

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan bahan campuran lainnya. Beton merupakan salah satu komponen struktur bangunan yang sering digunakan dalam konstruksi infrastruktur. Beton merupakan sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi bahan agregat dan semen sebagai bahan pengikat (Hamdi et al. 2022).

Semen merupakan salah satu material yang digunakan untuk membuat beton. Pada proses pembuatannya, semen melepaskan banyak karbon dioksida ke atmosfer. Karbon dioksida menyebabkan pemanasan global sehingga terjadi mencairnya es di kutub, hujan asam, cuaca ekstrim, dan dampak negatif pada produksi pangan (Ali, Ahmad, and Yusup 2020). Upaya untuk mengurangi penggunaan semen telah dilakukan. Salah satunya adalah memanfaatkan material *pozzolan* yang dapat merekatkan seperti semen.

Material *pozzolan* merupakan material yang di dalamnya memiliki kandungan silika, aluminium, besi, dan kalsium. Beton yang menggunakan material *pozzolan* disebut beton geopolimer. Kelemahan dari beton geopolimer adalah durasi *setting time* yang singkat dan tingkat kelecakan yang rendah (Internasional et al. 2019). Beton pracetak merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut. Beton pracetak yang memiliki kuat tekan awal tinggi, dapat membuat produksi lebih efisien karena beton pracetak dapat dilepaskan dari bekisting dan dapat menanggung beratnya sendiri. Beton dengan kuat tekan awal tinggi dapat mempercepat durasi Pembangunan (Bediakoa et al. 2016).

Riau khususnya Kabupaten Rokan hulu banyak memproduksi kelapa sawit yang menghasilkan limbah berupa cangkang, tandan kosong, dan serat. Beberapa penelitian untuk memanfaatkan cangkang kelapa sawit telah dilakukan. (Kristianto, Mungok, and Handalan 2016) menggunakan cangkang kelapa sawit sebagai agregat kasar dalam membuat beton normal. Penambahan sebanyak 10% meningkatkan kuat tekan sebesar 12,8%. Penambahan sebanyak 20% dan 30% membuat kuat tekan menurun. (Wibowo, Christianto, and Widjajakusuma 2024) membuat pasta geopolimer dari abu cangkang kelapa sawit dengan variasi konsentrasi larutan

natrium hidroksida. Pada umur 28 hari, pasta geopolimer memiliki kuat tekan 26,83-31,08 MPa. Jumlah komposisi silika, aluminium, besi, dan kalsium pada abu cangkang kelapa sawit (Lerry, Elhusna, and Afrizal 2012) lebih sedikit dibanding jumlah pada abu terbang (Lerry et al. 2012) sehingga kurang efektif menggunakan abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan utama membuat pasta geopolimer. (Firdaus et al. 2020) melakukan penelitian dengan cara mengganti 10% dari berat agregat halus dengan abu cangkang kelapa sawit dan 30% dari berat agregat kasar dengan cangkang kelapa sawit untuk membuat beton normal dengan target kuat tekan 25 MPa. Hasil kuat tekan pada benda uji berumur 28 hari adalah sebesar 21 MPa. Kuat tekan beton tidak mencapai target karena cangkang kelapa sawit memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding agregat kasar dan halus. Keunggulan cangkang kelapa sawit adalah memiliki berat jenis yang lebih rendah.

