

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI NANO KALSIUM
KARBONAT TERHADAP *SHEAR BOND STRENGTH* DAN
COMPRESSIVE STRENGTH SEMEN KOMPOSIT**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

RONALDO JEREMY PURBA

153210262



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau


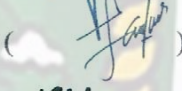
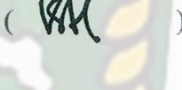
**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :
Nama : Ronaldo Jeremy Purba
NPM : 153210262
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Konsentrasi Nano Kalsium Karbonat Terhadap *Shear Bond Strength* dan *Compressive Strength* Semen Komposit.

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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 I : Dr. Mursyidah, M.Sc. ()
Penguji : Idham Khalid, S.T., M.T. ()
Penguji : Fiki Hidayat, S.T., M.Eng. ()
Ditetapkan di : Pekanbaru
Tanggal : 18 Juni 2021

Disahkan oleh :

KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN



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

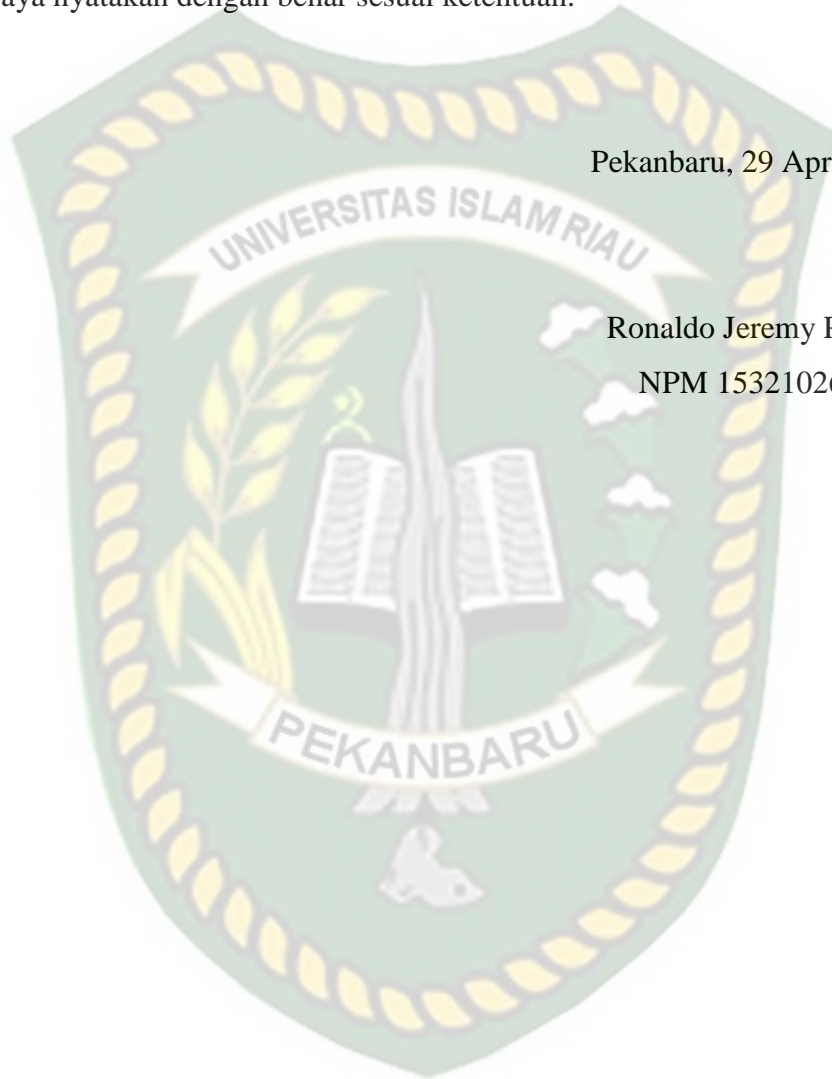
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan.

Pekanbaru, 29 April 2021

Ronaldo Jeremy Purba

NPM 153210262



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih dan karunia-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 terima kasih kepada:

1. Dr. Musryidah, M.Sc selaku dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan dalam penulisan Tugas Akhir saya mulai dari proposal hingga Tugas Akhir ini selesai disusun dengan sangat baik.
2. Novrianti, S.T., M.T selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
3. Novia Rita, S.T., M.T selaku Ketua prodi dan Tomi Erfando, S.T., M.T selaku sekretaris prodi serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
4. Kedua orang tua saya Aleksander Purba dan Ester Tobing, yang memberikan dukungan penuh dalam menyelesaikan perkuliahan.
5. Idham Khalid, S.T., M.T selaku kepala Laboratorium Pemboran Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau yang telah saya gunakan dalam pengujian.
6. Seluruh teman – teman teknik perminyakan terkhusus angkatan 2015 kelas E Teriring doa saya semoga Tuhan memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 29 April 2021

Ronaldo Jeremy Purba

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
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	4
1.4 BATASAN MASALAH	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 STATE OF THE ART.....	5
2.2 FLY ASH.....	5
2.3 NANO KALSIUM KARBONAT	7
2.4 CEMENT STRENGTH	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	9
3.1 ALUR PENELITIAN	10
3.2 EXPERIMENTAL	11

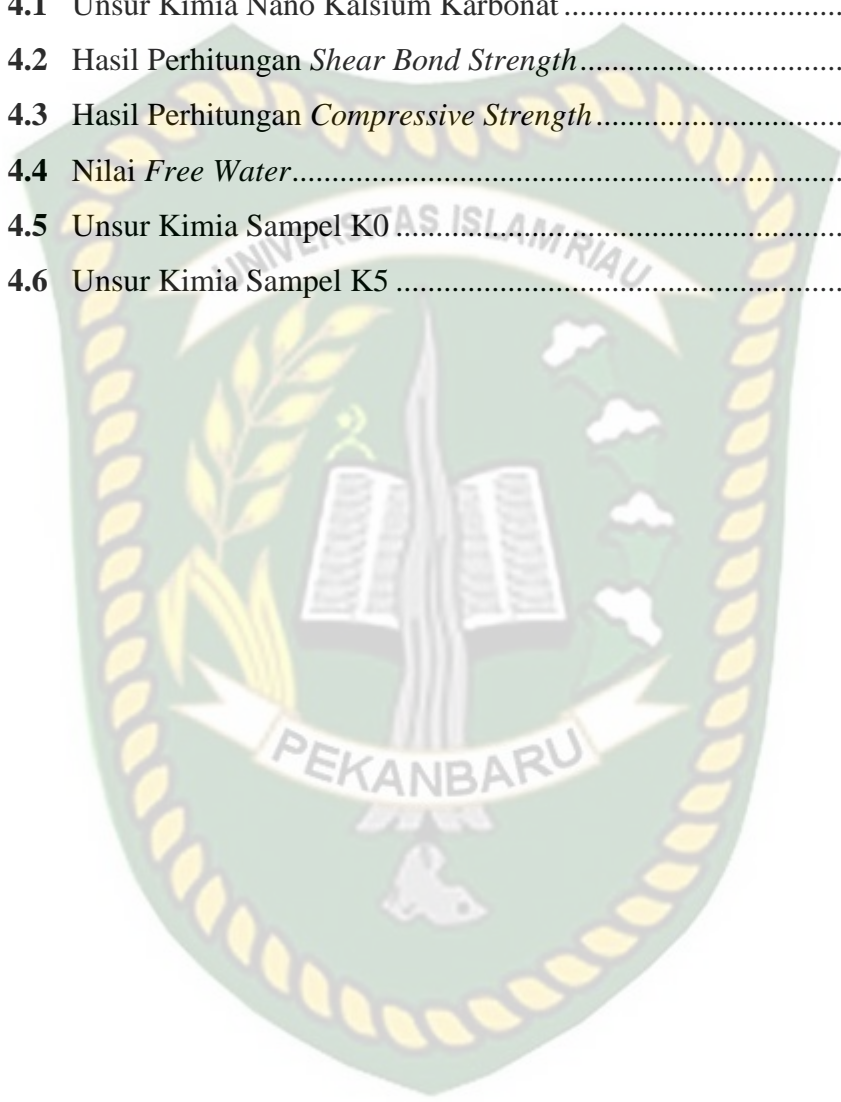
3.2.1	Alat.....	11
3.2.2	Bahan.....	12
3.3	PROSEDUR PENELITIAN.....	13
3.3.1	Pembuatan <i>Fly Ash</i> daun bambu.....	13
3.3.2	Pembuatan Suspensi Semen.....	13
3.3.3	Pengujian <i>Compressive Strength</i> dan <i>Shear Bond Strength</i>	14
3.3.4	Pengujian <i>Free Water</i>	14
3.3.5	Pengujian Morfologi Permukaan Semen dengan alat SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	14
3.4	TEMPAT PENELITIAN DAN TEKNIK PENGUMPULAN DATA ...	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		16
4.1	KARAKTERISASI NANO CaCO_3 MENGGUNAKAN <i>SCANNING ELECTRON MICROSCOPE</i> (SEM) DAN <i>ENERGY DISPERSIVE X-RAY/SPECTROSCOPY</i> (EDX).....	16
4.2	PENGUJIAN <i>SHEAR BOND STRENGTH</i>	19
4.3	PENGUJIAN <i>COMPRESSIVE STRENGTH</i>	21
4.4	PENGUJIAN <i>FREE WATER</i>	24
4.5	PENGUJIAN MORFOLOGI PERMUKAAN SEMEN DENGAN <i>SCANNING ELECTRON MICROSCOPE</i> (SEM).....	25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		28
5.1	KESIMPULAN	28
5.2	SARAN	28
DAFTAR PUSTAKA		29
LAMPIRAN.....		33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	10
Gambar 3.2	<i>Sieve 400 Mesh</i>	11
Gambar 3.3	<i>Oven Furnace</i>	11
Gambar 3.4	Tabung ukur.....	11
Gambar 3.5	Timbangan <i>digital</i>	11
Gambar 3.6	Cetakan sampel kubik.....	11
Gambar 3.7	<i>Constant speed mixer</i>	11
Gambar 3.8	<i>Hydraulic press</i>	11
Gambar 3.9	Cetakan sampel silinder.....	11
Gambar 3.10	<i>Waterbath temperature controller</i>	12
Gambar 3.11	<i>Scanning electron microscope</i>	12
Gambar 3.12	<i>Stopwatch</i>	12
Gambar 3.13	<i>Fly ash</i>	12
Gambar 3.14	Semen kelas G	12
Gambar 3.15	Nano kalsium karbonat	12
Gambar 4.1	Hasil SEM Nano Kalsium Karbonat.....	16
Gambar 4.2	Hasil Pengolahan Gambar SEM Pada Proses <i>Thresholding</i> menggunakan <i>Software Image-J</i>	17
Gambar 4.3	Hasil Perhitungan Luas Area Partikel Nano Kalsium Karbonat Menggunakan <i>Software Image-J</i>	18
Gambar 4.4	Hasil Analisis Gambar SEM Dengan <i>Image-J</i>	18
Gambar 4.5	Nilai <i>Shear Bond Strength</i>	20
Gambar 4.6	Nilai <i>Compressive Strength</i>	22
Gambar 4.7	Nilai <i>Free Water</i>	24
Gambar 4.8	Hasil SEM Sampel K0 (Semen Dasar).....	25
Gambar 4.9	Hasil SEM Sampel K5 (Semen + FA + NC)	26

