

Substitusi Parsial dan Full Semen Konvensional pada Campuran Beton Geopolimer Berbahan Baku Arang Cangkang Kelapa Sawit

Rina Aprilia^{1*}, Liliana², dan Frieda³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Semen Konvensional; Semen Geopolimer; Arang Cangkang Kelapa Sawit; Kaolin Hampangen; Beton Geopolimer

***Correspondence email:**

apriilarina465@gmail.com,
liliana@jts.upr.ac.id,
frieda@jts.upr.ac.id

Submitted: 26-07-2024

Revised: 30-01-2025

Accepted: 08-02-2025

Published: 08-02-2025

Keywords:

Semen Konvensional; Semen Geopolimer; Arang Cangkang Kelapa Sawit; Kaolin Hampangen; Beton Geopolimer

ABSTRAK

Arang CKS merupakan limbah pembakaran CKS sebagai bahan bakar operasional *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Tanah liat Hampangen dan arang CKS biasanya dijadikan bahan baku semen non konvensional yang dicampur dengan agregat halus dan agregat kasar yang biasanya dipakai di lingkungan Kota Palangka Raya. Beberapa penelitian yang dilakukan dengan memanfaatkan produk sampingan industri sebagai semen non konvensional dan dibuat sebagai campuran beton geopolimer. Campuran beton geopolimer tersebut menggunakan agregat yang biasanya digunakan di Kota Palangka Raya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah dengan melakukan penambahan semen konvensional secara parsial dan penuh ke dalam campuran semen non konvensional yang berbahan baku tanah liat Hampangen dan arang CKS dapat menghasilkan suatu campuran beton geopolimer yang maksimum dari segi kuat tekan beton yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah perhitungan mix desain dihitung menggunakan metode ACI (artinya dalam kondisi penambahan semen konvensional secara penuh – 100%). Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa penambahan semen PCC merek dagang Gresik dalam campuran beton geopolimer berbahan baku arang CKS dan tanah liat Hampangen terhadap kuat tekan beton dikategorikan sangat kuat.

ABSTRACT

CKS charcoal is waste from burning CKS as operational fuel for Asphalt Mixing Plant (AMP). Hampangen clay and CKS charcoal are usually used as raw materials for non-conventional cement mixed with fine aggregate and coarse aggregate which are usually used in the Palangka Raya City environment. Several studies have been conducted by utilizing industrial by-products as non-conventional cement and made as a geopolymer concrete mixture. The geopolymer concrete mixture uses aggregates that are usually used in Palangka Raya City. This study aims to determine whether by adding conventional cement partially and fully to a mixture of non-conventional cement made from Hampangen clay and CKS charcoal can produce a geopolymer concrete mixture that is maximum in terms of the compressive strength of the concrete produced. The method used is the calculation of the mix design calculated using the ACI method (meaning in conditions of adding conventional cement fully - 100%). Based on the results of the study, it is known that the addition of PCC cement, the Gresik brand, in a mixture of geopolymer concrete made from CKS charcoal and Hampangen clay on the compressive strength of concrete is categorized as very strong.

PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu jenis material yang sering digunakan dalam pembuatan berbagai jenis struktur (Dadang, 2021). Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 2847-2019). Beton adalah material bangunan yang sangat populer, dan juga mendapatkan kritik yang biasanya dari kalangan yang peduli dengan kelestarian lingkungan hidup (Ojo, 2014). Akibat dari produksi semen yang menghasilkan gas karbon dioksida (emisi gas rumah kaca). Dikatakan bahwa untuk memproduksi satu ton semen, gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar lebih kurang satu ton juga (Subaer 2012). Salah satu solusi inovatif diperlukan material lainnya sebagai pengganti Semen Portland untuk digunakan pada pembuatan beton. Davidovits menamakan temuannya *geopolymer*. Karena merupakan sintesa bahan-bahan alam non organik lewat proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan untuk pembuatan material geopolimer (Davidovits, 1994). Geopolimer adalah material yang dibentuk dengan melakukan alkali aktivasi yaitu dengan menggunakan alkali aktivator terhadap bahan baku yang kaya dengan silika dan alumina sebagai prekursor. Salah satu bahan baku tersebut adalah tanah liat yang mengandung mineral kaolinit (kaolin) (Irman, 2024). Kaolin merupakan bahan baku yang murah dan melimpah di bumi (Subaer, 2012). Mensintesis bahan baku berupa kaolin dengan alkali aktivator belum ditemukan pola umum dalam pembuatan material geopolimer, dikarenakan setiap material

