

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan produsen karet terbesar ke-2 setelah negara Thailand (Purnomowati et al., 2015). Karet Indonesia merupakan komoditas ekspor unggulan perkebunan yang diperdagangkan secara luas di dunia. Sejumlah lokasi di Indonesia memiliki keadaan lahan yang cocok untuk penanaman karet. Tanaman karet merupakan salah satu komoditas perkebunan yang sebagian besar berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Hampir semua bagian dari tanaman karet dapat dimanfaatkan, mulai dari batang pohon karet yang dapat dimanfaatkan sebagai kayu bakar, getah dimanfaatkan sebagai bahan utama pembuatan karet, dan inti dari biji dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan untuk bahan pakan. Salah satu tempat produksi karet di Indonesia adalah PT Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu. PT Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu menghasilkan limbah berupa arang dan abu. Abu kayu karet merupakan sisa bahan anorganik yang tidak ikut terbakar saat proses pembakaran kayu karet. Komposisi abu kayu sangat bergantung pada jenis kayu yang dibakar. Saat ini limbah abu pembakaran kayu karet di PT Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu hanya di biarkan begitu saja, tidak adanya pengolahan lebih lanjut hingga keberadaan limbah pembakaran abu kayu karet yang menumpuk dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Maka dari itu untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat limbah pembakaran abu kayu karet, munculnya inovasi pemanfaatan limbah pembakaran kayu karet sebagai bahan pembuatan semen geopolimer. Sehingga limbah tersebut memiliki nilai jual. Semen Geopolimer adalah semen yang tidak menggunakan semen *portland* dalam produksinya. Pada proses pembuatannya, semen geopolimer menggunakan cairan alkali agar bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al) yang terdapat pada mineral alam seperti kaolin, tanah liat dan lain-lain. Limbah seperti *fly ash*, terak, abu sekam padi, *red mud* dan lain-lain dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen pada semen geopolimer. Cairan alkali adalah logam alkali larut yang didapat dari pencampuran natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan

natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat ($\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$). Semen Geopolimer adalah semen yang tidak menggunakan semen *portland* dalam produksinya. Pada proses pembuatannya, semen geopolimer menggunakan cairan alkali agar bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al) yang terdapat pada mineral alam seperti kaolin, tanah liat dan lain-lain. Limbah seperti *fly ash*, terak, abu sekam padi, *red mud* dan lain-lain dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen pada semen geopolimer. Cairan alkali adalah logam alkali larut yang didapat dari pencampuran natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat ($\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$).

Semen geopolimer merupakan produk semen yang reaksi pengikatannya adalah reaksi polimerisasi. Menurut Ilmiah R (2017), dalam reaksi polimerisasi ini aluminium (Al) dan silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi karena reaksi aluminium dan silika dengan alkali akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 .

Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk struktur yang disebut *polysialate* (Si-O-Al-O-Si). Air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer. Air ini dikeluarkan selama masa perawatan (*curing*) dan pengeringan. Menurut Lloyd dan Rangan (2010), pengikat (*binder*) adalah perbedaan utama antara semen geopolimer dan semen konvensional dari pembuatan semen tersebut. Semen konvensional mengandalkan semen *portland* dan air untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus pada pembuatan semen tersebut. Pada semen geopolimer, silika dan alumina bereaksi dengan cairan alkali untuk membuat pasta geopolimer yang mengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan-bahan lain untuk membuat semen geopolimer. Binder akan mengalami proses polimerisasi dan akan mengeras. Salah satu perbedaan dari semen geopolimer dan semen konvensional adalah cara perawatan dari semen tersebut. Perawatan semen geopolimer adalah perawatan (*curing*) pada suhu ruang atau pada oven. Suhu dan waktu perawatan merupakan faktor penting yang dapat berpengaruh terhadap kuat tekan semen geopolimer.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi komposisi limbah abu kayu karet dari PT Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu untuk bahan baku semen geopolimer.
2. Mengidentifikasi karakteristik semen geopolimer berdasarkan variasi konsentrasi NaOH dan suhu pengeringan dengan melakukan uji fisik produk (uji kuat tekan, uji berat jenis, uji porositas, dan uji daya serap).

1.3 Kerangka Pemikiran

Menurut data, Indonesia berkontribusi terhadap 29,8% kebutuhan karet dunia. Pada tahun 2021, produksi karet Indonesia mencapai 3,122 juta ton. Angka tersebut naik 8,21% dibandingkan tahun sebelumnya sebesar 2,88 juta ton. Berdasarkan data tersebut, semakin besar jumlah produksi maka limbah yang dihasilkan juga semakin besar.

