

**STUDI PENGGUNAAN NANOKOMPOSIT KALSIMUM
KARBONAT DENGAN *FLY ASH* DAUN BAMBU AMPEL
TERHADAP *COMPRESSIVE STRENGTH* DAN *SHEAR BOND
STRENGTH* PADA SEMEN PEMBORAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
DONI SUARSONO

153210441



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

**STUDI PENGGUNAAN NANOKOMPOSIT KALSIMUM
KARBONAT DENGAN *FLY ASH* DAUN BAMBU AMPEL
TERHADAP *COMPRESSIVE STRENGTH* DAN *SHEAR BOND
STRENGTH* PADA SEMEN PEMBORAN**

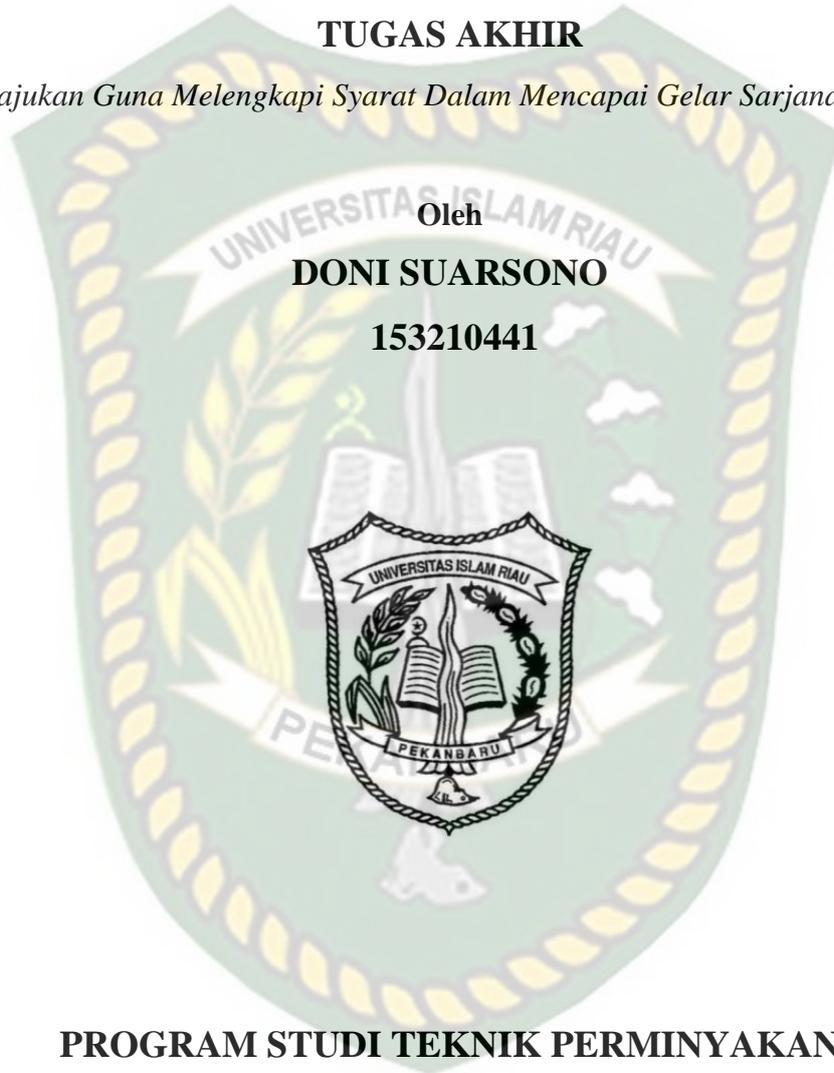
TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Oleh

DONI SUARSONO

153210441



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Doni Suarsono

NPM : 153210441

Program Studi : Teknik Perminyakan

Judul Tugas akhir : Studi Penggunaan Nanokomposit Kalsium Karbonat Dengan *Fly Ash* Daun Bambu Ampel Terhadap *Compressive Strength* dan *Shear Bond Strength*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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 : Dr Mursyidah, M.Sc ()

Penguji : Novia Rita, S.T, M.T ()

Penguji : Idham Khalid, S.T, M.T. ()

Diterapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 5 Mei 2021

Disahkan Oleh :

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**

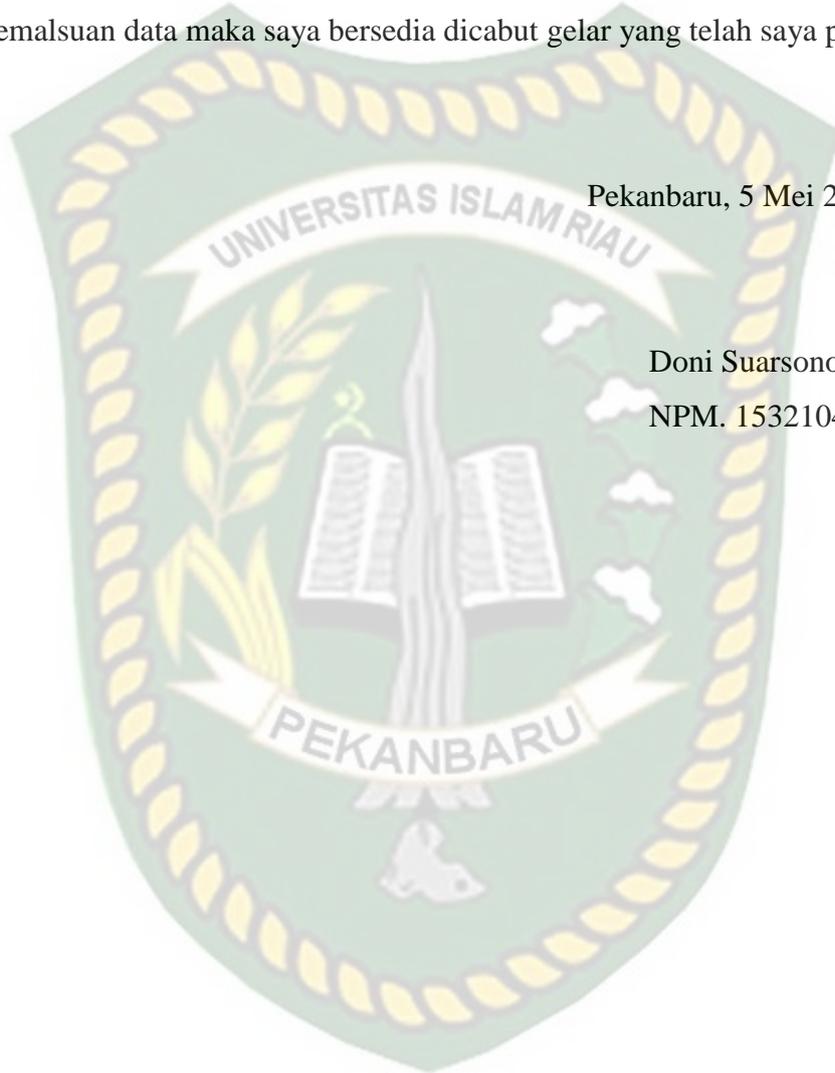

Novia Rita., S.T.,M.T

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya 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, 5 Mei 2021

Doni Suarsono
NPM. 153210441



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya sehingga penulis 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. Disini saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir. Oleh sebab itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr Mursyidah M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberi masukannya.
2. Bapak Muhammad Ariyon, S.T., M.T. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat serta penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
3. Ibu Novia Rita, S.T., M.T. selaku ketua Program Studi dan Bapak Tomi Erfando, S.T., M.T selaku sekretaris Program Studi serta dosen-dosen yang banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan dukungan yang telah diberikan
4. Idham Khalid, S.T., M.T. selaku kepala Laboratorium Pemboran Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau, yang telah memberikan kemudahan pada penelitian tugas akhir ini.
5. Mama tercinta Leli Suarni S.Pd.SD, semangat hidup dan segalanya untuk penulis di dunia ini yang selalu memberikan doa yang senantiasa mengiringi.
6. Almarhum ayah tersayang Sumantri, yang selalu memberikan dukungan material, dukungan moral dan menjadi pahlawan dan sosok contoh pemimpin hingga akhir hayatnya.

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

Pekanbaru, 5 Mei 2021

Doni Suarsono

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN.....	ix
DAFTAR SIMBOL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>State Of The Art</i>	5
2.2 <i>Compressive Strength dan Shear Bond Strength</i>	7
2.3 <i>Freewater</i>	8
2.4 <i>Fly Ash Daun Bambu</i>	8
2.5 Nano Kalsium Karbonat (Nano-CaCO ₃).....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Alur Penelitian.....	13

3.2	Alat Dan Bahan	14
3.2.1	Alat.....	14
3.2.2	Bahan.....	17
3.3	Prosedur Penelitian	19
3.3.1	Pembuatan Fly Ash Daun Bambu	19
3.3.2	Pembuatan Suspensi Semen.	20
3.3.3	Pengujian Compressive Strength dan Shear Bond Strength.....	22
3.3.4	Pengujian Freewater.....	22
3.4	Tempat penelitian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1	Komposisi Senyawa Fly Ash Daun Bambu	24
4.2	Karakterisasi Morfologi dan Unsur Nano CaCO ₃	25
4.3	Hasil Pengujian <i>Compressive Strength</i>	29
4.4	Hasil Pengujian <i>Shear Bond Strength</i>	31
4.5	Hasil Pengujian <i>Freewater</i>	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA		36
LAMPIRAN.....		40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram alir.....	13
Gambar 3. 2 Timbangan Digital	14
Gambar 3. 3 Constant Speed Mixer	14
Gambar 3. 4 Hydraulic Pressure	14
Gambar 3. 5 Cetakan Sampel.....	15
Gambar 3. 6 Waterbath temperature control.....	15
Gambar 3. 7 Sieve	15
Gambar 3. 8 Furnace	16
Gambar 3. 9 Stopwatch	16
Gambar 3. 10 Tabung Ukur	16
Gambar 3. 11 Daun Bambu Ampel.....	17
Gambar 3. 12 Fly Ash Daun Bambu Ampel.....	17
Gambar 3. 13 Nano CaCO ₃	17
Gambar 3. 14 Semen Kelas G	18
Gambar 4. 1 SEM nano CaCO ₃ dengan perbesaran 10,000 kali	26
Gambar 4. 2 Hasil pengolahan gambar SEM menggunakan Image-J melalui proses Thresholding	27
Gambar 4. 3 Hasil analisa luas area partikel menggunakan fitur Analyze Particles	28
Gambar 4. 4 Hasil Summary dari Analyze Particles.....	28
Gambar 4. 5 Hasil analisa EDS.....	29
Gambar 4. 6 Nilai Compressive Strength	30
Gambar 4. 7 Nilai Shear Bond Strength	31
Gambar 4. 8 Nilai Freewater	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan kimia pada Fly Ash sesuai kelasnya (ASTM, 2003)	10
Tabel 3. 1 Komposisi Sampel Compressive Strength.....	21
Tabel 3. 2 Komposisi Sampel Shear Bond Strength.....	21
Tabel 3. 3 Jadwal kegiatan.....	23
Tabel 4. 1 Komposisi senyawa fly ash daun bambu ampel	24
Tabel 4. 2 Karakterisasi unsur nano CaCO ₃ hasil pengujian EDS.....	28
Tabel 4. 3 Hasil Compressive Strenght.....	30
Tabel 4. 4 Hasil Shear Bond Strength.....	31
Tabel 4. 5 Hasil Freewater	33

