

Penambahan Limbah Kerak Boiler Kasar dan Halus pada Beton sebagai Substitusi Pasir dan Bahan Tambah Semen

Tri Yuhanah^{1*)}; Devita Mayasari²

1. Teknik Sipi Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan
Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat, Jakarta 11750, Indonesia

^{*)}Email: tri.yuhanah@itpln.ac.id

Received: 12 Februari 2024 | Accepted: 10 Juni 2024 | Published: 22 Agustus 2024

ABSTRACT

The largest agricultural country in the world is Indonesia, which has natural wealth from plantation products, including oil palm plantations. South Sumatra is the 6th producer of palm oil in Indonesia, based on the South Sumatra Province Central Statistics Agency in 2021 producing 658,612.00 tons of palm oil/year. With large palm oil production, quite a lot of palm oil waste in the form of boiler slag is produced. This research will utilize coarse and fine boiler slag waste from burning palm oil for the construction sector. By utilizing boiler slag from burning palm oil waste, it is used as a substitute for fine aggregate and as an additional material as cement in the concrete mixture to reduce the use of sand and cement materials in making concrete. Boiler slag substitution concrete tests were carried out with variations of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% of the weight of fine aggregate with the addition of boiler ash of 15% of the weight of cement and normal concrete as a comparison. Based on compressive strength testing at 28 days on normal concrete, it was 25.194 MPa, while variations of boiler crust with the addition of boiler ash obtained average compressive strength values of 23.96 MPa, 24.06 MPa, 25.76 MPa and 21.98 MPa. Absorption was obtained respectively 6.916%, 9.375%, 9.825%, 9.695%, 5.895% and 5.110%.

Keywords : Boiler, ash boiler, concrete compressive strength and absorption

ABSTRAK

Diantara negara-negara agraris besar di dunia, salah satunya Indonesia dengan kekayaan alam dari hasil perkebunan salah satunya kelapa sawit. Sumatera Selatan sebagai penghasil kelapa sawit ke 6 di Indonesia, menurut Badan Pusat Statistik Pada tahun 2021 memproduksi kelapa sawit sebanyak 658.612,00 ton/tahun di Provinsi Sumatera Selatan. Dengan memproduksi kelapa sawit yang besar, limbahnya di gunakan untuk proses pembakaran boiler menghasilkan kerak boiler juga cukup banyak. Penelitian ini akan memanfaatkan limbah kerak boiler yang kasar dan halus dari hasil pembakaran kelapa sawit untuk bidang konstruksi. Dengan memanfaatkan kerak boiler dari hasil pembakaran limbah kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan substitusi agregat halus dan bahan tambah sebagai semen pada campuran beton untuk menekan penggunaan material pasir dan semen pada pembuatan beton. Dilakukan pengujian beton substitusi kerak boiler pada variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat agregat halus dengan penambahan abu boiler sebesar 15% dari berat semen dan beton normal sebagai pembanding. Berdasarkan pengujian kuat tekan pada 28 hari pada beton normal 25,194 MPa sedangkan variasi kerak boiler dengan penambahan abu boiler menghasilkan kuat tekan rata-rata yaitu 23,96 MPa, 24,06 MPa, 25,76 MPa, dan 21,98 MPa. Absorpsi diperoleh masing-masing 6,916%, 9,375%, 9,825%, 9,695%, 5,895% dan 5,110%.

Kata Kunci : Boiler, abu boiler, kuat tekan dan absorpsi

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti dalam teknologi beton diperlukan sebagai tantangan kebutuhan penggunaan material alami. Diharapkan penggunaan limbah dapat menghasikan kualitas yang lebih baik dan mendapatkan nilai ekonomis. Pada pembuatan campuran beton, agregat mengisi sebagian besar volume beton yaitu 50% sampai 80% sehingga sifat maupun mutu agregat akan berpengaruh pada sifat dan mutu beton [1]. Agregat halus adalah salah satu sebagai penyusun utama dalam pembuatan beton, sekitar 35% dari volume beton yang dimanfaatkan dalam dunia industri konstruksi. Dengan meningkatnya kebutuhan material konstruksi diperlukan bahan alternatif yang ramah lingkungan salah satunya memanfaatkan limbah industri [2]. Penelitian dengan cara menggantikan pasir bertujuan mengurangi penggunaan material alam, dengan sifat dari karakteristik beton yang sama [3].