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi Sampel <i>Compressive Strength</i> , <i>Shear Bond Strength</i> , dan <i>Free Water</i>	13
Tabel 3.2	Jadwal Penelitian.....	15
Tabel 4.1	Unsur Kimia Nano Kalsium Karbonat.....	19
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan <i>Shear Bond Strength</i>	19
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan <i>Compressive Strength</i>	21
Tabel 4.4	Nilai <i>Free Water</i>	24
Tabel 4.5	Unsur Kimia Sampel K0.....	27
Tabel 4.6	Unsur Kimia Sampel K5.....	27

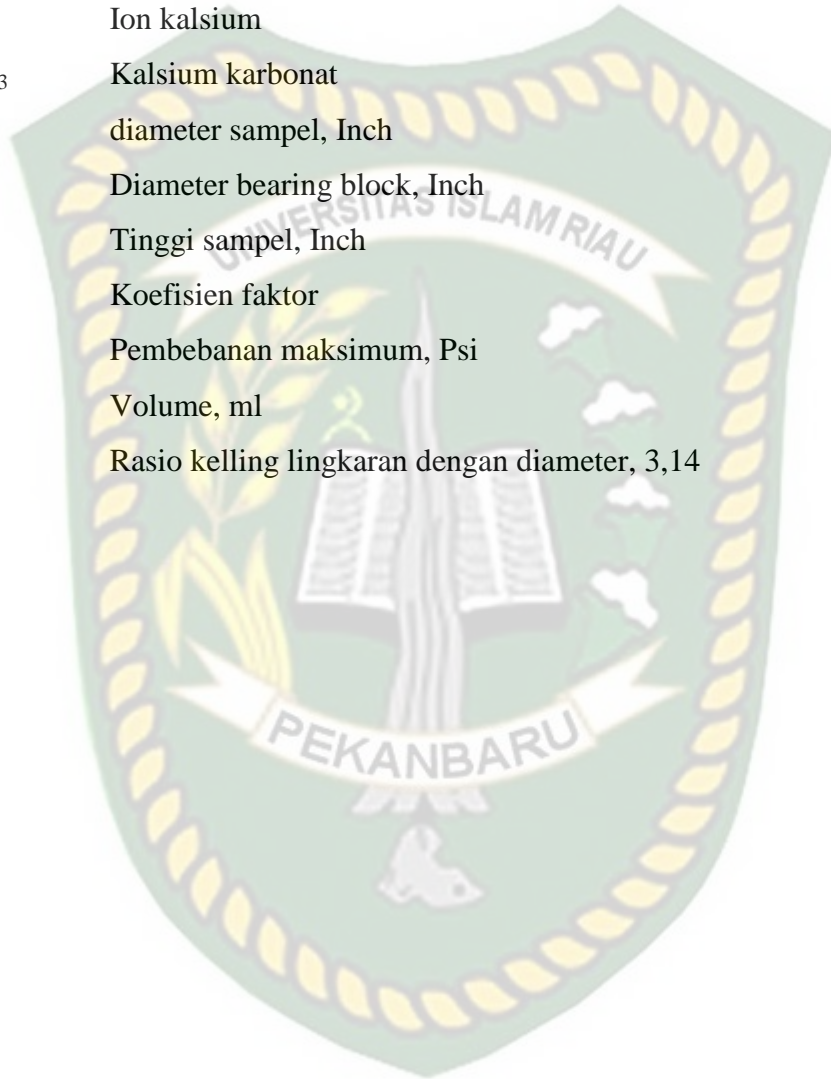


DAFTAR SINGKATAN

Aft	Alumina Ferric oxide Tri-sulfate
API	American Petroleum Institute
BWOC	By Weight Of Cement
cm	Centimeter
CS	Compresssive Strength
CSH	Calcium Silicat Hydrate
EDX	Energy Dispersive X-Ray
FA	Fly Ash
Ft	Feet
HVFA	High Volume Fly Ash
kg	Kilogram
ml	Mililiter
NC	Nano Calcium Carbonate
nm	Nanometer
Psi	Pounds per square inch
SBS	Shear Bond Strength
SEM	Scanning Electron Microscope
WCR	Water Cement Ratio

DAFTAR SIMBOL

A1	Luas permukaan bearing block, Inch ²
A2	Luas permukaan sampel, Inch ²
Ca ²⁺	Ion kalsium
CaCO ₃	Kalsium karbonat
d	diameter sampel, Inch
D	Diameter bearing block, Inch
h	Tinggi sampel, Inch
K	Koefisien faktor
P	Pembebanan maksimum, Psi
V	Volume, ml
π	Rasio kelling lingkaran dengan diameter, 3,14



PENGARUH VARIASI KONSENTRASI NANO KALSIUM KARBONAT TERHADAP *SHEAR BOND STRENGTH* DAN *COMPRESSIVE STRENGTH* SEMEN KOMPOSIT

RONALDO JEREMY PURBA
NPM 153210262

ABSTRAK

Kekuatan semen dasar telah berhasil ditingkatkan melalui penambahan berbagai aditif; diantaranya kalsium klorida, natrium klorida, natrium nitrat dan *fly ash*. Semen dengan penambahan aditif tersebut menimbulkan masalah seperti terjadinya *micropore* yang akan menurunkan kualitas semen. Untuk mengisi *micropore* serta meningkatkan kualitas semen digunakan aditif berskala nano. Nano CaCO_3 digunakan karena mampu bereaksi membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) serta dapat berperan sebagai *nanofillers*, sehingga semen memiliki pori yang kecil dan struktur yang lebih padat.

Penelitian ini memvariasikan konsentrasi nano CaCO_3 pada semen komposit *fly ash* daun bambu ampel dengan persentase 25% BWOC dan nano CaCO_3 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05% BWOC. Penelitian yang dilakukan meliputi pengujian *shear bond strength* dan *compressive strength* yang dilakukan dengan merendam cetakan semen dalam *waterbath* dengan temperatur 60°C selama 24 jam pada tekanan atmosfer. Pengujian *free water* dilakukan dengan mendiamkan suspensi semen dalam gelas ukur selama 2 jam, kemudian mengukur volume *free water* yang terbentuk. Nano CaCO_3 dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS untuk melihat morfologi serta kandungan unsurnya.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan hasil bahwa semakin kecil konsentrasi nano CaCO_3 maka nilai *shear bond* dan *compressive strength* akan meningkat. Nilai optimum *shear bond strength* 609,58 psi, *compressive strength* 3095,4 psi yang didapat pada penambahan nano CaCO_3 dengan konsentrasi 0,05%. Dari pengujian *free water* didapatkan bahwa semakin kecil konsentrasi nano CaCO_3 yang digunakan semakin kecil pula nilai *free water*-nya. Nilai *free water* terkecil 0,3 ml yang didapatkan pada penambahan 0,25% nano CaCO_3 . Hasil karakterisasi SEM nano CaCO_3 menunjukkan bentuk partikel yang seragam yaitu *spherical*, kandungan unsur nano CaCO_3 sebagai berikut : Karbon (C) 41,05%, Oksigen (O) 45,56%, Kalsium (Ca) 12,42%. Dari pengukuran yang dilakukan menggunakan *software image-J* terhadap hasil SEM nano CaCO_3 , didapatkan diameter rata – rata sebesar 66 nm.

Kata kunci : *Fillers, Ampel Bamboo Leaf Ash, Shear Bond Strength, Compressive Strength, SEM, Nano CaCO₃*

**THE EFFECT OF VARIATIONS CONCENTRATION NANO
CALCIUM CARBONATE ON SHEAR BOND STRENGTH AND
COMPRESSIVE STRENGTH OF COMPOSITE CEMENT**

**RONALDO JEREMY PURBA
NPM 153210262**

ABSTRACT

The strength of the basic cement has been successfully increased through the addition of various additives; including calcium chloride, sodium chloride, sodium nitrate and fly ash. Cement with that additives generate problems such as micropores that will degrade the quality of cement. To fill the micropores as well as improve the quality of cement a nanoscale additives was used. Nano CaCO_3 is used because it is able to react and form calcium silicate hydrate (C-S-H) also can act as nanofillers, so cement has small pores and denser structures.

This study varied the concentration of nano CaCO_3 in bamboo leaf ash composite cement using percentage of 25% BWOC and 0.25%, 0.20%, 0.15%, 0.10%, 0.05% BWOC of nano CaCO_3 . This research includes shear bond strength and compressive strength testing by soaking cement molds in waterbath at 60°C for 24 hours at atmospheric pressure. Free water testing is done by leaving the cement suspension in a measuring glass for 2 hours, then measure the volume of free water. Nano CaCO_3 is characterized using SEM-EDS to see the morphology and content of its elements.

Based on the results of laboratory tests, when smaller concentration of nano CaCO_3 is added, shear bond and compressive strength value would increase. The optimum value of shear bond strength is 609.58 psi, and compressive strength is 3095.4 psi that obtained when adding 0.05% of nano CaCO_3 . From free water testing, when smaller concentration of nano CaCO_3 used, generate a lot of free water value. The smallest free water value is 0.3 ml was obtained in the addition of 0.25% nano CaCO_3 . The results of characterization SEM nano CaCO_3 showed a uniform particle shape that is spherical, nano CaCO_3 containing element such as: Carbon (C) 41.05%, Oxygen (O) 45.56%, Calcium (Ca) 12.42%. From measurements using image-J software, it was found that the average diameter of nano CaCO_3 was 66 nm

Keywords : *Fillers, Ampel Bamboo Leaf Ash, Shear Bond Strength, Compressive Strength, SEM, Nano CaCO_3*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam proses pemboran salah satu operasi yang paling penting adalah operasi penyemenan. Operasi penyemenan dilakukan dengan maksud melekatkan *casing* pada dinding lubang sumur, membatasi *casing* dengan fluida formasi yang bersifat korosif dan sebagai pemisah antar lapisan formasi dibelakang *casing* (Bourgoyne Jr. et al., 1986). Semen pemboran juga harus tahan terhadap tekanan dari reservoir maupun beban mekanis saat pekerjaan pemboran berlangsung (Novriansyah et al., 2018).

