

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Palm Oil Fly Ash (POFA)

Di dalam boiler pembakaran kelapa sawit terdapat dua jenis abu yang terbakar yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. *Fly ash* atau abu terbang ialah residu hasil bakar di dalam boiler yang berbentuk padatan lalu terbawa oleh gas buang kemudian tertangkap oleh instrument pengontrol udara (*electric precipitator*) sebelum dilepaskan ke udara oleh saluran asap. Sedangkan *bottom ash* atau abu dasar ialah limbah padat residu hasil bakar yang dikeluarkan dari dapur di bagian terbawah *boiler* dan biasanya berupa abu yang meleleh atau disebut kerak (Armeyn, 2014)

POFA (*Palm Oil Fly Ash*) adalah abu yang diperoleh dari serabut dan cangkang kelapa sawit hasil pembakaran pada boiler oleh pabrik kelapa sawit untuk diambil minyak sawitnya (Ahmad, dkk). (Reza, dkk, 2014) POFA ialah abu yang sudah melewati proses penggilingan dari kerak pada saat pembakaran serat buah dan cangkang pada temperatur dengan suhu 700 – 800°C didalam dapur boiler. Saat ini pemanfaatan limbah POFA belum dimanfaatkan secara optimal sehingga terjadi penumpukan POFA di area ash lagoon atau pada areal industri sehingga penumpukan ini akan menimbulkan masalah kedepannya.

Abu limbah kelapa sawit yang juga dikenal sebagai abu POFA ialah produk bakar limbah minyak sawit dari pada temperatur internal berkisar 1000°C sampai 2000°C. *Fly ash* minyak sawit mengandung silika dalam jumlah besar dan berpotensi menggantikan semen dan porselen. Silika dalam jumlah besar dapat diperoleh dengan murah dari *fly ash* minyak sawit selaku material opsi untuk banyak industri (Jamo dan Abdul, 2015).

POFA juga termasuk material pozzolan yaitu yang dari limbah industri bahan baku batubara atau produk sampingan dari hasil pertanian seperti minyak sawit

Unsur aluminat dan silika terkandung pada bahn ini. Dalam keadaan halus (ayakan 0,21 mm), jika ditambahkan ke dalam campuran semen, maka akan memiliki sifat seperti semen melalui proses hidrolis atau aktivitas pozzolan atau keduanya (Waani, 2017).

Abu boiler cangkang kelapa sawit adalah biomassa yang mengandung silika (SiO_2) potensial untuk dimanfaatkan kembali. Pembakaran yang terjadi pada cangkang dan fiber menciptakan kerak yang berwarna putih keabuan dan keras akibat terbakar di temperatur yang tinggi. Silika mempunyai karakter non-konduktif, dengan ketahanan oksidasi yang baik dan degradasi panas yang baik (Hildayati, dkk, 2009)

Jurnal yang ditulis oleh Farandia et al (2014), memaparkan secara lebih lengkap kandungan POFA yang didapatkan di PKS Lubuk Raja, yaitu:

Tabel 2.1 Komposisi Kimia POFA
Farandia, dkk (2015)

| Unsur | % berat |
|-------------------------|---------|
| SiO_2 | 64,36 |
| Al_2O_3 | 4,36 |
| Fe_2O_3 | 3,41 |
| CaO | 7,92 |
| MgO | 4,58 |
| SO_3 | 0,04 |
| K_2O | 5,57 |
| TiO_2 | 0,87 |
| MnO | 0,1 |
| P_2O_5 | 3,64 |
| H_2O | 0,59 |

2.1.2. Refraktori

Refraktori didefinisikan sebagai bahan konstruksi yang dapat menahan kondisi tegangan mekanik dan serangan kimia berupa gas panas, leburan maupun terak pada temperatur yang sangat tinggi, refraktori dibuat dari bahan alumina, tanah liat,

silicon carbida, magnesia, *kromit*. Bahan refraktori sangat penting karena membantu menjaga panas di ruang bakar sehingga panas tidak keluar dari ruangan bakar, di Indonesia sendiri refraktori digunakan di tungku pembakaran, ketel, dan cyclone (Hancock, 1998).