Berdasarkan Badan Pusat Statistik pada tahun 2022 Sumatera Selatan termasuk urutan ke-6 penghasil kelapa sawit di Indonesia dengan hasil produksi kelapa sawit mencapai 3.449.202,00 ton/tahun, yang tahun sebelumnya (2021) hanya mencapai 658.612,00 ton/tahun [4]. Dalam produksinya juga meninggalkan residu atau limbah pengolahan kelapa sawit, sekitar 60% dari jumlah produksi buah kelapa sawit [5]. Cangkang kelapa sawit digunakan pada industri untuk bahan bakar boiler untuk mesin penggilingan kelapa sawit. Namun, proses pembakaran menghasilkan limbah yang berupa kerak boiler. Abu kerak boiler dari cangkang dan serabut kelapa sawit merupakan biomassa dengan kandungan silika (SiO_2) yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton [6].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, kerak boiler hasil pembakaran kelapa sawit mengandung unsur kimia silika (SiO_2) 29,9%, Al_2O_3 1,9% dan CaO 26,9%, memiliki sifat pozzolan [8]. Hal ini harus didukung berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya terdapat kandungan pada abu kerak hasil pembakaran boiler pada cangkang kelapa sawit berisi unsur kimia $\text{SiO}_2 = 31,45\%$, $\text{CaO} = 15,2\%$ dan Al_2O_3 sebesar 1,6% [9]. Penelitian ini memanfaatkan limbah pembakaran kelapa sawit yaitu kerak boiler yang kasar maupun yang halus (abu), baik sebagai pengganti agregat halus maupun untuk bahan tambah semen untuk variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dari berat agregat halus dan penambahan abu boiler sebesar 15% dari berat semen.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Persiapan

Pada tahap persiapan mencari informasi berdasarkan studi literatur yang relevan dengan bahasan penelitian dengan skala laboratorium bersifat ekferimental, kemudian menyiapkan peralatan laboratorium yang digunakan yaitu mengukur sifat-sifat bahan. Mempersiapkan bahan yang digunakan yaitu kerikil, pasir, semen, kerak boiler dan abu boiler.

2.2. Penerapan

Tahap pelaksanaan terdiri dari pembuatan dan pengujian benda uji dengan campuran yang digunakan untuk mix design [10] menggunakan kekuatan 25 MPa, dengan beberapa variasi perbandingan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% kerak boiler sebagai pengganti pasir dan penambahan abu boiler 15% dari semen. Pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium dengan menyiapkan bahan awal kerikil, pasir, kerak boiler, abu boiler dan semen. Pengujian dilakukan untuk melihat sifat fisik kerikil gradasi kasar, berat satuan, ketahanan aus dan berat jenis termasuk pengujian pada agregat halus.

2.3. Analisis

Tahap analisis merupakan tahap akhir dari penelitian yang dilakukan. Tahap analisis dilakukan setelah rangkaian pengujian dan pengumpulan data selesai dilakukan. Setiap variasi hasil pencampuran materia dilakukan pengukuran slumpnya [11]. Hasil kuat tekan [12] dan absorpsi beton

menggunakan kerikil, penambahan abu boiler dengan substitusi variasi kerak boiler sebagai pasir, akan ditampilkan berupa tabel dan grafik.

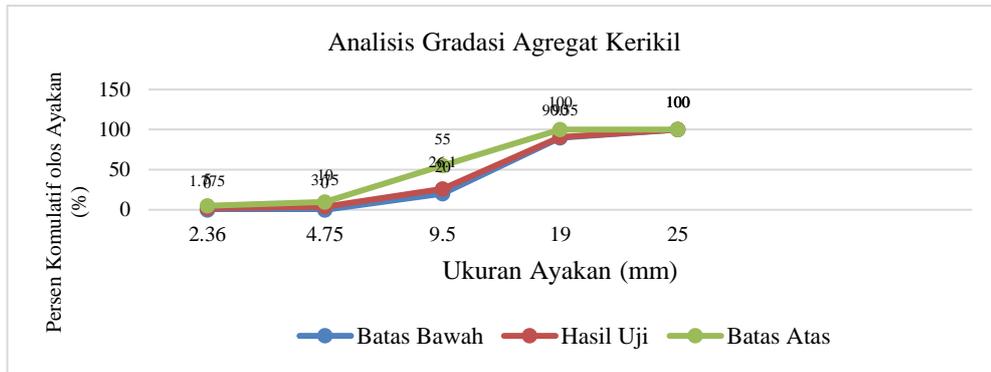
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Laboratorium