Berdasarkan uraian diatas dan referensi penelitian mengenai pemanfaatan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) yang telah dilakukan, maka penulis merumuskan judul penelitian “Analisis Beton Geopolimers substitusi bahan POFA dengan Metode perawatan (*Curing*) dipanaskan di oven pada suhu 60°C selama 24 jam”.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, penulis dapat merumuskan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik beton *geopolimers* substitusi bahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) 10%?
2. Berapa kuat tekan beton *geopolimers* bahan substitusi bahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) yang dilakukan perawatan (*curing*) dengan dipanaskan pada suhu 60°C?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Untuk mengetahui karakteristik beton *geopolimers* berbasis bahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) 10%.
2. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton *geopolimers* bahan berbasis bahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) yang dilakukan perawatan (*curing*) dengan dipanaskan pada suhu 60°C.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk menemukan karakteristik beton *geopolimers* berbasis bahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) 10%.
2. Manfaat dari penelitian adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton *geopolimers* bahan berbasis bahan POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) yang dilakukan perawatan (*curing*) dengan dipanaskan pada suhu 60°C.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah sesuai dengan parameter yang hendak dicapai maka, batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bahan *geopolimers* yang digunakan adalah POFA (*Palm Oil Fuel Ash*).
2. Agregat kasar menggunakan batu pecah ukuran butir maks batu pecah 1-2.
3. Agregat halus menggunakan pasir saring hasil pengolahan *stone crusher*.
4. Design campuran yang digunakan mengacu pada SNI 03-2834-2000
5. Komposisi POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) 10%.
6. Benda uji berbentuk silinder dan pengujian pada umur 7 hari di konversi ke 28 hari.
7. Total sampel benda uji silinder untuk Variasi penggunaan *additive* POFA (*Palm Oil Fuel Ash*) Beton Normal *curing* suhu ruang, Beton substitusi 10%POFA +8 M aktivator *curing* suhu ruang, Beton substitusi 10%POFA +8 M aktivator *curing* suhu 60°C, Beton substitusi 10%POFA +16 M aktivator *curing* suhu ruang dan Beton substitusi 10%POFA +16 M aktivator *curing* suhu 60°C sebanyak 15 Silinder.
8. Bahan *activator larutan* NaOH 8 M dan 16 M.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian tentang beton dengan berbagai bahan tambahan yang diberikan, bertujuan untuk mencoba menemukan bahan alternative yang baik untuk menambah kualitas beton. Penelitian tersebut antarlain sebagai berikut:

1. (Wibowo dkk. 2024). Peningkatan Kuat Tekan Pada Beton Geopolimer Akibat Metode Perawatan Dipanaskan. Penelitian untuk memanfaatkan material pozzolan untuk mengurangi penggunaan semen sudah banyak dilakukan. Beton yang menggunakan material pozzolan disebut beton geopolimer. Kelemahan dari beton geopolimer adalah durasi setting time dan tingkat kelecakan yang rendah. Oleh karena itu, metode pracetak dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut. Beton dengan kuat tekan awal yang tinggi dapat membuat metode pracetak semakin efisien karena beton dapat dilepaskan dari bekisting dan tidak rusak. Penelitian ini bertujuan untuk melihat peningkatan kuat tekan akibat metode perawatan benda uji dengan cara dipanaskan. Selain itu, pada penelitian ini ditambahkan abu cangkang kelapa sawit sebanyak 5% untuk dilihat pengaruhnya terhadap kuat tekan dibanding beton geopolimer tanpa abu cangkang kelapa sawit. Benda uji yang sudah dibuat, dirawat pada suhu ruangan atau dipanaskan pada oven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Rasio alkali aktivator terhadap abu terbang yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,55:1 dan 0,825:1. Hasil peningkatan kuat tekan yang didapat pada saat benda uji berumur 1 hari adalah benda uji dengan rasio 0,55:1 yang dipanaskan mengalami peningkatan kuat tekan sekitar 2 kali dan pada rasio 0,825:1 mengalami peningkatan kuat tekan sekitar 3,5 kali dibanding benda uji yang dirawat pada suhu ruangan. Hal itu disebabkan oleh pemanasan benda uji membuat reaksi kimia terjadi lebih cepat dan kuat tekan meningkat.
2. (Wahyu Handoyono, dkk. 2024). Sifat Bahan Beton Self Compacting Dengan Menggunakan Abu Bakar Kelapa Sawit (POFA) dan Bubuk Gypsum sebagai Pengganti Semen. Limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Limbah pembakaran kelapa sawit yang biasa disebut dengan POFA (Palm Oil Fuel

Ash). Universitas Palembang menyelenggarakan konferensi internasional di Hotel Zuri Palembang. Konferensi internasional ini memiliki nama “International Conferences on Agriculture, Engineering, Social Education (ICAESSE) 2024” dengan tema “Creating Sustainable Environment Through Digital Transformation in Higher Education”. Konferensi ini dilakukan secara online dan offline dengan peserta konferensi dari kalangan mahasiswa, praktisi dan dosen diseluruh Indonesia. Dr. Ir. Goh Wan Inn, P.Eng., C.Eng. yang berasal dari Universitas Tun Hussein Onn Malaysia menjadi salah satu pembicara dalam acara konferensi internasional ini. Dr. Goh menjelaskan penelitian tentang sifat bahan beton self compacting dengan menggunakan abu bakar kelapa sawit (pofa) dan bubuk gipsum sebagai pengganti semen. Konferensi ini dilakukan dengan pemaparan oleh Dr. Goh kemudian dilanjutkan dengan sesi tanya jawab dengan peserta konferensi.