Salah satu limbah dalam industri karet adalah abu kayu karet. Penghasil limbah abu kayu karet yang ada di provinsi Lampung salah satunya PT Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu. Limbah abu kayu karet di PT Perkebunan Nusantara VII Unit Way Berulu tersebut belum dimanfaatkan dengan baik, sehingga tidak memiliki nilai ekonomis dan dapat mencemari lingkungan apabila tidak dilakukan inovasi. Dalam hal ini, limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan semen geopolimer. Semen geopolimer dapat dimanfaatkan layaknya pemanfaatan pada semen *portland*. Keunggulan dari semen geopolimer tidak memerlukan konsumsi energi yang besar, tidak memancarkan CO₂ ke udara sehingga dapat mengurangi efek pemanasan global, karena semen geopolimer merupakan sintesis dari bahan alam anorganik dengan proses polimerisasi.

1.4 Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi yang terdapat pada limbah abu kayu karet dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan semen geopolimer.

2. Adanya pengaruh variasi konsentrasi NaOH dan suhu terhadap hasil uji fisik semen geopolimer.

1.5 Kontribusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi, yaitu:

1. Bagi penulis, dapat mengimplementasi serta menambah wawasan berupa ilmu pengetahuan mengenai semen geopolimer dari limbah abu pembakaran kayu karet.
2. Bagi Politeknik Negeri Lampung, Sebagai referensi mahasiswanya dan menambah ilmu pengetahuan mengenai semen geopolimer dari limbah abu kayu karet.
3. Bagi masyarakat, sebagai edukasi masyarakat dan wawasan pengetahuan tentang pemanfaatan limbah abu kayu karet serta menambah nilai jual suatu limbah.
4. Bagi Pemerintah, penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk mengurangi limbah abu kayu karet yang dihasilkan dari industri karet.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Kayu Karet

Abu kayu karet adalah bahan (biasanya dalam bentuk bubuk) yang tersisa setelah pembakaran kayu. Penghasil utama abu kayu adalah industri kayu dan pembangkit listrik tenaga biomassa. Abu kayu sebagian besar terdiri dari senyawa kalsium dan komponen tidak mudah terbakar lainnya yang ditemukan di kayu. Abu kayu dihasilkan dari sisa pembakaran kayu. Biasanya 6-10% dari kayu yang dibakar menghasilkan abu. Komposisi abu kayu sangat bergantung pada jenis kayu yang dibakar. Kondisi pembakaran juga mempengaruhi komposisi abu dan jumlah abu yang tersisa. Membakar kayu pada suhu tinggi mengurangi jumlah abu yang dihasilkan. Abu kayu mengandung kalsium karbonat sebagai komponen utama, yang menyumbang 25-45% massa abu kayu ini mengandung kurang dari 10% potasium dan kurang dari 1% fosfat. Ada juga besi, mangan, seng, tembaga dan berbagai jenis logam berat. Menurut Alma'arif *et al.* (2012), abu kayu mengandung makro molekul kalsium dan kalium yang kadarnya paling besar dari abu sekam. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam abu kayu yaitu kalsium 3,56%, magnesium 0,97%, natrium 0,52%, kalium 4,77% dan silika 7,77%. Abu kayu karet memiliki kandungan silika yang termasuk kelas sedang. Abu arang kayu karet ini merupakan hasil pembakaran arang kayu karet yang terdiri dari senyawa seperti SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 dan CaO . Dengan adanya senyawa ini abu kayu karet dapat dijadikan sebagai bahan tambah dalam penelitian tersebut (Tekan & Permeabilitas, 2020).

2.2 Geopolimer

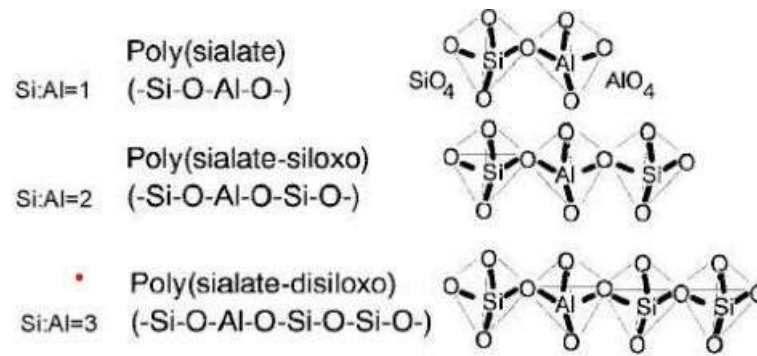
Geopolimer adalah sebuah senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan-bahan yang banyak mengandung silika dan aluminium seperti *fly ash*, abu sekam padi, abu tebu, dan lain-lain (Lisantono *et al.*, 2010). Geopolimer pertama kali dikenalkan oleh Prof. Joseph Davidovits. Bahan dasar utama yang diperlukan dalam pembuatan material geopolimer ini adalah bahan-

bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silika dan alumina. Geopolimer merupakan bentuk anorganik alumina-silika yang disintesa dari material yang banyak mengandung silika (Si) dan alumina (Al) yang berasal dari alam atau dari material hasil sampingan industri. Komposisi kimia material geopolimer serupa dengan zeolit, tetapi memiliki mikrostruktur *amorphous* (Davidovits, 1999). Selama proses sintesa, atom silika dan alumina menyatu dan membentuk blok yang secara kimia memiliki struktur yang mirip dengan batuan alam. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan semen geopolimer ini memiliki beberapa keunggulan yaitu tidak memerlukan konsumsi energi yang besar seperti pada beton konvensional, tidak memancarkan CO₂ ke udara sehingga dapat mengurangi efek pemanasan global, memiliki volume yang stabil karena penyusutan yang terjadi 4/5 kali lebih rendah jika dibandingkan semen konvensional, kekuatannya dicapai dalam waktu yang singkat karena kekuatan tekan. Semen ini mampu mencapai 70% dalam waktu 4 jam pertama, memiliki ketahanan yang tinggi karena beton ini tahan terhadap serangan lingkungan agresif tanpa mengurangi fungsi yang dimilikinya (Li *et al.*, 2004).

2.2.1 Reaksi Polimerisasi Pembentukan Geopolimer

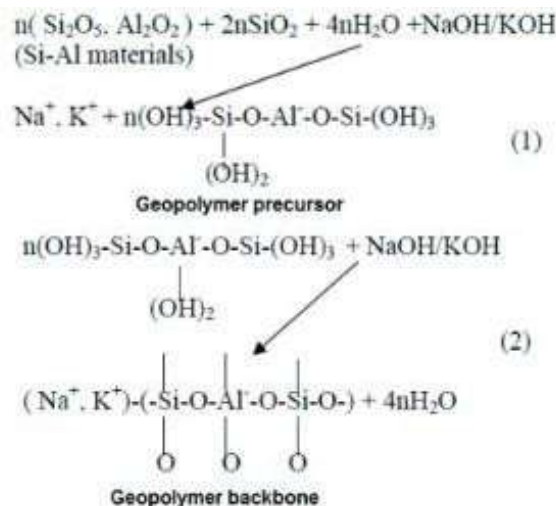
Semen geopolimer menggunakan bahan alami dengan kandungan silika dan alumina yang tinggi yang bereaksi dengan larutan alkali aktivator untuk berpolimerisasi menjadi rantai molekul dan jaringan. Proses polimerisasi melibatkan reaksi kimia cepat yang secara substansial dalam kondisi alkali pada mineral silika – alumina yang menghasilkan rantai polimer tiga dimensi dan struktur cincin yang terdiri dari ikatan Si-O-Al-O. Semen geopolimer mempunyai 3 struktur dasar seperti ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu:

1. *Poly (Sialate)* Si:Al = 1 yang memiliki [-Si - O - AlO] sebagai unit berulang.
2. *Poly (Sialate-Siloxo)* Si:Al = 2 yang memiliki [-SiO - Al - O - Si - O] sebagai unit berulang.
3. *Poly (Sialate-Disiloxo)* Si:Al = 3 yang memiliki [- Si - O - Al - O - Si - O - Si - O -] sebagai unit berulang.



Gambar 1. Tiga Bentuk Dasar Geopolimer
(Sumber: Davidovits, 1999)

Geopolimerisasi merupakan reaksi kimia yang terjadi antara larutan alkali aktivator dengan sumber material yang mengandung aluminasilikat. Reaksi geopolimer dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi Geopolimer
(Sumber : Singh, 2018)

Tahapan-tahapan yang terjadi saat polimerisasi, yaitu: pertama, atom Al dan Si yang ada dalam material aluminosilikat larut karena aksi ion hidroksida, kemudian ion prekursor diubah menjadi monomer, lalu polikondensasi monomer menjadi polimer. Ketiga tahapan ini terjadi hampir bersamaan dan tumpang tindih (overlap). Pada Gambar 2, terlihat bahwa selama proses polimerisasi terjadi pelepasan molekul air. Hal ini juga menjadi salah satu perbedaan geopolimer dengan semen *portland*, karena reaksi pembentukan semen *portland* mengkonsumsi air (Singh, 2015).