Untuk memudahkan pembacaan hasil pengujian dalam penelitian, setiap sampel beton diberi kode sampel VN, V₁, V₂, V₃, V₄, dan V₅ untuk campuran 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% kerak boiler + 15% abu boiler. Uji laboratorium dilakukan terhadap material agregat kerikil dan kerak boiler, abu boiler lolos ayakan 200 [13] sebagai pengganti semen. Parameter yang diuji pada agregat kerikil dan kerak boiler meliputi analisis gradasi [14], berat isi, kadar lumpur, ketahanan aus [15], berat jenis dan serapan, sedangkan abu boiler yang lolos saringan 200 diuji berat jenisnya termasuk semen.

3.1.1. Analisis Hasil Uji Agregat Kasar

Untuk mengetahui variasi bentuk ukuran agregat kerikil dilakukan pengujian analisis gradasi agregat kerikil dilakukan. Berdasarkan pengujian analisis gradasi agregat kerikil hasilnya ditunjukkan di Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Uji Analisis Agregat Kerikil

Berdasarkan hasil uji gradasi kerikil menunjukkan mempunyai bentuk yang bervariasi ukurannya dengan ukuran maksimum 25 mm pada posisi di atas batas bawah. Didapat modulus kehalusan dengan nilai sebesar 6,768.

3.1.2. Uji Berat Satuan Agregat Kasar

Tujuan dilakukan pengujian untuk mengetahui berat satuan dengan perbandingan antara berat dan volume dari agregat kasar. Berat satuan dari hasil pengujian terdapat di Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Berat Satuan Kerikil

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat bejana kosong (B ₁)	5,94	kg
2	Berat bejana + kerikil	20,64	kg
3	Berat kerikil (B ₃ = B ₂ - B ₁)	14,70	kg
4	Volume bejana baja (V)	0,00942	m ³
5	Berat satuan kerikil (γ)	1.560	kg/m ³
	$\gamma = \frac{B_3}{V}$		

3.1.3. Pengujian Ketahanan Aus Kerikil Menggunakan Mesin Los Angeles

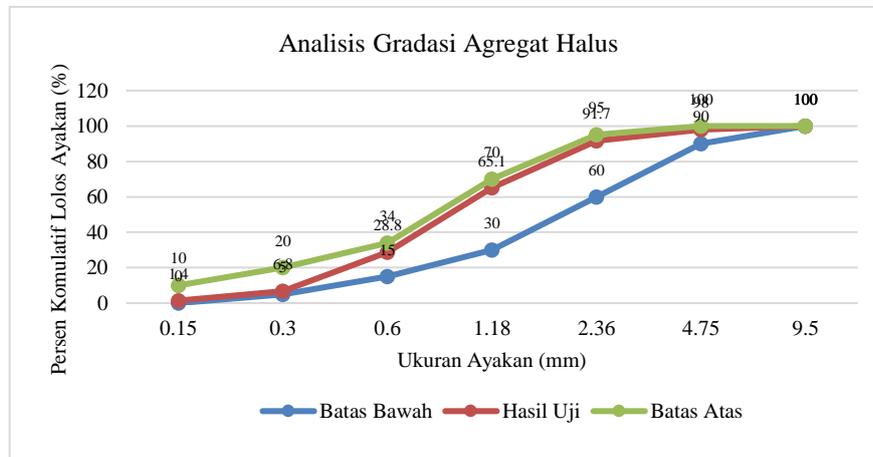
Hasil uji keausan kerikil dengan mesin Los Angeles sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai Keausan Kerikil Menggunakan Mesin Los Angeles

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat benda uji awal (A)	5.000	gr
2	Berat setelah diayak pada saringan 1,7 mm (B)	3.409	gr
3	Berat benda uji setelah diuji (A - B)	1.591	gr
4	Keausan kerikil = $\frac{A-B}{A} \times 100\%$	31,82	%

3.1.4. Uji Analisis Gradasi Pasir

Analisis gradasi pasir dilakukan dengan hasil seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Analisis Hasil Uji Gradasi Pasir

Hasil pengujian modulus kehalusan 3,082 memenuhi persyaratan modulus kehalusan pasir 2,3 – 3,1

