Liter)	204,90	-	204,90
Agregat Halus	(Kg)	749,73	-	749,73
Agregat Kasar	(Kg)	1078,87	-	1078,87



Gambar 3 Perbandingan Komposisi Bahan Beton Geopolimer

Pengumpulan Data

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Tanah Laut. Objek yang dipakai dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton geopolimer dengan penambahan serbuk kayu galam.



Gambar 4 Perbandingan Komposisi Bahan Beton Geopolimer + Serbuk Kulit Kayu Galam

Hasil Kerja

Pengujian Agregat Halus

Hasil pengujian agregat halus yang dilakukan dalam penelitian pada 6 pengujian yaitu kadar lumpur, kadar zat organik, berat jenis bulk, berat jenis SSD, berat jenis *Apparent*, penyerapan, berta isi, dan kadar air telah memenuhi persyaratan untuk material yang akan digunakan dalam pencampuran beton yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Macam Pengujian	Pasir Ex. Bajuin		Spesifikasi
	Standar/Rujukan	Hasil	
1 Kadar Lumpur %	SNI 03 - 4142 - 1996	3,417	Max. 5%
2 Kadar Zat Organik	SNI 03 - 2816 -1992	Lebih Muda	Standar Warna No. 3
3 Berat Jenis Bulk	SNI 03 - 1970 -1990	2,598	Min. 2,5
Berat Jenis SSD	SNI 03 - 1970 -1990	2,625	
Berat Jenis Apperent	SNI 03 - 1970 -1990	2,671	
4 Penyerapan %	SNI 03 - 1970 -1990	1,041	Max. 3%
5 Berat Isi kg/ltr	SNI 03 - 4804 - 1998	1,645	
6 Kadar Air %	SNI 03 - 1971 - 1990	2,571	

Pengujian Agregat Kasar

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil pengujian agregat kasar yang terdiri dari pengujian keausan dengan los angeles, kadar lumpur, kadar zat organik, berta jenis bulk, berat jenis SSD, berat jenis *apparent*, penyerapan, berat isi, dan kadar air memenuhi persyaratan.

Pengujian Serbuk Kulit Kayu Galam

Berdasarkan penelitian dari Yatnikasari et al., (2023) bahwa secara signifikan abu kulit kayu galam berpengaruh terhadap kuat tekan beton pada umur 7 hari. Oleh maka itu, peneliti melakukan percobaan

mencampurkan *fly ash* dan abu serbuk kulit galam sebagai pengganti semen. Pengolahan serbuk kulit galam dilakukan secara manual. Limbah kulit kayu galam yang didapatkan penjula kayu dikeringkan di bawah sinar matahari sampai kering maksimal. Kemudian, kulit kayu galam dihaluskan menggunakan blender sampai berbentuk serbuk. Setelah itu, serbuk kulit kayu galam diayak dengan saringan No. 100. Hasil serbuk yang lolos saringan No. 100 adalah yang digunakan dalam pencampuran beton geopolimer dengan *fly ash*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Macam Pengujian	Pasir Ex. Bajuin		Spesifikasi
	Standar/Rujukan	Hasil	
1 Keausan			
Los Angeles %	SNI 03 - 2417 - 1991	16,115	Max. 40%
2 Kadar Lumpur %	SNI 03 - 4142 - 1996	0,788	Max. 1%
3 Kadar Zat Organik	SNI 03 - 2816 - 1992	-	-
4 Berat Jenis Bulk	SNI 03 - 1970 - 1990	2,709	Min. 2,5
Berat Jenis SSD	SNI 03 - 1970 - 1990	2,721	
Berat Jenis Apperent	SNI 03 - 1970 - 1990	2,743	
5 Penyerapan %	SNI 03 - 1970 - 1990	0,467	Max. 3%
6 Berat Isi Kg/ltr	SNI 03 - 4804 - 1998	1,662	
7 Kadar Air %	SNI 03 - 1971 - 1990	2,174	

Tabel 4. Analisa Pengujian Abu Kulit Kayu Galam

Pengujian	Hasil
Berat Isi Gembur	444,3
Berat Isi Padat	442,9
Berat Jenis	2,78
Penyerapan Air	26,58

(sumber: Yatnikasari et al., 2023)