DAFTAR SINGKATAN

CS	Compressive strength
SBS	Shear bond strength
C-S-H	Calcium silicate hydrate
XRF	X-ray fluorescence
API	American petroleum institute
FA	Fly Ash
BWOC	By weight of cement
Nano-CaCO ₃	Nano kalsium karbonat
ASTM	American standard testing in material
SEM	Scanning Electron Microscope



DAFTAR SIMBOL

k	Faktor koreksi
p	Panjang
l	Lebar
P	Tekanan maksimum
A1	Luas blok pada kubik
A2	Luas blok pada sampel semen
π	Konstanta
\emptyset	Porositas
d	Diameter sampel,
h	Tinggi sampel,
in	Inch
ρ_o	Massa jenis minyak
cm	Centimeter
ml	Mililiter
Psi	pound-force per square inch
lb	Pound per square feet
gal	Galon
kg	Kilogram
Wsat	Berat saturasi
Wdry	Berat kering
V_{bulk}	Volume core

**STUDI PENGGUNAAN NANOKOMPOSIT KALSIUM
KARBONAT DENGAN *FLY ASH* DAUN BAMBAMPEL
TERHADAP *COMPRESSIVE STRENGTH* DAN *SHEAR BOND
STRENGTH* PADA SEMEN PEMBORAN**

DONI SUARSONO

153210441

ABSTRAK

Dalam beberapa tahun terakhir upaya besar telah dilakukan untuk meningkatkan kekuatan semen dasar dengan aditif yang bersifat pozzolanik. *Fly Ash* (FA) telah diketahui mampu untuk meningkatkan kekuatan semen karena sifat pozzolannya. Hal ini dikarenakan FA memiliki kandungan silika yang tinggi dan juga kaya akan kandungan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . FA masih bisa ditingkatkan dengan menggabungkan FA dengan bahan Nano $CaCO_3$ yang disebut nanokomposit, kemampuan nanokomposit $CaCO_3$ diharapkan berakselerasi dan bereaksi membentuk Calcium Sylicate Hydrate (CSH) sehingga semen menjadi lebih padat dan kuat. Disamping itu nano- $CaCO_3$ akan berfungsi sebagai *filling effect* yang mengisi rongga semen sehingga dapat memperkecil pori semen dan permeabilitas semen menjadi berkurang.

Pada penelitian ini akan dikompositkan konsentrasi nano kalsium karbonat 0.1% dan variasi persentase FA daun bambu ampel 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50%. Pengujian *compressive strength* dan *shear bond strength* semen dilakukan dengan merendam cetakan semen pada temperatur $60^\circ C$ ($140^\circ F$) selama 24 jam pada kondisi tekanan atmosfer berdasarkan standar API 10A. Nano $CaCO_3$ dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS untuk melihat morfologi dan kandungan elemennya.

Senyawa kimia silika oksida (SiO_2) yang terdapat didalam FA 58,9% dan kandungan kalsium oksida (CaO) 10,3%. Dengan hasil SiO_2 dan CaO yang terdapat pada tabel maka FA dapat dikategorikan kelas C, hasil pengukuran diameter nano $CaCO_3$ dari morfologi SEM menggunakan software image-j yaitu 66 nm dan memiliki elemen Karbon (C) 41,05% Mass, Oksigen (O) 45,56% Mass, Kalsium (Ca) 12,42% Mass. Hasil pengujian *compressive strength* dan *shear bond strength* yaitu kekuatan semen menurun seiring banyaknya konsentrasi FA yang digunakan didapatkan nilai tertinggi yang diperoleh dari penggunaan nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel adalah 2800.51 psi untuk *compressive strength* dan 547.981 psi untuk *shear bond strength* dengan konsentrasi yang sama yakni 30% *fly ash* daun bambu dan 0.1% nano $CaCO_3$.

Kata Kunci : *Pozzolan, Fly Ash, Filling Effect, Nanokomposit, Compressive Strength, Shear Bond Strength.*

STUDY OF THE USE OF NANOCOMPOSITE CALCIUM CARBONATE WITH AMPEL BAMBOO LEAVES FLY ASH TO COMPRESSIVE STRENGTH AND SHEAR BOND STRENGTH IN CEMENT DRILLING

DONI SUARSONO
153210441

ABSTRACT

In recent years great efforts have been made to increase the strength of the base cement with additives of a pozzolanic nature. Fly Ash (FA) has been known to increase cement strength due to its pozzolanic properties. This is because FA has high silica content and is also rich in Al₂O₃ and Fe₂O₃ content. FA can still be increased by combining FA with Nano CaCO₃ material called nanocomposite, the ability of CaCO₃ nanocomposites is expected to accelerate and react to form Calcium Sylicate Hydrate (CSH) so that cement becomes denser and stronger. Besides, nano-CaCO₃ will function as a filling effect that fills the cement cavity so that it can reduce cement pores and reduce cement permeability.

In this study, the concentration of nano calcium carbonate was composed of 0.1% and the variation in the percentage of FA of ampel bamboo leaves of 30%, 35%, 40%, 45%, and 50%. The compressive strength and shear bond strength tests of cement were carried out by immersing the cement mold at a temperature of 60°C (140°F) for 24 hours under atmospheric pressure conditions based on API 10A standards. Nano CaCO₃ was characterized using SEM-EDS to see its morphology and elemental content.

The chemical compound silica oxide (SiO₂) contained in FA is 58.9% and the content of calcium oxide (CaO) is 10.3%. With the results of SiO₂ and CaO shown in the table, FA can be categorized as class C, the measurement results of the nano diameter of CaCO₃ from SEM morphology using image-j software is 66 nm and has the element Carbon (C) 41.05% Mass, Oxygen (O) 45 , 56% Mass, Calcium (Ca) 12.42% Mass. The test results for compressive strength and shear bond strength, namely the strength of cement decreases with the number of FA concentrations used, the highest value obtained from the use of calcium carbonate nanocomposites with ampel bamboo leaf fly ash is 2800.51 psi for compressive strength and 547,981 psi for shear bond strength with the same concentration. the same, namely 30% bamboo leaf fly ash and 0.1% nano CaCO₃.

Keyword : *Pozzolan, Fly Ash, Filling Effect, Nanocomposite, Compressive Strength, Shear Bond Strength.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan pengeboran semen harus disesuaikan pada kondisi formasi. Kualitas semen yang digunakan dapat diketahui kualitasnya dari nilai *compressive strength* yang besar dan *thickening time* yang tepat (Samura & Zabidi, 2018). Kekuatan dan ketahanan semen menjadi salah satu bagian penting untuk melindungi dan menyangga casing dari dinding formasi dan dari aktifitas pemboran (Rita, Mursyidah, Erfando, Herfansyah, & Ramadhan, 2019). Pemakaian material semen dibidang pemboran terus meningkat dari tahun ke tahun karena banyaknya pekerjaan penyemenan seperti *primary cementing*, *secondary cementing*, dan *workover*. Semen tersebut merupakan bahan anorganik yang apabila semakin banyak permintaan maka akan terjadi eksploitasi bahan baku yang besar, menyebabkan kerusakan lingkungan dan juga menyebabkan emisi CO₂ meningkat (Sofian, Ramadhan, & Arrosyid, 2019).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk menemukan material alternatif yang dapat menghasilkan material yang renewable dan biaya rendah tanpa mengurangi kinerja strukturalnya menggunakan bahan daur ulang sebagai material alternatif pengganti semen (Waani & Elisabeth, 2017). Dengan menambahkan aditif mineral yang bersifat pozolanik, menggunakan *Fly Ash* yang memiliki kandungan silika tinggi, dapat bereaksi dengan partikel semen dan juga mempunyai sifat menambah kekuatan bahan semen. Dengan adanya sifat pozzolan tersebut *fly ash* memiliki karakteristik yang sama dengan semen mengalami reaksi hidrasi dengan air (Safitri & Djumari, 2009). Sehingga memiliki prospek untuk digunakan sebagai bahan substitusi semen. *Fly ash* dapat mengurangi rongga dan menutupi pori-pori lebih rapat dan dapat mengikat dengan material lain sehingga menambah kekuatan pada semen (Ervianto, Saleh, & Prayuda, 2016).

Daun bambu memiliki kandungan silika yang cukup tinggi. Kandungan silika yang dimiliki oleh daun bambu, memungkinkan untuk dimanfaatkan lebih optimal menjadi *fly ash* (Agustini, 2015), *fly ash* daun bambu diketahui sebagai

salah satu limbah agrikultur yang memiliki aktivitas pozzolanik dikarenakan kandungan silikanya yang tinggi. *Fly ash* daun bambu dihasilkan dari pembakaran daun bambu. Kandungan abu daun bambu tersebut pada dasarnya terdiri dari komponen anorganik seperti silika, potasium, kalsium, magnesium dan mangan (Onikeku, Shitote, Mwero, & Adedeji, 2019). Pada penelitian yang dilakukan (Maryoto, 2009) kekuatan semen dengan penambahan FA 30%, 40% dan 50% lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan mortar tanpa fly ash pada umur 7 hari, sedangkan pada umur 28 hari, kekuatan semen dengan penambahan *Fly Ash* lebih tinggi dibandingkan dengan suspensi tanpa FA. Hal ini disebabkan karena perilaku reaksi hidrasi FA berjalan lambat. Kekurangan pada FA yakni lambat dalam proses hidrasi pada semen maka diperlukan aditif penambah yang dapat membantu proses percepatan hidrasi, salah satunya bahan nanokomposit. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa volume FA yang tinggi sebagai substitusi semen akan memperlambat reaksi hidrasi pada semen. Untuk menutupi kekurangan tersebut, para peneliti banyak menggunakan material berukuran nano sebagai bahan tambahan guna menghasilkan kualitas semen yang lebih baik (Supit & Shaikh, 2014).