Produksi semen memerlukan konsumsi energi yang tinggi dan bertanggung jawab atas 7% emisi CO₂ didunia. Sebuah konsensus yang luar biasa telah dicapai tentang penggunaan campuran mineral *silica fume*, dan *fly ash* untuk menggantikan sebagian jumlah semen dan bertujuan mengurangi jejak karbon industri semen (Yang et al., 2018)

Kekuatan semen dasar diketahui telah berhasil ditingkatkan melalui penambahan berbagai aditif; diantaranya kalsium klorida, natrium klorida, Sodium nitrat dan *fly ash*. Kalsium klorida mampu meningkatkan nilai *compressive strength* semen hingga 4483 Psi pada temperatur 150°F dan waktu perendaman selama 24 jam dengan konsentrasi optimal 7% BWOC (Rosyidan, 2019). Natrium klorida dapat meningkatkan *compressive strength* hingga 1394 Psi dengan konsentrasi optimal 2% BWOC (Rheza et al., 2015). (Umoh & Ujene, 2015) pada penelitiannya dibidang sipil, mendapatkan konsentrasi optimal penggunaan sodium nitrat sebesar 2% BWOC dengan *compressive strength* sebesar 2876 Psi. Namun demikian penggunaan senyawa klorin dikhawatirkan dapat mengakibatkan korosifitas (Pruckner & Gjørsv, 2003). Sodium nitrat digolongkan kedalam limbah B3 bahan berbahaya dan beracun (Utomo, 2012). Bahan aditif tersebut memiliki partikel berukuran mikro dan akan menghasilkan semen yang memiliki mikropori, sehingga mikrostruktur dari semen perlu untuk ditingkatkan agar kekuatan semen menjadi optimal.

Pengenalan teknologi nano telah mempengaruhi lanskap ilmiah secara signifikan, salah satu kegunaan yang sedang diselidiki saat ini adalah pemanfaatan teknologi nano dalam semen, nano partikel dapat menjadi bahan pengisi sekaligus bahan pengikat bagi matriks semen. semen yang mengeras dapat dianggap sebagai batuan tiruan, yang tersusun dari agregat kasar (semen) dan agregat halus (*fly ash*) yang mengisi rongga antara partikel semen. Semen, air dan *fly ash* yang berupa pasta masih menyisakan rongga atau pori-pori yang tidak dapat terisi oleh partikel *fly ash*. Ruang yang tidak ditempati partikel *fly ash* merupakan rongga yang berisi udara dan air yang saling berhubungan yang disebut kapiler. Kapiler yang terbentuk akan tetap tinggal ketika semen telah mengeras, akibatnya akan dapat berpengaruh terhadap turunnya kekuatan semen. Terbentuknya kapiler ini dapat diantisipasi dengan penambahan aditif yang memiliki ukuran partikel yang jauh lebih kecil. Bahan tambah ini merupakan bahan khusus yang ditambahkan dalam mortar sebagai pengisi dan pada umumnya berupa bubuk mineral aktif. Pemanfaatan fenomena bahwa semakin padat semen atau semakin kecil pori - pori yang ada maka semakin tinggi mutu semen yang dihasilkan, maka digunakanlah aditif nano kalsium karbonat. Partikel kalsium karbonat yang berukuran nano berperan sebagai pengisi mikropori sehingga semen akan memiliki pori yang jauh lebih kecil dan akan meningkatkan semen *strength*

Penggunaan material nano memungkinkan untuk menciptakan produk identik dengan mikrostruktur yang lebih baik dan tanpa mengubah kandungan kimia produk itu sendiri (Sabdono et al., 2014). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Yang & Che, 2018) mereka menambahkan 5% nano kalsium karbonat pada pasta semen yang menyebabkan nilai porositas berkurang dan mikrostruktur dioptimalkan oleh nano kalsium karbonat. Penelitian mengenai nano partikel juga telah dilakukan oleh (Li et al., 2015) mereka membandingkan efek yang diberikan oleh nano silika dan nano kalsium karbonat terhadap sifat semen. Kekuatan lentur dan kuat tekan matriks UHPC dengan penambahan nano silika dan nano kalsium karbonat meningkat dibandingkan dengan tanpa adanya nano silika dan nano kalsium karbonat. Konsentrasi optimal nano silika (1%) dan nano kalsium karbonat (3%) penggantian massa matriks untuk mendapatkan struktur yang lebih padat dan kuat tekan mekanik tertinggi. Penelitian serupa juga telah pernah

dilakukan oleh (Wu et al., 2016) mereka membandingkan efek yang ditimbulkan dari penambahan nano silika dan nano kalsium karbonat terhadap sifat semen penelitian tersebut menyatakan kadar optimal untuk nano kalsium karbonat dan nano silika masing-masing adalah 1,6% - 4,8% dan 0,5% - 1,5%. Jika kadar yang diberikan berlebih, kekuatannya bahkan lebih kecil dari sampel referensi karena masalah aglomerasi. Nano silika terutama berkontribusi pada pengembangan kekuatan awal sebelum 7 hari, sedangkan nano kalsium karbonat menyebabkan peningkatan kekuatan yang signifikan antara 7 dan 28 hari.

Untuk meningkatkan nilai dari kekuatan semen pemboran perlu ditambahkan material yang bersifat pozzolanik sebagai aditif. Merujuk pada definisi dari (ASTM C618, 2010) material dapat dikatakan sebagai *pozzolan* bila mengandung silika oksida setidaknya dengan persentase 70%.

Salah satu bahan alami yang memiliki silika oksida dengan nilai setidaknya 70% adalah daun bambu. Kalsinasi daun bambu ampel memiliki kandungan silika oksida sebesar 75,9% dengan tingkat kemurnian sebesar 99,99% (Irzaman et al., 2018)

Atas dasar literatur tersebut maka penelitian ini menggunakan nano komposit *fly ash* daun bambu Ampel dan kalsium karbonat, konsentrasi *fly ash* yang digunakan sebesar 25% BWOC, sementara persentase penggunaan nano kalsium karbonat diperkecil menjadi seperempat dari 1%, kemudian konsentrasi nano kalsium karbonat terus dikurangi sehingga mendapatkan *cement strength* yang optimal. Variasi konsentrasi nano kalsium karbonat yang akan digunakan adalah sebagai berikut, 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05% BWOC.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

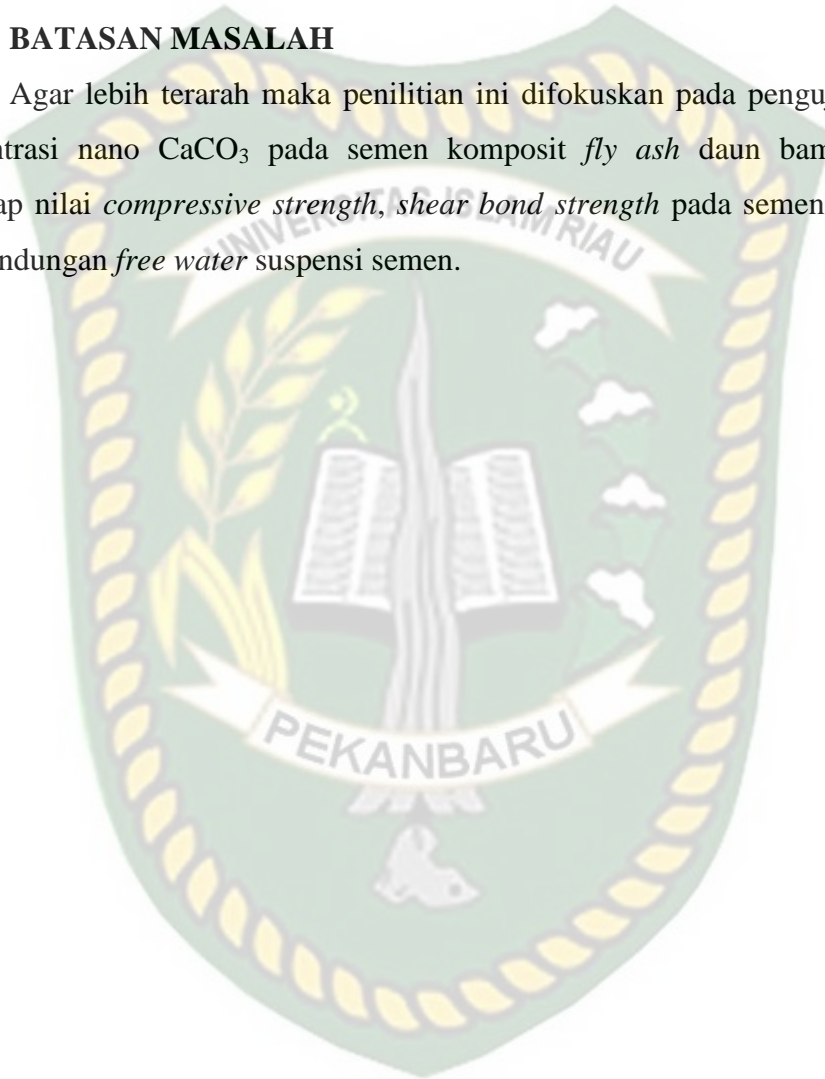
1. Mengkarakterisasi ukuran dan morfologi nano kalsium karbonat.
2. Menganalisis efek variasi konsentrasi nano kalsium karbonat dalam nanokomposit *fly ash* daun bambu Ampel terhadap *shear bond strength* dan *compressive strength* serta kandungan *free water* pada semen komposit.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang didapatkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah inovasi material tambahan nano CaCO_3 dalam semen komposit *fly ash* daun bambu ampel, sehingga dapat mengurangi pemakaian semen dasar pada proses pemboran dengan menambahkan aditif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar lebih terarah maka penelitian ini difokuskan pada pengujian variasi konsentrasi nano CaCO_3 pada semen komposit *fly ash* daun bambu Ampel terhadap nilai *compressive strength*, *shear bond strength* pada semen pemboran, dan kandungan *free water* suspensi semen.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 STATE OF THE ART

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Zaki et al., 2018) Penelitian ini membandingkan efek penambahan nano CaCO_3 dan nano Kaoline dengan variasi persentase terhadap kuat tekan semen. Dari performa dan keekonomisan, penambahan 1% nano CaCO_3 dapat memberikan peningkatan yang lebih efisien dari pada penambahan 7% nano kaoline.

Pada penelitian (Yerramala et al., 2012) Penelitian ini berfokus pada mengevaluasi nilai kekuatan semen akibat penggantian sebagian semen oleh *fly ash* kelas F (5%-25%)

Pada penelitian (Supit & Shaikh, 2014) mereka memvariasikan konsentrasi nano kalsium karbonat (1%, 2%, 3% dan 4%) dengan semen yang mengandung kadar *fly ash* tinggi (40% dan 60%) dan mendapatkan hasil dari citra SEM bahwa penggabungan 1% nano kalsium karbonat sebagai pengganti semen dapat memadatkan struktur mikro dari beton maupun mortar semen HVFA.

Pada penelitian yang akan dilakukan, penggunaan *fly ash* daun bambu Ampel dan semen kelas G akan dikompositkan dengan nano kalsium karbonat, dengan kadar *fly ash* 25 wt% dan variasi konsentrasi nano kalsium karbonat 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05%.