Mineral aluminasilikat dapat diaktivasi dengan alkali aktivator seperti NaOH. Dalam proses polimerisasi larutan alkali akan melarutkan alumina-silika sehingga membentuk monomer $[AlO_4^-]$ dan $[SiO_4^-]$ (Nilmania *et al.*, 2022) dan geopolimerisasi membutuhkan tambahan silika (Si) (Xu *et al.*, 2000) dalam hal ini digunakan sodium silikat sebagai bahan pengikat dan untuk mempercepat proses polimerisasi (Singh, 2018).

2.3 Semen Geopolimer

Semen Geopolimer adalah semen dengan material dari bahan alami sebagai pengikat. Semen geopolimer merupakan material ramah lingkungan yang biasa dikembangkan sebagai alternatif pengganti semen di masa mendatang. Karena, material ini tersusun dari sintesis bahan-bahan alam anorganik melalui proses polimerisasi. Bahan dasar utama pembuatan semen geopolimer adalah bahan yang banyak mengandung silika (Si) dan alumina (Al) (Salwatul, 2017). Geopolimer dikatakan ramah lingkungan, karena selain dapat menggunakan bahan-bahan buangan industri, proses pembuatan beton geopolimer tidak terlalu memerlukan energi, seperti halnya proses pembuatan semen yang setidaknya memerlukan suhu hingga 1400°C . Dengan pemanasan lebih kurang 90°C selama satu hari penuh sudah dapat dihasilkan semen yang berkekuatan tinggi. Karenanya, pembuatan semen geopolimer mampu menurunkan emisi gas rumah kaca yang diakibatkan oleh proses produksi semen (Hardjito, 2002). Unsur-unsur ini, diantaranya banyak terdapat pada material buangan hasil sampingan industri, seperti abu terbang (*fly ash*) dan sisa pembakaran batu bara. Selama ini, karena ukuran partikelnya yang kecil dan mudah berterbangan di udara, abu terbang lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan timbunan. Kalau penimbunannya dilakukan sembarangan, akan berpotensi mengancam kelestarian lingkungan. Karena, partikel-partikel logam berat yang dikandungnya dengan mudah larut mencemari sumber-sumber air. Untuk melarutkan unsur-unsur silikon dan aluminium, serta memungkinkan terjadinya reaksi kimiawi, digunakan larutan bersifat alkalis.

Material geopolimer ini jika digabungkan dengan agregat batuan, akan menghasilkan semen geopolimer tanpa perlu semen lagi. Geopolimer lebih ramah lingkungan, karena selain dapat menggunakan bahan pembuangan industri, proses

pembuatannya juga tidak perlu energi, seperti pada proses pembuatan semen hingga suhu 1400°C. Cukup dengan pemanasan dengan suhu oven selama sehari penuh, maka bisa dihasilkan semen berkualitas tinggi. Dari hasil riset yang telah dilakukan selama ini menunjukkan, bahwa semen geopolimer memiliki sifat-sifat teknis, seperti kekuatan dan keawetan yang tinggi. Sebuah perusahaan semen pracetak di Australia, bahkan sudah mulai memproduksi *prototipe* semen geopolimer pra-cetak dalam bentuk bantalan rel kereta, pipa beton untuk saluran pembuangan air kotor dan lainnya (Hardjito, 2002).

Menurut Utomo (2017), semen geopolimer menonjol dengan beberapa aspek seperti, menunjukkan tingkat susut yang rendah, memiliki resistensi yang lebih baik terhadap reaksi alkali-silika, dan berpotensi mengurangi emisi polusi udara. Disisi lain ada beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan dalam penggunaan semen geopolimer seperti, pembuatan semen geopolimer lebih rumit karena membutuhkan lebih banyak membutuhkan material dalam komposisinya, belum adanya komposisi yang tetap untuk semen geopolimer.