dasar/bahan baku memiliki komposisi yang berbeda (Hardjito, 2005b). Berbeda *quarry* pengambil material, berbeda pula komposisi kimianya. Berbeda proses pengolahannya, seperti material kaolin bila dikalsinasi akan membentuk material baru yang disebut metakaolin, akan membuat komposisinya juga berubah dan sehingga kuantitas senyawa kimia yang terkandung di dalamnya juga ikut berbeda (Widhiawati, 2016). Akibatnya setiap sintesis perlu adanya penelitian untuk mengetahui komposisi campuran yang terbaik untuk menghasilkan bahan bangunan yang efektif dan efisien (Zhu, 2018). Menurut Tippayasam dkk. (2014), kaolin dapat tidak dikalsinasi menjadi metakaolin, dengan menambahkan produk sampingan industri berupa abu sekam padi atau abu ampas tebu (Maulani, 2014). Mengacu pada penelitian tersebut, maka dalam penelitian digunakan tanah liat Hampangen dicampur dengan arang cangkang kelapa sawit (CKS). Arang CKS ini merupakan limbah pembakaran CKS sebagai bahan bakar operasional *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Arang CKS tersebut dibakar pada suhu 200°C selama 2 jam (Liliana, Triwulan, dan Ekaputri, 2023). Tanah liat Hampangen dan arang CKS dijadikan bahan baku semen non konvensional. Dan dicampur dengan agregat halus dan agregat kasar yang biasanya dipakai di lingkungan Kota Palangka Raya. Beberapa penelitian yang dilakukan dengan memanfaatkan produk sampingan industri sebagai semen non konvensional dan dibuat sebagai campuran beton geopolimer. Campuran beton geopolimer tersebut menggunakan agregat yang biasanya digunakan di Kota Palangka Raya. Suriyana, dkk (2021), melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah pembakaran batubara PLTU Buntoi sebagai semen non konvensional dengan menggunakan agregat lokal Kota Palangka Raya menghasilkan kuat tekan beton sebesar 7,64 MPa. Yunita, Meilawaty, dan Liliana, 2021 melakukan penelitian yang senada, namun bahan bakunya adalah abu sekam padi, menghasilkan kuat tekan beton geopolimer 1,58 MPa. Mengacu hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah dengan dilakukannya penambahan semen konvensional secara parsial dan penuh ke dalam campuran semen non konvensional yang berbahan baku tanah liat Hampangen dan arang CKS. Diharapkan dalam penelitian menghasilkan suatu campuran beton geopolimer yang maksimum dari segi kuat tekan beton yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Material Penelitian

Limbah pembakaran cangkang kelapa sawit yang berasal dari *Asphalt Mixing Plant* merupakan cangkang kelapa sawit yang dijadikan bahan bakar dibakar pada suhu 200°C selama 2 jam. Berdasarkan penelitian Liliana, Triwulan dan Ekaputri, 2023 dari hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), *mineral cristobalite* sebanyak 54,00%, *mineral calcite* sebanyak 26,7% dan mineral kuarsa sebanyak 19,4%. Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF), kandungan SiO₂ sebanyak 29,40%, Al₂O₃ sebanyak 4,42%, dan Fe₂O₃ sebanyak 4,61%. Limbah pembakaran itu berwarna hitam dan masih bersifat arang. Tanah liat yang digunakan dari daerah Hampangen, Kalimantan Tengah, berdasarkan hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), fasa mineral mengandung mineral kaolinit = 66%, kuarsa = 18%, dan gibbsite = 16%. Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF), kandungan kimia yang terdapat dalam tanah liat Hampangen terbanyak adalah SiO₂ sebesar 45.090% dan Al₂O₃ sebanyak 37.190%, sedangkan Fe₂O₃ sebanyak 0.940% (Liliana, Triwulan dan Ekaputri, 2023). Alkali aktivator menggunakan padatan NaOH yang kemurnian sebesar 98%, dan Na₂SiO₃ dengan komposisi Na₂O sebesar 16,77% dan SiO₂ sebesar 38,24% dengan rasio SiO₂/Na₂O sebesar 2,29 serta grade 58,5 baume yang berasal dari PT.Bratachem, Surabaya. Semen PCC (*Portland Composite Cement*) merek dagang Gresik. Agregat halus berasal dari daerah Tangkiling Kota Palangka Raya dan agregat kasar berasal dari daerah Mandiangin Kalimantan Selatan.