Nanopartikel adalah material atom atau molekul yang direkayasa dalam skala nanometer, dan sering digunakan dalam konstruksi terutama di industri beton sebagai bahan aditif penambahannya (Mursyidah, Novriansyah, Rita, & Husbani, 2015). Dikarenakan struktur morfologinya yang berukuran nano, nanopartikel dapat meningkatkan zona kontak antar butiran partikel dan semen, menghasilkan struktur ikatan yang lebih padat dan dapat meningkatkan kekuatan semen (Li, Xiao, Yuan, & Ou, 2004). Nano-SiO₂ lebih baik dan lebih efisien untuk meningkatkan kepadatan dan keseragaman pada pasta semen dibandingkan dengan silika fume. Hasil menunjukkan dengan nano-SiO₂ kepadatan beton meningkat dan kekuatan awal semen meningkat jelas dengan menambahkan nano-SiO₂ dengan kandungan 3% nano-SiO₂, kekuatan tekan semen pada 3 hari meningkat sekitar 35%. Ketika kandungan 5% semen diganti oleh nano-Al₂O₃, kuat tekan beton meningkat dari 15% menjadi 20% dan modulus elastisitas meningkat lebih dari 40% (Qian, Meng, Qian, & Zhan, 2009). Mengingat harga dari nano SiO₂ nano TiO₂ dan nano Al₂O₃ tergolong mahal maka sulit untuk di

gunakan pada skala besar sebagai aditif pada semen. Maka penelitian ini menggunakan nano-CaCO₃ yang memiliki banyak manfaat dan harga yang relative murah sehingga cocok digunakan untuk menjadi bahan penambah pada semen (Zhao et al., 2019).

Karena sifat dari nano-CaCO₃ dapat mempercepat reaksi dehidrasi dan nukleasi serta pertumbuhan C-S-H dengan cara melepaskan ion Ca²⁺ dalam jumlah besar yang dapat membuat *protection layer* pada permukaan C₃S menjadi permeable sehingga pengerasan jauh lebih cepat (Liu, Chen, Liu, & Wang, 2012). Maka dapat membantu waktu pengikatan awal pada *fly ash* dalam pembentukan senyawa C-S-H saat kandungan air pada suspensi semen rendah sehingga partikel nano tidak seluruhnya dapat bereaksi dan menjadi pengisi rongga pada suspensi semen karena memiliki sifat *filling effect* dan membuat struktur semen menjadi lebih padat sehingga meningkatkan *compressive strength* (Matschei, Lothenbach, & Glasser, 2007). Berdasarkan penjelasan tersebut maka peneliti ingin melakukan pengujian penggunaan nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel dimanfaatkan untuk mengurangi konsumsi semen.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini diantaranya adalah:

1. Karakterisasi komposisi senyawa *fly ash* daun bambu ampel dan morfologi unsur nano kalsium karbonat.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel terhadap *compressive strength*, *shear bond strength* dan *free water* semen pemboran.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai inovasi tambahan dalam operasi pemboran material semen menggunakan nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel sebagai penambah suspensi semen dasar yang berguna untuk mengurangi porsi penggunaan konsumsi semen tanpa mengurangi kualitas kekuatan semen pemboran.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperoleh hasil penelitian yang terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka penelitian ini difokuskan pada pengujian skala laboratorium untuk menganalisis pengaruh penggunaan Nanokomposit Kalsium Karbonat Dengan *fly ash* Daun Bambu Ampel, Terhadap *Compressive strength*, *Shear Bond Strength* dan *Freewater* semen pemboran kelas G dengan variasi *Fly Ash* 30%, 35%, 40%, 45%, 50% dan 0.1% Nano kalsium karbonat yang didapat dari perusahaan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dan ingatlah olehmu di waktu Tuhan menjadikam kamu pengganti-pengganti (yang berkuasa) sesudah kaum 'Aad dan memberikan tempat bagimu di bumi. Kamu dirikan istana-istana di tanah-tanahnya yang datar dan kamu pahat gunung-gunungnya untuk dijadikan rumah; maka ingatlah nikmat-nikmat Allah dan janganlah kamu merajalela di muka bumi membuat kerusakan (QS. Al-A'raaf:74)

2.1 *State Of The Art*

Kandungan yang ada pada abu terbang akan mempengaruhi saat beton mengalami reaksi hidrasi. Dalam proses hidrasi, air pada campuran beton akan mengikat (C3S) dan (C2S) kemudian menjadi $(3CaO.2SiO_2.3H_2O)$ atau CSH) lalu melepaskan $Ca(OH)_2$. Tambahan kandungan (SiO_2) yang terdapat pada *Fly Ash* akan bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ dan dibebaskan dari proses hidrasi dan membentuk (C-S-H) kembali, sehingga beton yang terbentuk akan lebih padat dan kuat. Reaksi ini disebut dengan reaksi sekunder, namun berlangsung lambat, sehingga mutu beton diatas 28 hari masih dapat meningkat, dengan demikian waktu pengerasan beton dengan *fly ash* menjadi lebih lama dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*. Penambahan *fly ash* pada beton dibandingkan dengan beton normal menunjukkan adanya peningkatan (Safitri & Djumari, 2009).

Pada penelitian (Novriansyah, Mursyidah, Putri, Novrianti, & Bae, 2016) diketahui kekuatan semen bertambah dengan menggunakan cangkang kelapa sawit yang dijadikan nanosilika. *Fly ash* pada daun bambu memiliki kandungan silika yang tinggi, secara kimia silika adalah bahan yang berbentuk partikel halus *amorf* yang bersifat mengikat pozolan. *fly ash* sering digunakan dalam jumlah besar (>50%) untuk penambahan. Konsep tersebut dikenal dengan *High Volume Fly Ash Concrete (HVFAC)*. Ditujukan untuk mengurangi porsi penggunaan konsumsi bahan semen dengan memanfaatkan limbah daun bambu yang dijadikan *fly ash* (Amalia, Budi, & Sunarmasto, 2018).

Bentuk partikel abu terbang yang bulat membantu mengurangi kebutuhan serta membantu melicinkan pergerakan beton segar, pengaruh ini dinamakan *ball-bearing effect* (Ilham, 2005).

(Manuahe, Sumajouw, & Windah, 2014) juga meneliti bahwa beton geopolymer yang dibuat tanpa semen untuk pengikat, dan digantikan dengan menggunakan *fly ash* yang memiliki kandungan alumina dan silika, bereaksi dengan kombinasi (NaOH) dan cairan (Na_2SiO_3) dengan *purity* 98% agar menghasilkan bahan pengikat. Penelitian kali ini melakukan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan benda uji yang memiliki bentuk kubus $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ dengan variasi waktu curing: 4 jam, 8 jam, 12 jam dan 24 jam dengan menggunakan oven, dan diperoleh grafik pengaruh kuat tekan beton terhadap waktu *curing*. Data menunjukkan bahwa semakin lama waktu curing maka semakin besar kuat tekan yang dihasilkan dengan kuat tekan optimum yang dihasilkan 27,462 MPa pada waktu curing 24 jam.

Pengaruh nano-SiO₂ pada sifat mekanik dan mikrostruktur bahan semen dipelajari dengan mengekstrak kandungan silika. Hasil menunjukkan bahwa aktivitas nano-SiO₂ lebih baik daripada silika fume dan lebih efisien untuk meningkatkan kepadatan dan keseragaman pada pasta semen. Hasil menunjukkan dengan nano-SiO₂ kepadatan beton meningkat dan kekuatan awal semen meningkat jelas dengan menambahkan nano-SiO₂ dengan kandungan 3% nano-SiO₂, kekuatan tekan semen pada 3 hari meningkat sekitar 35%. Ketika kandungan 5% semen diganti oleh nano-Al₂O₃, kuat tekan beton meningkat dari 15% menjadi 20% dan modulus elastisitas meningkat lebih dari 40%. Tetapi bahan yang digunakan mahal maka nano-SiO₂ dan nano-Al₂O₃ digunakan sangat terbatas. Pada saat yang sama, nano-CaCO₃ yang digunakan secara luas dalam industri plastik, cocok digunakan karena nano-CaCO₃ telah digunakan dalam industri semen dan beton karena nano-CaCO₃ sangat membantu untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan daya tahan semen dan beton (Qian et al., 2009).

Serbuk CaCO₃ dalam campuran beton digunakan bahan yang dapat mempercepat proses hidrasi (*accelerator*) pada beton sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton umur sehari. Kalsium Karbonat dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti CaCl₂ atau bahan berbasis klorida lainnya untuk mempercepat waktu ikat awal dan akhir semen (Sofian et al., 2019).

(Cao, Ming, He, Li, & Shen, 2019) juga menyimpulkan bahwa efek fisika dan kimia nano CaCO_3 lebih efektif dari pada mikro dan makro CaCO_3 . Dengan dicampurkan dengan semen dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan karena proses hidrasi yang cepat.

Periode hidrasi diamati dengan pengembangan laju panas dari hasil reaksi C3S dengan CaCO_3 menggunakan kalorimetri pada perbandingan penambahan C3S dengan mikro- CaCO_3 didapatkan hasil pengembangan laju panas sebesar 11,9 J/g/h pada 10 jam reaksi sedangkan pada C3S dengan nano- CaCO_3 sebesar 15,4 J/g/h pada 6.7 jam reaksi. Hal ini menunjukkan bahwa nano- CaCO_3 sangat membantu proses hidrasi pada C3S karena dengan ukuran partikel yang sangat kecil sehingga luas permukaan besar dan dengan mudah bereaksi dengan zat lain yang ada di sekitarnya. Dengan menambahkan nano- CaCO_3 dapat mempercepat proses hidrasi semen dengan cara melepaskan ion Ca^{2+} dalam jumlah besar yang dapat membuat *protection layer* pada permukaan C3S menjadi permeable, sehingga proses kristalisasi C-S-H menjadi lebih singkat (Sato & Diallo, 2010).

Namun tidak butuh banyak air karena nano- CaCO_3 mengisi rongga dan menutup pori yang ada pada struktur jaringan semen dan meminimalisir penyerapan air, dan air yang tidak dapat masuk pada pori pada struktur jaringan semen akan menyelimuti permukaan nano- CaCO_3 karena luas permukaan yang besar dan membuat kebutuhan air sama saja saat menggunakan nano- CaCO_3 atau tanpa nano- CaCO_3 (Liu, Chen, Liu, & Wang, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Yang, 2019) didapatkan hasil dari penambahan 30% fly ash BWOC yang campur dengan 0.5% nano kalsium karbonat BWOC menghasilkan kekuatan semen sebesar 11,6 MPa. Hal ini dikarenakan partikel yang berukuran nano dapat meningkatkan sudut kontak antar partikel sehingga mempercepat aktifitas reaksi hidrasi pada semen.