Berdasarkan bentuknya, refraktori atau bahan tahan api dapat dibagi menjadi dua jenis: bata (berbentuk) dan monolitik (tidak berbentuk). Bata tahan api (berbentuk) memiliki banyak ukuran dan bentuk seperti lurus, kecil, balok kubus, kubah, belahan, tabung, dll. Material refraktori monolitik berupa campuran partikel serbuk mineral (agregat) dan mengandung bahan pengikat, baik cairan maupun bahan kimia cair lainnya yang memiliki sifat mengikat, sehingga bila dicampur hasilnya homogen dan ulet. Penggunaan refraktori monolitik ini adalah untuk digunakan segera setelah proses pencampuran. Berdasarkan bentuknya, bahan tahan api dapat diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu bata tahan api, beton cor/tahan api (*castable*), mortar tahan api (semen tahan api), dan *refactoring* jangkar (Pulungan H. B., 2019).

Mendapatkan refraktori yang baik tentunya harus memenuhi beberapa sifat yang ada sehingga refraktori dapat bertahan dalam temperatur yang tinggi. Adapun beberapa sifat yang diperlukan agar refraktori dapat menangani kebutuhan aplikasinya nya adalah sifat fisik berupa massa jenis, porositas, kekuatan dan abrasi kemudian ada juga sifat thermal berupa kejut panas, konduktivitas panas, dan difusivitas panas ada juga sifat kimia berupa korosi atau erosi (Charles, 2004).

1. Berat Jenis dan Porositas

Bulk Density atau berat jenis (kg/m^3) suatu bahan dengan mengukur perbandingan beratnya (kg) dengan volumenya (m^3). Porositas adalah ukuran pori-pori terbuka refraktori, porositas menahan penetrasi logam, terak dan aliran. Kepadatan curah digunakan sebagai ukuran tidak langsung dari konduktivitas termal, atau kemampuannya untuk menahan panas dari bahan tahan api, karena semakin tinggi kerapatan bahan, semakin rendah porositas bahan tersebut.

2. *Strength* (Kekuatan)

Kekuatan suatu bahan dapat dipengaruhi oleh kondisi panas maupun dingin. Uji kekuatan suatu bahan pada suhu dingin atau suhu ruangan dimaksudkan

untuk melihat derajat pembentukan ikatan selama pembuatan dan digunakan untuk melihat kemampuan suatu bahan dalam menangani dan mengangkut dalam aplikasi suhu yang relatif rendah. Pengujian ketahanan suatu material terhadap temperatur tinggi berguna untuk melihat kemampuan suatu material dalam menahan pemuaian termal, kejutan termal, dan beban mekanis. Dalam uji kekuatan refraktori, diukur dengan *cold crushing strength*. Tes kekuatan dingin ini juga dapat digunakan untuk secara langsung menunjukkan ketahanan abrasi bahan tahan api.

3. Konduktivitas Panas (*Thermal Konduktivitas*)

Konduktivitas panas adalah besar kemampuan refraktori untuk panas dari permukaan panas ke dingin selama beroperasi pada temperatur tinggi. Uji konduktivitas panas digunakan untuk melihat nilai peredaman panas pada bahan tahan api. Bahan refraktori harus memiliki nilai konduktivitas panas yang rendah karena fungsi refraktori sendiri adalah menahan panas agar tidak mudah menyebar.

4. Korosi

Refraktori akan cepat mengalami erosi atau korosi jika terkena cairan yang bersifat korosif pada suhu tinggi sehingga kuat material refraktori akan semakin berkurang. Tingkat korosi pada material refraktori tergantung pada butiran tahan api dan sistem ikatan kimia dari refraktori itu sendiri, jadi selama komposisi butiran tahan api dan sistem ikatan kimia dari refraktori tersebut diperhatikan dengan cermat maka sifat tahan korosi dari refraktori akan tetap terjaga (Kurniasari, P.T. 2017).