3. (Yusnar 2022). Fresh Karakteristik Beton Pasta Geopolimer Berbasis POFA dan OPC. Beton pasta geopolimer dibuat dari limbah pabrik industri kelapa sawit, yaitu cangkang sawit sisa dari biji sawit yang telah diperas minyaknya. Cangkang ini selanjutnya dibakar sehingga menjadi abu cangkang sawit. Abu cangkang sawit atau Palm Oil Fuel Ash (POFA) yang sudah dibakar selanjutnya dicampur dengan Ordinary Portland Cement (OPC). Sebagai bahan pereaktif campuran ini digunakan activator larutan alkalin. Campuran ini disebut dengan pasta geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar kontribusi POFA dalam rangka mencari bahan pengganti semen (Cement Substitution) dengan cara memberikan larutan alkalin dengan persentase yang beragam. Hasil penelitian menunjukkan persentase larutan alkalin yang terbaik adalah dengan persentase 10%. Penelitian juga dilakukan terhadap fresh properties dari pasta geopolimer POFA serta rheology material pembentuk pasta geopolimer. Hasil pengamatan terhadap fresh properties berupa pengujian inisial setting dan kekentalan campuran memperlihatkan semakin besar presentase larutan alkalin akan memperbesar waktu pengerasan serta menurunkan kekuatan.
4. (Gandina and Setiyarto 2020). Studi Eksperimental Beton Geopolimer Dengan Memanfaatkan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen dan Serat Mat Sebagai

Aditif. Semen adalah material yang paling penting dalam pembuatan beton konvensional. Ketika dalam produksinya, pada saat yang sama sejumlah CO₂ juga akan diproduksi sebagai akibat sampingan dan akan mencemari udara. Beton geopolimer akan diperkenalkan sebagai beton alternatif yang tidak menggunakan semen apapun dalam pencampuran tetapi menggunakan abu terbang, NaOH dan Na₂SiO₃ digunakan sebagai zat pengaktif, serta ditambahkan pula serat mat sebagai bahan aditif. Dalam penelitian ini dibuat 6 sampel beton geopolimer yang dibedakan menjadi 3 dengan komposisi sebagai berikut : Campuran 1,5 M Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat terhadap Sodium Hidroksida dengan rasio 0,5 dan 1,5 dan proses curing dengan cara dioven serta penambahan serat mat sebagai bahan aditif; Campuran 1,5 M Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat terhadap Sodium Hidroksida dengan rasio 0,5 dan 1,5 dan proses curing dengan cara dioven serta tanpa penambahan serat mat; Campuran 1,5 M Sodium Hidroksida dengan Sodium Silikat terhadap Sodium Hidroksida dengan rasio 0,5 dan 1,5 dan proses curing dengan cara tidak dioven serta penambahan serat mat sebagai bahan aditif. Berdasarkan pengujian kuat tekan, rasio perbandingan sodium silikat dengan sodium hidroksida 0,5 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan rasio 1,5. Untuk proses curing dengan cara tidak dioven menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan proses curing dengan cara dioven. Penggunaan serat mat diketahui dapat meningkatkan daktilitas material geopolimer.

5. (Ridha, dkk. 2020). Pengaruh Penambahan Pofa dengan Tanah Lempung untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Nilai California Bearing Ratio. Tanah berperan sangat penting dalam sebuah konstruksi. Tanah yang memiliki nilai daya dukung yang kurang stabil akan mempengaruhi pada suatu konstruksi seperti tanah lempung. Salah satu usaha yang untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah dengan cara dilakukan pencampuran POFA dengan variasi 0%, 4%, 8%, dan 16%. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisis dan sifat mekanis yaitu pemadatan standar dan CBR laboratorium dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh tanah asli dengan campuran variasi POFA terhadap nilai CBR tanah lempung. Hasil penelitian ini menunjukkan

