



ANALISA PENGGUNAAN PAVING BLOCK SEBAGAI PENGGANTI ASPAL BETON PADA LAPISAN PERMUKAAN JALAN DENGAN MENGUNAKAN ABU KERAK BOILER

¹Muhammad Irwansyah, ²Alexander Tuahta Sihombing
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Asahan
*)iwandevi1982@gmail.com

ABSTRAK

Berbagai penelitian dibidang beton dilakukan sebagai usaha untuk meningkatkan kualitas beton, teknologi bahan dan teknik pelaksanaan yang didapat dari hasil penelitian tersebut dimaksudkan untuk menjawab tuntutan yang semakin tinggi terhadap pemakaian beton serta mengatasi kendala-kendala yang sering terjadi pada pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian pasir terhadap mutu kuat tekan beton. Komposisi penggantian pasir dengan Abu Boiler sebanyak 0%, 15%, 25%, 50% dan 100% dari berat pasir, dan faktor air semen ditentukan sama pada semua variasi campuran, yaitu sebesar 0,34. Sampel yang digunakan adalah benda uji standar paving block dengan ketebalan 8 cm, kubus 15x15x15 cm dan mutu beton yang direncanakan 25 MPa. Jumlah sampel sebanyak 30 sampel, yakni 15 sampel berbentuk pavingblock dan 15 sampel berbentuk kubus yang terdiri dari 5 variasi dan masing-masing variasi sebanyak 3 sampel. Sampel diuji pada umur 14 dan 28 hari, dengan terlebih dahulu dilakukan perawatan sebelum pengujian. Dari penelitian diperoleh bahwa kuat tekan beton yang tertinggi pada umur beton 28 hari (benda uji kubus) pada kondisi stabil kuat tekan beton terdapat pada campuran beton penggantian pasir dengan Abu Boiler 15% yaitu sebesar 20 Mpa dan kuat tekan beton yang terendah terdapat pada campuran beton dengan Abu Boiler 100% yaitu sebesar 7 MPa.

Kata Kunci : Beton, Abu Boiler, Kuat Tekan Beton

ABSTRACT

Various studies in the field of concrete were carried out in an effort to improve the quality of concrete, material technology and implementation techniques obtained from the results of these studies to answer the higher demand for the use of concrete and overcome the disturbances that often occur in the implementation of work in the field. The purpose of this study was to determine the effect of sand replacement on the compressive strength quality of concrete. The composition of sand replacement with Boiler Ash is 0%, 15%, 25%, 50% and 100% of the weight of the sand, and the cement water factor is determined the same for all variations of the mixture, which is 0.34. The sample used is the standard specimen of paving block with a thickness of 8 cm, a cube of 15x15x15 cm and a planned concrete quality of 20 MPa. The number of samples was 30 samples, namely 15 samples in the form of paving blocks and 15 samples in the form of cubes consisting of 5 variations and each variation of 3 samples. Samples were tested at the age of 14, and 28 days, prior to treatment before testing. From the research, it was found that the highest concrete compressive strength at 28 days of concrete (cube specimens) in a stable condition, the compressive strength of the concrete was found in the concrete mixture for replacing sand with 15% Boiler Ash, which was 25 MPa and the lowest concrete compressive strength was in the concrete mixture. with 100% Boiler Ash which is equal to 9 MPa.

Keywords : Concrete, Boiler Ash, Concrete Compressive Strength



I. PENDAHULUAN

Pengkajian dan penelitian masalah bahan bangunan masih terus dilakukan dan kebanyakan para peneliti telah bereksperimen dengan penambahan suatu bahan lain (additive) atau dengan mensubstitusikan bahan tersebut kedalam campuran untuk membuat beton dengan sifat yang lebih baik, seperti kekuatan yang lebih tinggi. Oleh karena itu masih selalu dicari dan diusahakan pemakaian jenis bahan bangunan dan model struktur yang ekonomis, mudah diperoleh, mudah pengerjaannya, mencukupi kebutuhan / kekuatan struktur dengan biaya yang relatif murah.

