

**PEMANFAATAN HASIL PEMBAKARAN LIMBAH CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI
BAHAN PENGGANTI PASIR PADA PEMBUATAN BETON NORMAL**

Fauzi Rahman^(1*), Fathurrahman⁽²⁾

Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat

^{*)}Email: frahmanktb@yahoo.co.id

ABSTRAK

Berdasarkan data statistik perkebunan Indonesia pada tahun 2015 total luas areal perkebunan kelapa sawit di Kalimantan mencapai 3,47 juta Ha dengan produksi 8,12 juta ton per tahun. Dengan besarnya angka produksi tersebut tentu saja limbah yang dihasilkan juga banyak baik berupa limbah padat atau limbah cair. Limbah padat itu berupa tandan buah segar dan cangkang kelapa sawit. Saat ini limbah padat berupa cangkang kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk mesin penggilingan minyak sawit dan sebagai bahan bakar mesin gasifikasi untuk menghasilkan gas bakar yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan energi untuk *Asphalt Mixing Plant*. Hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit berupa abu kerak *boiler*, merupakan limbah yang memiliki unsur kimia SiO₂, Al₂O₃, dan CaO, dengan kandungan senyawa tersebut dapat berpengaruh dalam kekuatan beton dan mampu meningkatkan kekuatannya. Pada penelitian ini, mutu campuran beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah sebesar 23 MPa. Pengujian beton meliputi uji kuat tekan yang dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari. Sebelum pembuatan sampel beton, dilakukan pengujian kuat tekan mortar terlebih dahulu dengan memvariasikan kandungan abu kerak boiler sebesar 0%, 15%, 25%, 35%, dan 50% agar diperoleh campuran optimum. Berdasarkan hasil analisa kuat tekan mortar diperoleh campuran optimum sebesar 15% untuk pembuatan beton yang akan dibandingkan dengan beton normal. Kuat tekan beton dengan campuran optimum pada umur 28 hari adalah sebesar 24,44 Mpa melebihi dari kuat tekan rencana 23 Mpa. Beton yang memiliki nilai kuat tekan paling tinggi terjadi pada umur 56 hari adalah beton dengan campuran normal yang kuat tekannya sebesar 34,44 MPa lebih tinggi dibandingkan kuat tekan beton dengan campuran optimum 15% abu kerak *boiler* yaitu sebesar 28,51 MPa.

Kata kunci: limbah cangkang kelapa sawit, pengganti pasir, beton normal

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kalimantan merupakan salah satu pulau dengan hasil produksi kelapa sawit terbesar di Indonesia. Berdasarkan data statistik perkebunan Indonesia pada tahun 2015 total luas areal perkebunan kelapa sawit di Kalimantan mencapai 3,47 juta Ha dengan produksi 8,12 juta ton per tahun. Dengan besarnya angka produksi tersebut tentu saja limbah yang dihasilkan juga banyak baik berupa limbah padat atau limbah cair. Limbah padat itu berupa tandan buah segar dan cangkang kelapa sawit. Saat ini limbah padat berupa cangkang kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler untuk mesin penggilingan minyak sawit. Namun proses pembakaran menyisakan abu cangkang yang dibuang di dekat pabrik dan mengakibatkan penumpukan.

Menurut Epi Prianti dkk (2015) abu kerak boiler cangkang kelapa sawit memiliki unsur kimia SiO_2 sebanyak 29,9%, Al_2O_3 sebanyak 1,9% dan CaO 26,9%. Dengan kandungan senyawa tersebut maka abu kerak boiler cangkang kelapa sawit dapat dikatakan memiliki sifat pozzolan memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi pada pembuatan beton normal. Sebab senyawa silika dalam pembuatan beton dapat berpengaruh dalam kekuatan beton dan mampu meningkatkan kekuatannya. Dalam penelitian ini akan mengkaji tentang pemanfaatan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi pada campuran beton normal. Jika digunakan untuk bahan pengganti semen, suatu material haruslah mengandung senyawa kapur dalam jumlah yang relatif besar sebab semen memiliki fungsi sebagai pengikat dikarenakan kandungan kapurnya. Berdasarkan hasil penelitian Martin dkk (2012) yang menggunakan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sebagai pengganti sebagian semen menunjukkan nilai kuat tekan beton menurun seiring meningkatnya persen abu kerak boiler cangkang yang digunakan dan penurunan terbesar kuat tekan beton terjadi pada beton yang menggunakan 20% abu kerak boiler cangkang kelapa sawit yaitu sebesar 21,78 MPa atau 40% dari kuat tekan beton normal.