2.2 *Compressive Strength dan Shear Bond Strength*

Operasi penyemenan (Cementing) merupakan suatu kegiatan yang penting selama proses pemboran berlangsung dimana efisiensi dan daya tahan dari sumur produksi sangat mempengaruhi tingkat kesuksesan pada operasi penyemenan. Perancangan komposisi bubur semen dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan operasi penyemenan. Dalam perancangan bubur semen, terdapat tiga

komponen utama, yakni bubuk semen, air dan aditif sebagai zat atau campuran tambahan yang bekerja untuk mengontrol sifat dari bubur semen. Kekuatan sangat di perhatikan, karena merupakan bagian dari sifat semen pemboran yang nantinya disesuaikan dengan kondisi formasi yang akan menjadi target penyemenan. Kekuatan pada semen terbagi menjadi dua, yakni *compressive strength* dan *shear bond strength*. *Compressive strength* adalah kekuatan semen yang menahan tekanan dari formasi maupun dari casing atau menahan tekanan dari arah horizontal, sedangkan *shear bond strength* adalah kekuatan semen yang menahan berat dari casing atau menahan tekanan dari arah vertikal (Huda, Hamid, & Sulistyanto, 2018). (Novrianti, 2016) mengemukakan bahwa agar dapat menyanggah casing dan rangkaian peralatan lainnya yang berada di permukaan serta menahan tekanan formasi maka, *compressive strength* dan *shear bond strength* semen yang dihasilkan pada proses penyemenan harus sesuai dengan standard API. *Compressive strength* minimum yang direkomendasikan oleh API untuk dapat melakukan operasi pemboran yakni 500 Psi sedangkan untuk *shear bond strength* lebih dari 100 psi.

2.3 *Freewater*

Free water merupakan air bebas yang terpisah dari suspensi semen. Air bebas ini terbentuk karena pencampuran volume air dan semen mencapai kadar air maksimum (Novrianti, Umar, & Utama, 2017). Kadar air maksimum adalah jumlah air bebas yang dibolehkan dari suspensi semen sebanyak 250 ml yang didiamkan selama 2 jam pada tabung ukur. Air bebas ini tidak boleh lebih dari 3,5 ml, karena akan menyebabkan pori pada suspensi semen membesar dan juga memperbesar permeabilitas semen. Hal ini menyebabkan terjadinya kontak antara fluida formasi dengan *casing* yang disemen. Saat fluida formasi berupa air asin akan menyebabkan terjadinya *korosi*. Dalam hal penyemenan, permeabilitas yang terbentuk diusahakan sekecil mungkin. Karena jika permeabilitas semen besar akan menyebabkan terjadinya kontak fluida antara formasi dengan *annulus*.

2.4 *Fly Ash Daun Bambu*

Secara kimia, silika adalah bahan berbentuk *amorf* memiliki sifat Pozzolan yang dapat bereaksi dengan partikel semen pada suhu ruangan dengan

media air dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat (Amalia et al., 2018). Silika memiliki material yang bersifat stabil, unsur silika juga memiliki pengaruh untuk menambah kekuatan pada semen sehingga silika banyak dimanfaatkan sebagai bahan aditif semen (Morales et al., 2011). *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. partikel *Fly Ash* biasanya berukuran (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

Bambu merupakan tanaman yang sering dijumpai di Indonesia dan tumbuh berbagai macam dan jenis bambu yang tersebar di seluruh daerah, dan ada sekitar 143 jenis bambu (Nurhimawan & Fatoni, 2016). *Fly Ash* daun bambu memiliki kandungan silika 82,86%, di mana merupakan yang terbesar kedua setelah abu sekam padi yakni 93,2%. Akan tetapi, persentase senyawa selain SiO_2 juga cukup tinggi bila dibandingkan dengan abu sekam padi (Nurhimawan & Fatoni, 2016). Bambu mengandung silika yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, bambu memiliki kadar selulosanya berkisar antara 42,4% - 53,6%, kadar lignin berkisar antara 19,8% - 26,6%, kadar pentosan 1,24% - 3,77%, kadar abu 1,24% - 3,77%, kadar silika 0,10% - 1,28%, kadar ekstraktif 0,9% - 6,9% dan bambu mengandung holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) berkisar antara 73,32% - 83,80%. Dari kandungan silika yang dimiliki oleh bambu, memungkinkan untuk memanfaatkan bambu menjadi lebih optimal dengan mengekstrak kandungan silika dari bambu tersebut menjadi *Fly Ash* (Agustini, 2015).

Berdasarkan (ASTM, 2003) penggunaan fly ash sebagai campuran pozzolan atau mineral dalam beton dibagi menjadi tiga kelas pozzolans yaitu :

- a. *Fly Ash* jenis N, adalah hasil kalsinasi dari pozzolan alami, yakni tanah diatomite, shale, tuft, dan batu apung.
- b. *Fly Ash* jenis F, adalah *Fly Ash* yang didapat dari hasil pembakaran batubara pada suhu kurang lebih 1560°C , biasanya batubara antrasit dan bituminous menghasilkan *Fly Ash* jenis F pozzolanic yang memiliki properti, yang berkaca-kaca silika dan alumina, dan mengandung kurang dari 10% kapur (CaO).

- c. *Fly Ash* jenis C, adalah *Fly Ash* dari hasil pembakaran batubara dengan kadar karbon 60% memiliki sifat seperti semen dengan kadar kapur di atas 10%, selain memiliki sifat pozzolanic, juga memiliki beberapa sifat memperkuat diri. Dengan adanya air akan mengeras dan memperoleh kekuatan dari waktu ke waktu dan mengandung lebih dari 20% kapur (CaO).

Tabel 2. 1 Kandungan kimia pada Fly Ash sesuai kelasnya (ASTM, 2003)

Komposisi	Class		
	N	F	C
<i>Silicon Dioxide (SiO₂) plus Aluminum Oxide (Al₂O₃) Plus Iron Oxide (Fe₂O₃), Min, %</i>	70	70	50
<i>Sulfur Trioxide (SO₃), Max, %</i>	4	5	5
<i>Moisture Content, Max %</i>	3	3	3
<i>Loss On Ignition, Max, %</i>	10	6	6

2.5 Nano Kalsium Karbonat (Nano-CaCO₃)

Nanopartikel adalah material atom atau molekul yang direkayasa dalam skala nanometer, partikel ini digunakan dan dipelajari secara luas dan mendalam dalam industri elektronik dan kimia baru-baru ini karena sifat-sifatnya yang khusus dan sering digunakan dalam konstruksi terutama di industri beton (Mursyidah et al., 2015). (Supit & Shaikh, 2014) mengemukakan penggunaan partikel nano baru-baru ini telah diteliti untuk mengatasi kekurangan kekuatan tekan usia dini yang rendah pada beton HVFA. Bahan nano didefinisikan sebagai partikel ukuran yang sangat kecil dalam skala 10^{-9} meter, dihasilkan dari modifikasi atom dan molekul untuk menghasilkan luas permukaan yang besar. Penambahan partikel nano dalam beton lebih efektif daripada partikel ukuran mikro dan diakui sebagai sarana untuk meningkatkan sifat kekuatan dan daya tahan beton atau mortar.

Semen kelas H di uji pada sampel batuan sandstone dan limestone untuk melihat laju proses degradasi pada semen tersebut dengan karbonasi air garam didapatkan pada sampel sandstone terlihat indikasi semen terderadasi pada usia 1 bulan dan meningkatnya permeabilitas secara terus menerus hingga usia 3 bulan

dan pada sampel limestone tidak terlihat indikasi semen terdegradasi dan tidak adanya peningkatan permeabilitas pada waktu 1 tahun disebabkan karena CaCO_3 yang terkandung pada batuan limestone membentuk kristalisasi karena melepaskan Ca^{2+} dan menutup permeabilitas sehingga karbonasi air garam tidak dapat memasuki dan mendegradasi (Duguid, Radonjic, & Scherer, 2011).

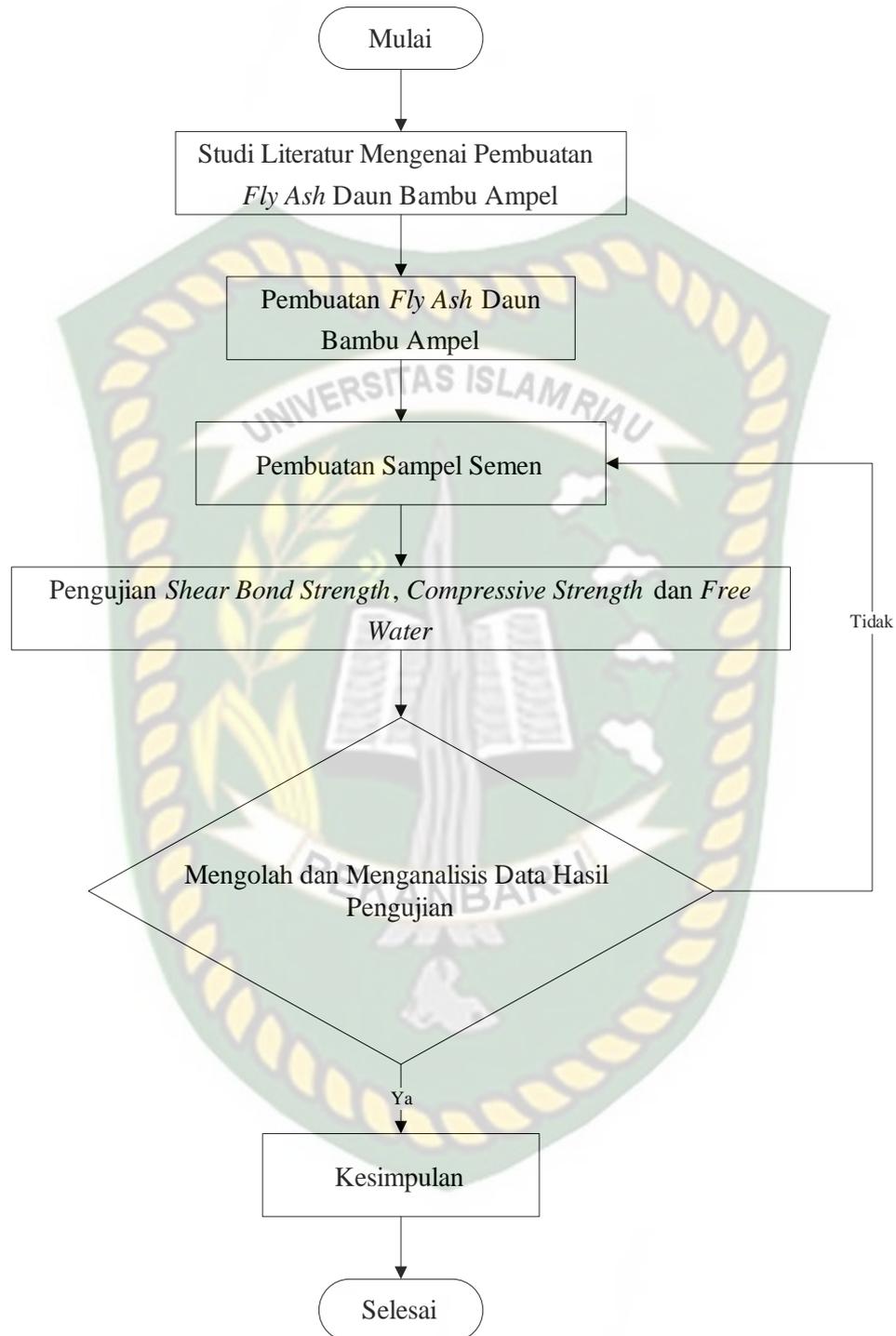


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau dengan metode eksperimental. Beberapa tahapan penelitian yang dilakukan yaitu persiapan bahan baku, yakni pembuatan *fly ash* daun bambu ampel, karakterisasi *fly ash* daun bambu ampel menggunakan dan dilanjutkan dengan proses pembuatan suspensi semen dasar dan pembuatan suspensi semen yang ditambah dengan *fly ash* daun bambu ampel dan nano CaCO_3 dengan variasi persentase 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, dan 50% *Fly Ash* dan 0,1% nano CaCO_3 . Diakhiri dengan pengujian *shear bond* dan *compressive strength* pada suspensi semen menggunakan *hydraulic press*. Sedangkan data sekunder lainnya yang melengkapi penelitian bersumber dari buku, jurnal, dan prosiding yang sesuai dengan topik penelitian.