Menurut Mulia (2007) produksi kelapa sawit selain menghasilkan minyak juga menghasilkan produk samping berupa limbah kelapa sawit. Limbah yang dihasilkan dari pengolahan kelapa sawit sekitar 60 % dari jumlah produksi buah kelapa sawit seperti abu layang sebesar kurang lebih 100 kg/minggu dan abu kerak boiler sekitar lebih 3 sampai dengan 5 ton/minggu.

Berdasarkan penelitian (Jamizar, 2013) sisa pembakaran abu kerak boiler yang relatif banyak dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti pada batako, dikarenakan kandungan yang ada pada abu kerak hasil pembakaran boiler dari cangkang kelapa sawit mengandung unsur kimia SiO_2 31,45 %, dan CaO 15,2% dan Al_2O_3 sebanyak 1,6%.

Kandungan SiO_2 pada pasir mencapai 90 % (Mulia, 2007), oleh karena itu penelitian ini akan mengkaji tentang pemanfaatan abu kerak boiler sebagai bahan pengganti parsial pasir pada pembuatan beton

dengan bentuk pavingblock sebagai pengganti aspal beton pada lapisan permukaan jalan.

II. 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 berkualitas baik dalam arti memenuhi persyaratan yang lebih ketat karena tuntutan yang lebih tinggi, maka harus diperhitungkan dengan seksama cara-cara memperoleh adukan beton yang baik dan beton yang dihasilkan juga baik. Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat bahan-bahan dasar, nilai perbandingan bahan-bahannya, cara pengadukan maupun cara pengerjaan selama penuangan adukan beton, cara pemadatan, dan cara perawatan selama proses pengerasan.

Abu kerak boiler

Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan biomas dengan kandungan silika (SiO_2) yang sangat potensial dimanfaatkan. Proses pembakaran cangkang dan serat buah menghasilkan kerak yang keras dan berwarna putih keabuan akibat pembakaran dengan suhu yang tinggi dengan kandungan silika 61 % (Opirina L, et al., 2020).

Karakterisasi awal terhadap abu kerak boiler bertujuan untuk mengetahui karakteristik abu sehingga dapat dipakai sebagai perbandingan kualitas pasir yang diujikan. Tabel 1 menunjukkan kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , 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 (F. Rahman, dan Fathurrahman.,2017)

Tabel 1. Kandungan senyawa utama pada abu kerak boiler

NO	Senyawa	Kandungan
1	SiO ₂	29,9 %
2	CaO	26,0 %
2	Al ₂ O ₃	1,9 %

Sumber : (F. Rahman, dan Fathurrahman.,2017)

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.

Paving Block (Bata Beton)

Paving block atau bata beton adalah suatu komposisi bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolisis sejenisnya, air, agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton tersebut (SNI 03-0691-1996). Keuntungan paving block dibandingkan bahan bahan perkerasan jalan lainnya adalah kemudahan dalam pemasangan dan pemeliharaan, memiliki nilai estetika tinggi, dan memiliki durabilitas yang baik.

Menurut SNI 03-0691-1996, standar mutu yang harus dipenuhi oleh paving block adalah sebagai berikut :

- Sifat tampak paving block harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.
- Ukuran paving block harus mempunyai tebal minimum 60 mm dengan toleransi ±8%.
- Paving block untuk lantai apabila diuji dengan natrium sulfat tidak boleh cacat dan kehilangan berat yang diperbolehkan maksimum 1%.
- Paving block untuk lantai harus mempunyai kekuatan fisik

Kuat tekan beton

Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain dari beton, misalnya apabila kuat tekan beton tinggi maka sifat-sifat lainnya juga baik (Tjokrodimulyo, 2007).

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm². Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, yaitu menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi mutu kekuatan beton yaitu proporsi bahan penyusun, metode pencampuran, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran (Mulyono 2005).