2.1.3. Semen Cor Tahan Api (*castable*)

Castable atau yang juga sering disebut semen cor tahan api adalah refraktori jenis monolitik tidak mempunyai bangun tertentu. Biasanya terbentuk dari elemen refraktori mentah (agregat), *fiberglass* dan perekat. Material yang dipakai untuk membuat bahan refraktori monolit tidak memiliki perbedaan dibandingkan dengan yang digunakan untuk menyiapkan batu bata tahan api. Pada bahan tahan api monolitik tidak memerlukan proses pengepresan/pencetakan dan bakar selama pembentukannya, seperti yang dilakukan dalam proses pembuatan batu bata tahan api. Kinerja refraktori monolitik bergantung pada bahan bakunya yang digunakan pada komposisi, sehingga bahan mempunyai peran signifikan dalam hasil akhir dan

membutuhkan atensi spesial. Keuntungan dalam menggunakan refraktori monolitik dibandingkan dengan bata tahan api terdapat pada proses pemasangan, penanganan dan pengangkutan lebih mudah, pada saat memperbaiki tidak perlu mengganggu seluruh struktur sehingga hemat dari segi tenaga, lama produksi, material, pekerja lalu meningkatkan produktivitas (Yuniarsih 2018).

Castable tersusun dari material berbentuk butiran bubuk mineral (Agregat) memiliki besar dan distribusi partikel yang berbeda diaduk bersama binder (bahan perekat) dengan atau tanpa ditambahkan aditif. *Castable* pada saat kondisi kering dicampurkan dengan air sebelum pengaplikasian. Umumnya dicetak atau digetarkan seperti pembuatan beton biasanya. Dalam pemasangan *castable* biasanya menggunakan sekop sekop, *trowelling gun* atau sesekali dengan *ramming* (Walker, 1998). Semen cor tahan api diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung dengan pengalikasiannya pada suhu tertentu

Tabel 2.2 Produk Refraktori
PT. BAR

| <i>Product</i> | <i>Max Service Temp (°C)</i> | <i>Bulk Density (ton/m³)</i> | <i>Add Water (%)</i> | <i>Chemical Composition</i> | | <i>Application</i> |
|----------------|------------------------------|---|----------------------|------------------------------------|------------------------|--|
| | | | | <i>Al₂O₃</i> | <i>SiO₂</i> | |
| TNC-12 | 1050 | 1.8-1.9 | 14-18 | >28 | <56 | |
| TNC-13 | 1200 | 1.8-1.9 | 14-18 | >32 | <52 | <i>General use in industrial furnace, boiler, incinerator, etc</i> |
| TNC-14 | 1350 | 1.9-2.0 | 13-18 | >40 | <48 | |
| TNC-15 | 1400 | 2.0-2.1 | 13-16 | >44 | <45 | |
| TNC-16 | 1500 | 2.1-2.2 | 12-16 | >50 | <36 | |
| TNC-17 | 1650 | 2.2-2.3 | 12-16 | >60 | <28 | |
| TNC-180SF | 1750 | 2.7-2.8 | 10-12 | >90 | <5 | |
| TNC-16 H | 1500 | 2.1-2.3 | 8-12 | >50 | <38 | <i>For combustion chamber</i> |
| TNC-17 H | 1650 | 2.3-2.5 | 5-10 | >62 | <25 | |

2.1.4. Kaolin

Kaolin merupakan bahan yang terdapat pada endapan lempung sekunder yang mengandung kaolinit dan endapan mineral lainnya. Kaolin terbuat dari aluminium silikat ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) berukuran partikel 1-2 μm terdiri dari kandungan alumina sebesar 39,5%, silika sebesar 46,6%, serta air sebesar 13,9% (Shackelford, 2008). Kaolin berbutir kasar, tidak plastis (sulit dibentuk), berwarna putih karena kandungan besinya rendah, memiliki daya hantar panas atau listrik yang rendah, titik lebur 1850 °C. Cadangan kaolin di Indonesia terbesar terletak di Kalimantan barat, Kalimantan selatan, serta Bangka dan Belitung. Dalam jurnal Furqon dan Nurjanah (2016) menyebutkan komposisi kaolin sebagai berikut

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Kaolin
(Rahayu, E.S, dkk. 2015)

| Komponen Mineral | Persentase Kandungan |
|--------------------------------|----------------------|
| SiO ₂ | 49,86 % |
| Al ₂ O ₃ | 30,51 % |
| Fe ₂ O ₃ | 0,69 % |
| TiO ₂ | 0,29 % |
| MgO | 1,07 % |
| K ₂ O | 0,59 % |
| CaO | 1,49 % |
| Na ₂ O | 0,45 % |
| Others | 15,05 % |