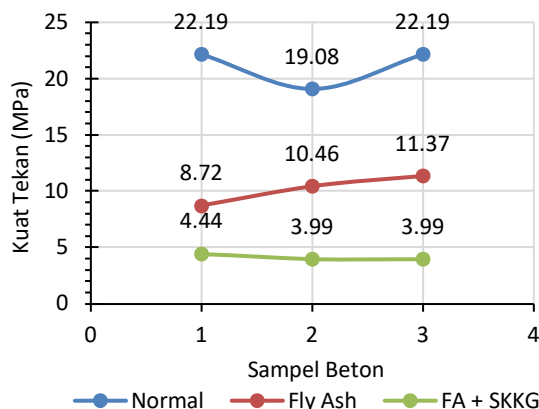
Pengujian Fly Ash

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Haryanti, 2014), hasil uji komposisi kima abu terbang (*Fly Ash*) PLTU Asam-Asam menunjukkan kandungan silika (SiO_2) yang relatif tinggi yaitu 74,2 %, kandungan alumina (Al_2O_3) yang tidak terlalu tinggi sebesar 5,7% dan kandungan besi oksida (Fe_2O_3) sekitar 14,4%. Dari hal tersebut, diketahui bahwa abu terbang termasuk dalam *Fly Ash* kelas F yang tidak mempunyai sifat *cementitious* dan hanya bersifat *pozzolanic*.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton normal dan beton geopolimer disajikan pada Gambar 5. Pengujian ini dilakukan dalam 3 jenis sampel yang terdiri dari beton normal, beton geopolimer, dan beton geopolimer dengan tambahan serbuk kulit kayu galam yang masing-masing berjumlah 3 benda uji. Benda uji beton normal

mendapatkan hasil analisa kuat tekan sebesar 22,19 MPa; 19,08 MPa; 22,19 MPa dengan hasil rata-rata adalah 21,153 MPa. Benda uji beton geopolimer dengan *Fly Ash* mendapatkan hasil analisa kuat tekan sebesar 8,72 MPa; 10,46 MPa; 11,37 MPa dengan hasil rata-rata adalah 10,183 MPa. Benda uji beton geopolimer dan serbuk kulit kayu galem mendapatkan hasil analisa kuat tekan sebesar 4,44 MPa; 3,99 MPa; 3,99 MPa dengan hasil rata-rata kuat tekan adalah 4,14 MPa.



Gambar 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton

Dari hasil pengujian 3 jenis campuran beton diketahui bahwa campuran beton normal mempunyai hasil nilai kuat tekan yang paling besar dibandingkan dengan 2 jenis campuran beton lainnya yaitu beton geopolimer dan beton geopolimer dengan penambahan serbuk kulit kayu galem. Sedangkan untuk hasil analisa kuat tekan yang paling rendah terjadi pada campuran beton geopolimer dengan penambahan serbuk kulit kayu galem dengan perbandingan sebesar 20,009 % jika dibandingkan dengan hasil kuat tekan campuran beton normal. Hal ini disebabkan oleh persentase campuran *Fly Ash* beserta alkali aktivator yang ditambahkan dalam campuran beton membuat benda uji mudah hancur saat dilakukannya pengujian kuat tekan. Selain itu, adanya tingkat kesulitan dalam adukan beton geopolimer dan pengaruh kondisi di laboratorium (Iftah, 2022) juga dapat mempengaruhi hasil analisa kuat tekan beton geopolimer yang lebih rendah daripada beton normal. Penggunaan *Fly Ash* yang memiliki kandungan kimia silika yang relatif tinggi dibandingkan kandungan kimia alumina juga mempunyai pengaruh kepada campuran beton dalam proses pengikatan antar kandungan kimia sehingga campuran beton tidak dapat bersifat *workability* dan tidak dapat dengan mudah dicetak.

Selain itu, dapat diketahui juga bahwa hanya campuran beton normal yang memenuhi syarat SNI 03-1794-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton dengan umur 28 hari yang $\geq 18,68$ MPa (K-225) dengan rata rata hasil analisa kuat tekan sebesar 21,15 MPa.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa

1. Beton polimer ditambah serbuk kulit kayu galem dengan persentase pencampuran antara *Fly Ash* dan alkali aktivator sebesar 74:26 serta persentase antara campuran *Fly Ash* dan serbuk kulit kayu galem sebesar 75:25 mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari adalah 4,14 MPa.
2. Beton polimer tanpa ditambah serbuk kulit kayu galem dengan persentase *Fly Ash* dan alkali aktivator sebesar 74:26 mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari adalah 10,183 MPa.
3. Beton normal tanpa ada penambahan *Fly Ash* dan alkali aktivator serta serbuk kulit kayu galem mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan pada umur 28 hari adalah 21,153 MPa.
4. Penggunaan limbah *Fly Ash* dan serbuk kulit kayu galem dalam campuran beton pada umur 28 hari dalam penelitian ini belum dapat memenuhi persyaratan SNI 1974-2021 dengan capaian kuat tekan beton untuk mutu K-225 atau setara 18,68 MPa.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Tanah Laut atas terpilihnya Penelitian Dosen Dana Dipa (PD3), Kepala UPT Peralatan dan Pengujian Material Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum, Penataan Ruang dan Pertanahan Tanah Laut atas dukungannya dalam pengujian kuat tekan beton, dan Pejabat Pelaksana Lingkungan PT. PLN UPK Asam-Asam atas dukungan bahan material *Fly Ash*. Serta, penulis mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang mendukung penulis secara moral dan material yang tidak bisa disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

Referensi

- BPSILHK Banjarbaru. (2019, May 30). *Galam, Tumpuan Hidup Masyarakat di Marabahan, Barito Kuala*. <https://Foreibanjarbaru.or.id/Archives/4382>.
- Haryanti Hadi, N. (2014). Uji Abu Terbang PLTU Asam Asam sebagai Bahan Pembuatan Bata Ringan. *Jurnal Fisika FLUX*, 11(2), 129–139.
- Iftah, R. (2022). *Analisis Kualitas Beton Geopolimer Menggunakan Abu Sekam Padi dan Abu Ampas Kopi sebagai Bahan Addictive pada Perkerasan Kaku*. Tugas Akhir. Universitas Teuku Umar.
- Ilyas, Y. A., Yanti, G., & Putri, L. D. (2022). Studi Beton Geopolimer dengan Bahan Dasar Fly Ash terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5(2), 83–92. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i2.2096>
- Kurniasari Tri, P., & Rosyid, M. (2014). *Efek Penambahan Sukrosa pada Setting Time Binder Geopolymer dengan*

- Bahan Dasar Fly Ash dan Larutan Na₂SiO₃ Serta NaOH dengan Molaritas 12 M dan 14 M Sebagai Aktivator.* Diploma thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Polopadang, J., Sumajouw, M. D. J., & Dapas, S. O. (2023). Studi Eksperimental Kuat Tarik Lentur Beton Menggunakan Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*, 11(1), 11–16.
- Prasetyo, G. B., Trinugroho, S., & Solikin, M. (2015). *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen.* thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Purwanto, H., & Cakra Wardani, U. (2020). *Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K225.* Jurnal Deformasi 5(2), 103-112.
- Ridwan, M. (2018). *Karakteristik Beton Geopolimer Menggunakan Limbah Fly Ash PLTU Tanjung Jati B Jepara (Characteristic of Geopolymer Concrete Using Fly Ash Waste From PLTU Tanjung Jati B Jepara).* Universitas Islam Indonesia.
- RVJ. (2023). *Importance of Recycling in Wood Manufacturing.* Deskera Blog.
<https://www.deskera.com/blog/importance-of-recycling-in-wood-manufacturing/>
- Salain, I. M. Al. K., Wiryasa, M. N. A., & Pamungkas, I. N. M. M. A. (2020). Kuat Tekan Beton Geopolimer Menggunakan Abu Terbang. *Jurnal Spektran*, 8(1), 105–114. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jsn/index>
- Sulianti, I., Indrayani, Subrianto, A., Rahmadona, E., Yanti, O., & Widya Iryani, A. (2021). Analisis Kuat Beton Geopolimer Menggunakan Fly Ash dan Abu Sekam Padi. *BENTANG: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 9(2), 63–70.
- Tambingon, F. R., Sumajow, M. D. J., & Wallah, S. E. (2018). Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Perawatan Temperatur Ruangan. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9), 641–648.
- Thifari, M. F. (2015). *Pemanfaatan Abu Ampas Tebu sebagai Binder Pada Beton Geopolimer.* Tugas Akhir. Politeknik Negeri Jakarta.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton, Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil.* Universitas Gadjah Mada.
- Yatnikasari, S., Agustina, F., Vebrian, Sunaryo, S., & Iqbal, M. (2023). Pemanfaatan Abu Limbah Kulit Galam sebagai Pengganti Semen dalam Campuran Beton. *Prosiding KoNTekS 16.* Bali. MT11. 421-426.