bahwa tanah diklasifikasikan dengan sistem AASHTO termasuk pada kelompok tanah A-7-6, hal ini dibuktikan dari hasil penelitian bahwa nilai untuk lolos ayakan no 200 didapatkan nilai 65,85%, nilai batas cair (LL) didapat 41,50% dan nilai Indeks Plastisitas (PI) didapat 15,45%. Penambahan POFA terhadap tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR Laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai CBR terhadap variasi campuran POFA. Nilai CBR tanah asli 6,8%, pada variasi POFA 4% terjadi peningkatan menjadi 9,9%, pada variasi POFA 8% terjadi peningkatan menjadi 10,7%, pada variasi POFA 12% terjadi penurunan menjadi 7,7% dan pada variasi POFA 16% terjadi penurunan kembali menjadi 6,5%.

6. (Ahyuriza 2019). Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Fly Ash Kelapa Sawit Terhadap Filtration Loss dan Free Water Pada Semen Pemboran Kelas G. Beton pasta geopolimer dibuat dari limbah pabrik industri kelapa sawit, yaitu cangkang sawit sisa dari biji sawit yang telah diperas minyaknya. Cangkang ini selanjutnya dibakar sehingga menjadi abu cangkang sawit. Abu cangkang sawit atau Palm Oil Fuel Ash (POFA) yang sudah dibakar selanjutnya dicampur dengan Ordinary Portland Cement (OPC). Sebagai bahan pereaktif campuran ini digunakan activator larutan alkalin. Campuran ini disebut dengan pasta geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar kontribusi POFA dalam rangka mencari bahan pengganti semen (Cement Substitution) dengan cara memberikan larutan alkalin dengan persentase yang beragam. Hasil penelitian menunjukkan persentase larutan alkalin yang terbaik adalah dengan persentase 10%. Penelitian juga dilakukan terhadap fresh properties dari pasta geopolimer POFA serta rheology material pembentuk pasta geopolimer. Hasil pengamatan terhadap fresh properties berupa pengujian inisial setting dan kekentalan campuran memperlihatkan semakin besar presentase larutan alkalin akan memperbesar waktu pengerasan serta menurunkan kekuatan.

2.2 Keaslian penelitian

Setelah membaca penelitian terdahulu yang tersebut diatas, terdapat perbedaan dengan penelitian yang akan penulis lakukan.

Perbedaan tersebut diantaranya sebagai berikut:

1. Substitusi POFA pada beton *geopolimers* sebesar 10%.
2. Bahan activator yang digunakan 8 M dan 16 M
3. Metode perawatan (*curing*) terhadap benda uji dengan cara dipanaskan pada suhu ruang dan di oven suhu 60°C selama 24 jam.
4. Pengujian dilakukan pada umur 7 hari di konversi ke 28 hari
5. Total jumlah sampel sebanyak 15 Silinder beton.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain lain. Beton merupakan satu kesatuan yang homogen. Beton ini didapatkan dengan cara mencampur agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lain dan air, dengan semen portland atau semen hidrolik yang lain, kadang-kadang dengan bahan tambahan (additif) yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada perbandingan tertentu, sampai menjadi satu kesatuan yang homogen. Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air.

Beton harus dicampur dan diaduk dengan baik sehingga sement, air, agregat, dan zat tambahan bisa tersebar merata di dalam adukan. Beton biasanya dicampur dengan menggunakan mesin. Ada yang dicampur dilapangan (*site*) ada juga yang sudah dicampur sebelum dibawa ke lapangan, atau istilahnya ready-mix. Komposisi yang berbeda-beda di antara bahan baku beton mempengaruhi sifat beton yang dihasilkan pada akhirnya. Pembagian ini biasanya diukur dalam satuan berat dan volume.

Jika kadar semen dinaikkan, maka kekuatan dan durabilitas beton juga akan meningkat. Semen (bersama dengan air) akan membentuk pasta yang akan mengikat agregat mulai dari yang paling besar (kasar) sampai yang paling halus. Sebaliknya, penambahan air justru akan mengurangi kekuatan beton. Air cukup digunakan untuk melarutkan semen. Air juga yang membuat adukan menjadi kohesif dan mudah dikerjakan (*workable*). Jika agregat halus terlalu banyak, maka adukannya akan terlihat (*sticky*) encer lunak, seperti tidak punya kekuatan. Dan setelah pemadatan, bagian atas adukan akan cenderung kosong alias tidak ada agregat. Sebaliknya, jika agregat kasar terlalu banyak, adukannya akan terlihat kasar, berbatu, kelihatan getas (rapuh). Agregat ini akan muncul di permukaan setelah dipadatkan. Beton harus dicampur dan diaduk dengan baik sehingga sement, air, agregat, dan zat tambahan bisa tersebar merata di dalam adukan.

Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan karakteristik pada usia 28 hari atau f'_c . Kuat tekan karakteristik adalah tegangan yang melampaui 95% dari pengukuran kuat tekan uniaksial yang diambil dari tes penekan standar, yaitu dengan kubus ukuran 150 x 150 mm, atau selinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengukuran kekuatan dengan kubus adalah lebih tinggi dari pada dengan selinder. Rasio antara kekuatan selinder dan kubus adalah 0,8.

3.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan. Mulyono (2004), menyatakan ada banyak kelebihan dari beton sebagai struktur bangunan diantaranya adalah:

1. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
2. Beton termasuk bahan awet, tahan api dan air, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh lingkungan, sehingga biaya perawatannya murah.
3. Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain.
4. Tahan terhadap temperatur yang tinggi.
5. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.

Mulyono (2004), menyatakan juga kekurangan dari beton diantaranya adalah:

1. Bentuk yang telah dibuat sulit untuk diubah.
2. Pelaksanaan pekerjaan butuh ketelitian yang tinggi.
3. Mempunyai beban yang berat.
4. Daya pantul suara yang besar.

3.3 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen dan air. Untuk memenuhi kebutuhan beton tertentu, beton dapat ditambah dengan bahan tambah admixture. Setiap bahan penyusun mempunyai fungsi yang berbeda-beda tergantung kegunaannya.

3.3.1 Semen

Semen adalah bahan yang memiliki sifat adhesi maupun kohesi yaitu bisa menjadi bahan perekat setelah berhubungan dengan air. Semen jika dicampur dengan air akan menjadi pasta semen, apabila pasta semen dicampur dengan agregat halus akan menjadi mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar maka mortar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras. (Mulyono, 2003).

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Menurut Mulyono (2003), bahan-bahan utama pembentuk semen dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini

Tabel 3. 1 Bahan Utama Pembentuk Semen

Bahan Penyusun	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO_2)	20-25
Oksida Besi (Fe_2O_3)	7-12
Alumina (Al_2O_3)	7-12

Sumber: Mulyono (2003)

Semen portland mempunyai bahan-bahan utama penyusun tidak jauh berbeda dengan semen portland komposit. Menurut SNI 15-7064-2004 definisi dari semen portland komposit adalah hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan-bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen portland. Ketika unsur-unsur penyusun semen portland komposit tersebut ditambahkan dengan air kemudian dapat bereaksi membentuk senyawa-senyawa kimia yang menyebabkan ikatan dan pengerasan. Semen yang

bereaksi dengan air bersifat irreversible yaitu hanya dapat terjadi satu kali dan tidak dapat kembali lagi ke wujud semula.

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland berdasarkan penggunaannya dibedakan menjadi 5 tipe yaitu sebagai berikut.

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis- jenis yang lainnya.
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang butirannya lebih besar dari 5 mm atau agregat yang semua butirannya dapat tertahan diayakan 4,75 mm. Agregat kasar menurut SNI 03-2847-2002 adalah agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm. Menurut standart ASTM agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.75 mm sedangkan agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4.75 mm. Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh pada mutu campuran beton.

Berikut tabel ketentuan gradasi agregat kasar (split) berdasar SNI-03-2834-2000 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal) :

Tabel 3. 2 Tabel ketentuan gradasi agregat kasar (Kerikil)

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan	
	Daerah I	Daerah II
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 -55
4,8	0 – 5	0 – 10

Sumber: Tjokrodimulyo (1992)

3.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200.

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi. Menurut standart ASTM agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.75 mm sedangkan agregat halus adalah agregat yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4.75 mm.

Menurut SNI-03-2847-2002, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 British Standart (BS) memberikan syarat gradasi untuk pasir. Kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus (zone4), agak halus (zone3), agak kasar (zone2), dan kasar (zone1) seperti pada tabel berikut.