2.2 FLY ASH

Fly ash merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batubara. *Fly ash* biasanya berukuran lebih halus dari semen *Portland* dan kapur (*lime*), biasanya berukuran 10 hingga 100 mikron. Kandungan *fly ash* terdiri dari oksida silika, besi aluminium dan kalsium, magnesium, kalium, natrium, titanium, dan belerang juga bisa ditemukan dengan konsentrasi yang sangat rendah.

Sebenarnya *fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, oksida silika yang terkandung dalam *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida

yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat (Hardjito, 2001).

Menurut (Widojoko, 2010) reaksi kimia yang terjadi pada semen yang paling berpengaruh dalam pengerasan semen adalah reaksi hidrasi C3S dan C2S yaitu sebagai berikut ;



Reaksi kimia kalsium hidroksida dengan silika oksida ialah sebagai berikut (Nurul Fatimah et al., 2018)



(Free lime) (Silica from Fly ash) (C – S – H) additional Cement gel

Pada penelitian yang dilakukan (Yerramala et al., 2012) didalam bidang sipil, mereka menggunakan *fly ash* kelas f dengan kadar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, dan mendapatkan hasil bahwa penambahan 20% dan 25% *fly ash* kedalam semen akan menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dari semen *standard* namun untuk kadar *fly ash* yang lainnya dapat meningkatkan kuat tekan semen.

Pada penelitian yang dilakukan (Novrianti, 2016), beliau menggunakan aditif nano silika dan arang cangkang kelapa sawit yang dikalsinasi pada temperatur yang bervariasi menghasilkan nilai optimum untuk *compressive strength* dan *shear bond strength* masing-masing 1433,01 Psi dan 163,45 Psi dengan penambahan 0,019% nano silika dan temperatur kalsinasi sebesar 700°C.

Pada penelitian yang dilakukan (Herawati et al., 2017) mereka menggunakan ampas tebu yang dikalsinasi menjadi *fly ash* dan mendapatkan hasil optimum untuk penambahan 10% *fly ash* dengan nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* masing-masing 899,04 Psi dan 163,51 Psi.

(Mursyidah et al., 2017) pada penelitiannya menggunakan cangkang kelapa yang dipanaskan dengan berbagai variasi temperatur untuk mendapatkan karbon yang memiliki kadar kemurniaan lebih tinggi, yang menghasilkan nilai maksimum untuk *compressive strength* dan *shear bond strength* masing-masing 1676,433 Psi dan 192,876 Psi dengan temperatur pemanasan sebesar 700°C.

Pada penelitian (Rita et al., 2012) menggunakan abu sekam padi dan mendapatkan persentase optimal pada 34% penambahan abu sekam padi dengan

nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* masing-masing 1312,27 Psi dan 158,6 Psi.

2.3 NANO KALSIUM KARBONAT

Nano kalsium karbonat ialah senyawa kimia dengan formula (CaCO_3) yang ukuran partikelnya telah direkayasa dalam skala nanometer. Senyawa ini merupakan bahan yang umum dijumpai pada batu diseluruh bagian dunia, dan merupakan komponen utama cangkang organisme laut, siput, mutira, kulit telur yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran semen, karena reaksinya dengan air akan menghasilkan kalsium hidroksida yang kemudian bereaksi dengan air dan *silica* dan menghasilkan CSH gel (kalsium silikat hidrat gel).

Ukuran partikel akan berpengaruh pada saat proses reaksi kimia, karena dengan memperkecil ukuran suatu materi maka akan memperluas permukaan sentuh materi tersebut. Memperbesar luas permukaan padatan akan meningkatkan peluang tumbukan (lebih reaktif) yang akan mempercepat jalannya reaksi materi tersebut.

Pada penelitian (Cao et al., 2019) mendapati bahwa efek fisika dan kimia nano kalsium karbonat lebih efektif daripada makro maupun mikro kalsium karbonat, penggabungan nano kalsium karbonat dengan komposit semen dapat memperkuat *compressive strength* diawal pengeresannya.

Penelitian yang dilakukan (Wijaya & Sumiyanto, 2013) dibidang sipil menggunakan kalsium karbonat menghasilkan nilai *compressive strength* optimal sebesar 35,519 MPa dengan menggunakan 5% kalsium karbonat.

Pada penelitian yang dilakukan (Samura et al., 2017) menggunakan dua variabel temperatur pengujian dan didapatkan nilai *compressive strength* maksimal sebesar 1464 Psi dan 5185 Psi pada temperatur 80°F dan 140°F dengan penambahan kalsium karbonat sebesar 1.5%.

Menurut penilitian (Ghabban et al., 2018) nano CaCO_3 dapat bereaksi dengan C_3A untuk membentuk *mono carbonate* yang mana ini adalah zat dengan ikatan *hydrogen* yang kuat antara atom oksigen dan karbonat, nano CaCO_3 mengubah formasi dari produksi hidrasi sehingga berkontribusi untuk meningkatkan *compressive strength* di awal hidrasi.

Menurut percobaan (Liu et al., 2012), penambahan nano kalsium karbonat dapat mengaktifkan hidrasi semen, dengan meningkatnya nano kalsium karbonat, flowabilitas menurun. Namun, nano kalsium karbonat tidak berpengaruh pada kebutuhan air. *Compressive strength* dari pasta semen yang dikeraskan dengan nano kalsium karbonat meningkat pada usia 7 hari dan 28 hari, dan kandungan optimal dari nano kalsium karbonat adalah 1%.

Menurut penelitian (Wang et al., 2012) penambahan CaCO_3 dan *shell* dapat meningkatkan kekuatan semen namun dengan waktu hidrasi yang panjang dan persentase optimal yang didapatkan adalah 15% penggabungan *shell* dan CaCO_3

2.4 CEMENT STRENGTH

Strength pada semen terbagi menjadi dua, yaitu *compressive strength* dan *shear bond strength*. *Compressive strength* didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan tekanan-tekanan yang berasal dari formasi maupun dari *casing*, sedangkan *shear bond strength* didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan berat *casing*. *Compressive strength* menahan seluruh tekanan dalam arah horizontal dan *shear bond strength* menahan tekanan - tekanan pada arah vertikal. Nilai *compressive strength* dipengaruhi oleh temperatur pengkondisian, tekanan pengkondisian, kadar air semen (WCR), kehalusan butiran semen dan lamanya waktu pengkondisian (Huda et al., 2018). Dalam mengukur *strength* semen seringkali yang diukur adalah *compressive strength*. Nilai *compressive strength* bernilai 8-10 kali lebih besar dari nilai *shear strength*.

Pengujian *compressive strength* di laboratorium dilakukan dengan menggunakan alat *Hydraulic Press Machine* yang merupakan mesin pemecah semen yang sudah mengeras dalam *curing chamber*. Nilai *compressive strength* minimum dirokemendasikan oleh API untuk dapat melanjutkan operasi pemboran adalah 500 psi. Sedang *shear bond strength* bernilai tidak kurang dari 100 psi.

BAB III

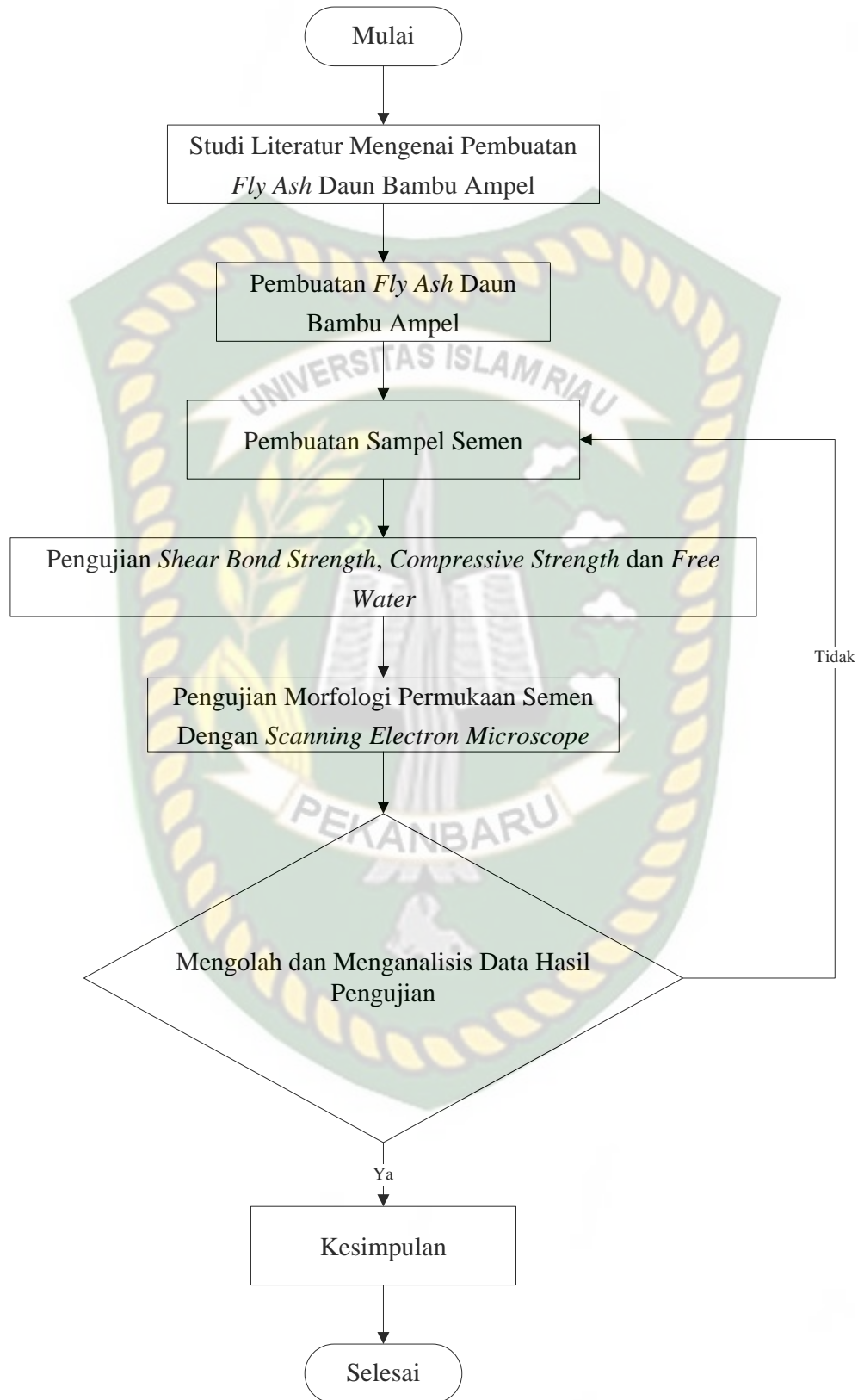
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium di Laboratorium Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau dengan metode eksperimental. Beberapa tahapan penelitian yang dilakukan yaitu pembuatan *fly ash* daun bambu ampel sesuai dengan prosedur pada penelitian yang dilakukan oleh (Dwivedi et al., 2006), kemudian bahan selanjutnya nano kalsium karbonat (CaCO_3) yang didapat dari distributor.

