

**PENGARUH PENAMBAHAN *ACTIVATED CARBON*
CANGKANG KELAPA SAWIT TERHADAP *FILTRATION*
LOSS DAN *FREE WATER* SEMEN PEMBORAN KELAS G**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

WANDES PRI ANGGARA

143210593



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini disusun oleh :

Nama : Wandes Pri Anggara
NPM : 143210593
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan *Activated Carbon* Cangkang Kelapa Sawit Terhadap *Filtration Loss* Dan *Free Water* Terhadap Semen Pemboran Kelas G

Telah berhasil dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Idham Khalid, S.T., M.T. (.....)
Penguji I : Richa Melysa, S.T., M.T. (.....)
Penguji II : Novrianti, S.T., M.T. (.....)
Diterapkan di : Pekanbaru
Tanggal : 18 Maret 2022

Disahkan Oleh:

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**


(Novia Rita, ST., M.T.)

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh



Pekanbaru, 19 November 2021

Wandes Pri Anggara
NPM.143210593

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah SWT karena atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Idham Khalid, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ibu Richa Melysa, S.T., M.T., selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
3. Kepala laboratorium pemboran Bapak Idham Khalid, S.T., M.T., instruktur dan laboran laboratorium pemboran Teknik Perminyakan yang telah membantu penelitian ini.
4. Ketua prodi Ibu Novia Rita, S.T., M.T. dan sekretaris prodi Bapak Tomi Erfando, S.T., M.T. serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan, dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
5. Orang tua, serta saudara/i dan seluruh keluarga saya atas segala doa dan kasih sayang, dukungan moral dan materil yang diberikan sampai penyelesaian tugas akhir.
6. Teman-teman jurusan Teknik Perminyakan UIR angkatan 2014, khususnya kelas E yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama masa perkuliahan dan penelitian ini.

Teriring doa saya, semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 19 November 2021



(Wandes Pri Anggara)

Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR SINGKATAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.3 MANFAAT PENELITIAN.....	2
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 PENELITIAN TERDAHULU.....	4
2.2 <i>FILTRATION LOSS DAN FREE WATER</i>	5
2.3 CANGKANG KELAPA SAWIT	7
2.4 <i>ACTIVATED CARBON</i>	8
2.4.1 Klasifikasi <i>Activated Carbon</i>	8
2.4.2 Sifat <i>Activated Carbon</i>	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	10
3.1 METODE PENELITIAN.....	10
3.2 TEMPAT PENELITIAN	10
3.3 JENIS DATA.....	10
3.4 SAMPEL PENELITIAN.....	10
3.5 <i>FLOW CHART</i>	11

3.6	JADWAL PENELITIAN.....	12
3.7	ALAT DAN BAHAN PENELITIAN.....	12
3.7.1	Alat Penelitian	12
3.7.2	Bahan Penelitian	13
3.8	PROSEDUR PENELITIAN.....	17
3.8.1	Pembuatan Activated Carbon Cangkang Kelapa Sawit	17
3.8.2	Pembuatan Suspensi Semen	19
3.8.3	Pengujian <i>Filtration Loss</i>	19
3.8.4	Pengujian <i>Free Water</i>	20
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1	PENGUJIAN <i>FILTRATION LOSS</i>	21
4.2	PENGUJIAN <i>FREE WATER</i>	22
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	25
5.1	KESIMPULAN.....	25
5.2	SARAN	25
	DAFTAR PUSTAKA	26
	LAMPIRAN I	28
	LAMPIRAN II.....	41
	LAMPIRAN III	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Mikrofotogram Scanning Electron Microscope (SEM) (Perbesaran 5000x) pada permukaan karbon tempurung kemiri (kiri) dan karbon aktif tempurung kemiri yang diaktivasi dengan cara fisika (kanan) (Lempang, 2014)</i>	9
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart Penelitian</i>	11
Gambar 3. 2 <i>Wadah Tahan Panas</i>	13
Gambar 3. 3 <i>Oven</i>	13
Gambar 3. 4 <i>Furnace</i>	14
Gambar 3. 5 <i>Sieve</i>	14
Gambar 3. 6 <i>Timbangan Digital</i>	15
Gambar 3. 7 <i>Filter Press (LPLT)</i>	15
Gambar 3. 8 <i>Filter Paper</i>	15
Gambar 3. 9 <i>Stopwatch</i>	16
Gambar 3. 10 <i>Gelas Ukur</i>	16
Gambar 3. 11 <i>Cement Mixer</i>	17
Gambar 3. 12 <i>Cup Cement Mixer</i>	17
Gambar 4. 1 <i>Hasil Filtrat dari Penambahan Activated Carbon Cangkang Kelapa Sawit pada Filtration Loss</i>	22
Gambar 4. 2 <i>Hasil Filtrat dari Penambahan Activated Carbon Cangkang Kelapa Sawit pada Free Water</i>	23

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan Cangkang Kelapa Sawit ... Error! Bookmark not defined.	
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir	12
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian <i>Filtration Loss</i> Suspensi Semen G dengan Penambahan <i>Activated Carbon</i> Cangkang Kelapa Sawit	21
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian <i>Free Water</i> Suspensi Semen G dengan Penambahan <i>Activated Carbon</i> Cangkang Kelapa Sawit	23



DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN I Pembuatan Suspensi Semen
LAMPIRAN II Perhitungan *Filtration Loss*
LAMPIRAN III Perhitungan *Free Water*



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SINGKATAN

API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASTM	<i>American Standard Testing and Material</i>
BWOC	<i>By Weight Of Cement</i>
HSR	<i>High Sulfat Resistant</i>
LPLT	<i>Low Pressure Low Temperature</i>
MSR	<i>Moderat Sulfat Resistant</i>
PKS	Pabrik Kelapa Sawit
PPG	<i>Polypropylene Glycol</i>
Psi	<i>Pounds per Square Inch</i>
Rpm	<i>Rotation per Minute</i>
SG	<i>Spesific Gravity</i>
TBS	Tandan Buah Segar
WOC	<i>Waiting On Cement</i>



DAFTAR SIMBOL

Cc	Centi Cubic
°C	Celcius degree
Ft	Feet
°F	Fahrenheit degree
Ml	Mililiter
Psi	Pound per Square Inch
UC	Unit of Consistency



**PENGARUH PENAMBAHAN *ACTIVATED CARBON* CANGKANG
KELAPA SAWIT TERHADAP *FILTRATION LOSS* DAN *FREE WATER*
SEMEN PEMBORAN KELAS G**

WANDES PRI ANGGARA

143210593

ABSTRAK

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai *activated carbon* jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti yang berbentuk hitam keabuan, bentuk tidak beraturan dan memiliki kekerasan yang cukup tinggi. Kandungan kimia yang terdapat di cangkang kelapa sawit yaitu lignin 29,4%, selulosa 26,6% dan hemiselulosa 27,7%. *Activated carbon* adalah senyawa dengan bahan dasar *carbon* atau arang yang telah diolah dan memiliki porositas tinggi serta luas permukaan yang besar sehingga dapat digunakan sebagai adsorben yang efektif untuk air limbah.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit tersebut, maka dilakukan pengujian dengan konsentrasi *activated carbon* sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5%. Untuk *filtration loss* menggunakan alat *filter press* jenis LPLT (*Low Pressure Low Temperature*). Dan untuk *free water* ditentukan dengan menggunakan gelas ukur yang diisi oleh suspensi semen sebanyak 250 ml. Mendiamkan selama 2 jam hingga terjadi air bebas pada bagian atas gelas ukur.