Tabel 3. 3 Gradasi agregat halus menurut BS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
10	100	100	100	100
4'8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: M Hadi H,ST (2018)

3.3.3 Air

Air diperlukan dalam pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mempermudah pengerjaannya. Air bersih umumnya bisa digunakan untuk bahan campuran beton, namun jika air yang tercemar atau tercampur bahan-bahan seperti garam, gula atau bahan kimia lainnya jika digunakan untuk campuran beton akan menurunkan kekuatan beton tersebut dan merubah sifat semen (Nawy, 1990). Penambahan air yang berlebihan juga dapat menyebabkan banyaknya gelembung pada saat proses hidrasi selesai, namun jika penambahan air terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya sehingga berpengaruh pada kekuatan beton itu sendiri. Kekuatan beton pada umur 7 hari atau 28 hari tidak boleh kurang dari 90% jika dibandingkan dengan kekuatan beton yang menggunakan air setandar/air suling. Menurut SNI 03-6861-1-2002 persyaratan air untuk campuran air adalah:

1. Harus bersih tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organic, dan lain-lain).
4. Kandungan klorida (Cl) < 0.50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃.

5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.
6. Khusus untuk beton pratekan, kecuali syarat-syarat diatas air mengandung klorida lebih dari 0,05 gram/liter.

Untuk air yang digunakan sebagai perawatan beton, dapat menggunakan air yang digunakan saat pengadukan, namun air tersebut adalah air yang tidak menimbulkan noda atau endapan yang merusak warna permukaan agar permukaan tetap bagus untuk dilihat.

3.4 Sifat-Sifat Beton

3.4.1 *Workability*

Salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan. *Workability* adalah kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang kedalam cetakan dan pemadatan tanpa homogenitas beton berkurang dan beton tidak mengalami bleeding (pemisahan) yang berlebihan sehingga mencapai mutu beton yang diinginkan.

Workability memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
- b. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat (*koheren*), dan tidak mengalami pemisahan butiran (*segregasi* dan *bleeding*).
- c. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.
- d. *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Unsur-unsur yang mempengaruhi *Workability* antara lain:

- a. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
- b. Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai *fas* tetap.

- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- d. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- e. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
- f. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan (Tjokrodimuljo, K., 2007)

3.4.2 Segresi

Kecenderungan butir-butir kasar untuk lepas dari campuran beton dinamakan *segregasi* (Mulyono, 2004). Hal ini akan menyebabkan sarang kerikil pada beton akhirnya akan menyebabkan keropos pada beton. *Segregasi* ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

- 1. Campuran kurus dan kurang semen
- 2. Terlalu banyak air
- 3. Ukuran maksimum agregat lebih dari 40mm
- 4. Permukaan kerikil yang terlalu kasar

Terjadinya *Segresi* ini dapat dicegah dengan:

- 1. Penggunaan air sesuai dengan syarat
- 2. Cukup ruang antara batang tulangan dengan acuan
- 3. Ukuran agregat sesuai dengan syarat
- 4. Pemadatan dilakukan dengan baik

3.4.3 Bleeding

Bleeding adalah pengeluaran air dari adukan beton yang disebabkan oleh pelepasan air dari pasta semen. Sesaat setelah dicetak, air yang terkandung di dalam beton segar cenderung untuk naik ke permukaan. Akibat dari peristiwa ini:

1. Bagian atas lapis terlalu basah, yang akan menghasilkan beton berpori dan lemah.
2. Air naik membawa serta bagian-bagian inert dan semen yang membentuk lapis buih semen (*laintace*) pada muka lapis (merintang lekatan pada lapis kemudian, maka harus dihilangkan).
3. Air dapat berkumpul dalam-dalam krikil-krikil dan baja tulangan horizontal, hingga menimbulkan rongga-rongga besar.

Cara mengurangi bleeding:

1. Jumlah air campuran yang tidak melebihi kebutuhan untuk mencapai Workability.
2. Campuran dengan semen lebih banyak.
3. Jenis semen yang butir-butirnya lebih halus.
4. Bahan batuan bergradasi lebih baik.
5. Pasir alam yang agak bulat-bulat dengan persentase butir halus lebih besar.
6. Zat tambah guna perbaikan gradasi bahan batuan (kadang-kadang digunakan bubuk Al, yang menyebabkan pengembangan sedikit pastinya, guna mengimbangi susut oleh pengeluaran air).