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah :



$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

III. METODOLOGI

Beton yang dibuat yaitu beton dengan mutu K-250 (25 Mpa) maksudnya karakteristik mutu beton dengan kuat tekan 250 kg/cm² pada umur 28 hari. Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton ringan yaitu semen portland tipe I yang diproduksi dari PT.Semen Andalas digunakan sebagai perekat agregat dan juga bahan pengisi, agregat kasar berupa batu pecah yang ukuran butirannya maximum 40 mm, agregat halus berupa pasir yang berasal dari tinggi raja (Kab. Asahan), Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit diperoleh dari salah satu pabrik pengolahan kelapa sawit di wilayah Kabupaten Asahan. Abu kerak boiler salah satu material pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan bata beton (paving block), air yang digunakan adalah air bersih yang bebas kandungan minyak, asam, alkali, garam dan bahan organik lain yang dapat merusak beton, belerang.

Pembuatan bata beton (paving block) dilakukan dengan mensubstitusi abu boiler kedalam bahan dasar yang dijadikan sebagai pengganti agregat halus. Penambahan abu boiler bervariasi yaitu 15%, 25% 50% dan 100% dari berat pasir. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk setiap variasi. Sebagai benda uji pembandingan dibuat benda uji normal tanpa penambahan abu boiler (0%).

Sebelum pembuatan bata beton terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan bahan dasar berupa pemeriksaan kadar air agregat kasar dan agregat halus. Pengujian sifat fisis pada agregat meliputi pengujian

analisa saringan (sieve analysis), berat volume (bulk density), berat jenis (specific gravity) dan penyerapan (absorbtion). Setelah penyesuaian kadar air dilakukan proses pengadukan pembuatan beton. Setelah proses mix design selesai dilakukan dan didapat komposisi seluruh material pembentuk beton, maka selanjutnya adalah pengerjaan campuran beton. Tahapan ini dimulai dengan menimbang seluruh material yang digunakan. Material diaduk menggunakan concrete mixer dengan memasukkan satu persatu jenis materialnya pembentuk beton.

Selanjutnya dilakukan uji slump yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan (workability) dari adukan beton. Nilai slump sudah mencapai nilai rencana, maka melakukan pembuatan atau pencetakan bata beton (paving block) dengan ukuran 22 x 11 x 8 cm dan benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm. Pencetakan bata beton tersebut dilakukan dengan mendinginkan selama 24 jam. Setelah itu cetakan siap untuk dibuka dan dilakukan proses perendaman didalam curing bath. Benda uji kemudian direndam dalam kolam perendaman sampai seluruh bagian dari benda uji terendam. Perendaman ini merupakan proses perawatan terhadap benda uji beton sebelum dilakukan pengujian terhadap beton. Perawatan benda uji ini dilakukan samapai umur beton kurang 1 hari dari masa pengujian.

Langkah selanjutnya dilakukan nilai kuat tekan beton diuji pada umur 14 hari dan 28 hari. Sehari sebelum pengujian benda uji dikeluarkan dari kolam perendaman. Benda uji dikeringkan, di ukur dimensinya dan ditimbang beratnya.



Kemudian beton diuji dengan menggunakan mesin pembebanan.

Hasil yang terbaca pada dial mesin merupakan beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji kubus dan untuk paving block dihitung dengan faktor konversi.

Analisa Gradasi Pada Pasir

Tabel 1. Analisa Gradasi Pada Pasir

ANALISA GRADASI PADA PASIR					
No Saringan/ Ayakan	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat Tertahan (gr)	Jumlah Porsen (%)	Tertahan (%)	Lolos (%)
9,60			0,00	0,00	0,00
4,75	1	1	0,05	0,05	99,95
2,36	28	29	1,40	1,45	98,55
1,18	1328	1357	66,40	67,85	32,15
0,6	316	1673	15,80	83,65	16,35
0,3	284	1957	14,20	97,85	2,15
0,15	38	1995	1,90	99,75	0,25
Pan	5	2000	0,25	100	0,00
Fine Modulus				3,51	