Dilanjutkan dengan proses pembuatan suspensi semen dasar dan pembuatan suspensi semen yang ditambah dengan *fly ash* daun bambu ampel dan nano kalsium karbonat (CaCO_3), pada penelitian (Supit & Shaikh, 2014) dibidang sipil mendapatkan hasil bahwa penambahan 1% NC merupakan konsentrasi optimal yang dapat ditambahkan kedalam semen. Karena material dengan skala nano memiliki efek yang menonjol pada kinerja material maka pada penelitian ini NC yang digunakan diperkecil konsentrasinya menjadi $\frac{1}{4}$ dari 1%, kemudian variasi NC terus dikurangi sehingga mendapatkan hasil yang optimal terhadap kekuatan semen.

Konsentrasi *fly ash* yang digunakan sebesar 25% BWOC, dan dengan variasi penambahan konsentrasi nano kalsium karbonat (NC) sebesar 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05% BWOC, diakhiri dengan pengujian *shear bond strength*, *compressive strength*, pada suspensi semen menggunakan *hydraulic press*, dan pengujian *free water* menggunakan tabung ukur.

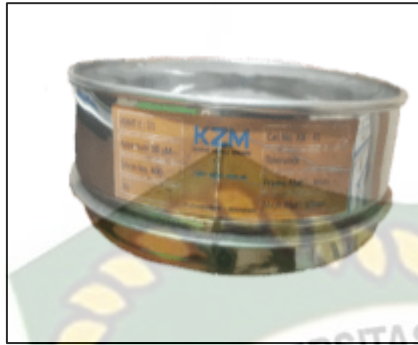
3.1 ALUR PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 EXPERIMENTAL

3.2.1 Alat



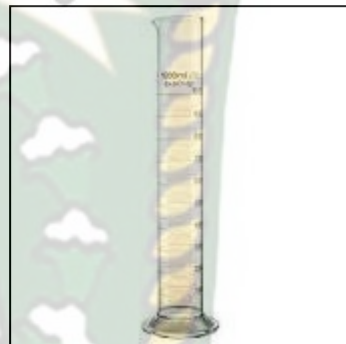
Gambar 3.2 Sieve 400 Mesh



Gambar 3.3 Oven Furnace



Gambar 3.5 Timbangan *digital*



Gambar 3.4 Tabung ukur



Gambar 3.6 Constant speed mixer



Gambar 3.7 Cetakan sampel kubik



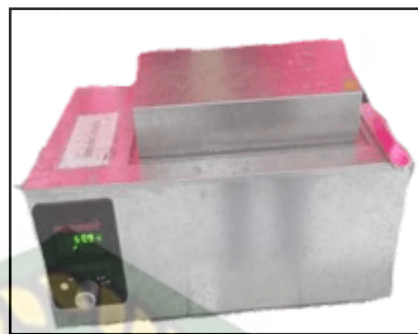
Gambar 3.8 Cetakan sampel silinder



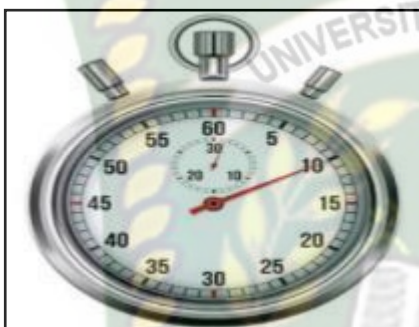
Gambar 3.9 Hydraulic press



Gambar 3.11 *Scanning electron microscope*



Gambar 3.10 *Waterbath temperature controller*



Gambar 3.12 *Stopwatch*

3.2.2 Bahan



Gambar 3.13 *Fly ash*



Gambar 3.14 *Semen kelas G*



Gambar 3.15 *Nano kalsium karbonat*

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

3.3.1 Pembuatan *Fly Ash* daun bambu.

1. Membersihkan daun bambu dari material pengotor baik tanah ataupun tumbuhan lainnya dan menjemur, kemudian mengkarbonisasi daun bambu.
2. Karbon selanjutnya dikalsinasi dengan menggunakan *furnace* dengan temperatur 600°C selama 120 menit.
3. Lalu disaring menggunakan *sieve analysis* dengan ukuran 400 mesh.

3.3.2 Pembuatan Suspensi Semen.

1. Menimbang semen sebanyak 300 gram, air sebanyak 132 ml (untuk pembuatan suspensi semen dasar sebagai sampel 0).
2. Menimbang semen sebanyak 225 gram, 75 gram *fly ash* daun bambu ampel, dan 0.75 gram nano kalsium karbonat CaCO_3 (sampel 1).
3. Sampel selanjutnya mengulangi komposisi sampel 1 dengan variasi persentase nano CaCO_3 .

Tabel 3.1 Komposisi Sampel *Compressive Strength*, *Shear Bond Strength*, dan *Free Water*

No	Sampel	Persentase aditif (%)		Semen (gr)
		Nano Kalsium karbonat	<i>Fly ash</i>	
1	Semen dasar	0	0	300
2	Sampel 1	0,25	25	225
3	Sampel 2	0,2	25	225
4	Sampel 3	0,15	25	225
5	Sampel 4	0,1	25	225
6	Sampel 5	0,05	25	225

3.3.3 Pengujian *Compressive Strength* dan *Shear Bond Strength*

1. Pengujian *compressive strength* dan *shear bond strength* menggunakan alat *hydraulic press*.
2. *Grease* dioleskan pada cetakan kubik untuk *compressive strength*, sedangkan cetakan silinder untuk *shear bond strength* tidak perlu diolesi dengan *grease*.
3. Suspensi semen dituang ke dalam cetakan kubik dan cetakan silinder yang kemudian 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 ke dalam *waterbath* yang sebelumnya telah dipanaskan sesuai dengan suhu yang diinginkan.
5. Diamkan cetakan sampel selama 24 jam, setelah 24 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 *Free Water*

1. Gunakan tabung ukur, kemudian isi tabung tersebut dengan suspensi semen yang akan diukur kadar airnya sebanyak 250 ml.
2. Diamkan selama 2 jam sehingga terjadi air bebas pada bagian atas tabung, catat harga air bebas yang terbentuk.
3. Air bebas yang terjadi tidak boleh lebih dari 3,5 ml.

3.3.5 Pengujian Morfologi Permukaan Semen dengan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Hanya sampel dengan nilai *compressive strength* dan *shear bond strength* yang paling optimum yang akan dilakukan pengujian dengan menggunakan SEM.

3.4 TEMPAT PENELITIAN DAN TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Penelitian dan analisa semen komposit *fly ash* daun bambu Ampel dan nano kalsium karbonat (CaCO_3) akan dilakukan di Laboratorium Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau sementara pembuatan *fly ash* daun bambu Ampel dilakukan di Laboratorium Universitas Negeri Riau dan pengujian morfologi permukaan semen dengan Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium terpadu Universitas Diponegoro.

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (2020)					
	Juli	Agustus	September	Desember	Maret	April
Studi Literatur						
Penyusunan Proposal						
Seminar Proposal						
Pngumpulan Daun Bambu						
Karbonisasi dan Kalnisasi						
Sieve 400 Mesh						
Pembuatan Semen Dan Pengujian CS SBS						
Analisa Data						
Penyusunan Laporan Hasil						
Sidang Tugas Akhir						

Catatan. Penyelesaian Tugas Akhir terlambat dari jadwal sebenarnya diakibatkan laboratorium tutup pada masa awal pandemi Covid 19.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

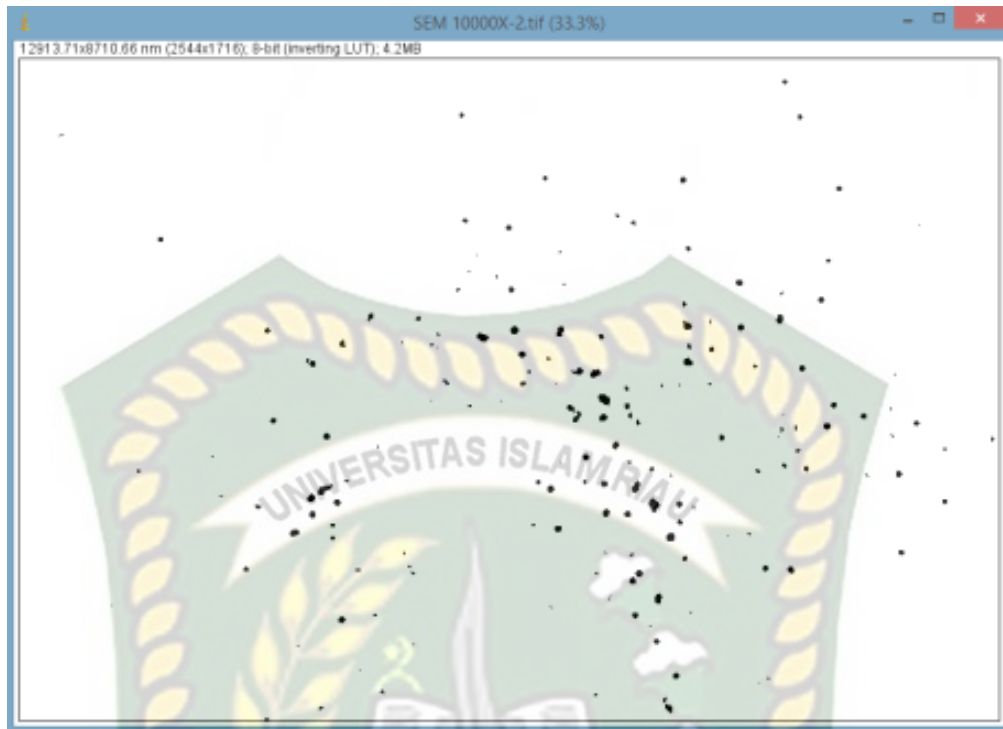
Pada bab 4 ini akan disampaikan hasil dan pembahasan yang diperoleh dari penelitian “Pengaruh Variasi Konsentrasi Nano Kalsium Karbonat Terhadap *Shear Bond Strength* dan *Compressive Strength* Semen Komposit.”. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi ukuran dan morfologi nano kalsium karbonat serta menganalisis efek variasi konsentrasi nano kalsium karbonat dalam nanokomposit *fly ash* daun bambu Ampel terhadap *shear bond strength* dan *compressive strength* serta kandungan *free water* pada semen komposit dengan variasi penambahan nano kalsium karbonat sebesar 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05% (BWOC).