Hanya sedikit penelitian terkait kadar optimum yang baik dalam pemanfaatan abu kerak boiler cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengisi pada campuran beton. Dari penelitian Epi prianti, dkk (2015) abu kerak boiler mampu menggantikan

peranan pasir sebagai bahan pengisi dan kuat tekan maksimum mampu diperoleh pada kandungan 25% yaitu 17,83 MPa dengan peningkatan sebesar 24,16% dari mutu rencana yang sebesar 14 MPa pada umur beton 28 hari. Akan tetapi karena karakteristik abu kerak boiler cangkang kelapa sawit setiap daerah berbeda, maka besar kadar optimumnya berbeda. Oleh sebab itu dilakukan percobaan dengan cara membuat mortar dengan ariasi abukerak boiler dari 0%, 15%, 25%, 35%, dan 50% dan dari hasil uji kuat tekan mortar diperoleh kadar optimum yang akan digunakan untuk campuran beton. Pada penelitian ini beton normal akan dibandingkan dengan beton variasi abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit dengan kadar optimum.

Menurut Kardiyono (1996) pemakaian pozzolan dapat mengurangi panas hidrasi maka reaksi yang pengikatan berlangsung lambat sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kekuatan beton yang direncanakan lebih lama. Sehingga dalam penelitian ini beton akan diuji pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari dengan perencanaan mutu beton struktural tahan gempa ($f'_c > 20$ MPa). Hasil dari pengujian akan dianalisa agar dapat diketahui bahwa abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit dapat digunakan pada campuran beton normal menggantikan peranan pasir sebagai bahan pengisi.

Perumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini, yakni:

1. Berapa kadar optimum abu kerak boiler yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir pada pencampuran beton berdasarkan analisa kuat tekan mortar?
2. Bagaimana perubahan nilai kuat tekan beton normal dan beton variasi abu kerak boiler dengan kadar optimum pengganti pasir?
3. Bagaimana perubahan nilai kuat tekan beton pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan:

1. Mengetahui kadar optimum abu kerak boiler yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir pada pencampuran beton berdasarkan analisa kuat tekan mortar.

2. Mengetahui perubahan nilai kuat tekan beton normal dan beton variasi abu kerak boiler dengan kadar optimum pengganti pasir.
3. Mengetahui perubahan nilai kuat tekan beton pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari.

Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengatasi permasalahan pembuangan abu kerak boiler dari hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit.
2. Mendapatkan beton dengan kekuatan yang baik dan ramah lingkungan.
3. Mendapatkan beton dengan campuran optimum abu kerak boiler sebagai pengganti pasir.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton didefinisikan sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat (SNI 03-2834-2000).

Beton merupakan satu kesatuan yang homogen. Beton ini didapatkan dengan cara mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen *portland* dan air. Semen, Agregat halus dan Agregat kasar di campur secara bersamaan hingga merata, lalu di tambahkan air sesuai perencanaan, senyawa-senyawa silikat dan aluminat dalam semen menyebabkan terjadinya reaksi dengan air. Akibatnya terbentuk suatu senyawa hidrat sebagai produk dari proses hidrasi yang selanjutnya akan terjadi pengerasan beton.

Kekuatan beton adalah gabungan dari interaksi masing-masing bahan pembentuk beton tersebut. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Ada empat bagian utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton tersebut, yaitu proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan, dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat.

Menurut Metha (1986) beton dapat dibedakan berdasarkan berat isi beton dan kuat tekan beton. Terhadap isi beton dapat diklasifikasikan pada tiga kategori umum yaitu:

1. Beton Ringan (*Light Weight Concrete/LWC*)
Beton ringan mempunyai berat 1800 kg/m^3 Pada beton ini terdapat banyak sekali agregat yang diterapkan misalnya agregat sintesis (agregat alam) yang diproses atau dibentuk sehingga berubah karakteristik mekanisnya.
2. Beton Normal (*Normal Weight Concrete*)
Beton yang mempunyai berat 2400 kg/m^3 dan mengandung pasir, kerikil alam dan batu pecah sebagai agregat.
3. Beton Berat (*Heavy Weight Concrete*)
Beton ini selalu digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi yang beratnya $> 3200 \text{ kg/m}^3$

Beton Normal

Berdasarkan SNI 03-2834-2002, beton normal adalah adalah beton yang mempunyai berat isi ($2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$) menggunakan agregat alam yang dipecah. Beton normal haruslah menggunakan bahan agregat normal dan tanpa bahan tambah.