Metode Penelitian

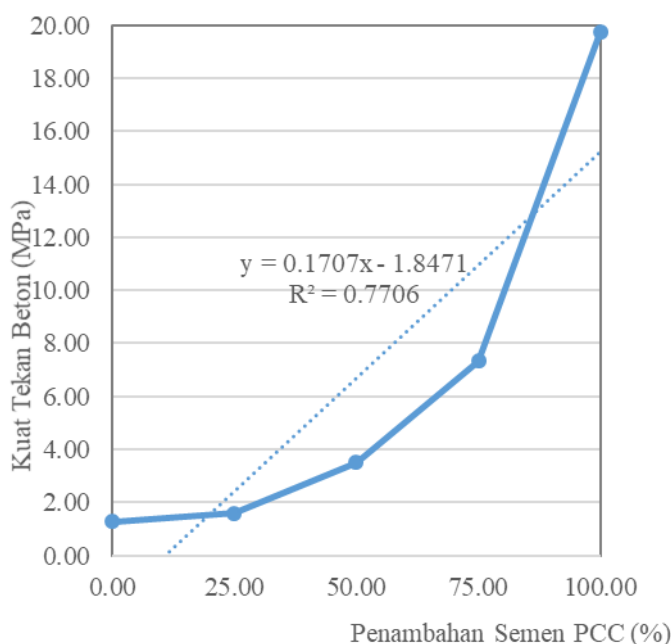
Bongkahan tanah liat berasal dari daerah Hampangen, Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah-Indonesia dikering dengan menggunakan oven dalam suhu 105°C selama 24 jam, digiling dan disaring. Arang cangkang kelapa sawit tersebut digiling dan disaring. Komposisi campuran semen geopolimer adalah 1) Perbandingan tanah liat Hampangen dan arang CKS dengan Larutan Alkali sebesar 55% dan 45%; 2) Perbandingan tanah liat Hampangen dan arang CKS sebesar 60% dan 40%; 3) Konsentrasi larutan NaOH sebesar 14M; dan 4) Perbandingan Na₂SiO₃ dan NaOH sebesar 2,5. Penelitian dilakukan dengan melakukan penambahan semen konvensional secara parsial dan penuh yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Semen konvensional tersebut dicampurkan ke dalam semen non konvensional. Perhitungan mix desain dihitung menggunakan metode ACI (artinya dalam kondisi penambahan semen konvensional secara penuh – 100%). Setelah dilakukan perhitungan dengan penambahan *portland composite cement* secara parsial, dan mengakibatkan pengurangan jumlah agregat dan air yang dibutuhkan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran Benda Uji dalam kondisi Lapangan per m3

Penambahan Semen Konvensional	0%	25%	50%	75%	100%
Semen PCC	0,00	94,91	189,82	284,72	379,63
Air	68,08	101,36	134,64	167,92	201,20
Arang CKS	151,85	113,89	75,93	37,96	0,00
Tanah Liat Hampangan	227,78	170,83	113,89	56,94	0,00
Agregat Halus	609,85	632,62	655,40	678,17	700,95
Agregat Kasar	764,43	792,98	821,53	850,07	878,62
Na ₂ SiO ₃	158,04	118,53	79,02	39,51	0,00
NaOH	63,22	47,41	31,61	15,80	0,00

HASIL

Kuat tekan karakteristik beton (f'_c) dapat didefinisikan sebagai kuat tekan beton yang dilampaui oleh paling sedikit 95% dari benda uji. Pengujian standarnya didasarkan atas kuat tekan beton umur 28 hari. Pada penelitian ini, beton uji yang akan dilakukan pengujian kuat tekan berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Penelitian dengan melakukan substitusi parsial semen PCC (*Portland Composite Cement*) merek dagang Gresik dan full pada campuran semen geopolimer berbahan baku arang CKS dan tanah liat Hampangan. Berdasarkan analisis statistik, bila dilihat dari nilai r sebesar 0,89 yang mendekati nilai 1 yang merupakan interpretasi korelasi, maka hubungan antara penambahan semen PCC merek dagang Gresik dalam campuran beton geopolimer berbahan baku arang CKS dan kaolin terhadap kuat tekan beton dikategorikan sangat kuat. Pola linier positif. Maka semakin ditambahkan semen PCC akan semakin meningkat kuat tekan beton yang dihasilkan. Bila dilihat dari nilai R square (nilai koefisien determinasi) yang sebesar 0,7706 atau 77,06% menjelaskan penambahan semen PCC berpengaruh sebesar 77,06% terhadap nilai kuat tekan beton. Dan sisanya sebesar 22,94% dipengaruhi oleh faktor lainnya. Dilihat dari persamaan regresi $Y = 0,1707X - 1,8471$ (gambar 1) menunjukkan bahwa setiap 1% penambahan semen PCC (*variable X*) ke dalam campuran semen geopolimer berbahan baku arang CKS dan kaolin Hampangan menyebabkan kenaikan nilai kuat tekan beton (*variable Y*) sebesar 0,1707 MPa.