4.1 KARAKTERISASI NANO CaCO_3 MENGGUNAKAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) DAN ENERGY DISPERSIVE X-RAY/SPECTROSCOPY (EDX)



Gambar 4.1 Hasil SEM Nano Kalsium Karbonat

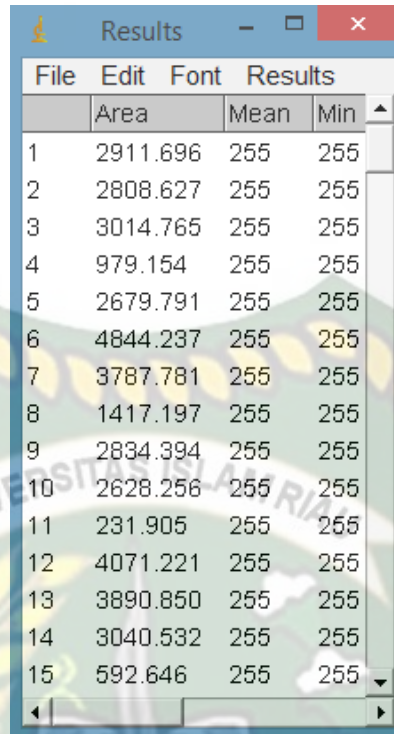
Gambar 4.1 menunjukkan morfologi NC yang partikelnya memiliki bentuk yang seragam yaitu berbentuk *spherical*. Dari hasil SEM dapat ditentukan distribusi ukuran partikel dengan menggunakan bantuan *software* Image-J yang merupakan sebuah *software* untuk memproses gambar yang dikembangkan oleh *National Institutes of Health and Laboratory for Optical and Computational Instrumentation*.



Gambar 4.2 Hasil Pengolahan Gambar SEM Pada Proses *Thresholding* menggunakan *Software Image-J*

Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengolahan gambar SEM pada proses *thresholding*. *Thresholding* merupakan salah satu metode segmentasi citra yang memisahkan antara objek dengan *background* berdasarkan pada perbedaan tingkat kecerahannya atau gelap terangnya suatu gambar. Setelah melalui proses *thresholding*, luas area rata-rata dapat dihitung menggunakan fitur *Analyze Particles* pada Image-J, sehingga diameter rata-rata partikel dapat diketahui menggunakan persamaan :

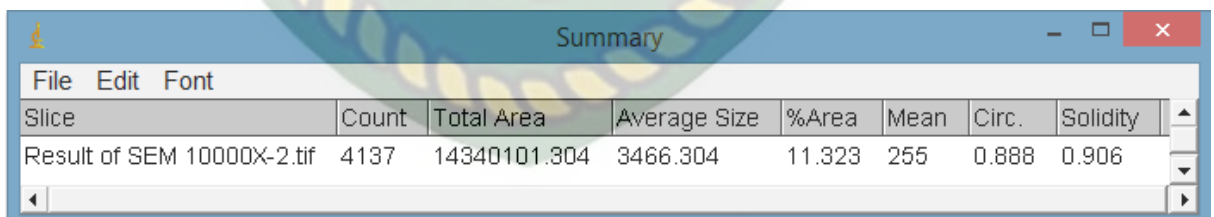
$$D = 2 \times \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$



File	Edit	Font	Results
	Area	Mean	Min
1	2911.696	255	255
2	2808.627	255	255
3	3014.765	255	255
4	979.154	255	255
5	2679.791	255	255
6	4844.237	255	255
7	3787.781	255	255
8	1417.197	255	255
9	2834.394	255	255
10	2628.256	255	255
11	231.905	255	255
12	4071.221	255	255
13	3890.850	255	255
14	3040.532	255	255
15	592.646	255	255

Gambar 4.3 Hasil Perhitungan Luas Area Partikel Nano Kalsium Karbonat Menggunakan *Software* Image-J

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.



File	Edit	Font	Summary				
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean	Circ.	Solidity
Result of SEM 10000X-2.tif	4137	14340101.304	3466.304	11.323	255	0.888	0.906

Gambar 4.4 Hasil Analisis Gambar SEM Dengan Image-J

Dari gambar 4.4 didapati bahwa luas area rata-rata partikel NC adalah $3466,304 \text{ nm}^2$, maka diameter rata-rata partikel NC :

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{3466,304 \text{ nm}^2}{3,14}} = 66,45 \text{ nm}$$

Analisis unsur nano CaCO_3 juga telah dilakukan menggunakan SEM-EDX dengan *ZAF Method Standardless Quantitative Analysis* bahwa nano CaCO_3 , memiliki unsur : 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.

Tabel 4.1 Unsur Kimia Nano Kalsium Karbonat

Element	Mass%
C	41,05
O	45,56
Ca	12,42
Cu	0,49
Zr	0,47
Total	100

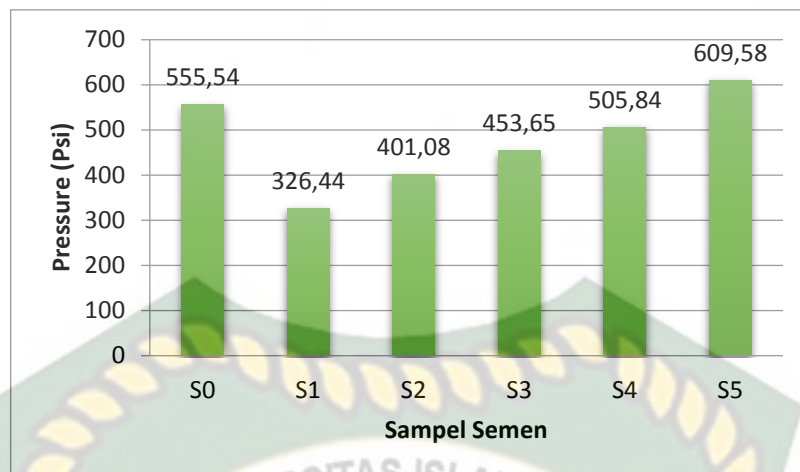
4.2 PENGUJIAN *SHEAR BOND STRENGTH*

Shear bond strength dapat didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menopang tekanan yang berasal dari berat *casing* ataupun menahan tekanan lainnya dalam arah vertikal, nilai minimal *shear bond strength* yang diizinkan adalah 100 psi.

Pada pengujian *shear bond strength* kali ini dilakukan dengan menambahkan variasi konsentrasi nano kalsium karbonat ke dalam semen komposit *fly ash* daun bambu ampel dengan persentase *fly ash* (FA) sebesar 25% dan variasi nano kalsium karbonat (NC) sebesar 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05% (BWOC).

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Shear Bond Strength*

Sampel Semen	Komposisi <i>Slurry</i> Semen	Nilai <i>Shear Bond Strength</i> (Psi)
S0	Semen + 0 % FA + 0 % NC	555,54
S1	Semen + 25% FA + 0,25% NC	326,44
S2	Semen + 25% FA + 0,20% NC	401,08
S3	Semen + 25% FA + 0,15% NC	453,65
S4	Semen + 25% FA + 0,10% NC	505,84
S5	Semen + 25% FA + 0,05% NC	609,58



Gambar 4.5 Nilai *Shear Bond Strength*

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa dengan memvariasikan konsentrasi NC pada *slurry* semen yang sebagian massanya digantikan oleh FA dapat mempengaruhi nilai *shear bond strength* dari semen.

Hasil dari pengujian *shear bond strength* dengan variasi konsentrasi NC dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa dengan penambahan 0,25% NC diperoleh nilai *shear bond strength* sebesar 326,44 psi, kemudian ketika konsentrasi NC diperkecil hingga 0,2% terjadi kenaikan nilai *shear bond strength* menjadi 401,08 psi, saat konsentrasi NC kembali diperkecil hingga 0,15% juga terdapat kenaikan nilai *shear bond strength* sebesar 453,65 psi, kemudian saat konsentrasi NC kembali diperkecil hingga 0,1% diperoleh peningkatan nilai *shear bond strength* sebesar 505,84 psi, dan pada konsentrasi NC yang terendah yakni 0,05% terjadi kenaikan nilai *shear bond strength* hingga 609,58 psi yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh percobaan *shear bond strength* ini, sedangkan nilai *shear bond strength* semen dasar tanpa penggunaan FA dan NC adalah 555,54 psi, dapat diamati bahwa nilai *shear bond strength* meningkat seiring dengan pengurangan konsentrasi NC didalam *slurry* semen.

Pada awal masa hidrasi, FA yang terdapat dalam *slurry* semen biasanya bertindak sebagai *fillers* yang mengisi rongga antar partikel semen, beberapa lama kemudian efek kimia dari FA baru dapat bekerja, FA dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan hasil reaksi hidrasi dari semen yang kemudian membentuk kalsium silikat hidrat (CSH), jadi pada dasarnya FA harus menunggu terbentuknya produk hidrasi dari semen yakni kalsium hidroksida agar

dapat memulai reaksi *pozzolanic*, namun dengan adanya NC yang dapat mensuplai kebutuhan akan Ca(OH)_2 sehingga reaksi hidrasi dapat dipercepat, namun dengan konsentrasi lebih dari 0,05% terjadi penurunan nilai *shear bond strength*, hal ini dapat terjadi akibat terlalu banyaknya NC didalam *slurry* semen sehingga kandungan pada semen didominasi oleh NC sebagai akibatnya tidak dapat terjadi reaksi yang tepat antara NC dengan semen. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Yang & Che, 2018) menyatakan bahwa material berukuran nano rentan akan efek *agglomeration* yang disebabkan oleh tingginya *surface energy* pada material nano, sehingga NC rawan menggumpal dan membentuk partikel sekunder yang menyebabkan suatu daerah yang lemah pada struktur semen.

Dari pengujian *shear bond strength* ini sampel dengan penggunaan 25% FA dan penambahan 0,05% NC menghasilkan nilai yang tertinggi yakni 609,58 psi, dengan penggunaan semen yang berkurang dan konsentrasi NC paling kecil dapat menghasilkan nilai *shear bond strength* yang tertinggi, sehingga penambahan 0,05% NC merupakan penambahan yang optimum.

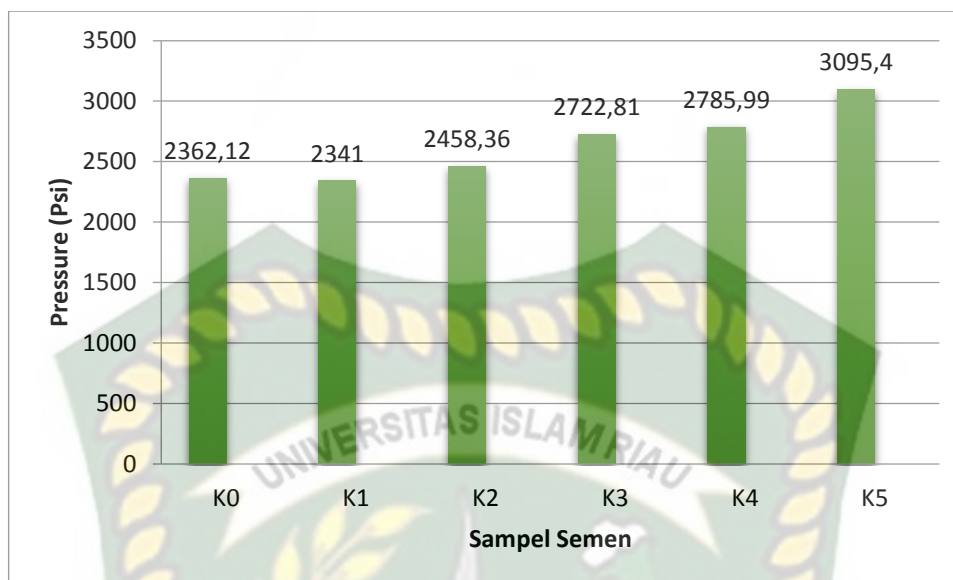
4.3 PENGUJIAN COMPRESSIVE STRENGTH

Compressive strength dapat didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan tekanan dalam arah horizontal, baik tekanan dari formasi maupun dari *casing*. Nilai minimal *compressive strength* yang diizinkan adalah 500 psi.