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2 Alat Dan Bahan

3.2.1 Alat



Gambar 3. 2 Timbangan Digital



Gambar 3. 3 *Constant Speed Mixer*



Gambar 3. 4 *Hydraulic Pressure*



Gambar 3. 5 Cetakan Sampel



Gambar 3. 6 Waterbath temperature control



Gambar 3. 7 Sieve



Gambar 3. 8 Furnace



Gambar 3. 9 Stopwatch



Gambar 3. 10 Tabung Ukur

3.2.2 Bahan



Gambar 3. 11 Bambu Ampel



Gambar 3. 12 Fly Ash Daun Bambu Ampel



Gambar 3. 13 Nano CaCO_3



Gambar 3. 14 Semen Kelas G



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Fly Ash Daun Bambu

Menurut (Dwivedi, Singh, Das, & Singh, 2006) prosedur pembuatan fly ash daun bambu pada penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan daun bambu ampel, dilakukan dengan pemetikan dan pemilihan daun bambu dari batangnya kemudian dibersihkan dari debu dan pasir yang menempel pada daun bambu satu persatu.
2. Daun bambu bambu yang telah bersih dan kering dibuang tulang tengahnya satu persatu kemudian daun dipotong kecil-kecil dan dijemur agar kering lalu dibakar pada wadah tahan api.
3. Daun bambu ampel yang telah dibakar kemudian di 100 *mesh*, kemudian persiapkan *stainless* berbentuk tabung dengan ukuran diameter 8 cm dan tinggi 15 cm yang telah di beri penutup agar daun bambu tidak keluar.
4. Masukkan daun bambu ampel yang telah disaring hingga 100 *mesh* kedalam *stainless*, Kemudian masukan kedalam oven furnace untuk dilakukan proses kalsinasi.
5. Menghidupkan *furnace*, Lalu mengatur temperatur pemanasan pada 600°C. Atur berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur yang diinginkan, Kemudian atur waktu yang dibutuhkan untuk pendiaman pemanasan, dalam penelitian ini waktu yang di butuhkan untuk pendiaman pemanasan adalah 120 menit.
6. Menyaring kembali hasil kalsinasi daun bambu ampel yang telah menjadi *fly ash* menggunakan *sieve* 400 *mesh* yang akan digunakan sebagai bahan aditif yang akan dikarakterisasi dan ditambahkan pada semen dasar.

3.3.2 Pembuatan Suspensi Semen.

1. Menimbang semen sebanyak 300 gram, air sebanyak 132 ml. (untuk pembuatan suspensi semen dasar)
2. Menimbang semen sebanyak 209,7 gram, Nano CaCO_3 0.3 gram, air sebanyak 132 ml, dan *fly ash* daun bambu ampel sebanyak 90 gram (untuk pembuatan suspensi semen yang ditambah 30% *fly ash* daun bambu dan 0,1% Nano CaCO_3).
3. Selanjutnya mengulangi komposisi sampel dengan variasi persentase *fly ash* daun bambu, 35%, 40%, 45% dan 50%. Nano- CaCO_3 tetap 0,1% yang telah diperhitungkan.
4. Dari masing-masing komposisi bahan yang digunakan diatas, kemudian campurkan semua bahan dan aditif, dengan cara memasukan air terlebih dahulu kedalam *cement mixer*. Menyalakan *mixer* dengan kecepatan rendah (4000 rpm) lalu memasukan semen, Nano CaCO_3 dan *fly ash* daun bambu ampel, melanjutkan pengadukan dengan kecepatan tinggi (12000 rpm) selama 10 menit.
5. Setelah pembuatan suspensi semen selesai, dilanjutkan dengan pengujian.

Tabel 3. 1 Komposisi Sampel Compressive Strength

No	Sampel	Semen Bwoc (gr)	Fly Ash Daun Bambu Ampel Bwoc (gr)					Nano CaCO ₃ Bwoc (gr)	Air (ml)	Compressive Strength
			30%	35%	40%	45%	50%			
1	Cement Control	300	-	-	-	-	-	-	132	24h Curing Time T.60oC P.atm
2	K1FA30	209.7	90	-	-	-	-	-	163	
3	K2FA35	194.7	-	105	-	-	-	-	164	
4	K3FA40	179.7	-	-	120	-	-	0.3	165	
5	K4FA45	164.7	-	-	-	135	-	-	166	
6	K5FA50	149.7	-	-	-	-	150	-	167	

Tabel 3. 2 Komposisi Sampel Shear Bond Strength

No	Sampel	Semen Bwoc (gr)	Fly Ash Daun Bambu Ampel Bwoc (gr)					Nano CaCO ₃ Bwoc (gr)	Air (ml)	Compressive Strength
			30%	35%	40%	45%	50%			
1	Cement Control	300	-	-	-	-	-	-	132	24h Curing Time T.60oC P.atm
2	S1FA30	209.7	90	-	-	-	-	-	163	
3	S2FA35	194.7	-	105	-	-	-	-	164	
4	S3FA40	179.7	-	-	120	-	-	0.3	165	
5	S4FA45	164.7	-	-	-	135	-	-	166	
6	S5FA50	149.7	-	-	-	-	150	-	167	

3.3.3 Pengujian Compressive Strength dan Shear Bond Strength.

1. Pengujian *compressive strength* dan *shear bond strength* menggunakan alat *hydraulic press*.
2. Mengoleskan *grease* pada cetakan kubik untuk *compressive strength*, sedangkan pada cetakan silinder untuk *shear bond strength* tidak perlu diolesi dengan *grease*.
3. Menuangkan suspensi semen yang telah dibuat kedalam cetakan kubik dan cetakan silinder yang kemudian akan digunakan untuk pengujian *shear bond strength* dan *compressive strength*.
4. Menutup cetakan sampel dengan aluminium foil dan kemudian dengan plastik transparan hingga rapat lalu merendamnya kedalam *waterbath* yang sebelumnya telah dipanaskan sesuai dengan suhu yang diinginkan.
5. Diamkan cetakan sampel selama 8 jam, setelah 8 jam sampel diangkat dari *waterbath* kemudian buka sampel dari cetakan kubik.
6. Ukur kekuatan sampel kubik untuk *compressive strength* dan sampel silinder untuk *shear bond strength* dengan alat *hydraulic press*.
7. Catat hasil pengujian untuk dan *shear bond strength* dan *compressive strength*.

3.3.4 Pengujian Freewater

Menurut (Rubiandini, 2001), pengujian *free water* dilakukan dilaboraturium dalam penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membuat suspensi semen dari semen kelas G dengan air dan nano CaCO_3 dengan menggunakan mixer. 13

2. Menggunakan tabung ukur, kemudian mengisi tabung tersebut dengan suspensi semen yang akan diukur kadar airnya.
3. Mendinginkan selama 2 jam sehingga terjadi air bebas pada bagian atas tabung, catat harga *free water* yang terbentuk.
4. *Free water* yang terjadi tidak boleh lebih dari 3,5 ml.

3.4 Tempat penelitian

Penelitian dan analisa *Fly Ash* daun bambu, nano CaCO_3 dan suspensi semen akan dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau dengan teknik pengumpulan data studi eksperimental, studi literatur.

Tabel 3. 3 Jadwal kegiatan

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (2020-2021)					
	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr
Studi Literatur						
Penyusunan Proposal						
Seminar Proposal						
Pengumpulan Daun Bambu						
Karbonisasi, Kalsinasi dan Sieve Mesh 400						
Pembuatan Semen Dan Pengujian CS SBS						
Analisa Data						
Penyusunan Laporan Hasil						
Sidang Tugas Akhir						

Catatan : Lamanya Penyelesaian Tugas Akhir ini disebabkan oleh tertundanya kegiatan penelitian dikarenakan pandemi Covid-19 yang mengakibatkan ditiadakannya aktivitas kampus dan laboratorium selama beberapa waktu.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Senyawa Fly Ash Daun Bambu

Komposisi senyawa fly ash daun bambu didapat dengan cara analisis XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efekfotolistrik. Efekfotolistrik terjadi karena elektron dalam atom radiasi gamma atau sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu yang berasal bahan sasaran yang tertumbuk elektron. Jenis spektrum tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan. Spektrum ini dikenal dengan spektrum sinar-X karakteristik. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar-X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap oleh detektor untuk dianalisis unsur kandungan yang terdapat pada *fly ash*

Hasil pengujian XRF sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Komposisi senyawa fly ash daun bambu ampel

Formula	Konsentrasi (%)	Formula	Konsentrasi (%)
SiO ₂	58,9	K ₂ O	18,7
CaO	10,3	MnO	0,29
MgO	1,26	Fe ₂ O ₃	0,49
Al ₂ O ₃	0,38	CuO	0,02
P ₂ O ₅	3,34	ZnO	0,03
SO ₃	3,67	Br	0,01
Cl	2,41	SrO	0,01
Rb ₂ O	0,06		

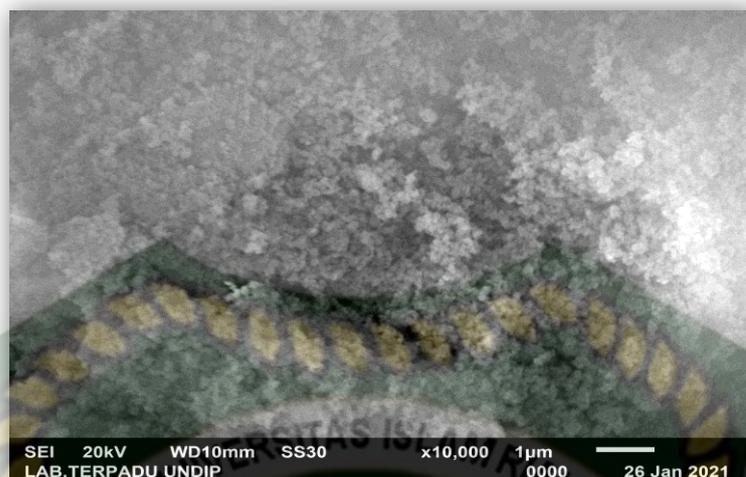
Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa senyawa kimia silika oksida (SiO₂) yang terdapat didalam *fly ash* daun bambu ampel sebanyak 58,9% dan kandungan kalsium oksida (CaO) sebanyak 10,3%. Dengan hasil SiO₂ dan CaO yang terdapat pada tabel maka *fly ash* daun bambu ampel dapat dikategorikan sebagai *fly ash* kelas C, yang memiliki sifat pozzolan yang merupakan bagian dari sifat semen,

dengan syarat kandungan SiO₂ berada diatas 50% dan kandungan CaO diatas 5% (ASTM, 2003).