ANALISA GRADASI PADA PASIR					
No Saringan/ Ayakan	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat Tertahan (gr)	Jumlah Porsen (%)	Tertahan (%)	Lolos (%)
9,60			0,00	0,00	0,00
4,75	1	1	0,05	0,05	99,95
2,36	28	29	1,40	1,45	98,55
1,18	1328	1357	66,40	67,85	32,15
0,6	316	1673	15,80	83,65	16,35
0,3	284	1957	14,20	97,85	2,15
0,15	38	1995	1,90	99,75	0,25
Pan	5	2000	0,25	100	0,00
Fine Modulus				3,51	

Analisa Gradasi Pada Kerikil

Tabel 2. Analisa Gradasi Pada Kerikil

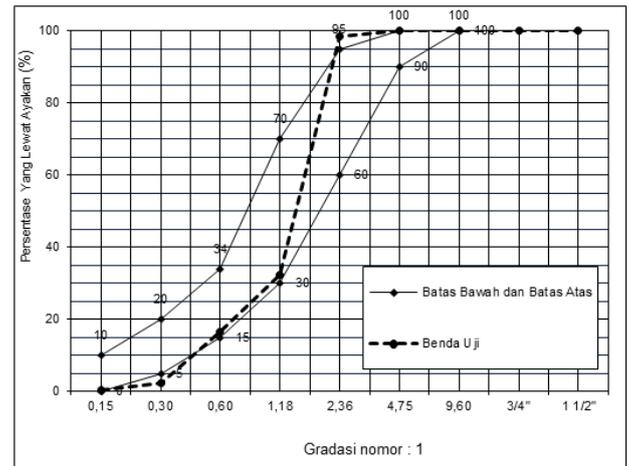
No Saringan/ Ayakan	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat Tertahan (gr)	Jumlah Porsen (%)	Tertahan (%)	Lolos (%)
3/4"			0,00	0,00	0,00
1/2"	2266	2266	56,65	56,65	43,35
9,60	1267	3533	31,68	88,33	11,68
4,75	467	4000	11,68	100,00	0,00
2,36	0	0	0	100,00	0,00
1,18	0	0	0	100,00	0,00
0,6	0	0	0	100,00	0,00
0,3	0	0	0	100,00	0,00
0,15	0	0	0	100,00	0,00
Pan	0	0	0	100,00	0,00
Fine Modulus				7,45	

Slump Test

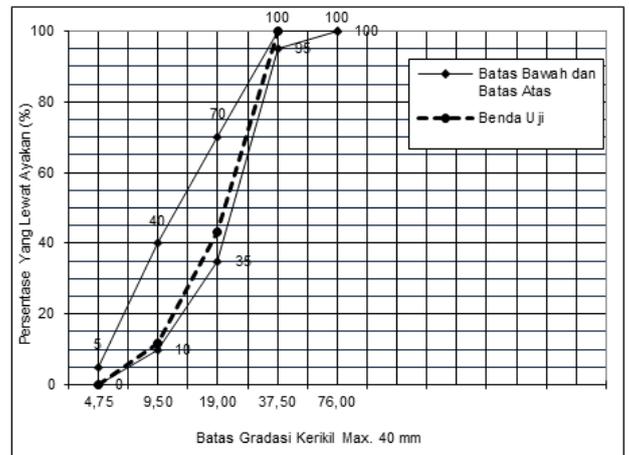
Data yang diperoleh dari hasil pengujian slump pada setiap pengecoran diperlihatkan pada Tabel

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan untuk mengetahui kualitas beton yang dihasilkan dari benda uji. Analisis ini juga dimaksudkan untuk mengetahui layak atau tidaknya bahan tersebut untuk dipergunakan dalam pembuatan campuran adukan.



Gambar 1. Batas Gradasi Agregat Halus Daerah I



Gambar 2. Batas Gradasi Pada Kerikil Max 40 mm

3. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa nilai slump berkisar antara 60 mm-180 mm.