Dari pengujian *filtration loss* dengan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit, hasil yang dikatakan layak yaitu 1%, 1,5% dan 2%. Itu dapat menurunkan *filtration loss*. Namun sesuai pernyataan di atas hanya penambahan dikonsentrasi 1%, 1,5% dan 2% yang diizinkan dalam *filtration loss* karena dibawah 250 cc. Pengujian *free water* dengan penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit dengan konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu, 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5%. Dilihat dari hasil penelitian bahwa semakin banyak penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit maka akan semakin sedikit *free water*. sesuai pernyataan di atas pengujian yang di uji masih dalam range *free water*.

Kata kunci: Cangkang Sawit, *Activated Carbon*, *Filtration Loss*, *Free Water*

**PENGARUH PENAMBAHAN ACTIVATED CARBON CANGKANG
KELAPA SAWIT TERHADAP FILTRATION LOSS DAN FREE WATER
SEMEN PEMBORAN KELAS G**

WANDES PRI ANGGARA

143210593

ABSTRACT

Palm oil shells are one of the wastes that can be used as activated carbon, the amount reaches 60% of the core oil production which is grayish black, irregular in shape and has a fairly high hardness. The chemical constituents of oil palm shells are lignin 29.4%, cellulose 26.6% and hemicellulose 27.7%. Activated carbon is a compound based on carbon or charcoal that has been treated and has a high porosity and a large surface area so that it can be used as an effective absorbent for wastewater.

To determine the effect of adding the activated carbon additive to palm shells, a test was carried out with activated carbon concentrations of 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% and 2.5%. For filtration loss, use a LPLT (Low Pressure Low Temperature) filter press. And for free water, it was determined using a measuring cup filled with 250 ml of cement suspension. Let stand for 2 hours until there is free water on the top of the measuring cup.

From the filtration loss test with the activated carbon additive of palm kernel shells, the results that are said to be feasible are 1%, 1.5% and 2%. It can lower the filtration loss. However, according to the statement above, only 1%, 1.5% and 2% concentration additions are permitted in the filtration loss because they are below 250 cc. Free water testing with the addition of palm kernel shell activated carbon additives with concentrations used in this study, namely, 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% and 2.5%. Judging from the results of the study that the more additives added to activated carbon oil palm shells, the less free water will be. according to the statement above, the test being tested is still in the free water range.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Operasi penyemenan merupakan salah satu aspek penting dalam eksploitasi minyak dan gas bumi yang bertujuan untuk melekatkan casing pada dinding lubang sumur, melindungi casing dari sifat fluida yang bersifat korosi, dan sebagai pemisah antara lapisan formasi (Burgoyne, A. T., 1986).

Permasalahan yang sering terjadi pada saat penyemenan yaitu *filtration loss* dan *free water* yang disebabkan oleh hilangnya fasa (filtrat). Banyaknya cairan yang hilang selama proses injeksi dapat menyebabkan semen kekurangan air (*flash set*) yang menimbulkan *friksi* di annulus dan rusaknya formasi untuk mencegah hal yang tidak diinginkan ini, perlu dilakukan penambahan beberapa zat aditif yang berguna untuk mengurangi *filtration loss* dan *free water* sesuai dengan API. Sedangkan *free water* adalah air terbebas dari suspensi semen dimana jumlah kadar air minimum 30 UC. Untuk pencampuran air harus pas tidak boleh kurang atau lebih di karenakan dapat mempengaruhi ikatan semen. (Novrianti, Mursyidah, & Utama, 2017).

Untuk mengontrol karakteristik *filtration loss*, *activated carbon* yang ditambahkan ke dalam semen pemboran, hasil eksperimental menjelaskan bahwa *activated carbon* memiliki kontrol yang lebih baik pada *filtration loss* tanpa mempengaruhi sifat semen pemboran, *activated carbon* ini memiliki potensi yang baik untuk pemboran sumur minyak dan gas (Mahto, 2013).

Menurut (Purwanto, D., 2011) komposisi cangkang kelapa sawit hampir sama dengan kayu, yang tersusun dari lignin 29,4%, selulosa 26,6% dan hemiselulosa 27,7%. Sehingga bahan-bahan organik yang terkandung bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *activated carbon*.

Activated carbon merupakan senyawa yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan secara khusus untuk mendapatkan daya adsorbs yang tinggi. Tergantung pada besar atau volume pori-

pori dan luas permukaan. Daya serap *activated carbon* sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon (Darmawan, 2008).

Berdasarkan permasalahan dalam operasi penyemenan diatas, maka perlu dilakukan penelitian terhadap *filtration loss* dan *free water* di laboratorium. Pengujian ini dilakukan dengan penambahan aditif pada suspensi semen yang bertujuan mendapatkan komposisi terbaik, penambahan *activated carbon* cangkang kelapa sawit merupakan aditif yang sesuai digunakan untuk mengontrol masalah *filtration loss* dan *free water*. Melalui pengujian komposisi semen di laboratorium yang bertujuan untuk memperoleh kualitas semen yang sesuai, dalam penambahan berbagai konsentrasi *activated carbon* cangkang kelapa sawit sebagai media alternatif dalam mengurangi *filtration loss* dan *free water*. Persiapan pengujian lab meliputi peralatan, prosedur pengujian dan persiapan material semen.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang diatas, maka tujuan penelitian dalam proposal tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui pengaruh *filtration loss* terhadap semen pemboran menggunakan *activated carbon* cangkang kelapa sawit dengan konsentrasi 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%.
2. Mengetahui pengaruh *free water* terhadap semen pemboran menggunakan *activated carbon* cangkang kelapa sawit dengan konsentrasi 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan dapat memberikan berbagai manfaat diantaranya yaitu :