Dari kandungan yang terdapat pada *fly ash* dari daun bambu ampel diharapkan dapat digunakan untuk mengurangi porsi dari konsumsi penggunaan semen dan tetap menjaga dalam batas toleransi dari *compressive strength* dan *shear bond strength* berdasarkan standar API.

4.2 Karakterisasi Morfologi dan Unsur Nano CaCO₃

Morfologi nano CaCO₃ dapat dilakukan dengan SEM, yakni metode karakterisasi dengan memanfaatkan interaksi antara elektron sumber dengan elektron penyusun sampel yang menghasilkan emisi elektron ataupun foton. Hasil dari interaksi tersebut direkam detektor yang divisualisasikan sehingga dapat menghasilkan morfologi pada sampel (Oktamuliani, Samsidar, Nasri, & Nehru, 2015). Terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yakni BSE dan SE. Detektor BSE membawa informasi tentang atom yang ditumbuk beserta ikatannya dalam fasa, sehingga kontras akan terbentuk dari elektron pada detektor BSE dalam batas tertentu dapat disebut sebagai kontras fasa untuk melihat perbedaan dari material penyusun yang terdapat pada sampel, elektron pada detektor SE memiliki energi yang rendah, maka hanya elektron yang dekat dengan permukaan bahan saja yang dapat terdeteksi. Dengan bantuan detektor khusus elektron SE dapat dimanfaatkan untuk melihat topografi dan morfologi permukaan bahan dengan baik (Sujatno, Salam, Bandriyana, & Dimiyati, 2017).



Gambar 4. 1 SEM nano CaCO₃ dengan perbesaran 10,000 kali

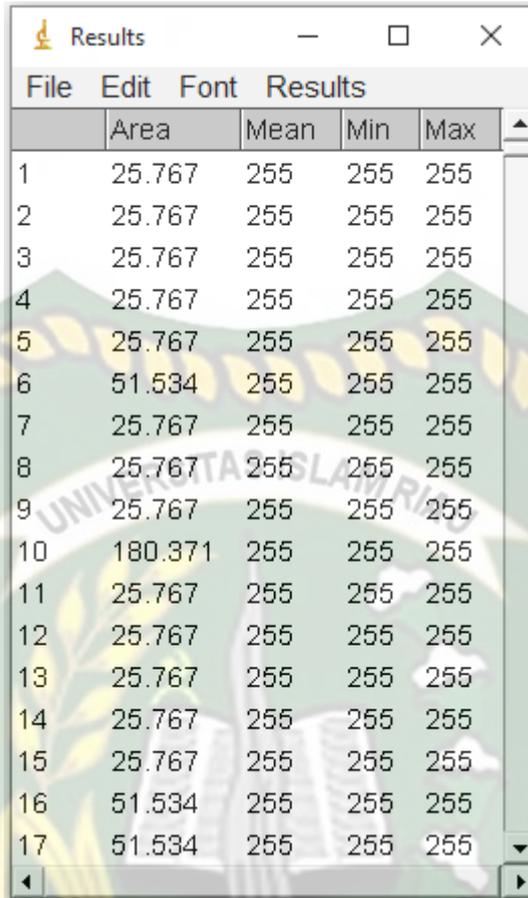
Struktur morfologi dari nano CaCO₃ dapat dilihat pada gambar bahwa partikel-partikel nano CaCO₃ memiliki bentuk yang seragam (*spherical*). Dari hasil SEM dapat ditentukan distribusi ukuran partikel dengan menggunakan bantuan *software* Image-J. ImageJ merupakan sebuah *software* untuk memproses gambar yang dikembangkan oleh *National Institutes of Health and Laboratory for Optical and Computational Instrumentation*.



Gambar 4. 2 Hasil pengolahan gambar SEM menggunakan Image-J melalui proses Thresholding

Hasil pengolahan gambar 4.2 dengan menggunakan *Threshold* hasil analisis Image-J. Fitur *Thresholding* digunakan untuk memilah ukuran partikel yang tersebar agar mudah dianalisis. Setelah itu, gambar diolah dengan menghitung luas area partikel rata-rata menggunakan fitur *Analyze Particles* pada Image-J, sehingga dapat dicari diameter rata-ratanya dengan menggunakan rumus

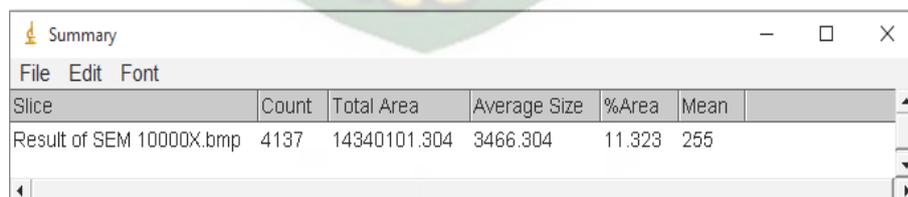
$$d = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$



	Area	Mean	Min	Max
1	25.767	255	255	255
2	25.767	255	255	255
3	25.767	255	255	255
4	25.767	255	255	255
5	25.767	255	255	255
6	51.534	255	255	255
7	25.767	255	255	255
8	25.767	255	255	255
9	25.767	255	255	255
10	180.371	255	255	255
11	25.767	255	255	255
12	25.767	255	255	255
13	25.767	255	255	255
14	25.767	255	255	255
15	25.767	255	255	255
16	51.534	255	255	255
17	51.534	255	255	255

Gambar 4. 3 Hasil analisa luas area partikel menggunakan fitur *Analyze Particles*

Gambar 4.3 menunjukkan hasil perhitungan *software* Image-J terhadap luas area masing-masing partikel yang dapat terbaca pada gambar SEM yang telah melalui proses *thresholding*. Luas area yang terhitung memiliki nilai yang berbeda tergantung pada ukuran diameter dari partikel NC yang terbaca oleh *software* Image-J.

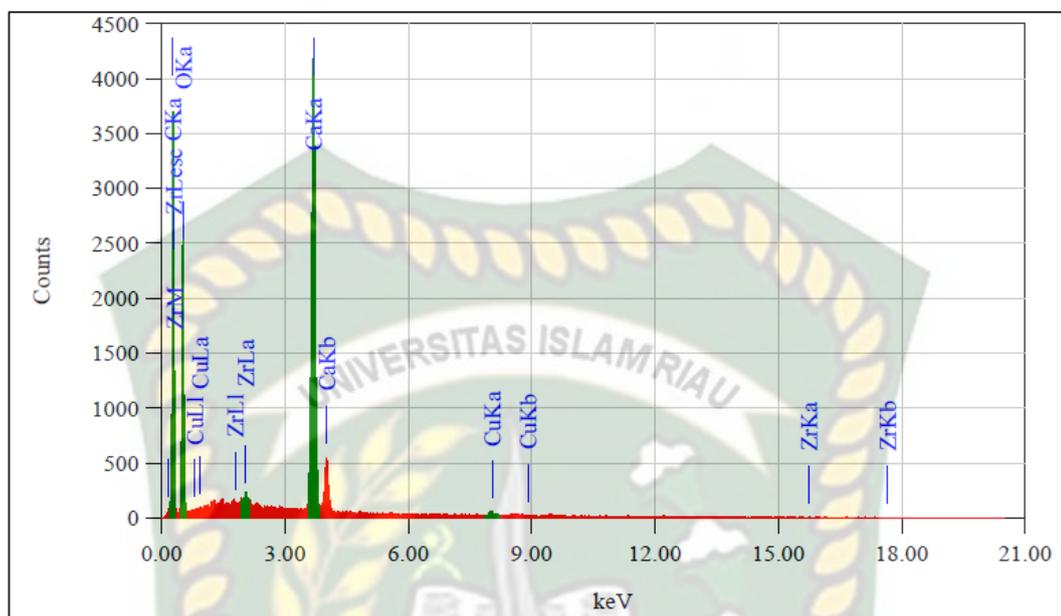


Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
Result of SEM 10000X.bmp	4137	14340101.304	3466.304	11.323	255

Gambar 4. 4 Hasil *Summary* dari *Analyze Particles*

Dari gambar 4.4 dapat diketahui bahwa luas area rata-rata partikel yang dapat dianalisa pada gambar adalah 3466,304 nm². Maka diameter rata-rata partikel yaitu :

$$d = 2 \sqrt{\frac{3466,304}{\pi}} = 66,45 \text{ nm}$$



Gambar 4. 5 Hasil analisa EDS

Tabel 4. 2 Karakterisasi unsur nano CaCO_3 hasil pengujian EDS

Element	Mass%	Atom%
C	41.05	51.88
O	45.56	43.22
Ca	12.42	4.7
Cu	0.49	0.12
Zr	0.47	0.08
Total	100	100

Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) adalah metode yang digunakan untuk mengetahui informasi dari kandungan unsur yang terdapat pada sampel (Prasetyo, Nafsati, Kholifah, & Botianovi, 2013). Analisis unsur CaCO_3 telah dilakukan menggunakan SEM-EDS dengan *ZAF Method Standardless Quantitative Analysis* bahwa CaCO_3 , memiliki elemen : Karbon (C) 41,05% Mass, Oksigen (O) 45,56% Mass, Kalsium (Ca) 12,42% Mass, Tembaga (Cu) 0,49% Mass, dan Zirkonium (Zr) 0,47% Mass.