2.1.5. Alumina

Alumina (Al₂O₃) ialah senyawa unsur non-logam terbentuk dari unsur aluminium serta oksigen. Senyawa alumina berkarakter polimorfik serta struktur kristal α -Al₂O₃ (korundum) menciptakan padatan segienam. Alumina memiliki ketahanan slip yang relatif tinggi karena memiliki susuna atom yang lebih rumit dari setiap komponennya (Vlack 1994:303)

Alumina memiliki sifat mekanik yang luar biasa berupa kekuatan Tinggi dan kekerasan tinggi, ketahanan aus, konduktivitas termal yang baik,serta tahan reaksi kimia di suhu tinggi (Fahmi, 2015). Titik leleh alumina adalah 2050 °C dengan titik leleh Alumina tinggi tahan terhadap kejutan termal dan stabil di suhu tinggi (Surdia, 1992). alumina memiliki beberapa bentuk struktur kristal, α , χ , η , δ , κ , θ , γ , ρ . Fase α -Al₂O₃, juga dikenal sebagai korundum, ialah senyawa yang terdiri dar aluminium serta oksigen dengan kondisi paling stabil dan merupakan produk akhir dari perlakuan panas alumina. Stabilitas serta ketahanan tempratur tinggi, α -Al₂O₃ digunakan selaku material katalis tempratur tinggi (Shirai, dkk, 2009).

2.1.6. Sintering

Sintering adalah proses perlakuan panas kompak hijau atau spesimen diuji untuk meningkatkan pengikatan partikel sedemikian rupa sehingga porositas menurun dan kekuatan meningkat (Nurzal dan Antonio, 2013). Perlakuan panas mengakibatkan partikel-partikel saling mengikat, akhirnya densitasnya meningkat. Selama sintering, batas butir terbentuk menunjukkan fase awal rekristalisasi dan gas yang ada menguap. Temperatur digunakan dibawah nilai leleh elemen utam pada fase sintering.

Ada dua tipe furnace yang umum dipakai untuk sintering, yaitu, dapur satuan (*batch furnace*) dan dapur kontinu. Mengubah ukuran adalah ekspansi atau kontraksi terjadi selama sintering. Perubahan ini tergantung pada tekanan sintering dan pemadatan, bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, proses. Dimensi yang sesuai didapatkan berdasarkan perhitungan ukuran berubah ketika material tidak disinter dan setelah pemésinan disinter (Budihartono, 2012).

2.2. Kajian Pustaka

Penelitian telah dilakukan penelitian Epi, dkk (2015) dengan judul Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit sebagai pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. Pada penelitian ini menggunakan abu kerak boiler kelapa sawit sebagai selaku substitusi parsial di pembuatan beton. Variasi abu kerak boiler yang digunakan pada pembuatan beton ini adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 25%, 50%, dan 100%. Pengujian yang dilakukan pada penelitiannya meliputi pengujian XRF, massa jenis, penyerapan air, dan kadar lumpur. Setelah dilakukan uji XRF didapatkan hasil komposisi kimia abu kerak boiler didominasi oleh tiga kandungan utama yaitu SiO_2 , CaO , dan Al_2O_3 , Hasil pengujian kuat tekan didapatkan hasil optimum pada komposisi campuran 25% abu kerak boiler sebesar 17,83 MPa. Data penelitian menunjukkan beton termasuk ke standar kualitas tipe beton 255, digunakan dalam landasan lapangan terbang, pengocaran jalan dan bangunan, dan Gedung bertingkat.

Penelitian yang dilakukan oleh April (2019) dengan judul Pengaruh Thermal Shock Resistance dan Komposisi Bahan Refraktori terhadap Kekuatan Impact dan Struktur Makro. Pada penelitiannya menggunakan alumina, abu sekam padi dan

kaolin sebagai bahan dari refraktori variasi komposisi yang digunakan adalah 15:10:75, 25:10:65, 35:10:55, 45:10:45, 55:10:45 dalam persentase berturut turut alumina, abu sekam padi dan kaolin. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut ialah agar dapat melihat efek thermal shock dan komposisi material tahan api terhadap besar kuat impact dan mikro struktur. Dari penelitian didapatkan kesimpulan bahwa hasil pengujian maksimal impact pada material komposisi 55% alumina, 10% abu sekam padi, 35% kaolin sebesar 0,009560 J/mm² tanpa perlakuan dan terendah sebesar 0,0049049 J/mm² dan hasil pengamatan dari foto makro memperlihatkan patahan rapuh yang memiliki ciri permukaan patahan terlihat berkilap dan datar.