1. Memberikan pengetahuan tentang pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit dalam pengembangan ilmu perminyakan.
2. Dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa untuk melakukan penelitian selanjutnya mengenai limbah cangkang kelapa sawit ataupun limbah lainnya.
3. Dapat dijadikan sebagai jurnal/karya ilmiah yang dapat dipublikasikan pada skala nasional maupun internasional.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *activated carbon* dari cangkang kelapa sawit yang diambil dari PT Tunas Baru Lampung di Kecamatan Beringin, Kabupaten Pelalawan, Riau.
2. Uji yang dilakukan hanya mengenai pengaruh konsentrasi *activated carbon* cangkang kelapa sawit terhadap *filtration loss* dan *free water* di Laboratorium Pemboran Universitas Islam Riau.
3. Variasi konsentrasi yang digunakan hanya 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5%.
4. Tidak membahas ukuran partikel dan nilai keekonomisan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Manusia diciptakan sebagai pemimpin di bumi yang memiliki wewenang sepenuhnya untuk memanfaatkan dan menjaga seluruh isi alam semesta demi keberlangsungan kehidupan di muka bumi. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam surah Al'ala (87) 1-5 : Maha suci Allah yang maha kuasa yang telah menciptakan seisi alam semesta dengan kesempurnanya, memberikan petunjuk bagi setiap umat dan menumbuhkan rumput-rumputan yang kemudian dikeringkan kering kehitam-hitaman. Untuk itu sebagai bentuk syukur manusia kepada Allah SWT, manusia harus memelihara alam yang telah memberikan kehidupan kepada manusia karena hakikatnya semua yang ada di bumi hanyalah milik Allah SWT.

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Berdasarkan (Mursyidah, 2019) *activated carbon* cangkang kelapa sawit sebagai aditif memiliki sifat adsorpsi, sifat ini mampu mengontrol *filtration loss* dan ketebalan *mudcake*, sifat adsorpsi ini ada karena *activated carbon* memiliki porositas dengan luas permukaan yang besar, sehingga filtrat akan mengisi pori-pori pada permukaan *activated carbon* sehingga *filtration loss* dapat dikontrol.

Berdasarkan penelitian (Novrianti, 2017) dengan penelitian mengenai arang cangkang sawit dengan variasi temperatur pemanasan terhadap *free water* pada semen pemboran. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi waktu pemanasan cangkang sawit berpengaruh terhadap *free water* pada semen pemboran, semakin tinggi maka semakin kecil juga nilai *free water* yang didapatkan dari hasil pengujian.

Pada penelitian (Novrianti, 2016) juga terdapat pembahasan mengenai pengaruh variasi temperatur pemanasan *carbon* cangkang kelapa sawit dan arang batok kelapa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan semen pemboran atau *strength cement*. Dan hasilnya variasi pemanasan cangkang dan batok kelapa sawit dapat memengaruhi *strength* semen. Namun, belum ada penelitian lebih lanjut bagaimana pengaruhnya terhadap *free water* dan *filtration loss* pada semen.

Berdasarkan (Harahap et al., 2014) telah berhasil dibuat karbon aktif dari bahan utama cangkang kelapa sawit dengan variasi suhu karbonisasi 400°C, 500°C, dan 600°C dan masing- masing ditahan 20, 40, dan 60 menit pengaktifan secara fisika dilakukan pada suhu 900°C selama 20, 40, dan 60 menit dengan mengalirkan uap air sebagai pengaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif melalui uji proksimat berupa kadar air dan kadar abu daya serap karbon aktif terhadap bilangan iodin rendermen.

Penelitian ini bertujuan membuat karbon aktif dari tempurung kelapa pengaktifasi KOH dilakukan satu kali aktivasi (sesudah pirolisis) dan dua kali aktivasi (sebelum dan sesudah pirolisis). Kualitas arang aktif yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui karakteristik kadar air, kadar abu, *iodine number surface area* karbon aktif dari arang tempurung kelapa yang sesuai dengan SII No.0258-79. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa karbon aktif dapat dibuat dari tempurung kelapa dengan terlebih dahulu dilakukan pirolisis dan kemudian dilakukan aktifasi (Jamilatun et al., 2015).

Dalam penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh (Damayanti, 2013), yang memanfaatkan limbah tumbuhan enceng gondok dan tempurung kelapa yang dijadikan ke karbon didapatkan kontaminan pada air limbah tahu diharapkan dapat berkurang dengan adanya proses adsorpsi yang dilakukan arang tempurung kelapa dan fitoremediasi yang dilakukan oleh eceng gondok. Dengan adanya penelitian ini didapatkan bahwa karbon memiliki adsorpsi yang baik pada air untuk mengurangi *filtration loss* dan free water.

2.2 **FILTRATION LOSS DAN FREE WATER**

Filtration loss adalah peristiwa hilangnya fasa cair (filtrat) dari komponen semen ke dalam formasi *permeable* yang terjadi saat proses penyemenan berlangsung. Kehilangan cairan terlalu banyak dapat menimbulkan komponen semen kekurangan air (*flash set*). Terjadinya peristiwa ini dapat menyebabkan naiknya *viscositas* suspensi semen dan terendapnya *filtrat cake* dengan cepat maka suspensi semen akan mengakibatkan friksi pada anulus dan pecahnya formasi.

Penelitian mengenai *filtration loss* di laboratorium memakai alat *filter press* sesuai tekanan 100 psi dengan temperatur maksimum 180°F. Hasil dari *Filtration loss* didapat dari pengujian suspensi semen yang diletakan dalam sebuah gelas ukur

selama 30 menit. Jika waktu pengujian kurang dari 30 menit maka filtration loss didapat dengan memakai rumus :

$$F_{30} = Ft \frac{5.477}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots(1)$$

Menurut (Rudiandini, 2010). Mengenai *primary cementing* yang mengacu berdasarkan standart API antara 150 – 250 cc yang diuji selama 30 menit memakai saringan berukuran 325 mesh untuk standart *filtration loss*

Free water merupakan air yang terpisah dari suspensi semen. *Water cement ratio* (wcr) perbandingan air yang dicampur terhadap bubuk semen, jumlah air yang dicampur tidak boleh lebih ataupun kurang karena akan mempengaruhi ikatan semen. Sehingga mengakibatkan gesekan-gesekan, semen berongga, dan naiknya tekanan di anulus yang disebabkan air yang ditambahkan lebih kecil dari minimumnya bila air yang ditambahkan lebih kecil dari kadar air minimumnya, pencampuran air yang pas dari kadar air minimum sangat mempengaruhi kualitas semen (Novrianti, Mursyidah, & Utama, 2017).