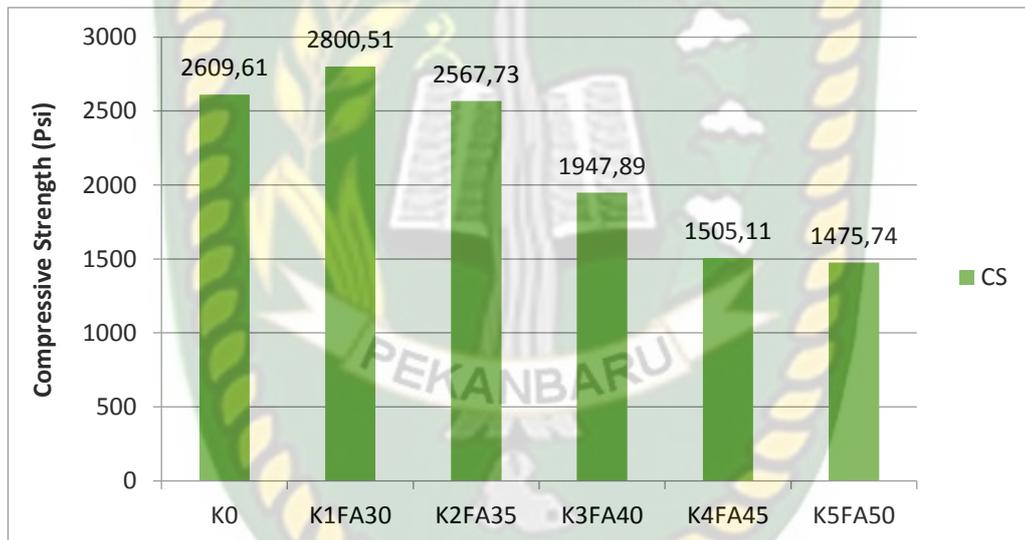
4.3 Hasil Pengujian *Compressive Strength*

Compressive strength merupakan kekuatan dari semen pemboran yang dimaksudkan untuk menahan tekanan dari formasi maupun dari casing atau

menahan tekanan dari arah horizontal. *Compressive strength* minimum yang direkomendasikan oleh API untuk dapat melakukan operasi pemboran yakni 1000 Psi.

Tabel 4. 3 Hasil *Compressive Strenght*

Sampel	Aditif Slurry		Compressive Strength (Psi)
	FA Bwoc (%)	NC Bwoc (%)	
K0	0	0	2609,61
K1FA30	30	0.1	2800,51
K2FA35	35	0.1	2567,73
K3FA40	40	0.1	1947,89
K4FA45	45	0.1	1505,11
K5FA50	50	0.1	1475,74



Gambar 4. 6 Nilai *Compressive Strength*

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 4.2 dapat Hasil dari pengujian compressive strength semen dasar tanpa adanya bahan aditif penambah yakni sebesar 2.609,62 psi sedangkan compressive strength yang dilakukan dengan nanokomposit kalsium karbonat dengan variasi konsentrasi fly ash pada 30% didapatkan nilai compressive strength sebesar 2.800,51 psi, pada konsentrasi fly ash 35% didapatkan nilai compressive strength sebesar 2.567,73 psi, pada konsentrasi fly ash 40% didapatkan nilai compressive strength sebesar 1.947,89 psi, pada konsentrasi fly ash 45% didapatkan nilai compressive strength sebesar 1.505,11

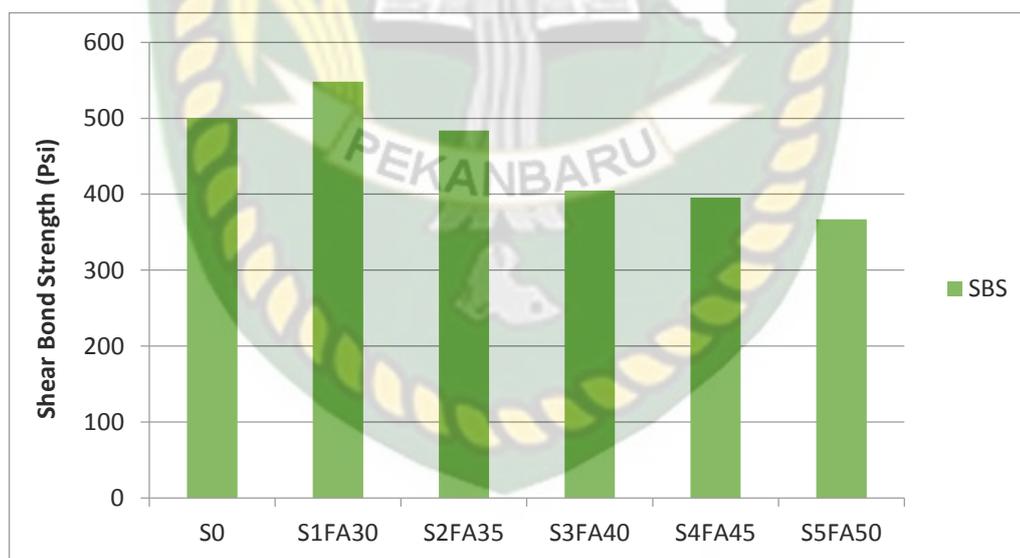
psi, pada konsentrasi fly ash 50% didapatkan nilai compressive strength sebesar 1.475,74 psi.

4.4 Hasil Pengujian *Shear Bond Strength*

Shear bond strength merupakan kekuatan semen dalam operasi pemboran yang menahan berat dari casing dan alat pemboran lainnya atau menahan tekanan dari arah vertikal. *Shear bond strength* minimum yang direkomendasikan oleh API untuk dapat melakukan operasi pemboran yakni 100 Psi

Tabel 4. 4 Hasil *Shear Bond Strength*

Sampel	Aditif Slurry		Shear Bond Strength (Psi)
	FA Bwoc (%)	NC Bwoc (%)	
S0	0	0	500,14
S1FA30	30	0.1	547,98
S2FA35	35	0.1	483,87
S3FA40	40	0.1	404,65
S4FA45	45	0.1	395,65
S5FA50	50	0.1	366,81



Gambar 4. 7 Nilai *Shear Bond Strength*

Berdasarkan tabel 4.4 dan gambar 4.3 Hasil dari pengujian shear bond strength semen dasar tanpa adanya bahan aditif penambah yakni sebesar 500,14 psi sedangkan dengan nanokomposit kalsium karbonat dengan variasi konsentrasi fly ash pada 30% didapatkan nilai shear bond strength sebesar 547,98 psi, pada konsentrasi fly ash 35% didapatkan nilai shear bond strength sebesar 483,87 psi,

pada konsentrasi fly ash 40% didapatkan nilai shear bond strength sebesar 404,65 psi, pada konsentrasi fly ash 45% didapatkan nilai shear bond strength sebesar 395,65 psi, dan pada konsentrasi fly ash 50% didapatkan nilai shear bond strength sebesar 366,81 psi, sedangkan nilai. Dari pengujian *compressive strength* dan *shear bond strength* yang dilakukan, sampel dengan penggunaan 30% *fly ash* dan penambahan 0,1% nano CaCO₃ menghasilkan nilai yang tertinggi.

Nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* menurun pada penambahan 35% fly ash hingga penambahan 50% *fly ash*. Hal ini terjadi dikarenakan rendahnya aktivitas pembentukan produk hidrasi oleh *fly ash* pada periode awal pengerasan. Laju reaksi pembentukan produk hidrasi oleh *fly ash* biasa terjadi diakhir periode (Nejad, Tolouei, Nazari, & Naderan, 2018).

Menurut penelitian (Maryoto, 2009) semakin banyak fly ash digunakan proses pengerasan semen juga semakin lama disebabkan oleh kapur bebas hasil reaksi semen dan fly ash dengan air yang membentuk senyawa *tobermorite* sehingga waktu pembentukan C-S-H dari semen juga melambat dan menurunkan kekuatan semen. Penyebab reaksi hidrasi berjalan lambat karena silika di dalam beton memiliki 2 pengaruh, yaitu sebagai bahan filler dan bahan pozolan yang bereaksi secara kimia Pengaruh filler yang dikenal sebagai faktor fisik memberi andil terhadap kepadatan beton yang terjadi pada tahap awal dimana reaksi kimia masih berlangsung lambat. Ukuran partikel *silica fume* yang sangat halus (0,1-0,2 µm) mengisi ruang-ruang kosong yang berisi air dan Ca(OH)₂ yang terdapat antara agregat dan bahan pengikat serta memasuki sampai ke rongga yang paling kecil antara agregat dan pasta semen, yaitu daerah pertemuan agregat pasta semen. Daerah ini paling lemah kerana terdapat *wall effect* yang menyebabkan partikel semen portland tidak dapat masuk karena ukuran partikelnya lebih besar. Dengan terisnya daerah pertemuan agregat-pasta semen ini, berarti lapisan tersebut mengalami proses penjenuhan (lebih rapat) yang dapat meningkatkan kuat tekan dan impermeabilitas beton (Ilham, 2005).

Semakin banyaknya penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti maka persentase semen sebagai bahan pengikat utama juga terjadi penurunan dan reaksi *fly ash* dengan hasil sekunder reaksi hidrasi semen dalam pembentukan C-S-H juga belum terjadi secara optimal sehingga nilai *compressive strength* dan *shear*

bond strength belum maksimal (Amalia et al., 2018). Nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel dimaksudkan untuk mengurangi sebagian penggunaan semen dan masih direkomendasikan karena mampu menjaga pada batas toleransi dari standar API untuk *compressive strength* sebesar 1000 psi dan *shear bond strength* sebesar 100 psi.

4.5 Hasil Pengujian *Freewater*

Batas maksimal volume *free water* dari suspensi semen adalah sebesar 3.5 ml yang didiamkan dengan waktu 2 jam pada suhu ruang. Apabila air bebas melebihi batas maksimal maka menyebabkan terbentuknya pori pada semen yang menyebabkan adanya volume rongga pada semen.

Tabel 4. 5 Hasil *Freewater*

Sampel	Aditif Slurry		Freewater Volume (ml)
	FA Bwoc (%)	NC Bwoc (%)	
S0	0	0	1.5
S1	30	0.1	0.7
S2	35	0.1	0.6
S3	40	0.1	0.4
S4	45	0.1	0.2
S5	50	0.1	0.1



Gambar 4. 8 Nilai *Freewater*

Berdasarkan tabel 4.3 dan gambar 5.3 Hasil dari pengujian *Freewater* semen dasar tanpa adanya bahan aditif penambah yakni sebesar 1.5 ml sedangkan dengan nanokomposit kalsium karbonat dengan variasi konsentrasi fly ash pada 30% nilai *freewater* menurun menjadi 0.7 ml, pada konsentrasi fly ash 35% nilai *freewater* menurun menjadi 0.6 ml, pada konsentrasi fly ash 40% nilai *freewater* menurun menjadi 0.4 ml, pada konsentrasi fly nilai *freewater* menurun 0.2 ml, dan pada konsentrasi fly ash 50% nilai *freewater* menurun menjadi 0.1 ml. Dari pengujian *freewater* yang dilakukan, sampel dengan penggunaan 50% *fly ash* dan penambahan 0.1% nano CaCO_3 menghasilkan nilai yang terendah. Nilai free water terus menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi fly ash yang digunakan, hal ini disebabkan kandungan silika yang terdapat pada fly ash menyerap air sehingga suspensi semen menjadi lebih kental (Topan, 2013).