3.4.4 Umur Beton

Kekuatan desak beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (*linier*) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Kekuatan desak beton pada kasus tertentu terus akan bertambah sampai beberapa tahun dimuka. Biasanya kekuatan desak rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Untuk struktur yang menghendaki awal tinggi, maka campuran dikombinasikan dengan semen khusus atau ditambah dengan bahan tambah kimia dengan tetap menggunakan jenis semen tipe I (OPC-1). Laju kenaikan umur beton sangat tergantung dari penggunaan bahan penyusunnya yang paling utama adalah penggunaan bahan semen karena semen cenderung secara langsung memperbaiki kinerja desaknya (Mulyono, 2004).

Kuat desak beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur (Tjokrodinuljo, K., 2007). Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton

dicetak. Laju kenaikan kuat desak beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relative sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat desak beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat desak beton pada umur 28 hari. Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat desak beton. Hubungan antara umur dan kuat desak beton dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 4 Rasio Kuat Desak Beton Pada Berbagai Umur

Umur Beton	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland biasa	0,4	0,65	0,88	0,95	1	1,2	1,35
Semen Portlan dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,9	0,95	1	1,15	1,2

Sumber : PBI 1971, NI – 2, dalam Tjokrodinuljo, K, 2007

3.4.5 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f'_c) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

R umus untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A_o} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

f'_c : kuat tekan beton (MPa)

P : bebas tekan (N)

A_o : luas penampang benda uji (mm^2)

Sifat beton yang baik adalah jika beton tersebut memiliki kuat tekan tinggi (antara 20-50 MPa pada umur 28 hari). Dengan kata lain dapat diasumsikan bahwa mutu beton ditinjau hanya dari kuat tekannya saja (Tjokrodinuljo, K., 2007).

3.5 Abu Sawit (POFA)

Abu sawit merupakan abu yang dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit pada suhu sekitar 800 - 1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat, 2009). Pemanfaatan abu sawit hingga kini masih minim dan belum terkelola dengan baik, sementara jumlahnya terus meningkat 0,1 juta ton per tahun dan membutuhkan lahan untuk pembuangan sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Jumlah abu sawit diproduksi meningkat setiap tahunnya, alokasi biaya transportasi dan tempat pembuangan sampah untuk pembuangan abu sawit adalah bukannya yang efektif untuk mengelola sampah sebagai abu sawit tidak memiliki nilai kembali komersial dan dapat menyebabkan masalah lingkungan di masa depan. *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) dapat sebagai bahan pengganti semen atau sebagai agregat dalam beton karena sifat pozzolan yang dimilikinya.

Abu sawit yang disebut juga *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) adalah salah satu abu limbah industri yang komposisi kimianya mengandung Silikon Oksida (SiO_2) yang mempunyai sifat aktif dan reaktif. Abu sawit digunakan sebagai pozzolan, bahan halus yang mengandung alumina dan silika yang dapat bereaksi dan membentuk bahan semen (Islami et al., 2015).

Tabel 3. 5 Perbandingan Kandungan Utama Semen Dengan Abu Kelapa Sawit

Kandungan Penyusun	Semen Kadar (%)	Abu Sawit Kadar (%)
Kapur (CaO)	60-65	15,2
Silika (SiO ²)	20-25	31,35
Oksida Besi serta Alumina (Fe ² O ³ dan Al ² O ³)	7-12	-

(Sumber: Suyitno, 2009)

3.6 Alkali Activator

Aktivator merupakan zat atau unsur yang menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Beton geopolimer disintesis dengan mencampur aktivator basa kuat seperti sodium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), kalium silikat atau natrium silikat dengan bahan reaktif aluminosilikat (Somna dkk, 2011). Yip dkk, 2005 menyatakan bahwa pembentukan beton geopolimer sangat dipengaruhi oleh komposisi alkali aktivator. Dalam pembuatan beton geopolimer, aktivator yang sering digunakan adalah unsur alkali yang terhidrasi yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃). Sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Sedangkan sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam fly ash sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Untuk dapat digunakan pada campuran geopolimer, aktivator yang berupa padatan harus dilarutkan ke dalam air disesuaikan dengan molaritas larutan aktivator yang dikehendaki (Davidovits, 2008).