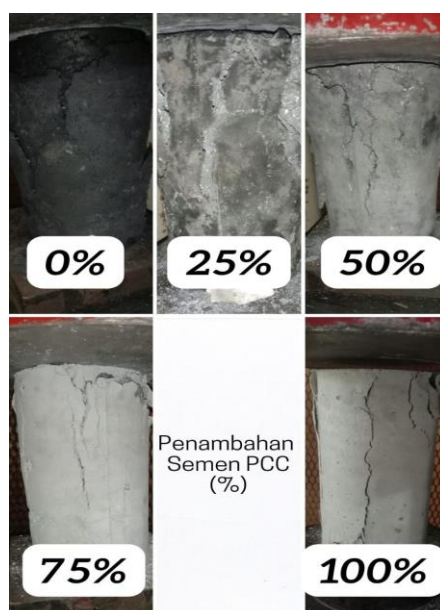


Gambar 1. Hubungan Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Penambahan Semen PCC terhadap Semen Geopolimer Berbahan Baku Arang CKS dan Kaolin Hampangan

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Geopolimer dengan Variasi Penambahan Semen PCC terhadap Semen Geopolimer Berbahan Baku Arang CKS dan Kaolin Hampangan

Penambahan Semen PCC (%)	Umur (Hari)	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)
0	28	7850	10000,00	1,274	1,274
	28	7850	10000,00	1,274	
25	28	7850	10000,00	1,274	1,592
	28	7850	15000,00	1,911	
50	28	7850	25000,00	3,185	3,503
	28	7850	30000,00	3,822	
75	28	7850	60000,00	7,643	7,325
	28	7850	55000,00	7,006	
100	28	7850	150000,00	19,108	19,745
	28	7850	160000,00	20,382	

Dari tabel 2 dan gambar 1 menunjukkan bahwa penambahan semen PCC terhadap campuran semen geopolimer berbahan baku arang CKS dan kaolin menyebabkan kuat tekan beton mengalami peningkatan. Ketika campuran beton dengan menggunakan 100% semen non konvensional, kuat tekan yang dihasilkan sebesar 1,274 MPa pada umur beton 28 hari. Gambar 2 menunjukkan pola retak dari beton yang dihasilkan pada umur beton 28 hari. Dalam penelitian Essaidi dkk., 2014 mengatakan perlu adanya kalsinasi untuk bahan bakunya sehingga mentransformasikan struktur kristal mineral dalam hal ini tanah liat/kaolin ke bentuk yang tidak teratur dan yang lebih reaktif. Dikatakan bahwa nilai kuat tekan yang tinggi ketika bahan baku (tanah liat) yang dikalsinasi dan sebagian amorf dapat dijadikan sumber aluminosilikat. Huseien dkk., 2016 mengatakan bahwa stabilitas termal dan sifat mekanik dari geopolimer berbahan baku kaolin yang diubah menjadi metakaolin sebanding dengan semen konvensional. Berbeda dengan penelitian Tippayasam dkk., 2014 mengatakan kaolin Thai dapat digunakan sebagai bahan geopolimer tanpa diubah menjadi metakaolin untuk menghemat energi, dan yang perlu dilakukan suhu *curing* 80°C selama 24 jam. Shehab, dkk (2016) melakukan penelitian dengan substitusi parsial dan full semen non konvensional berbahan baku abu terbang terhadap campuran *Ordinary Portland Cement* (OPC) *grade* 52,5N. Mengatakan kuat tekan meningkat penambahan semen non konvensional sebesar 50%. Kuat tekan dengan kadar bahan pengikat 350 kg dan rasio larutan aktivator 0,55% meningkat sebesar 26,3%. Kuat tekan yang dihasilkan sebesar 379 kg/cm² (37,9 MPa). Penelitian yang senada dengan menggunakan agregat yang ada di pasaran Kota Palangka Raya, namun berbeda bahan baku dalam pembuatan semen non konvensional. Suriyana, dkk (2021) memanfaatkan limbah pembakaran batu bara PLTU Buntoi berupa abu terbang tipe C sebagai semen geopolimer menghasilkan kuat tekan beton geopolimer sebesar 7,64 MPa. Penelitian ini pemakaian semen non konvensional dalam kondisi 100% dan tidak ada penambahan semen konvensional. Demikian juga penelitian Yunita, Meilawaty, dan Liliana, 2021, melakukan penelitian pemanfaatan abu sekam padi (ASP) dicampur dengan abu terbang PLTU Buntoi menghasilkan kuat tekan beton geopolimer sebesar 1,58 MPa.