Tabel 3. Hasil Uji Slump

No	Benda Uji	Tanggal Pembuatan	Slump
1	Beton Normal	10 Juli 2020	180 mm
2	Beton Normal + Abu Boiler 15%	10 Juli 2020	174 mm
3	Beton Normal + Abu Boiler 25%	10 Juli 2020	170 mm
4	Beton Normal + Abu Boiler 50%	10 Juli 2020	70 mm
5	Beton Normal + Abu Boiler 100%	10 Juli 2020	60 mm

Kuat Tekan Beton

Gambaran pengolahan data hasil pengujian yang diperoleh dalam menentukan nilai kuat tekan beton ditampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5 sedangkan grafik perbandingan kuat tekan kubus dan paving block ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan benda uji kubus

Beton	Umur Benda Uji	Sampel	Nilai Kuat Tekan Benda Uji (Kg/cm ²)					
			Normal	15%	25%	50%	100%	
Kubus	14 Hari	1	182,24	180,43	176,35	98,37	81,60	
		2	182,04	180,21	176,23	98,25	81,39	
		3	181,99	180,18	176,10	98,12	81,35	
	Rata-rata (Kg/cm ²)			182,09	180,27	176,22	98,25	81,45
	28 Hari	1	309,63	284,69	170,91	154,59	102,91	
		2	309,43	284,47	170,79	154,47	102,70	
3		309,38	284,44	170,66	154,34	102,66		
Rata-rata (Kg/cm ²)			309,48	284,54	170,78	154,46	102,75	

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan benda uji paving block

Beton	Umur Benda Uji	Sampel	Nilai Kuat Tekan Benda Uji (Kg/cm ²)					
			Normal	15%	25%	50%	100%	
Paving Block	14 Hari	1	322,03	247,71	239,46	178,26	124,83	
		2	321,83	247,49	239,22	178,03	124,62	
		3	321,78	247,46	239,21	178,01	124,58	
	Rata-rata (Kg/cm ²)			321,88	247,56	239,29	178,10	124,68
	28 Hari	1	482,40	446,38	232,20	205,18	147,37	
		2	482,18	446,17	232,00	204,94	147,15	
3		482,15	446,13	231,95	204,93	147,12		
Rata-rata (Kg/cm ²)			482,24	446,23	232,05	205,02	147,22	

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa pada pengujian kuat tekan beton abu kerak boiler pada umur 28 hari yang paling optimum adalah pada 15 % penambahan dengan abu kerak boiler. Jika di bandingkan dengan 0 % abu kerak boiler, kuat tekan beton 15 % dengan abu kerak boiler masih lebih rendah (benda uji kubus).

Selain itu pada Tabel. 4 persentasi substitusi abu kerak boiler juga mempengaruhi nilai kuat tekan

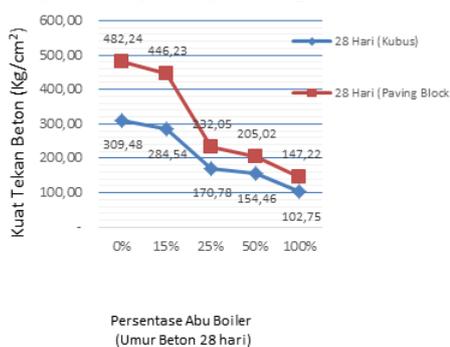
beton. Beton normal memiliki nilai kuat tekan yang besar dari pada kuat tekan beton yang disubstitusi dengan abu kerak boiler. Jadi Semakin besar persentase substitusi abu kerak boiler maka semakin kecil nilai kuat tekan beton dan sebaliknya. Itu disebabkan karena abu kerak boiler mempunyai sejumlah pori-pori yang besar. Sehingga dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tekan beton.

Dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton dipengaruhi



oleh adanya porositas yang terdapat pada abu kerak boiler. Dari hasil penelitian, nilai kuat tekan beton yang terendah terjadi pada substitusi abu kerak boiler 100%. Begitu juga dengan sampel benda uji paving block menunjukkan bahwa beton normal lebih baik dari pada beton yang di substitusikan dengan abu kerak boiler.