Pada pengujian *compressive strength* digunakan semen dasar dengan substitusi sebagian massa semen oleh *fly ash* (FA) sebesar 25% BWOC, dan dengan variasi penambahan konsentrasi nano kalsium karbonat (NC) sebesar 0,25%, 0,20%, 0,15%, 0,10%, 0,05% BWOC.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Compressive Strength*

Sampel semen	Komposisi <i>Slurry</i> Semen	Nilai <i>Compressive Strength</i> (Psi)
K0	Semen + 0% FA + 0% NC	2362,12
K1	Semen + 25% FA + 0,25% NC	2341
K2	Semen + 25% FA + 0,20% NC	2458,36
K3	Semen + 25% FA + 0,15% NC	2722,81
K4	Semen + 25% FA + 0,10% NC	2785,99
K5	Semen + 25% FA + 0,05% NC	3095,4



Gambar 4.6 Nilai *Compressive Strength*

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa dengan memvariasikan konsentrasi NC pada *slurry* semen komposit FA dapat mempengaruhi nilai *compressive strength* dari semen.

Hasil dari pengujian *compressive strength* dengan variasi konsentrasi NC dapat dilihat pada sampel K1 bahwa dengan menambahkan 0,25% NC pada semen komposit FA didapatkan nilai *compressive strength* sebesar 2341 psi, pada sampel K2 konsentrasi penggunaan NC diperkecil menjadi 0,20% dan terjadi kenaikan nilai *compressive strength* hingga 2458,36 psi, untuk sampel K3 konsentrasi NC kembali diperkecil hingga 0,15% dan terjadi peningkatan pula pada nilai *compressive strength* sebesar 2722,81 psi, sampel K4 konsentrasi NC kembali diperkecil hingga menjadi 0,10% kembali diperoleh peningkatan nilai *compressive strength* namun kenaikan yang terjadi tidak signifikan yakni senilai 2788,40 psi, pada sampel K5 digunakan konsentrasi NC yang paling rendah yakni 0,05% diperoleh kenaikan nilai *compressive strength* sebesar 3095,4 psi yang merupakan nilai tertinggi diantar sampel lainnya, sedangkan nilai *compressive strength* semen dasar tanpa penggunaan FA dan NC adalah 2362,12 psi. dapat diamati bahwa terjadi kenaikan nilai *compressive strength* pada setiap pengurangan konsentrasi NC.

NC didalam semen dapat memiliki beberapa peran, pertama sebagai nano *fillers*, yang mengisi rongga antar partikel semen dan FA sehingga pori yang terbentuk lebih kecil dan dapat meningkatkan kekuatan semen, kemudian NC juga dapat berperan sebagai permukaan baru sebagai tempat tumbuhnya *gel* CSH, sekaligus mensuplai kebutuhan akan kalsium hidroksida yang mana akan berguna pada saat reaksi *pozzolanic* yakni reaksi antara FA dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk membentuk CSH sekunder yang akan memadatkan struktur semen dan meningkatkan kekuatannya.

Namun ada penurunan nilai *compressive strength* pada sampel dengan kandungan NC 0,25%, hal ini dapat terjadi akibat terlalu banyaknya NC didalam *slurry* semen sehingga kandungan pada semen didominasi oleh NC yang mengakibatkan tidak dapat terjadi reaksi yang tepat antara NC dengan semen. Pada penelitian (Supit & Shaikh, 2014) menyatakan bahwa material berukuran nano rentan mengalami efek *agglomeration* yang disebabkan oleh tingginya *surface energy* pada material nano, sehingga NC rawan menggumpal dan membentuk partikel sekunder yang menyebabkan suatu daerah yang lemah pada struktur semen.

Dari pengujian *compressive strength* ini sampel dengan penggunaan 25% FA dan penambahan 0,05% NC menghasilkan nilai *compressive strength* yang tertinggi, dengan penggunaan semen yang berkurang dan konsentrasi NC paling kecil dapat menghasilkan nilai *compressive strength* yang tertinggi, sehingga penambahan 0,05% NC pada semen komposit FA merupakan penambahan yang optimum.

Dalam penelitian (Supit & Shaikh, 2014) dengan menggunakan konsentrasi FA 39% dan NC 1% lalu sampel selanjutnya menggunakan FA 59% dan NC 1% menghasilkan kenaikan nilai *compressive strength* dengan trend kenaikan landai, yakni 30 Mpa, 24 Mpa, namun pengujian *shear bond strength* tidak dilakukan.

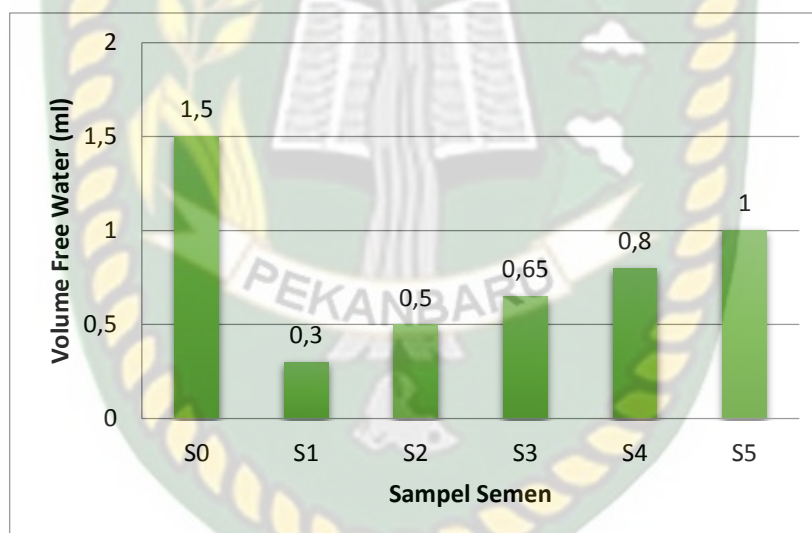
Sementara pada penelitian (Yang et al., 2018) yang menggunakan variasi konsentrasi FA sebesar 39,2%, 38,4%, 37,6%, 36,8% dengan variasi konsentrasi NC 2%, 4%, 6%, 8% menghasilkan kenaikan nilai *compressive strength* dengan

trend kenaikan landai, yakni 34 Mpa, 35 Mpa, 35 Mpa, 35 Mpa, namun pengujian *shear bond strength* tidak dilakukan.

4.4 PENGUJIAN FREE WATER

Tabel 4.4 Nilai *Free Water*

Sampel semen	Komposisi <i>Slurry</i> Semen	<i>Free Water</i>
S0	Semen + 0% FA + 0% NC	1,5
S1	Semen + 25% FA + 0,25% NC	0,3
S2	Semen + 25% FA + 0,2% NC	0,5
S3	Semen + 25% FA + 0,15% NC	0,65
S4	Semen + 25% FA + 0,1% NC	0,8
S5	Semen + 25% FA + 0,05% NC	1



Gambar 4.7 Nilai *Free Water*

Batas maksimal volume *free water* dari suspensi semen adalah sebesar 3.5 ml yang ditingkatkan selama 2 jam pada temperatur kamar. Apabila melebihi batas maksimal maka menyebabkan terbentuknya pori sehingga menghasilkan semen yang berongga yang tidak baik untuk *casing*.

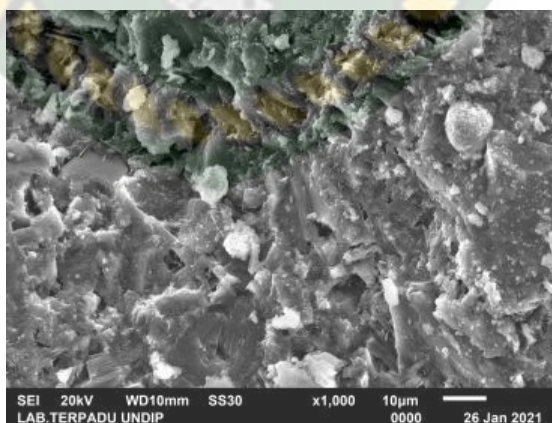
Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa semakin sedikit persentase NC yang ada pada *slurry* semen maka akan semakin meningkat *free water* yang dihasilkan. Dari semua pengujian sampel *free water* yang telah dilakukan,

didapatkan data bahwa seluruh sampel semen memiliki nilai *free water* dibawah 3,5 ml. Dari pengujian laboratorium, nilai *free water* terkecil yaitu pada sampel S1 dengan komposisi penggunaan 25% FA dan 0,25% NC , menghasilkan volume *free water* sebesar 0.3 ml.

NC dapat mempengaruhi nilai *free water* karena ukuran NC yang sangat halus mengisi rongga antar partikel semen dan FA sehingga menyulitkan fasa *liquid* untuk lolos, dan pada waktu yang bersamaan akan lebih banyak air bebas yang terserap ke permukaan NC karena NC memiliki spesifik area yang besar dan *surface energy* yang tinggi (Cao et al., 2019).

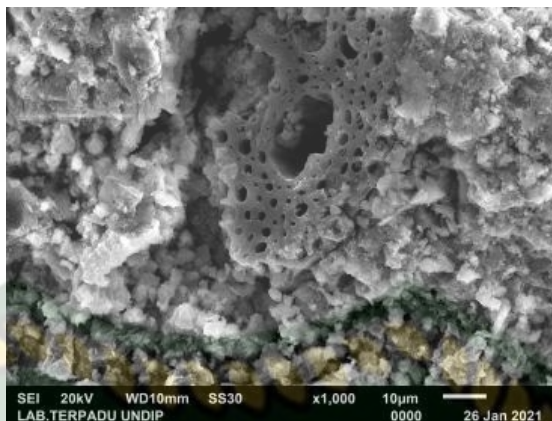
4.5 PENGUJIAN MORFOLOGI PERMUKAAN SEMEN DENGAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

Scanning electron microscope merupakan jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan sampel dengan sinar elektron yang terfokus dengan perbesaran hingga skala tertentu. Teknik analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray/Spectroscopy* (EDS) dapat mengidentifikasi komposisi unsur-unsur yang terkandung pada suatu material (Voutou & Stefanaki, 2008). Pengujian morfologi permukaan nano kalsium karbonat dan semen dengan SEM dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu, Universitas Diponegoro.