Kuat tekan beton normal yang disyaratkan f'_c adalah kuat tekan yang ditetapkan oleh perencana struktur (berdasarkan benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm), kuat tekan beton yang ditargetkan f_{cr} adalah kuat tekan rata rata yang diharapkan dapat dicapai yang lebih besar dari f'_c .

Pemilihan proporsi campuran beton harus dilaksanakan sebagai berikut:

- 1) rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen;
- 2) untuk beton dengan nilai f'_c lebih dari 20 MPa proporsi campuran coba serta pelaksanaan produksinya harus didasarkan pada perbandingan berat bahan;
- 3) untuk beton dengan nilai f'_c hingga 20 MPa pelaksanaan produksinya boleh menggunakan perbandingan volume. Perbandingan volume bahan ini harus didasarkan pada perencanaan proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume melalui berat isi rata-rata antara gembur dan padat dari masing-masing bahan.

Komponen Dalam Campuran Beton

Semen Portland Pozzolan

Menurut SNI 15-0302-2004, semen portland pozzoland adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen Portland dengan pozzolan halus, yang diproduksi dengan menggiling klinker semen dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozzolan.

Dalam semen pada dasarnya ada 4 senyawa penting, yaitu:

- a) Trikalsium silikat (C_3S)
- b) Dikalsium silikat (C_2S)
- c) Trikalsium aluminat (C_3A)
- d) Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF)

Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Sesuai dengan SNI-2847-2002, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm.

Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir hasil olahan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Sesuai dengan SNI 03 - 2847 - 2002, bahwa agregat halus merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir maksimum sebesar 5,00 mm. Agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos lebih dari 45% pada suatu ukuran ayakan dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Air

Berdasarkan aturan SNI 03-2847-2002 terdapat aturan air sebagai bahan campuran dalam membuat beton. Persyaratan tersebut sebagai berikut:

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi:
4. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

Bahan Pozzolan

Pozzolan yaitu bahan yang mengandung senyawa silika dan Alumina dimana bahan pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat seperti semen, akan tetapi dengan bentuknya yang halus dan dengan adanya air, maka senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan Kalsium hidroksida (senyawa hasil reaksi antara semen dan air) pada suhu kamar membentuk senyawa Kalsium Aluminat Hidrat yang mempunyai sifat seperti semen.

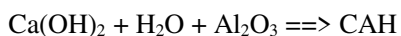
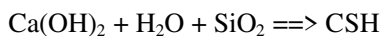
Bahan Pozzolan terbagi 2 yaitu :

- a. Pozzolan Alam (Natural) : Tufa, abu vulkanis dan tanah Diatomae. Di Indonesia Pozzolan alam dikenal dengan nama Trass.
- b. Pozzolan Buatan (sintetis) : yang termasuk dalam jenis ini adalah hasil pembakaran tanah liat dan hasil pembakaran batu bara (*Fly Ash*)

Mineral pembantu yang digunakan umumnya mempunyai komponen aktif yang bersifat pozzolanik (disebut juga mineral pozzolan). Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagean besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif (Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, PUBI-1982). Pozzolan sendiri tidak memiliki sifat semen, tetapi dalam keadaan halus (lolos ayakan 0,21 mm) bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal 24-27°C menjadi suatu massa padat yang tidak larut dalam air.

Menurut Neville (1998), sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Sebenarnya bahan tersebut tidak memiliki sifat seperti semen. Namun apabila bahan tersebut

digiling hingga halus dan dicampur dengan klinker di finish mill untuk membentuk semen dan kemudian semen tersebut bereaksi dengan air maka akan membentuk senyawa CSH dan CAH. Sehingga bahan pozzolan tersebut akan mempunyai sifat seperti semen. Reaksinya yaitu senyawa silika dan alumina akan mengikat senyawa Ca(OH)₂ untuk membentuk senyawa CSH dan CAH :



Pozzolan dapat dipakai sebagai bahan tambah atau pengganti sebagai semen portland. Bila pozzolan dipakai sebagai bahan tambah akan menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air, dan lebih tahan terhadap serangan kimia. Beberapa pozzolan dapat mengurangi pemuaihan akibat proses reaksi alkali-agregat (reaksi alkali dalam semen dengan silika dalam agregat), dengan demikian mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut. Pada pembuatan beton massa pemakaian pozzolan sangat menguntungkan karena menghemat semen, dan mengurangi panas hidrasi (Kardiyono, 1996).