Pada pengujian benda uji kubus (Tabel 4), kuat tekan beton maksimum yang diterima kubus adalah 309,48 Kg/cm². Sedangkan Pada pengujian benda uji paving-block (Tabel 5), kuat tekan beton maksimum yang diterima paving block adalah 482,24 Kg/cm². Berdasarkan hasil uji tekan kubus dan paving-block yang telah dilakukan, maka akan diperoleh nilai Faktor Konversi untuk mendapatkan hasil kuat tekan sebenarnya dari paving block/bata beton. Perbedaan hasil kuat tekan kubus dan paving-block ditunjukkan pada grafik gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Kuat Tekan Kubus Dan Paving Block

Faktor konversi (FK) = kuat tekan paving-block/kuat tekan kubus. Untuk mendapatkan hasil kuat tekan pengujian paving-block secara langsung adalah = Hasil uji langsung benda uji paving block x faktor

konversi (Rachmi. Y, dan Gufron A,2017).

Bila hasil uji langsung tekan benda uji tekan sampel paving-block adalah 482,24 Kg/cm² maka kekuatan paving block adalah 482,24 Kg/cm² * 0,6 = 289,34 Kg/cm².

Tanpa faktor konversi, nilainya terlihat lebih besar, namun sesungguhnya lebih kecil. Hal ini berbahaya, karena seolah masuk dalam persyaratan spesifikasi teknis material namun sesungguhnya tidak masuk.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan terhadap kuat tekan beton untuk beton normal dengan variasi pengganti agregat halus berupa Abu Boiler yaitu :

1. Hasil slump test menunjukkan adanya penurunan tinggi nilai slump dengan penambahan abu kerak boiler. Dengan kata lain, semakin tinggi persentase abu kerak boiler yang digunakan akan semakin tinggi penyerapan air beton.
2. Dari hasil penelitian menunjukkan persentase berat optimum substitusi abu kerak boiler dalam campuran beton, berada di 15 % sebesar 204,87 Kg/cm² (Benda Uji Kubus) yaitu masuk dalam kuat tekan rencana beton 20 Mpa.
3. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa pengaruh substitusi abu kerak boiler terhadap kuat tekan beton mengalami penurunan di tiap - tiap penambahan persentase abu kerak boiler sebagai pengganti pasir dalam campuran beton.



Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna secara umum dalam ilmu tentang bahan bangunan dan khususnya teknologi beton serta dapat diterapkan secara praktis di lapangan. Adapun saran-saran yang dapat penulis berikan yang berhubungan dengan penelitian ini adalah perlu dicoba dengan metode mix design lain sebagai bahan perbandingan data yang dihasilkan oleh masing-masing mix design.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2000, SNI 03-2834- 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. 1996, SNI 03-0691- 1996, *Bata Beton (Paving block)*. Jakarta
- F. Rahman, dan Fathurrahman, *Pemanfaatan Hasil Pembakaran Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengganti Pasir Pada Pembuatan Beton Normal*. Jurnal Media Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 6, No. 1, Hal. 30 – 40, 2017.
- 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 Tehnik Sipil FT UNP, J. Teknik sipil 3(1).
- Mulyono T. (2005), *Teknologi Beton*, Yogyakarta. Penerbit Andi.
- Mulia, A., 2007, *Pemanfaatan Tandan Kosong dan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Briket Arang*, Universitas Sumatera Utara , Medan (Tesis).
- Opirina L, Sari DP. (2018). *Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Terhadap Kuat Tarik belah Beton Normal*, Jurnal Portal, Vol.11, No.2/Oktober 2019, Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Prianti, Epi. et al, *Pemanfaatan Abu Kerak Boiler Hasil Pembakaran Limbah Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Parsial Pasir pada Pembuatan Beton*. Jurnal POSITRON, Vol.V, No. 1, Hal. 26 – 29, 2015
- Rachmi. Y, dan Gufron A, *Manfaat faktor konversi untuk pengujian kuat tekan paving-block*. Jurnal IPTEK, Vol. 1, No. 2, Hal. 79 – 87, 2017.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit KMTS FT UGM. Yogyakarta