Gambar 4.8 Hasil SEM Sampel K0 (Semen Dasar)

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat terbentuknya kalsium silikat hidrat (C-S-H), dan Aft (*Alumina, ferric oxide, trisulfate*) pada sampel K0 yakni semen dasar.



Gambar 4.9 Hasil SEM Sampel K5 (Semen + FA + NC)

Untuk gambar 4.9 ini merupakan sampel semen dengan penggunaan FA dan NC, dapat dilihat pula adanya efek pengisian nanopartikel menghasilkan struktur mikro yang lebih padat, dapat pula ditemukan adanya gambaran NC pada sampel K5 yang sesuai dengan bentuk dari gambar 4.1 yakni hasil SEM dari NC.

Sampel K5 menggunakan NC dengan persentase 0,05% BWOC, yang dapat diamati bahwa NC tersebar hampir menutupi seluruh permukaan pada sampel K5, maka ketika konsentrasi NC lebih besar dari 0,05% kemungkinan besar NC akan tetap mengisi rongga – rongga antara semen dan FA namun kandungan pada semen didominasi oleh NC yang mengakibatkan tidak dapat terjadi reaksi yang tepat antara NC dengan semen dan FA sehingga kekuatan semen yang dihasilkan tidak optimal. Dapat pula diamati hanya sedikit jumlah Aft yang dapat terlihat pada sampel K5 yang menggunakan FA dan NC, ini menunjukkan bahwa NC bereaksi dengan aluminat, menghasilkan hidrat kalsium karboaluminat yang lebih stabil daripada Aft, hal ini diperkuat dengan analisis EDX yang menunjukkan bahwa sampel K5 memiliki rasio alumina yang lebih rendah daripada sampel K0, pengamatan ini menunjukkan bahwa NC dapat bereaksi dengan FA yang mengandung silika dan alumina, sehingga meningkatkan kekuatan mortar. Dari sampel K5 dapat diamati bahwa produk terhidrasi disimpan pada partikel FA dan tumbuh lebih tebal dengan hidrasi yang berkelanjutan. Selanjutnya, FA akan dilarutkan secara bertahap untuk membentuk gel C-S-H sekunder pada usia lanjut, yang memperbaiki struktur mikro dari semen dan meningkatkan kekompakan semen.

Tabel 4.5 Unsur Kimia Sampel K0

Element	Mass %
C	11,20
O	55,63
Mg	0,39
Al	0,76
Si	4,12
S	0,46
K	0,63
Ca	25,54
Fe	1,28
Total	100

Tabel 4.6 Unsur Kimia Sampel K5

Element	Mass %
C	53,46
O	30,69
Na	0,19
Mg	0,18
Al	0,25
Si	2,06
S	0,14
K	2,15
Ca	10,21
Fe	0,29
Zr	0,39
Total	100

Dari hasil EDS sampel semen K0 dan K5 diketahui bahwa terjadi perbedaan masa pada elemen dalam sampel K0 dan K5, hal ini terjadi akibat penggantian sebagian massa semen oleh FA. Lalu didapati juga bahwa terjadi penurunan massa pada elemen terpenting yang mempengaruhi kekuatan pada semen yaitu silika dan kalsium, terjadinya penurunan massa silika pada sampel K5 diakibatkan oleh penambahan NC pada *slurry* semen, sehingga silika dapat segera bereaksi dengan ion Ca^{2+} yang dilepas oleh NC, sementara itu penurunan kalsium diakibatkan oleh penggantian sebagian massa semen oleh FA dengan ukuran yang lebih halus, sehingga reaksi silika yang terdapat dalam FA dengan kalsium yang terdapat pada semen dan yang disediakan oleh NC dapat terjadi lebih cepat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Dari hasil *software* image-J, didapatkan diameter rata – rata nano CaCO_3 sebesar 66 nm, hasil morfologi nano CaCO_3 berbentuk *spherical*, dengan unsur yang terdapat adalah Karbon (C) 41,05% *Mass*, Oksigen (O) 45,56% *Mass*, Kalsium (Ca) 12,42% *Mass*.
2. Hasil pengujian variasi konsentrasi nano CaCO_3 mempengaruhi nilai *shear bond strength*, *compressive strength* dan *free water*, makin kecil konsentrasi nano CaCO_3 maka nilai *shear bond strength*, *compressive strength*, dan *free water* meningkat. Nilai *shear bond strength* tertinggi sebesar 609,58 psi dan *compressive strength* 3095,4 psi yang dihasilkan dari penambahan 0,05% nano CaCO_3 . Sementara nilai *free water* paling kecil senilai 0,3 ml didapat dari penambahan 0,25% nano CaCO_3 . Hasil SEM memperlihatkan morfologi semen standar dan semen dengan nilai *shear bond* dan *compressive strength* paling tinggi yang menunjukkan mikrostruktur yang lebih padat daripada sampel semen standar.

5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis yaitu :

1. Melakukan pengujian dengan variasi konsentrasi NC yang lebih kecil, karena dari hasil percobaan ini penggunaan NC dengan konsentrasi lebih kecil dari 0,05% masih berpeluang untuk meningkatkan nilai *shear bond strength* dan *compressive strength*.
2. Melakukan *treatment* dengan metode *ultrasonic* pada FA yang bertujuan untuk memurnikan kandungan FA serta memperkecil ukuran FA.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618. (2010). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Annual Book of ASTM Standards.
- Bourgoyne Jr., A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr., F. S. (1986). Applied Drilling Engineering.
- Cao, M., Ming, X., He, K., Li, L., & Shen, S. (2019). Effect of Macro-, Micro- and Nano-Calcium Carbonate on Properties of Cementitious Composites.
- 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, Vol. 1 (3), pp. 106–111.
- Ghabban, A. Al, Zubaidi, B. Al, Jafar, M., & Fakhri, Z. (2018). Effect of Nano SiO₂ and Nano CaCO₃ on The Mechanical Properties , Durability and Flowability of Concrete. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/454/1/012016>
- Hardjito, D. (2001). Abu Terbang Solusi Pencemaran Semen.
- Herawati, I., Rita, N., & Hermansyah. (2017). Studi Laboratorium Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Untuk Peningkatan Strength Semen Pemboran.
- Huda, A., Hamid, A., & Sulistyanto, D. (2018). Pengaruh Penambahan Barite, Hematite, dan Mecomax Terhadap Thickening Time, Compressive Strength, dan Rheologi Bubur Semen Pada Variasi Temperatur (BHCT) di Laboratorium Pemboran dan Produksi. VII(2), 47–58.
- Irzaman, Oktaviani, N., & Irmansyah. (2018). Ampel Bamboo Leaves Silicon Dioxide (SiO₂) Extraction.
- Li, W., Huang, Z., Cao, F., Sun, Z., & Shah, S. P. (2015). Effects Of Nano Silica And Nano Limestone On Flowability And Mechanical Properties Of Ultra

- High Performance Concrete Matrix. *Construction & Building Materials*, 95, 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.137>
- Liu, X., Chen, L., Liu, A., & Wang, X. (2012). Effect of Nano CaCO₃ on Properties of Cement Paste. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.158>
- Mursyidah, Novrianti, Novriansyah, A., & Utama, T. P. (2017). A Study of Cement Additive From Varied Heating Temperature of Coconut Shell Charcoal to Increase Cement Strength. 03005.
- Novriansyah, A., Mursyidah, U., Novrianti, Putri, S. S., & Riswati, S. S. (2018). Effect of silica-palm shell carbon composite additive in enhancing the strength of the concrete in the oil-well cementing job. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 348(1).
- 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.
- Nurul Fatimah, I., Setiya Budi, A., & Sangadji, S. (2018). Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Pada High Volume Fly Ash Selfcompacting Concrete (HVFA SCC) Benda Uji D 15 Cm X 30 Cm Usia 28 Hari. *September*, 508–512.
- Pruckner, F., & Gjrv, O. E. (2003). Effect of CaCl₂ and NaCl Additions on Concrete Corrosivity.
- Rheza, M., Satyawira, B., & Listiana. (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 Trisakt. 309–316.

Rita, N., Novrianti, Fortuna, D., Novriansyah, A., & Ariyon, M. (2012). Enhancing Cement Strength through Utilization of Rice Husk Ash (RHA) Additive: An Experimental Study. 7(1), 42–46.

Rosyidan, C. (2019). Analisis Compressive Strength dan Thickening Time Semen Kelas G Dengan Penambahan Additive Sodium Lignosulfanate Dan CaCl₂ Pada Skala Laboratorium. VIII(3), 95–101.

Sabdon, P., Sustiawan, F., & Aji, D. (2014). The Effect of Nano Cement Content to The Compressive Strength of Mortar. *Procedia Engineering*, 95(Scescm), 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.197>

Samura, L., Ainurridha, K. A., & Zabidi, L. (2017). Pengujian Compressive Strength dan Thickening Time Pada Semen Pemboran Kelas G Dengan Penambahan Additif Retader. VI(2), 49–54.

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.

Umoh, A. A., & Ujene, A. O. (2015). Improving The Strength Performance of High Volume Periwinkle Shell Ash Blended Cement Concrete With Sodium Nitrate As Accelerator. 6(2), 18–22.

Utomo, S. (2012). Bahan Berbahaya dan Beracun (B-3) dan Keberadaannya Di Dalam Limbah*. 37–46.

Voutou, B., & Stefanaki, E. C. (2008). *Electron Microscopy: The Basics*.

- Wang, G., Lu, L., & Wang, S. (2012). Effects of Shell and Calcium Carbonate on Properties of Portland Cement. 451, 495–498.
- Widjoko, L. (2010). Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar. 1(1), 52–59.
- Wijaya, D., & Sumiyanto, J. (2013). Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Substitusi Sebagian Portland Cement. 1–4.
- Wu, Z., Shi, C., Khayat, K. H., & Wan, S. (2016). Effects of Different Nanomaterials On Hardening and Performance of Ultra High Strength Concrete (UHSC). *Cement and Concrete Composites*, 70, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.03.003>
- Yang, H., & Che, Y. (2018). Effects of Nano-CaCO₃/Limestone Composite Particles on the Hydration Products and Pore Structure of Cementitious Materials.
- Yang, H., Che, Y., & Leng, F. (2018). High Volume Fly Ash Mortar Containing Nano-Calcium Carbonate As A Sustainable Cementitious Material: Microstructure and Strength Development.
- Yerramala, A., C, R. C., & V, B. D. (2012). Influence of Fly Ash Replacement on Strength Properties of Cement Mortar. August 2012.
- Zaki, S. I., Hodhod, A., & Eid, O. (2018). Comparison between the Effect of Addition of Nano-Calcium Carbonate and Nano-Kaoline on developing the Properties of Reinforced Concrete. International Conference on Nano-Technology in Construction.