Bahan pozzolan yang digunakan pada penelitian Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Cangkang Kelapa Sawit merupakan Pozzolan buatan yang berasal dari kerak boiler yang mengalami proses penggilingan atau yang telah dihaluskan. Salah satu limbah boiler ini pada dasarnya adalah abu yang mengeras pada setiap dinding boiler akibat endapan-endapan abu yang terperangkap pada mesin siklon saat terjadinya pembakaran cangkang dan serat buah kelapa sawit pada tungku pembakaran boiler.

Karakterisasi awal terhadap abu kerak boiler bertujuan untuk mengetahui karakteristik abu sehingga dapat dipakai sebagai perbandingan kualitas pasir yang diujikan. Tabel 1 menunjukkan kandungan SiO₂, Al₂O₃, dan CaO yang terkandung pada abu kerak boiler yang diperlukan dalam pembuatan beton. Abu kerak boiler dapat digunakan sebagai bahan pengganti pasir dalam pembuatan beton karena memiliki senyawa yang berperan dalam pembuatan beton.

Tabel 1. Kandungan senyawa utama pada abu kerak boiler

Senyawa	Kandungan (%)
SiO ₂	29,9
Al ₂ O ₃	1,9
CaO	26,9

SiO₂ dalam abu merupakan senyawa dengan kandungan terbesar dibanding komponen utama yang lain, sehingga dapat difungsikan sebagai pengganti pasir untuk pengisi pada pembuatan beton. Pasir dengan kandungan SiO₂ yang besar dapat digunakan sebagai pengikat.

Tabel 2. Pengujian mutu abu kerak boiler sebagai agregat halus

Parameter	Satuan	Hasil	Persyaratan
Fine	%	3,65	2,3-3,1
Modulus	g/cm ³	2,11	>2,5
Massa Jenis	%	3,6	<5%
Kadar Lumpur	%	0,28	<1%
Penyerapan air			

Fine modulus yang dihasilkan abu lebih besar 0,54%, dari syarat batas maksimum fine modulus agregat. Fine modulus kurang dari 2,3% dapat dikategorikan sebagai lumpur dan diatas standar 3,1% dapat dikategorikan sebagai agregat kasar. Hasil massa jenis abu sebesar 2,11 g/cm³, lebih rendah dari massa jenis yang dimiliki pasir. Menurut ASTM C128-93, massa jenis yang baik untuk pembuatan beton di atas 2,50 % sehingga termasuk agregat kasar.

Pada penelitian Epi Prianti (2015) diperoleh penyerapan air pada abu sebesar 0,28%. Nilai penyerapan air yang dihasilkan abu kerak boiler memenuhi syarat mencegah atau mengurangi rongga kosong dalam beton (Epi dkk, 2015).

Kekuatan Tekan Mortar

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 *mortar* dapat didefinisikan sebagai campuran antara Agregat halus (pasir), air dan bahan perekat (semen portland) dengan komposisi tertentu.

Berdasarkan SNI 03-6882-2002, Mortar terdiri dari beberapa tipe antara lain :

1. Mortar tipe M adalah mortar yang mempunyai kekuatan 17,2 MPa
2. Mortar tipe S adalah mortar yang mempunyai kekuatan 12,5 MPa
3. Mortar tipe N adalah mortar yang mempunyai kekuatan 5,2 MPa
4. Mortar tipe O adalah mortar yang mempunyai kekuatan 2,4 MPa

Metode pengujian kekuatan tekan mortar dapat menggunakan acuan SNI 03-6825-2002. Pengujian kekuatan mortar semen Portland menggunakan benda uji khusus berbentuk kubus dengan ukuran sisi 5 cm. Kekuatan tekan mortar semen Portland adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja ada benda uji mortar semen Portland berbentuk kubus dengan ukuran tertentu serta berumur tertentu dan Gaya maksimum merupakan gaya yang bekerja pada saat benda uji kubus pecah.

Rumus-rumus yang digunakan untuk perhitungan adalah Kekuatan tekan mortar dihitung dengan rumus :

$$\sigma_m = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana

- σ_m = kekuatan tekan mortar, MPa
- F_{maks} = gaya tekan maksimum, N
- A = luas penampang benda uji, mm²