3.6.1 Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium Hidroksida/NaOH adalah salah satu jenis alkali. Jenis alkali hidroksida yang digunakan dalam suatu bahan pengikat *geopolimer*. Material tersebut sangat bersifat higroskopis, apabila NaOH dibiarkan terbuka dan terkontak langsung dengan udara, maka NaOH akan menyerap air yang terkandung di udara dan membuatnya seperti meleleh (Caustic Soda, JSIA, 2006). *Sodium hidroksida*

(NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur – unsur Al dan Si yang terkandung di dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat.

Larutan alkali yang digunakan dalam beton geopolimer adalah logam alkali yang dapat larut. Logam alkali yang sering digunakan sebagai reagen reaksi geopolimerisasi adalah Natrium (Na) dan Kalium (K). Di dalam penelitian ini digunakan sodium hidroksida (NaOH) karena kelarutan ion Al^{3+} dan Si^{4+} dalam NaOH lebih tinggi dibandingkan dengan kalium hidroksida (Van Jaarsveld dkk, 1999). Konsentrasi NaOH yang digunakan adalah 16 M dimana dalam geopolimer konsentrasi larutan NaOH harus dalam kisaran 8 M sampai 16 M (Rangan dkk, 2016). Menurut (Choudhary dkk, 2008), kuat tekan beton akan meningkat dengan meningkatnya molaritas beton dari 8 M menjadi 16 M. Peningkatan tersebut dikarenakan kandungan silika dan alumina lebih banyak disaring dalam NaOH yang lebih pekat (Chindaprasirt, 2009). Selain itu, konsentrasi sodium hidroksida tinggi akan melepaskan ion Si dan Al pada fly ash yang lebih banyak sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat (Rattanasak dkk, 2009). Oleh karena itu, konsentrasi NaOH 16 M yang digunakan dalam penelitian ini.

Konsentrasi NaOH memiliki pengaruh yang lebih besar pada nilai kuat tekan daripada suhu curing dan waktu curing (Bakharev, 2005). Konsentrasi NaOH yang ideal akan memiliki kekuatan beton yang baik. NaOH, merupakan oksidasi alkali yang reaktif dan bersifat basa yang kuat. NaOH dihasilkan melalui elektrolisis larutan NaCl. Massa molekul relative NaOH adalah 40 gram/mol. Na termasuk logam alkali pada golongan 1 pada tabel periodik kecuali hidrogen dan semua unsur ini sangat reaktif sehingga secara alami tidak ditemukan dalam bentuk tunggal. Sodium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pellet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50%. Sodium hidroksida dapat mengabsorpsi CO_2 dari udara, bersifat sangat korosif pada jaringan hewan dan tumbuhan serta pada logam aluminium. NaOH menghasilkan panas (eksotermis) saat dilarutkan dalam air atau ketika dilarutkan dalam asam. NaOH berbentuk pellet dapat mencapai kemurnian 97-98% (Windholtz, 1976).

Sodium hidroksida harus dilarutkan terlebih dahulu dengan air sesuai dengan molaritas yang diinginkan. Larutan ini harus dibuat dan didiamkan setidaknya 24 jam sebelum pemakaian (Hardjito, 2005).

3.6.2 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat (Na_2SiO_3) atau waterglass adalah nama umum dari sodium metasilikat. Bentuknya bening sampai putih atau putih keabu-abuan, kristalin atau seperti lem. Natrium silikat juga dapat mengiritasi kulit. Natrium silikat dalam bentuk larutannya adalah alkalin kuat (Windholtz, 1976).

Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium carbonate (Na_2SiO_3) atau dengan potassium carbonate (K_2CO_3) pada temperatur 1100 - 1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (cullets) yang dilarutkan ke dalam air dengan tekanan tinggi menjadi cairan yang kering dan agak kental. Sedangkan pada proses basah, pasir (SiO_2) dicampur dengan sodium hidroksida (NaOH) melalui proses filtrasi sehingga menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat memiliki 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Untuk campuran mortar lebih banyak digunakan sodium silikat dengan bentuk larutan sebagai katalisator yang berperan untuk mempercepat reaksi kimia. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, campuran cat serta dalam beberapa keperluan seperti kertas, tekstil dan serat. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono, 2002). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai alkali aktivator.