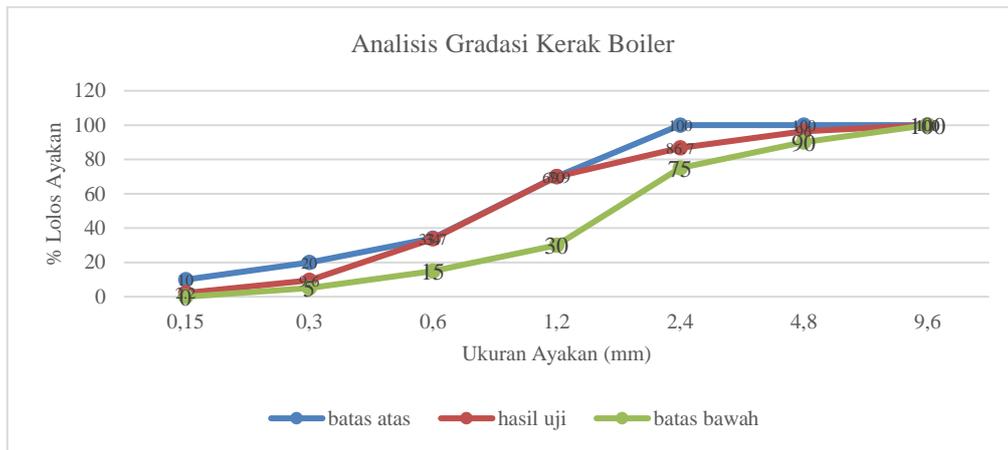
3.1.5. Pengujian Berat Satuan Pasir

Tabel 3. Uji Berat Satuan Pasir

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat bejana kosong (B ₁)	5,94	kg
2	Berat bejana + pasir	20,877	kg
3	Berat kerikil (B ₃ = B ₂ - B ₁)	14,937	kg
4	Volume bejana baja (V)	0,00942	m ³
5	Berat satuan pasir (γ)	1.585	kg/m ³

$$\gamma = \frac{B_3}{V}$$

Dari hasil pengujian berat satuan agregat pasir lebih besar dibandingkan agregat kerak boiler.



Gambar 3. Grafik Pengujian Gradasi Dari Kerak Boiler

3.1.6. Pengujian Berat Satuan Kerak Boiler

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Satuan Kerak Boiler

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat bejana kosong (B ₁)	5,94	kg
2	Berat bejana + kerak boiler	12,04	kg
3	Berat kerikil (B ₃ = B ₂ - B ₁)	6,10	kg
4	Volume bejana baja (V)	0,00942	m ³
5	Berat satuan kerak boiler (γ) $\gamma = \frac{B_3}{V}$	647,5	kg/m ³

3.1.7. Hasil Uji Berat Jenis Semen

Berat jenis semen yang digunakan sebesar 3,10 gr/ml seperti terlihat pada tabel 5

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat semen (W)	6	gr
2	Volume minyak tanah (V ₁)	1,0	ml
3	Volume minyak tanah + semen (V ₂)	20,20	ml
4	Berat jenis semen = $\frac{A}{V_2 - V_1}$	3,10	gr/ml

3.1.8. Pengujian Berat Jenis Abu Boiler

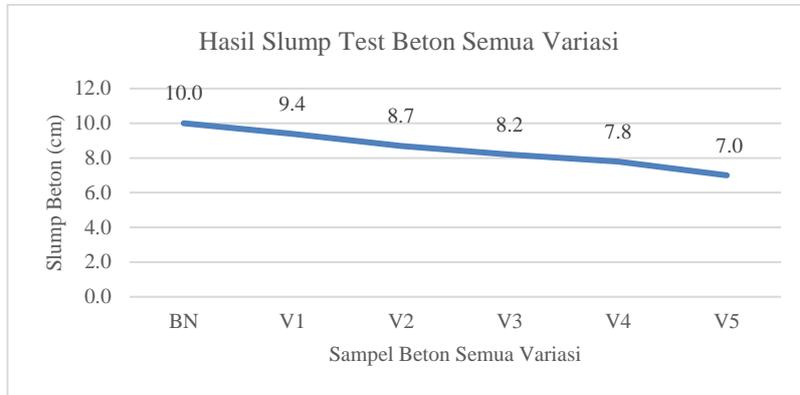
Pengujian berat jenis abu boiler, yang lolos ayakan 200 mm dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Berat Jenis Pada Abu Boiler

No	Pemeriksaan	Hasil	Satuan
1	Berat abu boiler (W)	60	gr
2	Volume minyak tanah (V ₁)	0,7	ml
3	Volume minyak tanah + abu boiler (V ₂)	23,3	ml
4	Berat jenis abu boiler = $\frac{A}{V_2 - V_1}$	2,654	gr/ml

Dari hasil pemeriksaan, berat jenis abu boiler hampir sama dengan berat jenis semen.