Gambar 2. Pola Retak Beton dengan Penambahan Semen PCC terhadap Campuran Semen Non Konvensional

SIMPULAN

Penambahan semen PCC merek dagang Gresik dalam campuran beton geopolimer berbahan baku arang CKS dan tanah liat Hampangen terhadap kuat tekan beton dikategorikan sangat kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- Dadang, S., Liliana. Okta, Meilawaty. (2021). Kelayakan Abu Terbang Pltu Buntoi Sebagai Campuran Beton Geopolimer - Feasibility Of Flying Ash Of Pltu Buntoi As A Geopolimery Concrete Mixture. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, Volume 9 Nomor 2 Juni 2021 pp. 102-108.
- Davidovits, Joseph. (1994). Properties of Geopolymer Cements. *Proceeding First International on Alkaline Cements and Concretes, Scientific Research Institute on Binders and Materials, Kiev State University, Kiev.*
- Essaidi, N., B. Samet, S. Baklouti, dan S. Rossignol. (2014). Feasibility of producing geopolymers from two different Tunisian clays before and after calcination at various temperatures. *Applied Clay Science*, 88–89 : 221–227
- Hardjito, Djwantoro. (2005a). Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Thesis is presented for the Degree of Doctor of Philosophy of Curtin University of Technology.*
- Hardjito, D., dan B. V. Rangan. (2005b). Development And Properties Of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Research Report GCI Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth.*
- Huseien, G.F., Jahangir Mirza, Mohammad Ismail, S.K. Ghoshal, dan Mohd Azreen Mohd Ariffin. (2016). Effect Of Metakaolin Replaced Granulated Blast Furnace Slag On Fresh and Early Strength Properties of Geopolymer Mortar. *Ain Shams Engineering Journal.*
- Irman, D., dkk. (2024). Analisis Manajemen Risiko Pada Proyek Konstruksi Rehabilitasi Daerah Irigasi Bungkal Kota Sungai Penuh. *Talenta Sipil Unbari*, Vol 7, No. 2.
- Liliana, T., dan Januarti, J.E. (2023). Performance of Artificial Coarse Aggregates from a Mixture of Hampangen Clay and Palm Shell Charcoal by Geopolymerization Method. *Civil Engineering and Architecture*, Vol. 11, No. 5A, pp. 3142 - 3153, 2023. DOI: 10.13189/cea.2023.110824.
- Maulani, F., Suraji, A., & Istijono, B. (2014). Analisis Struktur Rantai Pasok Kontruksi pada Pekerjaan Jembatan. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 10(2). <https://doi.org/10.25077/jrs.10.2.1-8.2014>. (Indonesian).
- Ojo, E., Mbowa, C., & Akinlabi, E. T. (2014). *Barriers in Implementing Green Supply Chain Management in Construction industry*. Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, (pp. 1974-1981). Bali, Indonesia.
- Shehab, H. K., dkk. (2016). Mechanical Properties Of Fly Ash Based Geopolymer Concrete With Full and Partial Cement Replacement. *Construction and Building Materials* pp 560-565.
- Subaer. (2012). *Pengantar Fisika Geopolimer. Program Penulisan Buku Teks Perguruan Tinggi*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. ISBN :978-979-1082-79-2.
- Suriyana, D., dkk. (2021). Kelayakan Abu Terbang PLTU Buntoi Sebagai Campuran Beton Geopolimer. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, Vol 9, No 2.
- Tippayasam, C., Pimpawee, K., Parjaree., dkk. (2014). Effect of Thai Kaolin on properties of agricultural ash blended geopolymers. *Construction and Building Materials*, 53 : 455–459
- Widhiawati, I. A. R., Wiranata, A. A., & Wirawan, I. P.Y. (2016). Faktor-faktor Penyebab *Change Order* Pada Proyek Konstruksi Gedung. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 20.
- Yunita, O.M., Liliana. (2021). Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Padi Dan Abu Terbang PLTU Buntoi Sebagai Semen Non Konvensional Terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Kacapuri Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, Vol. 4(1).
- Zhu, J., Fang, M., Shi, Q., Wang, P., & Li, Q. (2018). *Contractor Cooperation Mechanism and Evolution of the Green Supply Chain in Mega Projects*. Sustainability 2018.