Suspensi semen 250 ml yang didiamkan pada gelas ukur selama 2 jam sampai terjadi air yang terpisahkan sebanyak 3,5 ml ke bagian atas gelas ukur. Jika lebih dari kadar maximumnya semen menjadi berpori, berongga dan permeabilitas semanya besar membuat semen cepat mengering sebelum waktu yang ditargetkan saat penyemenan (Rudiandini, 2010). Untuk menghitung persen volume dari *free water* dapat menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ Free Water} = \frac{\text{Vol. Free Water}}{\text{Vol. Suspensi Semen}} \times 100 \%$$

dimana :

$$\% \text{ Free Water} = \text{Persen Free Water, \%}$$

$$\text{Vol. Free Water} = \text{Volume Free Water, ml}$$

$$\text{Vol. Suspensi Semen} = \text{Volume Suspensi Semen, ml}$$

2.3 CANGKANG KELAPA SAWIT

Kelapa sawit adalah salah satu komoditas penting untuk hasil perkebunan dalam perekonomian Indonesia. Berdasarkan (Badan Pusat Statistik, 2017) di Riau terdapat 2,26 juta Ha luas perkebunan kelapa sawit dan sebanyak 7,72 ton kelapa sawit diproduksi pada tahun 2017. Dengan hasil yang sebanyak itu, tentu saja akan menghasilkan limbah berupa cangkang kelapa sawit yang merupakan hasil sisa produksi minyak sawit yang, sampai sekarang pemanfaatan cangkang kelapa sawit belum dilakukan secara maksimal. Pengolahan cangkang kelapa sawit menjadi *activated carbon* adalah salah satu cara yang mudah untuk menambah nilai ekonomisnya (Kurniati, 2008).

Berdasarkan data Dinas Perkebunan Provinsi Riau (2013), pada tahun 2000 966.786 Ha terjadi peningkatan menjadi 2.258.553 Ha tahun 2012. Rata-rata perluasan area perkebunan kelapa sawit yang terjadi selama tahun 2000-2012 sebesar 8,08% pertahun. Sedangkan tandan buah segar (tbs) juga mengalami peningkatan dengan pertumbuhan rata-rata 12% pertahun, peningkatan tersebut dikarenakan banyaknya pabrik kelapa sawit (pks) yang beroperasi sebanyak 146 unit di kabupaten, kota dan provinsi yang ada di Indonesia. Cangkang kelapa sawit memiliki sifat daya serap yang sangat bagus, semakin besar massa jenisnya maka semakin baik untuk dijadikan karbon aktif.. (Purwanto, D., 2011). Adapun kandungan yang terdapat dalam cangkang kelapa sawit yaitu :

Tabel 2.1 Kandungan Cangkang Kelapa Sawit

No.	Kandungan kimia	%
1.	MgO	4,9
2.	Al ₂ O ₃	2,2
3.	SiO ₂	30,1
4.	P ₂ O ₅	19,6
5.	SO ₃	3,28
6.	K ₂ O	17,5
7.	CaO	14,6
8.	Fe ₂ O ₃	5,08
9.	CuO	0,388
10.	ZnO	2,30

Sumber : Topan. (2013)

2.4 ACTIVATED CARBON

Activated carbon adalah senyawa dengan bahan dasar *carbon* atau arang yang telah diolah dan memiliki porositas tinggi serta luas permukaan yang besar. Dua sifat ini membuat *activated carbon* dapat digunakan sebagai adsorben yang efektif untuk air limbah, berbagai macam sifat permukaan *activated carbon* juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan penggunaan tertentu (Akbar, 2011).

2.4.1 Klasifikasi *Activated Carbon*

Terdapat tiga bentuk utama *activated carbon* menurut (Ibrahim, Awaludin Martin, 2014) yaitu:

1. Granular
Bentuknya tidak beraturan dengan ukuran partikel 0,2 sampai 5 mm. Jenis *activated carbon* yang bisa digunakan untuk fasa cair dan gas.
2. Serbuk
Berbentuk halus yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dari 0,18 mm (US Mesh 80). Bisa digunakan pada fasa cair dan penyaringan pada gas.
3. Pellet
Activated carbon yang berbentuk pellet silinder dengan ukuran diameter 0,8 sampai 5 mm. *Activated carbon* ini bisa digunakan pada fasa gas karena *pressure* dropnya rendah, kekuatan mekanik yang tinggi dan memiliki kandungan abu yang rendah.

2.4.2 Sifat *Activated Carbon*

Adsorpsi

Adsorpsi adalah pembentukan lapisan gas atau cair oleh molekul-molekul dalam fase fluida pada permukaan padatan dengan tarikan molekul yang biasa disebut gaya tarik menarik *Van der Waals*. Atom-atom pada permukaan padatan seperti *activated carbon* memiliki gaya yang tidak seimbang dibandingkan dengan yang ada di dalam padatan, maka molekul yang tidak seimbang ini akan terus terjadi gaya tarik menarik hingga terjadi keseimbangan antar molekul. Molekul-molekul ini (mengadsorpsi) membentuk satu lapisan tunggal pada permukaan benda padat (adsorben) (Manocha, 2003).

Ukuran pori *activated carbon* dipengaruhi oleh cara, temperatur dan lamanya *carbon* diaktivasi. Beberapa ukuran pori ini menurut (Manocha, 2003) terbagi menjadi tiga, yaitu:

- Makropori yang memiliki ukuran diameter lebih besar dari 50 nm
- Mesopori yang memiliki ukuran diameter berkisar antara 2-50 nm
- Mikropori yang memiliki ukuran diameter lebih kecil dari 2 nm
- Pengaktifasian *carbon* yang mempengaruhi pori-pori ini jugalah yang membedakan antara *activated carbon* dan *carbon* biasa. *Carbon* yang sudah diaktivasi memiliki pori-pori yang lebih besar dan banyak dibandingkan *carbon* yang belum diaktivasi. Selain itu, pori-pori ini terdapat pada permukaan partikel dari *activated carbon*, jika luas permukaan partikel semakin besar, maka pori-pori yang terdapat pada permukaannya juga semakin banyak.



Gambar 2. 1 Mikrofotogram *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Perbesaran 5000x) pada permukaan karbon tempurung kemiri (kiri) dan karbon aktif tempurung kemiri yang diaktivasi dengan cara fisika (kanan) (Lempang, 2014)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian pada pengujian ini yang dilakukan di Laboratorium Pemboran Fakultas Teknik UIR untuk mengetahui berbagai variasi konsentrasi *activated carbon* cangkang kelapa sawit terhadap *filtration loss* dan *free water* pada semen pemboran.