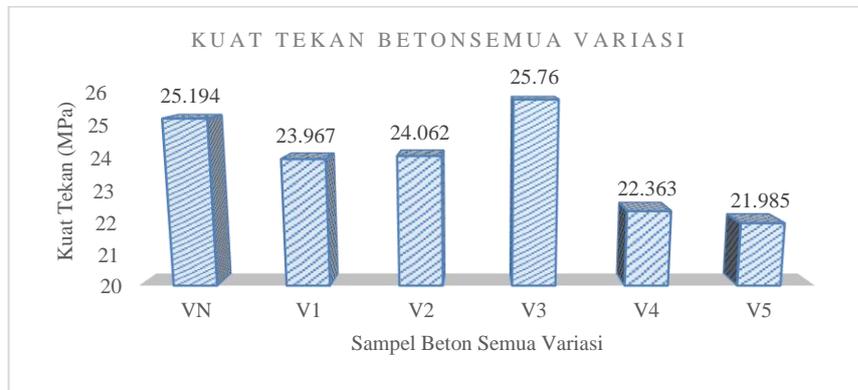
3.2. Hasil Pengujian Slump Beton



Gambar 4. Grafik Slump Test Beton Semua Variasi

Berdasarkan hasil pengujian slump beton normal sesuai rencana mix design. Substitusi pasir dengan kerak boiler memiliki sifat menyerap air dan penambahan abu boiler 15%, maka volume beton meningkat, selain itu kerak boiler yang digunakan gradasinya lebih halus dari pasir maka dapat mengisi rongga sehingga penurunan nilai *slump*.

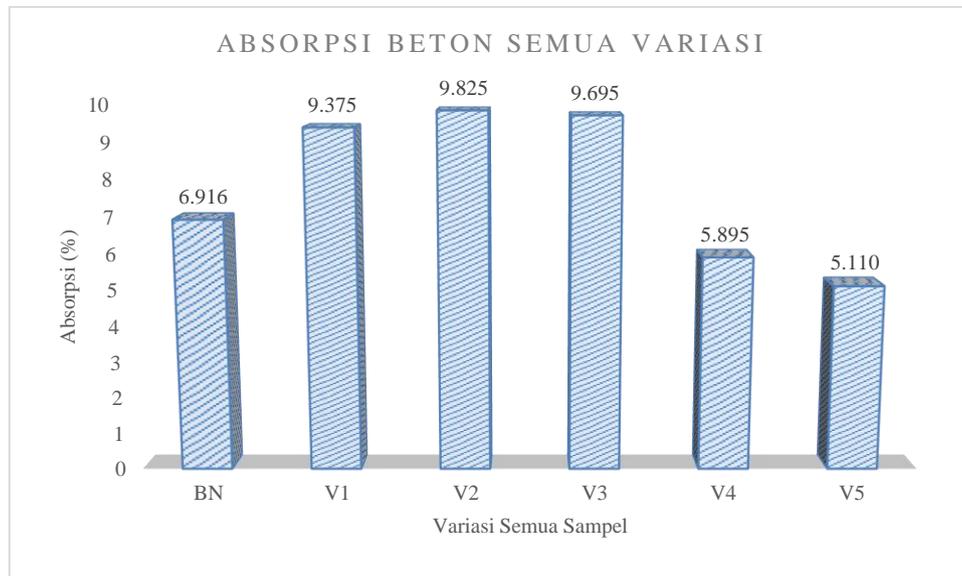
3.3. Nilai Uji Kuat Tekan Beton



Gambar 5. Barchart Hasil Kuat Tekan Beton Semua Variasi

Berdasarkan nilai pengujian untuk umur 28 hari, peningkatan kuat uji tekan sampai pada variasi 3 sedangkan variasi 4 dan 5 mengalami penurunan kuat tekan dikarenakan material yang digunakan yaitu abu boiler masih memiliki kandungan organis yang mengakibatkan ikatan pasta tidak sebaik semen. Kerak boiler yang memiliki gradasi lebih halus dari pasir sehingga berpengaruh pada kuat tekan beton.