Tabel 1. Rentang Komposisi yang Umum dari Semen Geopolimer dan *Portland*

Oksida	Kadar Semen Portland	Kadar Semen Geopolimer
CaO	60 – 67%	11%
SiO ₂	17 – 25%	59%
Al ₂ O ₃	3 -8 %	18%
Fe ₂ O ₃	0.5 – 6.0%	-
MgO	0.5 – 4.0%	3%
K ₂ O, Na ₂ O	0.3 – 1.2%	9%
SO ₃	2.0 – 3.5%	-

Sumber: Athanasius P, 2010

2.4 Semen *Portland*

Tabel 2. Syarat Kimia

Parameter Tes	SNI 15-7064	Internal
LOI	Maks. 5.0 %	Disesuaikan dengan pemakaian bahan ketiga
MgO	Maks. 6.0 %	Maks. 6.0 %
FCaO	-	Maks. 2.0 %
IR	Maks. 3.0 %	-
SO ₃	Maks. 4.0 %	1.6 – 2.5 %
C ₃ S	-	60 – 65 %

Sumber: PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk

Tabel 3. Syarat Fisika

Parameter Tes	SNI 15-7064	Internal
<i>Blaine</i>	Min. 2800 cm ² /g	Disesuaikan dengan pemakaian bahan ketiga
<i>Sieving</i> 90 μ m	-	Maks. 1%
<i>Sieving</i> 45 μ m	-	Maks. 8%
Kuat Tekan, 3 hari, kg/cm ² , 7 hari, kg/cm ² , 28 hari, kg/cm ²	Min. 125, Min. 200 Min. 250	Min. 125, Min. 200 Min. 250

Sumber: PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk

Semen portland menurut SNI 15-2049-2004, dibagi menjadi lima jenis dan penggunaan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Ordinary Portland Cement* (OPC) Tipe I

Semen *Portland* Tipe I adalah semen *portland* yang bisa digunakan untuk penggunaan-penggunaan umum yang tidak memerlukan sifat atau perlakuan khusus. Tipe ini digunakan apabila beton yang akan dibuat tidak akan terpapar sulfat secara berlebihan atau mengalami kenaikan temperatur akibat hidrasi. Semen tipe I ini cocok untuk trotoar, jalan setapak, bangunan beton sederhana, jembatan, konstruksi jalur rel kereta, tangki, *reservoir*, pipa pembuangan, dan pipa air.

2. *Ordinary Portland Cement* (OPC) Tipe II “*Medium Sulfate Resistance*”

Semen *Portland* Tipe II digunakan apabila dibutuhkan pencegahan terhadap paparan sulfat, misalnya pada struktur sistem pipa drainase dengan konsentrasi sulfat yang cukup tinggi pada air tanah. Dengan panas hidrasi yang sedang, semen tipe II ini dapat digunakan juga untuk pembangunan dermaga besar, tembok penahan, dan cocok untuk konstruksi beton yang dibangun di udara hangat, karena selama penggunaan kenaikan temperatur akan berkurang.

3. *High Early Strength Cement* Tipe III

Semen *Portland* Tipe III merupakan tipe semen *portland* yang dapat memberikan kekuatan tinggi pada periode awal, kira-kira dalam waktu seminggu atau kurang. Tipe ini biasanya digunakan untuk bangunan-bangunan sementara yang hanya digunakan sesaat. Meskipun semen tipe I juga dapat memberikan kekuatan dini yang tinggi, tapi semen tipe III, yang sering disebut *high early strength portland cement*, dapat memberi hasil yang lebih memuaskan dan lebih ekonomis.

4. *Low Heat Portland Cement* Tipe IV

Semen *Portland* Tipe IV adalah semen dengan panas hidrasi yang rendah dan digunakan apabila laju dan jumlah pembentukan panas harus diminimalisasi. Laju pengerasannya lebih lambat daripada semen tipe I. Semen tipe IV diperuntukkan dalam pembangunan struktur beton *masif*, misalnya bendungan besar.

5. *Sulfate Resistance Portland Cement* Tipe V

Semen *Portland* Tipe V adalah semen tahan sulfat yang digunakan hanya pada konstruksi beton yang terpapar sulfat dalam kadar tinggi, terutama bila konstruksi didirikan pada lahan yang memiliki kandungan sulfat tinggi pada tanah ataupun air tanah. Semen tipe ini biasanya memiliki kandungan C3A yang sedikit, biasanya 5% atau lebih kecil. Beberapa jenis bangunan yang menggunakan produk Tipe V ini cocok digunakan untuk Pembangunan pelabuhan dan konstruksi dalam air.

6. *Portland Composite Cement* (PCC)

Semen *portland composite* adalah semen dengan bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *portland* dan *gyps* dengan satu atau lebih bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi, *pozzolan*, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen *portland composite*. Beberapa jenis bangunan yang menggunakan produk tipe PCC ini cocok digunakan untuk pembangunan perumahan, jalan raya dan dermaga.