Kekuatan Tekan Beton

Sifat paling penting dari beton pada umumnya ialah kuat tekan. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya bila kuat tekannya tinggi sifat-sifat yang lain juga baik. Pengukuran kuat tekan beton dilakukan dengan membuat benda uji berupa kubus beton dengan ukuran 150 mm atau silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Kedua benda uji ditekan dengan alat uji tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum yang memecahkan itu dibagi dengan luas penampang kubus atau luas penampang silinder diperoleh nilai kuat tekan. Nilai diperoleh bahwa kuat tekan beton dengan benda uji silinder menghasilkan kuat tekan sekitar 84% daripada dengan benda uji kubus. Kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat lekat) bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksudkan umur disini dihitung sejak beton

dibuat. Kenaikan kekuatan beton mula-mula cepat akan tetapi lama-lama kenaikan itu menjadi makin lambat. Oleh karena itu sebagai standar kekuatan beton dipakai kekuatan beton pada umur 28 hari. Bila karena sesuatu hal diinginkan untuk mengetahui kekuatan pada umur yang kurang dari 28 hari, dapat dilakukan dengan menguji kuat tekan beton pada umur 3 hari misalnya dan hasilnya dikalikan dengan faktor tertentu untuk mendapatkan perkiraan kuat tekan beton umur 28 hari (Prmono, dkk 2008).

Nilai kekuatan tekan beton dapat dihitung dengan persamaan

$$f'_c = P/A \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

- f'_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban runtuh yang diterima benda uji (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

Menurut SNI 03-2847-2002 kuat tekan minimum beton untuk tujuan beton struktural harus tidak boleh kurang dari 17,5 MPa dan Menurut SNI 03-6468-2000 beton berkekuatan tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan $f'_c \geq 41,4$ MPa.

METODE PENELITIAN

Metode dan rancangan untuk penelitian ini yaitu:

1. Mortar direncanakan dengan bahan-bahan dasar pembentuk campuran yaitu pasir Barito, yang divariasikan dengan Abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit 0%, 15%, 25%, 35%, 50% dicampur dengan semen portland pozolan tipe 1 semen gresik dan air PDAM.
2. Metode perencanaan campuran mortar menggunakan SNI – 03-6825-2002
3. Untuk uji kekuatan tekan mortar, kubus yang digunakan dengan ukuran sisi 50 mm dengan variasi mortar yang menggunakan abu kerak boiler 0% (M0), mortar yang menggunakan abu kerak boiler 15% (M15), mortar yang menggunakan abu kerak boiler 25% (M25), mortar yang menggunakan abu kerak boiler 35% (M35) dan mortar yang menggunakan abu kerak boiler 50% (M50).
4. Pengujian terhadap kubus untuk kekuatan tekan mortar dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari.

5. Jumlah benda uji untuk setiap variasi sebanyak 3 sampel uji.
6. Beton direncanakan untuk f_c sebesar 23 MPa dengan bahan-bahan dasar pembentuk campuran yaitu pasir Barito, batu Katunun, yang divariasikan dengan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit, semen portland pozolan tipe 1 semen gresik dan air PDAM.
7. Persentasi abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit yang digunakan dalam campuran beton adalah persentasi paling optimum berdasarkan kekuatan tekan pada pengujian kubus mortar dan persentasi bahan pengganti pasir berdasarkan perbandingan berat bahan.
8. Metode perencanaan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000 dengan syarat kekuatan berdasarkan SNI 03-2847-2002.
9. Untuk uji kekuatan tekan beton, silinder yang digunakan berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan variasi beton yang menggunakan persentasi abu kerak boiler paling optimum
10. Pengujian terhadap silinder untuk kekuatan tekan dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari.
11. Menurut SNI 2493-2011 jumlah benda uji minimal 3 untuk masing-masing umur pengujian dan kondisi pengujian maka benda uji dalam penelitian ini berjumlah 45 buah dengan menggunakan 3 benda uji untuk setiap variasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan dalam pembuatan beton dan untuk menentukan apakah bahan yang digunakan memenuhi syarat. Pemeriksaan bahan ini meliputi pemeriksaan terhadap semen, agregat halus, agregat kasar dan agregat pengganti. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 6.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Semen

No.	Jenis Pemeriksaan	Nilai Pemeriksaan	SNI 15-0302-2004
1.	Berat Jenis	3,15 gr/cm ³	
2.	Konsistensi Normal	25%	
3.	Berat Volume		
	a.Kondisi lepas	1,11 gr/cm ³	
	b.Kondisi goyangan	1,18 gr/cm ³	
4.	c.Kondisi pemadatan	1,22 gr/cm ³	
	Waktu Pengikatan	(Menit)	(Menit)
	a.Awal	112	> 45
	b.Akhir	154	< 420

Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Nilai Pemeriksaan	SK SNI S-04-1989-F
1.	Kadar Air	3,7%	
2.	Kadar Lumpur	0,475%	< 5%
3.	Kadar Organik	Warna no. 1	
4.	Analisa Saringan	Zona III	
5.	<i>Fine Modulus</i>	2,31	1,5-3,8
6.	Berat Volume		
	a.Kondisi Lepas	1,44 gr/cm ³	
	b.Kondisi Goyangan	1,52 gr/cm ³	
7.	c.Kondisi Pemadatan	1,55 gr/cm ³	
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,68	
	b. <i>Bulk specific gravity on dry basic</i>	2,60	
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD basic</i>	2,61	
	d. <i>Water absorbtion percentage</i>	0,20%	

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Nilai Pemeriksaa n	SK SNI S-04-1989-F
1.	Kadar Air	0,50%	
2.	Kadar Lumpur	0,875%	< 5%
3.	Abrasi	10,80%	
4.	Analisa Saringan (ukuran maksimum butir)	40 mm	
5.	<i>Fine Modulus</i>	7,96	6,0 - 7,1
6.	Berat Volume		
	a.Kondisi Lepas	1,42 gr/cm ³	
	b.Kondisi Goyangan	1,49 gr/cm ³	
	c.Kondisi Pemadatan	1,54 gr/cm ³	
7.	Berat Jenis		
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,96	
	b. <i>Bulk specific gravity on dry basic</i>	2,88	
	c. <i>Bulk specific gravity on SSD basic</i>	2,91	
	d. <i>Water absorbtion percentage</i>	0,88%	

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit

No.	Jenis Pemeriksaan	Nilai Pemeriksaa n	SK SNI S-04-1989-F
1.	Kadar Air	24,3%	
2.	Kadar Lumpur	14,52%	< 5%
3.	Kadar Organik	Warna no. 1	
4.	Analisa Saringan	Zona III	
5.	<i>Fine Modulus</i>	2,05	1,5-3,8
6.	Berat Volume		
	a.Kondisi Lepas	0,39 gr/cm ³	
	b.Kondisi Goyangan	0,45 gr/cm ³	
	c.Kondisi Pemadatan	0,47 gr/cm ³	

	Berat Jenis	
	a. <i>Apparent specific gravity</i>	1,73
	b. <i>Bulk specific gravity on dry basic</i>	0,69
7.	c. <i>Bulk specific gravity on SSD basic</i>	1,29
	d. <i>Water absorbtion percentage</i>	87,44%

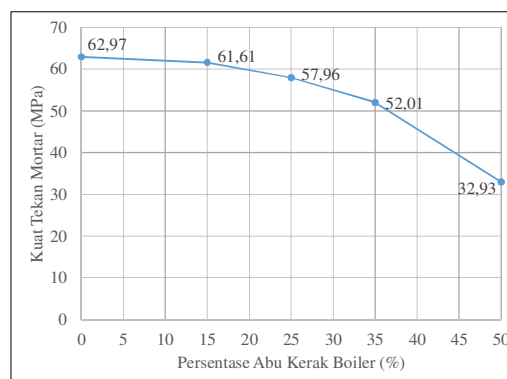
Tabel 7 Hasil Pemeriksaan kimia abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit

No.	Komposisi kimia	Hasil uji	ASTM C618-03 Jenis N
1.	Silicon Oxide (SiO ₂)	29,3%	70%
2.	Calcium Carbonate (CaCO ₃)	41,4%	-
3.	Manganese(Mn) + Iron (Fe) + Pohosphorus (P) + Silicon (Si)	29,3%	-

Hasil dan Pembahasan Pengujian Kuat

Tekan Mortar

Adapun hasil kuat tekan mortar diatas, diplot dalam bagan yang dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1 Hasil kuat tekan mortar rata-rata pada umur 28 hari

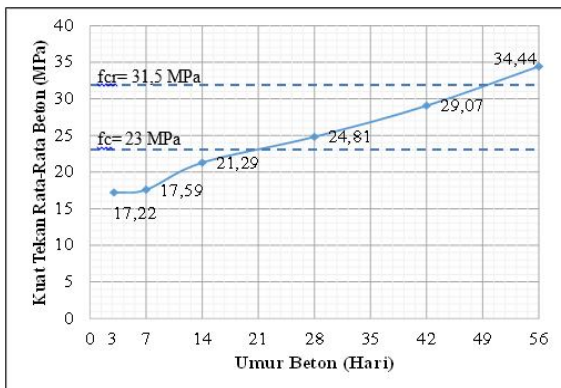
Dari Gambar 1 pada umur 28 hari, mortar dengan kadar abu kerak boiler 15% kuat tekannya sebesar 61,61 MPa, kekuatannya menurun 2,16% jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal sebesar 62,97 MPa. Untuk mortar dengan kadar abu kerak boiler 25% kuat tekannya sebesar 57,96 MPa kekuatannya menurun 7,95% dan untuk mortar dengan kadar abu kerak boiler 35% kuat tekannya sebesar 52,01 MPa kekuatannya menurun 17,39%. Begitu juga mortar dengan kadar abu kerak boiler 50% kuat tekannya sebesar 32,93 MPa kekuatannya menurun 47,70%.