Semakin bertambahnya *fly ash* yang digunakan maka semakin banyak pula kandungan silika yang menyerap air, dikarenakan aktivitas pozolanik yang tinggi pada *fly ash* menyebabkan *fly ash* banyak menyerap air untuk bereaksi dengan *calcium hydroxide* guna membentuk CSH. Jika konsentrasi *fly ash* yang digunakan semakin besar, maka penyerapan air untuk kebutuhan reaksi pembentukan produk hidrasi pun semakin banyak. Sehingga air bebas yang terbentuk pada permukaan semen akan semakin sedikit karena telah diserap oleh *fly ash* untuk kebutuhan reaksi (Jinfeng, Xiaodong, Zhang, Tan, & Tanner, 2019). Aditif yang berukuran nano juga berperan dalam mengurangi permeabilitas bubuk semen dengan mengisi rongga kecil yang tidak dapat diisi oleh *fly ash* dan membuat fasa liquid sulit untuk bergerak melalui pori pada suspensi semen (Sato & Diallo, 2010).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Komposisi senyawa *fly ash* daun bambu ampel (SiO_2) 58,9% dan (CaO) 10,3%. Dapat dikategorikan sebagai *fly ash* kelas C, dan unsur yang terkandung pada nano kalsium karbonat yakni Karbon (C) 41,05%, Oksigen (O) 45,56%, Kalsium (Ca) 12,42%, dengan diameter ukuran partikel rata-rata yakni 66,45 nm.
2. Penggunaan nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel mempengaruhi pengurangan sebagian porsi dari konsumsi penggunaan semen dan tetap menjaga standar dari nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* berdasarkan API. Didapatkan nilai tertinggi untuk *compressive strength* sebesar 2.800,51 psi dan untuk *shear bond strength* sebesar 547,98 psi dengan konsentrasi *fly ash* daun bambu ampel 30% dan 0.1% nano CaCO_3 , dan nilai *free water* yang didapatkan dari semua sampel yang di uji tidak ada yang melewati batas maksimum dari standar API sebesar 3,5 ml.

5.2 Saran

1. Melakukan pengujian penggunaan nanokomposit kalsium karbonat dengan *fly ash* daun bambu ampel terhadap nilai *thickening time* dan sifat fisik semen pemboran.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, D. (2015). Sintesis Keramik Silika Daun Bambu Dengan Metode Sol-Gel Dan Karakterisasi Pada Suhu Kalsinasi 800-1000 ° C. *JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika*, 03(01).
- Amalia, K. P., Budi, A. setiya, & Sunarmasto. (2018). Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan ($f'c$) Material pada High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) Usia 28 Hari. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 15(02), 485–489.
- ASTM. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, Annual Book of ASTM Standards § (2003).
- Cao, M., Ming, X., He, K., Li, L., & Shen, S. (2019). Effect of macro-, micro- and nano-calcium carbonate on properties of cementitious composites-A review. *Materials*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/ma12050781>
- Duguid, A., Radonjic, M., & Scherer, G. W. (2011). Degradation of cement at the reservoir/cement interface from exposure to carbonated brine. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5(6), 1413–1428.
- Dwivedi, V. N., Singh, N. P., Das, S. S., & Singh, N. B. (2006). A new pozzolanic material for cement industry: Bamboo leaf ash. *International Journal of Physical Sciences*, 1(3), 106–111.
- Ervianto, M., Saleh, F., & Prayuda, H. (2016). Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abut Terbang (Fly Ash) Dan Zat Adiktif (Bestmittel). *Sinergi*, 20(3), 199. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.3.005>
- Huda, A., Hamid, A., & Sulistyanto, D. (2018). Pengaruh Penambahan “Barite”, “Hematite”, Dan “Mecomax” Terhadap Thickening Time, Compressive Strength, Dan Rheologi Buburr Semen Pada Variasi Temperatur (Bhct) Di Laboratorium Pemboran Dan Produksi. *Petro*, 7(2), 47–58.
- Ilham, A. (2005). Pengaruh Sifat-Sifat Fisik Dan Kimia Bahan Pozolan Pada Beton Kinerja Tinggi. *Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta*, 13(3), 75–85.
- Jinfeng, S., Xiaodong, S., Zhang, Y., Tan, G., & Tanner, J. (2019). 15 th International Congress on the Chemistry of Cement and properties of C-A-S-H 15 th International Congress on the Chemistry of Cement, (September), 3–

7.

- Li, H., Xiao, H. G., Yuan, J., & Ou, J. (2004). Microstructure of cement mortar with nano-particles. *Composites Part B: Engineering*, 35(2), 185–189.
- Liu, X., Chen, L., Liu, A., & Wang, X. (2012a). Effect of nano-CaCO₃ on properties of cement paste. *Energy Procedia*, 16(PART B), 991–996.
- Liu, X., Chen, L., Liu, A., & Wang, X. (2012b). Energy Procedia Effect of Nano-CaCO₃ on Properties of Cement Paste, 16, 991–996.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang. *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
- Maryoto, A. (2009). Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 10(2), 103–114.
- Matschei, T., Lothenbach, B., & Glasser, F. P. (2007). The role of calcium carbonate in cement hydration, 37, 551–558.
- Morales, E. V., Villar-cociña, E., Valencia, E., Santos, S. F., Savastano, H., & Frías, M. (2011). Bamboo leaf ash as pozzolanic material : study of the reaction kinetics and determination of the kinetic parameters Cement & Concrete Composites Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash : Characterization and determination of the kinetic parameters. *Cement & Concrete Composites*, 33(May 2014), 68–73.
- Mursyidah, Novriansyah, A., Rita, N., & Husbani, A. (2015). Effect of nanosilica injection to oil recovery factor in low porosity and permeability reservoir. *Jurnal Intelek*, 9(2), 11–13.
- Nejad, F. M., Tolouei, M., Nazari, H., & Naderan, A. (2018). Effects of calcium carbonate nanoparticles and fly ash on mechanical and permeability properties of concrete. *Advances in Civil Engineering Materials*, 7(1), 651–668.
- Novriansyah, A., Mursyidah, U., Putri, S. S. A., Novrianti, & Bae, W. S. (2016). Utilization of Nanosilica-Palm Shell Nanocomposite to Enhance Cement Strength in Well Cementing Operation. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, 3(2), 58–61.
- Novrianti. (2016). Studi Laboratorium Pengaruh Nanocomposite Nanosilika dan

- Arang Cangkang Kelapa Sawit Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Terhadap Free Water dan Kekuatan Semen Pemboran. *Journal of Earth Energy Engineering*, 5(1), 21–27.
- Novrianti, Umar, M., & Utama, T. P. (2017). Issn 2540 - 9352. *Journal of Earth Energy Engineering*, 6(1), 38–43.
- Nurhimawan, S., & Fatoni, S. A. Ekstraksi silikon dioksida dari daun bambu, V Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) § (2016).
- Oktamuliani, S., Samsidar, Nasri, M., & Nehru. (2015). Identifikasi Mineral Pada Batuan Granit Di Geopark Merangin Provinsi Jambi Menggunakan X-Ray Diffraction (Xrd) Dan. *JoP*, 1(November 2015), 12–17.
- Onikeku, O., Shitote, S. M., Mwero, J., & Adedeji, A. A. (2019). Evaluation of Characteristics of Concrete Mixed with Bamboo Leaf Ash. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 13(1), 67–80.
- Prasetyo, A., Nafsiati, R., Kholifah, S. N., & Botianovi, A. (2013). Analisis Permukaan Zeolit Alam Malang Yang Mengalami Modifikasi Pori Dengan Uji Sem-Eds. *Sainstis*. <https://doi.org/10.18860/sains.v0i0.2306>
- Qian, K. L., Meng, T., Qian, X. Q., & Zhan, S. L. (2009). Research on Some Properties of Fly Ash Concrete with Nano-CaCO₃ Middle Slurry. *Key Engineering Materials*, 405–406, 186–190.
- Rita, N., Mursyidah, Erfando, T., Herfansyah, H., & Ramadhan, R. (2019). Laboratory study of additional use nano silica composite and bagasse ash to improve the strength of cement drilling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012043>
- Safitri, E., & Djumari, -. (2009). Kajian Teknis Dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu Bara (Fly Ash) Pada Produksi Paving Block. *Media Teknik Sipil*, IX(1), 36–40.
- Samura, L., & Zabidi, L. (2018). Pengujian Compressive Strength Dan Thickening Time Pada Semen Pemboran Kelas G Dengan Penambahan Additif Retader. *Petro*, 6(2), 49–54. <https://doi.org/10.25105/petro.v6i2.3103>
- Sato, T., & Diallo, F. (2010). Seeding effect of nano-CaCO₃ on the hydration of tricalcium silicate. *Transportation Research Record*, (2141), 61–67.

- Sofian, A., Ramadhan, A. B., & Arrosyid, A. (2019). Analisis Pengaruh Campuran Fly Ash, Sikament Nn Dan Serbuk Caco3 Pada Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan Awal Beton. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 2(2), 31–41.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), 44.
- Supit, S. W. M., & Shaikh, F. U. A. (2014). Effect of Nano-CaCO₃ on compressive strength development of high volume fly ash mortars and concretes. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 12(6), 178–186. <https://doi.org/10.3151/jact.12.178>
- Topan, H. (2013). Pemanfaatan Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Light Weight Additive Semen Pemboran. *Jurnal Ilmu Kebumihan "TEKNOLOGI MINERAL" Vol. 24, No. 4, September-Desember 2011*, 24(4).
- Waani, J. E., & Elisabeth, L. (2017). Substitusi Material Pozolan Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 237–246. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.3.7>
- Yang, J. (2019). Effect of Nano-CaCO₃ on Concrete Compressive Strength. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 371(4).
- Zhao, H., Sun, G., Yu, L., Jiang, K., Chen, X., Jia, R., ... Liu, Q. F. (2019). Hydration of Early Age Cement Paste with Nano-CaCO₃ and SAP by LF-NMR Spectroscopy: Mechanism and Prediction. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2019.