2.5 Alkali Aktivator

Alkali aktivator yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3).

1. Sodium hidroksida (NaOH)

Sodium Hidroksida atau biasa dikenal dengan soda api berfungsi sebagai aktivator dalam reaksi polimerisasi, bersifat basa kuat sebagai reaktan alkalin. Sodium hidroksida yang dijual dipasaran berbentuk serbuk dengan kandungan sodium hidroksida 98%, maka dari itu perlu dijadikan larutan. Sodium

hidroksida sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dialrutkan karena pada proses pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. Larutan sodium hidroksida dalam penelitian ini akan menggunakan molaritas 8 M, 12 M, dan 16 M. Larutan harus dibuat sehari sebelum pemakaian dan didiamkan paling tidak selama 24 jam (Hardjito, 2004).

2. Sodium silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat atau *water glass* berperan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi polimerisasi yang terjadi pada semen geopolimer. Sodium silikat tersedia dalam bentuk padat dan cair, pada penelitian ini digunakan sodium silikat berbetuk cairan sebanyak 85 gram.

2.6 Penelitian Terdahulu

Tabel 4. Penelitian Terdahulu

Bahan Baku	Kondisi Operasi	Hasil	Sumber
Sekam padi Komposisi kimia: NaOH (sodium hidroksida) dan Na_2SiO_3 (Sodium silikat).	Komposisi: Rasio 1;1,5. NaOH 12 M, 14 M, 16 M.	Kondisi Optimal: Umur simpan 28 hari. NaOH 16 M, Kuat tekan 11,33 Mpa	Pengaruh Konsentrasi Larutan NaOH Terhadap Kuat Tekan Mortar Geopolimer Abu Sekam Padi (Ema Maria Lestari, <i>et al.</i> , 2021).
<i>Fly Ash Bottom Ash</i> (FABA) Komposisi Kimia: Al_2O_3 : 12,5% SiO_2 : 37,5% CaO : 19,9% Fe_2O_3 : 19,9%	Komposisi FA/BA (100:0, 75:25, 50:50). NaOH dan Sodium Silikat 12 M T: 30 ⁰ C, 60 ⁰ C, dan 90 ⁰ C.	Kondisi Optimal: FA/BA: 75:25 T: 900C umur simpan 28 Hari. Kuat Tekan: 42 Mpa.	Pemanfaatan <i>Fly Ash dan Bottom Ash</i> Sebagai Geopolimer: Korelasi Kuat Tekan dan Derajat Polimerisasi Diamati Menggunakan FTIR (Adelizar, <i>et al.</i> , 2020).
Mineral basalt, sodium silikat, sodium hydroxide dan air. SiO_2 :56,15% Al_2O_3 : 17,37% CaO : 8,25 % Fe_2O_3 : 4,62%	Komposisi Mineral Basalt: NaOH 2,5 ; 3,9 ; 6 dan 8%. Sodium Silikat 9,75%. T: 60, 80, dan 100 ⁰ C.	Kondisi Optimal: T: 100 ⁰ C Kuat tekan: 58 MPa	Pembuatan Semen Geopolimer Ramah Lingkungan Berbahan Baku Mineral Basal Guna Menuju Lampung Sejahtera (Muhammad Amin <i>et al.</i> , 2017)
Abu Vulkanik Komposisi Kimia: SiO_2 : 53,80% Al_2O_3 : 18,26% CaO : 12,31% Fe_2O_3 : 10,62% K_2O : 3,32%	Komposisi Abu Vulkanik: Abu Vulkanik = 233,3 gr (68,7%) Sodium hidroksida = 13,3 gr (3,90%)	Kondisi Optimal: 80 ⁰ C Umur simpan 30 hari. Pemanasan 12 jam Kuat tekan:	Sintesis Semen Geopolimer Berbahan Dasar Abu Vulkanik Dari Erupsi Gunung Merapi (Athanasius P. Bayuseno, <i>et al.</i> , 2010)

Bahan Baku	Kondisi Operasi	Hasil	Sumber
TiO ₂ : 1,13% MnO ₂ : 0,53%	Sodium Silikat = 33,3 gr (9,75%) Aquades = 61,6 gr / 66,6 ml (18,03%) T = 40°C, 60°C dan 80°C Waktu pemanasan 8,26 dan 24 jam.	16,81 Mpa.	