Berdasarkan analisa kuat tekan mortar semakin besar kadar abu kerak boiler maka semakin menurun kekuatan tekannya. Kadar abu kerak boiler yang akan digunakan pada campuran beton adalah sebesar 15% karena memiliki nilai kuat tekan tertinggi, yang kemudian akan dibandingkan dengan beton normal.

Hasil dan Pembahasan Pengujian Kuat Tekan Beton

Tekan Beton

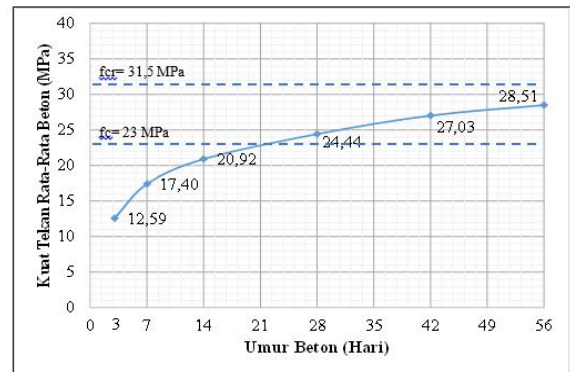
Untuk sampel, persentasi abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit yang digunakan sebagai pengganti pasir pada campuran beton adalah 0% (AKB1) dan persentasi optimum yaitu 15% (AKB2). Kuat tekan rata-rata yang direncanakan adalah sebesar 23 MPa.



Gambar 2 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton AKB1 dengan Umur Beton

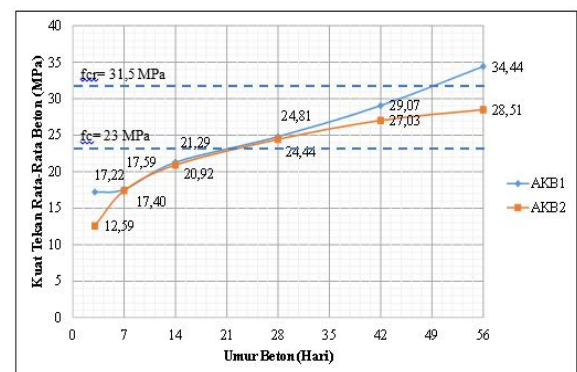
Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya umur beton maka semakin meningkat pula kekuatannya. Untuk umur beton 3 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 17,22 MPa dan pada umur beton 7 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 17,59 MPa. Begitu juga pada umur

14 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 21,29 MPa. Pada umur 28 hari, beton AKB1 menunjukkan kekuatan tekan rata-rata sebesar 24,81 MPa atau 7,86% lebih besar dari kuat tekan rata-rata yang disyaratkan yaitu 23 MPa. Sedangkan beton pada umur diatas 28 hari yaitu beton dengan umur 42 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 29,07 MPa dan beton dengan umur 56 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 34,44 MPa.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton AKB2 dengan Umur Beton

Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya umur beton maka semakin meningkat pula kekuatannya. Untuk umur beton 3 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 12,59 MPa dan pada umur beton 7 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 17,40 MPa. Begitu juga pada umur 14 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 20,92 MPa. Pada umur 28 hari, beton AKB2 menunjukkan kekuatan tekan rata-rata sebesar 24,44 MPa atau 6,25% lebih besar dari kuat tekan rata-rata yang disyaratkan yaitu 23 MPa. Sedangkan beton pada umur diatas 28 hari yaitu beton dengan umur 42 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 27,03 MPa dan beton dengan umur 56 hari kuat tekan rata-ratanya sebesar 28,51 MPa.