3.1 METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan metode *Experiment Research* atau penelitian eksperimen. Data yang akan digunakan data primer hasil uji laboratorium.

3.2 TEMPAT PENELITIAN

Laboratorium Pemboran Fakultas Teknik Perminyakan UIR merupakan tempat dilaksanakannya penelitian mengenai pembuatan cangkang kelapa sawit menjadi karbon aktif dan pengujian *filtration loss* dan *free water* semen pemboran.

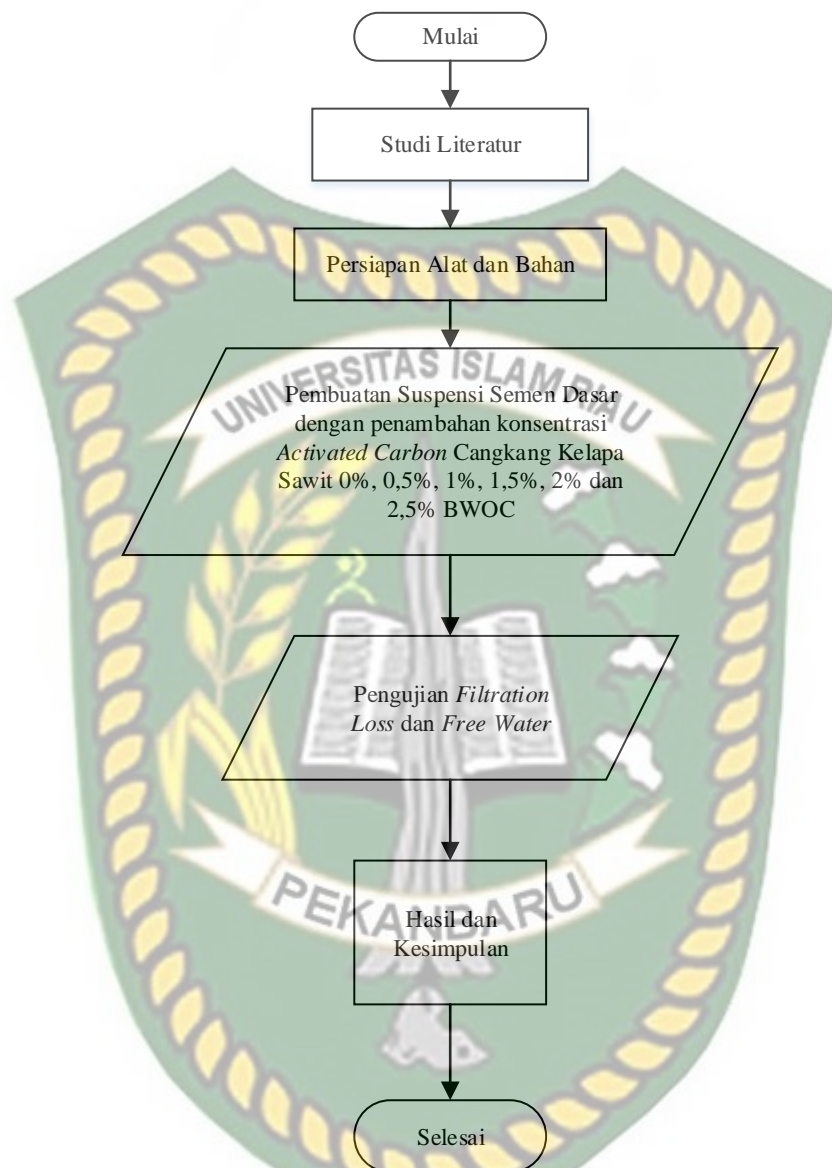
3.3 JENIS DATA

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung dari penelitian yang dilakukan dan data sekunder dari buku, *paper*, jurnal, penelitian terdahulu dan diskusi dengan dosen pembimbing.

3.4 SAMPEL PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan *activated carbon* dari cangkang kelapa sawit yang diambil dari PT Tunas Baru Lampung di Kecamatan Beringin, Kabupaten Pelalawan, Riau.

3.5 FLOW CHART



Gambar 3.1 Flow Chart Penelitian

3.6 JADWAL PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama empat bulan, yaitu bulan Agustus sampai dengan November 2021.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

Deskripsi Kegiatan	Bulan			
	Agustus	September	Oktober	November
Studi Literatur				
Persiapan Alat dan Bahan				
Pembuatan <i>Activated Carbon</i> Cangkang Kelapa Sawit				
Pengujian <i>Filtration Loss</i> dan <i>Free Water</i>				
Hasil dan Kesimpulan				

3.7 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

3.7.1 Alat Penelitian

Berikut adalah bahan yang digunakan pada penelitian ini :

1. Wadah tahan panas
2. *Oven*
3. *Furnace*
4. *Sieve*
5. Timbangan Digital
6. *Filter Press (LPLT)*
7. *Filter Paper*
8. *Stopwatch*
9. Gelas Ukur
10. *Cement Mixer*
11. *Cup Cement Mixer*

3.7.2 Bahan Penelitian

1. *Activated Carbon* cangkang kelapa sawit
2. Semen kelas G
3. Air
4. *Polypropylene Glycol* (ppg)

Berikut adalah gambar beserta fungsi alat yang digunakan pada penelitian ini :

1. Wadah tahan panas
Fungsi: Menampung cangkang sawit selama proses pemanasan berlangsung.



Gambar 3. 2 Wadah Tahan Panas

2. *Oven*
Fungsi: Memberikan energi panas yang berguna untuk proses karbonisasi pada cangkang kelapa sawit.



Gambar 3. 3 *Oven*

3. *Furnace*

Fungsi: Memberikan energi panas yang lebih besar yang berguna untuk proses aktivasi carbon cangkang kelapa sawit.



Gambar 3. 4 *Furnace*

4. *Sieve*

Fungsi: Menyaring bahan dengan ukuran butiran tertentu.



Gambar 3. 5 *Sieve*

5. Timbangan Digital

Fungsi: Mengukur/menimbang massa dari bahan-bahan yang akan digunakan.



Gambar 3. 6 Timbangan Digital

6. *Filter Press (LPLT)*

Fungsi: Memberikan tekanan pada semen untuk mendapatkan filtrat dan ketebalan mudcake.



Gambar 3. 7 *Filter Press (LPLT)*

7. *Filter Paper*

Fungsi: Menyaring semen pemboran.



Gambar 3. 8 *Filter Paper*

8. *Stopwatch*

Fungsi: Acuan waktu selama melakukan penelitian.



Gambar 3. 9 *Stopwatch*

9. *Gelas Ukur*

Fungsi: Mengukur fluida selama melakukan penelitian.