3.4. Hasil Pengujian Absorpsi Beton



Gambar 6. Barchart Persentase Absorpsi Beton Semua Variasi

Dari hasil pengujian, penggunaan kerak boiler sebagai pengganti pasir dengan penambahan abu boiler 15% sebagai semen lebih tinggi nilai absorpsi beton, sampai variasi 3, sedangkan variasi 4 dan 5 terjadi penurunan dibandingkan dengan menggunakan pasir, karena boiler mempunyai sifat menyerap air tetapi sifatnya akan lebih padat jika lebih dari 10% kerak boiler.

4. KESIMPULAN

Substitusi pasir dengan kerak boiler memiliki sifat menyerap air dan penambahan abu boiler 15%, maka volume beton meningkat, selain itu kerak boiler yang digunakan gradasinya lebih halus dari pasir maka dapat mengisi rongga sehingga penurunan nilai *slump*. Beton menggunakan campuran kerak boiler dan abu boiler akan meningkatkan kuat tekan sampai 10% yaitu variasi 3 dibandingkan beton normal menggunakan pasir, hal ini dikarenakan abu boiler memberikan kepadatan yang lebih tinggi. Penggunaan lebih dari 10% kerak boiler kuat tekan berkurang, hal ini dikarenakan pengikatan boiler dan abu boiler kurang baik dibandingkan menggunakan semen. Daya serap air pada beton yang menggunakan substitusi kerak boiler dengan penambahan abu boiler sebagai semen lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan pasir, karena sifat kerak boiler dan abu boiler mempunyai sifat menyerap air dan lebih padat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Beton, kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi PLN dan pihak-pihak yang membantu dalam penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hidayawanti, R., Widjoyo, I., Nur, H., & Febriany, F. (2022). Komparasi Abu Batu Sebagai Substitusi Pasir Untuk Mengurangi Harga Pokok Produksi Dalam Pembuatan Beton. 11(1), 22–28.

- [2]. T Yuhanah , R Hidayawanti, D Mayasari and B Wicaksono(2020). The effect of parsial granulated blast furnace slag (GBFS) substitution and ashes of the boiler crust of the palm oil shells on paving block. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 930 (2020) 012026 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/930/1/012026
- [3]. Gunawan, H. C., Mungok, C. D., & Lestyowati, Y. (2018). Pemanfaatan Abu Boiler Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton. *JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 5(2), 1–9.
- [4]. BPSP 2022 (n.d.). Produksi Tanaman Perkebunan Provinsi Sumatera Selatan 2021 - 2022. <https://sumsel.bps.go.id/indicator/54/416/1/produksi-tanaman-perkebunan.html> di akses pada tanggal 05 Juli 2023
- [5]. Satriani, S., Permatasari, S., & Agustina, S. (2022). Studi Pemanfaatan Limbah Abu Kerak Boiler Terhadap Kualitas Bata Beton. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 94. <https://doi.org/10.24127/tp.v12i1.2326>
- [6]. Rahman, F., & Fathurrahman, F. (2017). Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Pengganti Pasir pada Pembuatan Beton Normal. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), 30–40. <https://doi.org/10.33084/mits.v6i1.259>
- [7]. Akbar, F., Safriani, M., & Farizal, T. (2023). Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dengan Campuran Abu Boiler Pada Proyek Jembatan Di PT. Socfindo Kebun Seunagan. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation* 7.
- [8]. Prianti, E., Malino, M. B., & Lapanporo, B. P. (2015). Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton. *Positron*, 5(1), 26–29. <https://doi.org/10.26418/positron.v5i1.9744>
- [9]. Jamizar, Iskandar, G. R, dan Prima, Y.P. (2013) : Pemanfaatan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan tambahan (admixture) semen terhadap kuat tekan mortar. *Prodi Teknik sipil FT UNP, J. Teknik Sipil* 3(1).
- [10]. Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656-2012. Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa ICS. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [11]. Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1972 – 2008. Cara Uji Slump Beton
- [12]. Badan Standardisasi Nasional. (1974). SNI 1974 – 2011. Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 1–15.
- [13]. SNI ASTM C117:2012 Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan 75 μm (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian (ASTM C117–2004, IDT)
- [14]. Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2461-2014. Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 1–16
- [15]. Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 2417 – 2008. Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. 1–20.