Dalam penelitian Saputro (2021) dengan judul Pengaruh Komposisi Alumina (Al₂O₃), Pasir Silika Dan Tanah Liat Terhadap Kekuatan *Impact* Dan Struktur Mikro Material Refraktori Tungku Tahanan Listrik. Penelitian eksperimen yang bertujuan mengetahui efek dari ditambahkan suatu perlakuan. Variasi yang dipakai pada penelitian ini ialah Variasi komposisi dengan perbandingan dari aluminium oxide (Al₂O₃) (20%, 25%, 30%, dan 35%) : tanah liat (50%, 50%, 50% dan 50%) : pasir silika (30%, 25%, 20%, dan 15%). Ukuran standar ASTM D256 digunakan sebagai standar cetakan dan selanjutnya dilakukan penakanan sbesar 80 kg/cm². Sampel dikeringkan selama 7 hari pada suhu ruang dan kemudia di bakar pada suhu 900 C dan di holding selama 2 jam, lalu dilakukan pengujian impact dan struktur mikro. Dari hasil pengujian didapatkan hasil rerata impact tertinggi diperoleh komposisi 4 dengan nilai 0,0043847 J/mm² dan terendah pada komposisi 1 dengan nilai ,0040759 J/mm².

Penelitian Saukani dan Saifullah (2018) dengan judul Karakteristik Termal Mortar Geopolimer Berbasis Abu Layang dan Kaolin Alam. Dalam penelitiannya Sebuah mortar geopolimer berbasis abu layang dengan tambahan metakaolin telah disintesis dan dikarakterisasi karakter panasnya. Perbandingan SiO₂/Al₂O₃ dipertahankan sebesar 3,46. Pengaruh penggantian fly ash dengan metakaolin yang dipanaskan di tempratur 750 °C dalam 3 jam didapatkan hasil meningkatnya hasil kuat tekan. Kuat tekan meningkat disebabkan oleh penurunan kadar SiO₂ inaktif dalam campuran material awal, akhirnya respon ikatan pada matriks dan aluminosilikat menjadi baik. Resistensi panas pada suhu 750 °C dalam 4 jam,

jumlah menurun dan berat spesimen menurun, walaupun berat spesimen menurun, densitas meningkat dan tidak terlihat retakan secara kasat mata. Tes kejut termal mengindikasikan bahwa mortar geopolimer sintetik dapat meredam perubahan temperatur yang tiba-tiba. Oleh karena itu, mortar geopolimer berbahan dasar fly ash/kaolin dapat digunakan sebagai bahan refraktori.

Penelitian yang telah dilakukan Yuniarsih (2018) dengan judul Analisis Pengaruh Variasi Jenis Agregat Dan Modulus Distribusi Ukuran Partikel Terhadap Sifat Fisik Dan Thermal Refraktori Castable $Al_2O_3 - SiO_2$. Dimulai dengan menyiapkan bahan, screening bahan, lalu dicetak, perencanaan uji coba dilaksanakan menggunakan metode dua factorial tiga level. Aspek pertama adalah digunakannya white fused alumina, bauxite, dan mullite yang digunakan sebagai agregat. Aspek kedua ialah mendistribusikan besar partikel dengan model Andreassen, modulus distribusi yang digunakan (q) 0,26, 0,28, 0,3 dengan jenis vibratable. Lalu di uji densitas, *porosity*, *cold crushing strength*, dan konduktivitas panas. Hasilnya didapatkan nilai bahwa *white fused alumina* memiliki nilai terbaik dalam empat pengujian tersebut dan mullite mendapatkan nilai sebaliknya. Kemudian untuk modulus distribusi didapatkan kesimpulan semakin tinggi nilai modulus distribusi maka nilai hasil pengujian tersebut akan semakin baik.