Gambar 3. 10 *Gelas Ukur*

10. *Cement Mixer*

Fungsi: Pencampur/pengaduk bahan bahan untuk pembuatan semen.



Gambar 3. 11 *Cement Mixer*

11. *Cup Cement Mixer*

Fungsi: Wadah tempat mencampurkan bahan bahan pembuatan semen.



Gambar 3. 12 *Cup Cement Mixer*

3.8 PROSEDUR PENELITIAN

3.8.1 Pembuatan *Activated Carbon* Cangkang Kelapa Sawit

Prosedur pembuatan *activated carbon* cangkang kelapa sawit pada penelitian ini berdasarkan penelitian (Meisrilestari, Khomaini, & Wijayanti, 2017) yang melakukan pembuatan *activated carbon* dari cangkang kelapa sawit menggunakan tiga metode yaitu aktivasi fisika, aktivasi kimia dan aktivasi fisika-kimia. Namun, pembuatan *activated carbon* pada penelitian ini hanya menggunakan metode aktivasi fisika. Berikut metode yang digunakan :

- **Proses Dehidrasi Air**

1. Siapkan cangkang kelapa sawit yang sudah dibersihkan dan timbang menggunakan timbangan digital dan catat.

2. Letakkan cangkang kelapa sawit ke dalam wadah tahan panas, kemudian letakkan wadah kedalam *oven* setelah itu atur temperatur *oven* sebesar 100°C selama 1 jam.
3. Timbang massa cangkang sawit setelah proses pemanasan, kemudian catat.
4. Lakukan kembali cara ke-2 dan ke-3 hingga massa cangkang sawit yang sudah dipanaskan tidak berubah atau tetap, kemudian catat pengurangan massa sebelum proses pemanasan dan sesudah proses pemanasan.

- **Proses Karbonisasi**

1. Letakkan cangkang sawit yang sudah didehidrasi ke dalam wadah tahan panas.
2. Masukkan wadah ke dalam *oven* dengan temperatur 300°C selama 1 jam hingga terbentuk arang.
3. Hitung massa cangkang sawit sebelum dan sesudah proses karbonisasi.
4. Haluskan cangkang kelapa sawit dan catat massa sebelum dan sesudah dihaluskan.

- **Proses Aktivasi Karbon**

1. Ambil dan letakkan cangkang kelapa sawit yang sudah dihaluskan menjadi *carbon* kedalam wadah tahan panas.
2. Letakkan wadah ke dalam *furnace* kemudian atur temperatur pada 1000°C dengan waktu 1 jam.
3. Catat proses-proses yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung.
4. Keluarkan wadah dari *furnace* dan diamkan hingga suhu wadah benar benar dingin.
5. Ukur massa cangkang kelapa sawit sebelum dan sesudah proses aktivasi *carbon*.

3.8.2 Pembuatan Suspensi Semen

Prosedur pembuatan suspensi semen pada penelitian ini berdasarkan penelitian terdahulu (Herawati et al., 2017) :

1. Menimbang semen sebanyak 525,4515 gram, ppg sebanyak 0,5254 gram, dan air sebanyak 434,02 ml (untuk pembuatan suspensi semen kelas G + 0% *activated carbon* cangkang kelapa sawit).
2. Menimbang semen sebanyak 559,5057 gram, ppg sebanyak 0,5595 gram, dan air sebanyak 394,3396 ml (jumlah ini untuk sampel Semen kelas G + 0,5% *activated carbon* cangkang kelapa sawit).
3. Untuk sampel selanjutnya, ulangi komposisi sampel dengan komposisi *activated carbon* cangkang kelapa sawit dengan berbagai konsentrasi penambahan 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% yang telah diperhitungkan (Negara et al., 2015).
4. Dari semua bahan yang akan digunakan tersebut, kemudian memasukan air kedalam *cement mixer* terlebih dahulu. Lalu *mixer* dinyalakan dengan kecepatan rendah (4000 rpm) lalu memasukan semen yang sudah dicampur dengan *activated carbon* cangkang kelapa sawit dan PPG, lanjutkan pengadukan dengan kecepatan tinggi (12000 rpm) selama 10 menit.

3.8.3 Pengujian *Filtration Loss*

Menurut Rubiandini (2002), pengujian *filtration loss* di laboratorium dalam penelitian ini dilakukan dengan langkah- langkah sebagai berikut :

1. Membuat suspensi semen dengan menggunakan *mixer*.
2. Mempersiapkan peralatan *filter press* dan segera memasang *filter paper* dan meletakkan gelas ukur dibawah silinder untuk menampung *fluida filtrat*.
3. Menuangkan suspensi semen kedalam silinder dan segera menutup rapat. Kemudian mengalirkan udara dengan tekanan 100 psi.
4. Mencatat volume *filtrat* sebagai fungsi waktu dengan *stopwatch*, interval pengamatan setiap 2 menit pada 10 menit pertama, kemudian setiap 5 menit untuk 20 menit selanjutnya. Mencatat volume pada menit ke-25.

5. Harga *filtration loss* diketahui dari volume *filtrat* yang ditampung dalam gelas ukur selama 30 menit masa pengujian. Bila waktu pengujian tidak sampai 30 menit, maka besarnya *filtration loss* diketahui dengan rumus.
6. Menghentikan penekanan udara, membuang tekanan udara dalam silinder dan menuangkan sisa suspensi semen yang di dalam silinder kedalam *breaker*.

3.8.4 Pengujian *Free Water*

Menurut Rubiandini (2002), pengujian *free water* di laboratorium dalam penelitian ini dilakukan dengan langkah- langkah sebagai berikut :

1. Membuat suspensi semen semen dan *activated carbon* dengan menggunakan *mixer*.
2. Menyiapkan dan mengisi gelas ukur, lalu isi dengan suspensi semen kemudian ukur kadar airnya
3. Mencatat harga air yang terpisah pada bagian atas gelas ukur yang telah didiamkan selama 2 jam
4. Harga air yang terpisah harus 3,5 ml

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian semen pemboran dengan penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit yang dilakukan di laboratorium dengan tujuan mengetahui pengaruh dari penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit dan mampu mengontrol terhadap *filtration loss* dan *free water*. Alasan pemilihan *activated carbon* cangkang kelapa sawit, karena merupakan salah satu aditif yang sifatnya absorbs (menyerap air) dan ramah lingkungan.