Gambar 4 Perbandingan hasil pengujian kuat tekan beton AKB1 dan beton AKB2

Dilihat dari Gambar 4 jika kuat tekan rata-rata beton AKB2 dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata beton AKB1 maka pada umur 3 hari kuat tekan rata-ratanya mengalami penurunan sebesar 4,628 MPa sedangkan pada umur 7 hari kuat tekan rata-ratanya menurun sebesar 0,185 MPa. Begitu pula pada umur 14 hari kuat tekan rata-ratanya menurun sebesar 0,370 MPa dan pada umur 28 hari kuat tekan rata-ratanya menurun sebesar 0,370 MPa. Untuk umur 42 hari kuat tekan rata-ratanya menurun sebesar 2,037 MPa dan pada umur 56 hari kuat tekan rata-ratanya menurun sebesar 5,924 MPa.

Berdasarkan hasil analisa tersebut maka beton dengan campuran 85% pasir barito dan 15% abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit mengakibatkan penurunan kekuatan tekan. Walaupun setelah umur beton 28 hari, kuat tekannya tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal akan tetapi mampu mencapai kuat tekan rencana sebesar 23 MPa pada umur 28 hari. Hal ini karena abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit masih memiliki karakter seperti agregat halus. Berdasarkan hasil pemeriksaan saringan agregat halus, abu kerak boiler masuk kedalam zona 3 dengan kata lain bisa dikombinasikan dengan pasir barito sebagai agregat halus pada campuran beton.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai pemanfaatan hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai pengganti pasir pada pembuatan beton normal dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kadar optimum abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir pada pencampuran beton adalah sebesar 15%.
2. Perubahan nilai kuat tekan beton normal dan beton dengan campuran optimum pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari adalah semakin meningkat kuat tekannya seiring dengan semakin bertambahnya umur beton.
3. Abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebesar 15% dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus (pasir) pada campuran beton dengan kuat tekan

rata-rata sebesar 24,44 Mpa melebihi kuat tekan yang direncanakan 23 Mpa pada umur 28 hari.

4. Nilai kuat tekan terbesar diperoleh pada umur 56 hari. Untuk beton normal kuat tekannya sebesar 34,44 MPa lebih tinggi dari pada kuat tekan beton dengan campuran optimum yang sebesar 28,51 MPa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan terkait penelitian hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan pengganti pasir pada pembuatan beton normal adalah sebagai berikut:

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit terhadap nilai kuat tekan beton dengan persentase kurang dari 15%.
2. Dapat dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit selain sebagai bahan pengganti pasir pada campuran beton.

Dapat dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan abu kerak boiler hasil pembakaran limbah cangkang kelapa sawit sebagai filler lapis pondasi semen pondasi bawah.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 469-02, Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Annual Books of ASTM Standards, USA.
- ASTM C 618-03. 2003. *Standard Specification for Pozzoland and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. United States : Association of Standard Testing Materials.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil*. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Spesifikasi mortar untuk pekerjaan pasangan*. Jakarta

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium*. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1982). *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*. Jakarta.
- Martin dkk. (2012). *Perilaku Kuat Tekan Beton Dengan Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Sebagian Semen*. Bengkulu.
- Menteri Perindustrian Republik Indonesia (1980). *Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*. Jakarta.
- Metha, P. Kumar (1986). *Concrete: Structure, Properties and Materials*. University of California.
- Murdock, L.J. K M Brook (1979). *Bahan dan Praktek Beton*. Erlangga. Jakarta.
- Neville, AM. (1998) *Properties of Concrete*. England.
- Nugraha, Paul dan Anthoni (2007). *Teknologi beton*. Andi. Yogyakarta.
- Susilorini, Retno. Kusno Adi Sambowo. (2011). *Teknologi Beton Lanjutan Durabilitas Beton Edisi Ke-2*. Penerbit Surya Perdana Semesta. Semarang.
- Prianti, Epi. et al. (2015). *Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir Pada Pembuatan Beton*. POSITRON. Volume V, No. 1.
- Pramono, Didiek. Suryadi H.S. (2008). *Bahan Konstruksi Teknik*. Penerbit Gunadarma. Jakarta.
- Samekto, W. Candra Rahmadiyanto (2001). *Teknologi Beton*. Yogyakarta.
- Rahman, Fauzi. (2006). *Pengaruh Kehalusan Serbuk Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Mortar*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta
- Wardhana, Henry. Ninis Hadi Haryanti. (2001). *Studi Abu Dasar Batubara Sebagai Bahan Konstruksi Campuran Beton*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Wang, C. K., dan Salmon, C. G., 1994, *Disain Beton Bertulang*, Edisi Keempat. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Yuzika .dkk. (2015). *Optimasi Tingkat Kemurnian Silika, SiO₂, Dari Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Konsentrasi Pengasaman*. Pontianak