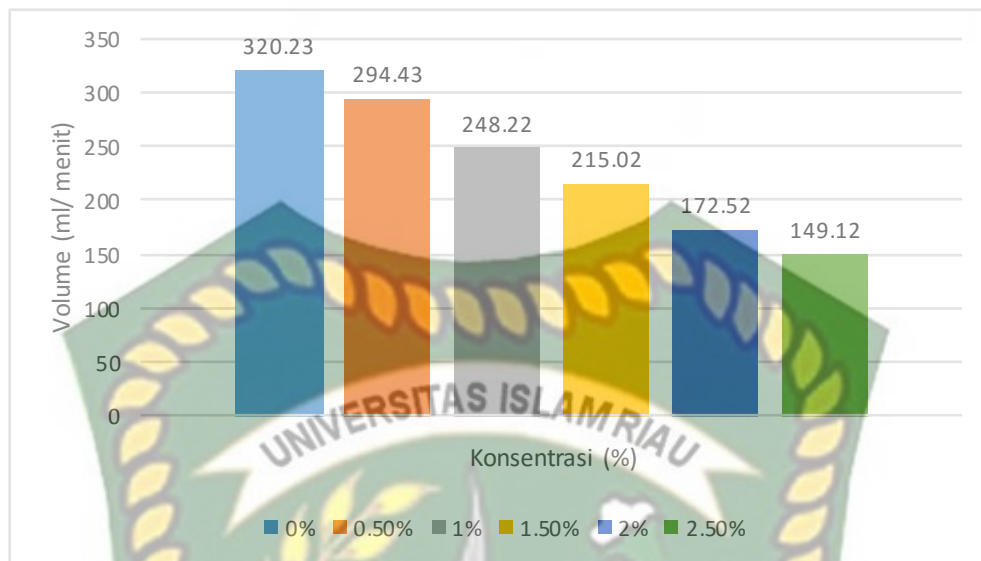
4.1 PENGUJIAN *FILTRATION LOSS*

Filtration loss di deskripsikan sebagai suatu peristiwa hilangnya cairan (filtrat) dari suspensi semen ke formasi *permeable* yang dilaluinya. Berikut ini adalah hasil dari pengujian *filtration loss* yang dilakukan berdasarkan penambahan konsentrasi aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit yaitu dari konsentrasi 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% BWOC sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Filtration Loss* Suspensi Semen G dengan Penambahan *Activated Carbon* Cangkang Kelapa Sawit

<i>Komponen</i>	SD (Semen Dasar)	SD + 0,5% ACCKS	SD + 1% ACCKS	SD + 1,5% ACCKS	SD + 2% ACCKS	SD + 2,5% ACCKS
Ft	185	170	157	136	126	122
T	10	10	12	12	16	20
F 30	320,23	294,43	248,22	215,02	172,52	149,12

Dari tabel 4.1 dapat dilihat hasil *filtration loss* dengan penambahan konsentrasi aditif menunjukkan bahwa nilai *filtration loss* yang sesuai dengan standar API dari pengujian *activated carbon* cangkang kelapa sawit pada semen pemboran berada pada konsentrasi 1%, 1,5% dan 2 %.



Gambar 4.1 Hasil Filtrat dari Penambahan *Activated Carbon* Cangkang Kelapa Sawit pada *Filtration Loss*

Berdasarkan gambar 4.1 menunjukkan hasil filtrat *Activated Carbon* cangkang kelapa sawit pada uji *filtration loss*. Konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu, 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5%. Dilihat dari hasil yang telah ada bahwa setiap penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit dapat mengurangi *filtration loss*. Pada *primary cementing*, *filtration loss* yang diizinkan sekitar 150-250 ml yang diukur selama 30 menit dengan menggunakan saringan berukuran 325 mesh dan pada tekanan 1.000 psi (Rubiandini, 2010).

Berdasarkan pernyataan di atas *activated carbon* merupakan senyawa kimia yang bersifat absorben (menyerap air) dan ramah lingkungan sehingga efektif digunakan sebagai *filtration control* pada saat proses penyemenan sehingga dianggap yang terbaik untuk mengontrol hilangnya cairan (Ibrahim, D., 2015).

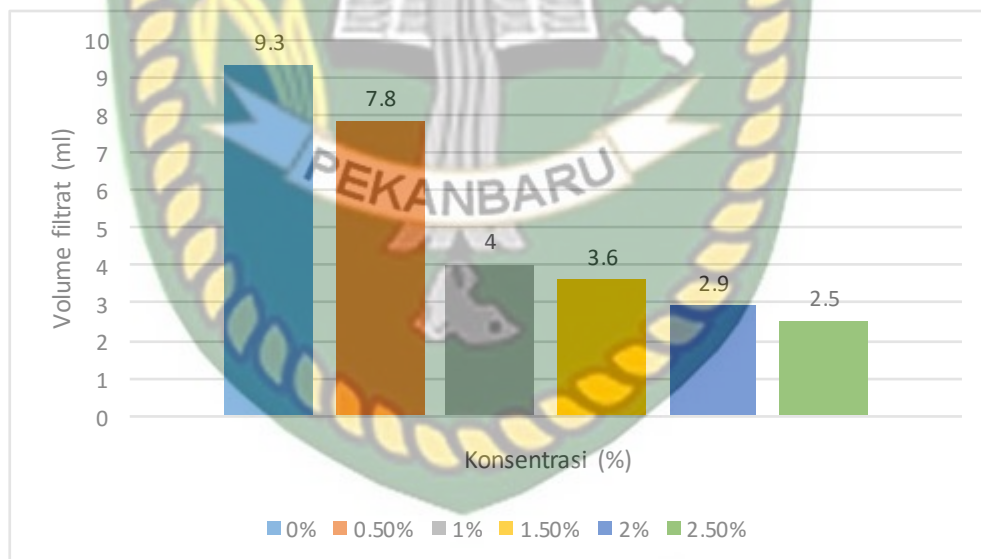
4.2 PENGUJIAN *FREE WATER*

Sedangkan *free water* merupakan air bebas yang terpisah dari suspensi semen. Berikut adalah hasil dari pengujian *free water* yang dilakukan berdasarkan penambahan konsentrasi aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit yaitu dari konsentrasi 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5% BWOC sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Free Water* Suspensi Semen G dengan Penambahan *Activated Carbon* Cangkang Kelapa Sawit

<i>Komponen</i>	SD (Semen Dasar)	SD + 0,5% ACCKS	SD + 1% ACCKS	SD + 1,5% ACCKS	SD + 2% ACCKS	SD + 2,5% ACCKS
Volume Filtrat	9,3	7,8	4	3,6	2,9	2,5
% Filtrat	3,72	3,12	1,6	1,44	1,16	1

Dari tabel 4.2 dapat dilihat hasil dari pengujian *free water* dengan penambahan konsentrasi aditif menunjukkan bahwa terjadi penurunan volume filtrat disetiap konsentrasi.



Gambar 4.2 Hasil Filtrat dari Penambahan *Activated Carbon* Cangkang Kelapa Sawit pada *Free Water*

Dari gambar 4.2 menunjukkan hasil filtrat dari *activated carbon* cangkang kelapa sawit pada uji *free water*. Konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu, 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% dan 2,5%. Dilihat dari hasil yang telah ada bahwa setiap penambahan konsentrasi aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit dapat

mengurangi *free water*. Menurut Rahman et.al. (2012), *activated carbon* bersifat sangat aktif dan menyerap apa saja yang terkontaminasi dengan karbon selain itu memiliki luas permukaan yang besar, sehingga filtrat akan mengisi pori-pori pada permukaan sehingga *free water* dapat dikontrol.

Untuk semen kelas G air bebas yang terjadi tidak boleh lebih dari 3,5 ml. Bila air bebas yang terjadi melebihi 3,5 ml maka akan terjadi pori-pori pada semen dan ini akan mengakibatkan semen mempunyai permeabilitas yang besar (Rubiandini, 2010).

Hasil Pengujian laboratorium memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi dapat mempengaruhi nilai *free water* semakin tinggi waktu pemanasan cangkang sawit berpengaruh terhadap *free water* pada semen pemboran, semakin tinggi maka semakin kecil juga nilai *free water* yang didapatkan dari hasil pengujian (Novrianti, 2017). Sehingga semakin banyak penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit maka akan semakin sedikit air terbebaskan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian terhadap penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit menunjukkan bahwa setiap penambahan aditif *Activated Carbon* cangkang kelapa sawit dapat mengurangi *filtration loss*. Nilai *filtration loss* yang sesuai dengan standar API dari pengujian ini pada semen pemboran berada pada konsentrasi 1% sebesar 248,22 ml/menit, 1,5% sebesar 215,02 ml/menit dan 2% sebesar 172,52 ml/menit.
2. Hasil dari pengujian terhadap penambahan aditif *activated carbon* cangkang kelapa sawit menunjukkan bahwa setiap penambahan aditif *Activated Carbon* cangkang kelapa sawit dapat mengurangi *free water*. Nilai *free water* yang sesuai dengan standar pengujian ini pada semen pemboran berada pada konsentrasi 2% sebesar 2,9 ml dan 2,5% sebesar 2,5ml.

5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat penulis berikan dari hasil penelitian tugas akhir ini yaitu untuk membandingkan *aciitivated carbon* cangkang kelapa sawit terhadap karbon aktif dari bahan lain serta menguji dengan menggunakan ukuran partikel karbon aktif yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. I. (2011). Pemanfaatan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Zat Warna Pada Biodiesel. *Institut Pertanian Bogor*.
- Arsad, E. (2010). Teknologi Pengolahan Dan Pemanfaatan Karbon Aktif Untuk Industri. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2 (2), 43. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v2i2.1146>
- Badan Pusat Statistik. (2017). Statistik Kelapa Sawit Indonesia. *BPS-Statistic Indonesia*.
- Benfield, L. D., Judkin, J. J. dan Weand, B. L., (1984). Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment, London. Prentice-Hall International Hal. 510
- Burgoyne, A. T. (1986). Applied Drilling Engineering. *SPE, USA*, 85–103.
- Damayanti, A. A. (2013). Penggunaan Arang Tempurung Kelapa dan Eceng Gondok untuk Pengolahan Air Limbah Tahu dengan Variasi Konsentrasi. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No.1*, 6-8.
- Harahap, H. H., Malik, U., & Dewi, R. (2014). Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Menggunakan H₂O Sebagai Aktivator Untuk Menganalisis Proksimat, Bilangan Iodine dan Rendemen. *Jom Fmipa*, 1(2), 48–54.
- Ibrahim, D. (2015). Pembuatan dan karakterisasi karbon aktif berbahan dasar cangkang sawit dengan metode aktivasi fisika menggunakan rotary autoclave. *Jom Fteknik*, 1(2), 1–11.
- Jamilatun, S., Setyawan, M., Salamah, S., Purnama, D. A. A., & Putri, R. U. M. (2015). Pembuatan Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa Dengan Aktivasi Sebelum Dan Sesudah Pirolisis. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 0258, 1–8.
- Kurniati, E. (2008). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. *Penelitian Ilmu Teknik*, 8(2), 96–103.
- Manocha, S. M. (2003). Porous carbons. *Sadhana*, 28, 335–348. <https://doi.org/10.1007/BF02717142>

- Novrianti. (2016a). Studi Laboratorium Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Karbon Cangkang Kelapa Sawit Dan Arang Batok Kelapa Terhadap Strength Semen Pemboran. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 7(2).
- Novrianti, Mursyidah, & Utama, T. P. (2016b). Study Laboratorium Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Arang Batok Kelapa Terhadap Thickening Time dan Free Water Semen Pemboran. *Jurnal of Earth Energy Engineering*, 38-43.
- Rahmanto, A. E. (2016). Study Pengaruh Kuat Tekan Semen Pemboran Class – G Dengan Pemakaian Additive Arif Eka Rahmanto, Trisakti University. *Jurnal Universitas Trisakti*, 1–26.
- Riyanto, D., Cahyadi, H., & Respati, R. (2018). Pengaruh Pemakaian Arang Batok Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton K225. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 6(2), 94–101. <https://doi.org/10.33084/mits.v6i2.252>
- R. Srinivasan, and K. Sathiya. 2010. Experimental Study on Bagasse Ash in Concrete, *International Journal of Service Learning in Engineering*, vol. 5, No.2
- Rubiandini, Rudi. (2010). Teori Umum Semen Dan Penyemenan. Bandung : Institut Teknologi Bandung. *Cementing Book*.
- Satyawira, B., Listiana, & Muhammad Rheza M.Y. Agam. (2015). Pengaruh Penambahan Accelerator “CaCl₂”, “NaCl”, DAN “NaNO₃” sebagai Additive Semen Kelas B terhadap *Thickening Time*, *Compressive Strength*, dan *Rheology* Bubur Semen dengan Variasi Temperatur (BHCT) di Laboratorium Pemboran dan Produksi Universitas Trisakti. Seminar Nasional Cendekiawan 2015, (2460–8696), 309–316.
- Suhascaryo, I. N., Wibowo, I. E., & Suroyo, I. B. (2001). Kinerja Expanding Additive Baru Untuk Meningkatkan Shear Bond Strength (S_b) Semen Pada Kondisi HTHP, (Proceeding Simposium Nasional IATMI), 3–5.