

# **ANALISIS EFEK SENYAWA ANORGANIK NANO- $\text{Fe}_2\text{O}_3$**

**IRON STONE TERHADAP THICKENING TIME  
DAN STRENGTH SEMEN PEMBORAN**

## **TUGAS AKHIR**

*Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar sarjana teknik*

**Oleh**

**JEFRI DESWANTO**

**NPM 153210561**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN**

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**PEKANBARU**

**2022**

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Jefri Deswanto  
NPM : 153210561  
Program Studi : Teknik Perminyakan  
Judul Tugas Akhir : Analisis Efek Senyawa Anorganik Nano Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
*Iron Stone Terhadap Thickening Time Dan Strength Semen Pemboran*

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Pengaji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Novranti, S.T., M.T. (.....)

Pengaji : Dike Fitriansyah Putra, S.T., M.Sc., MBA. (.....)

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

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal :

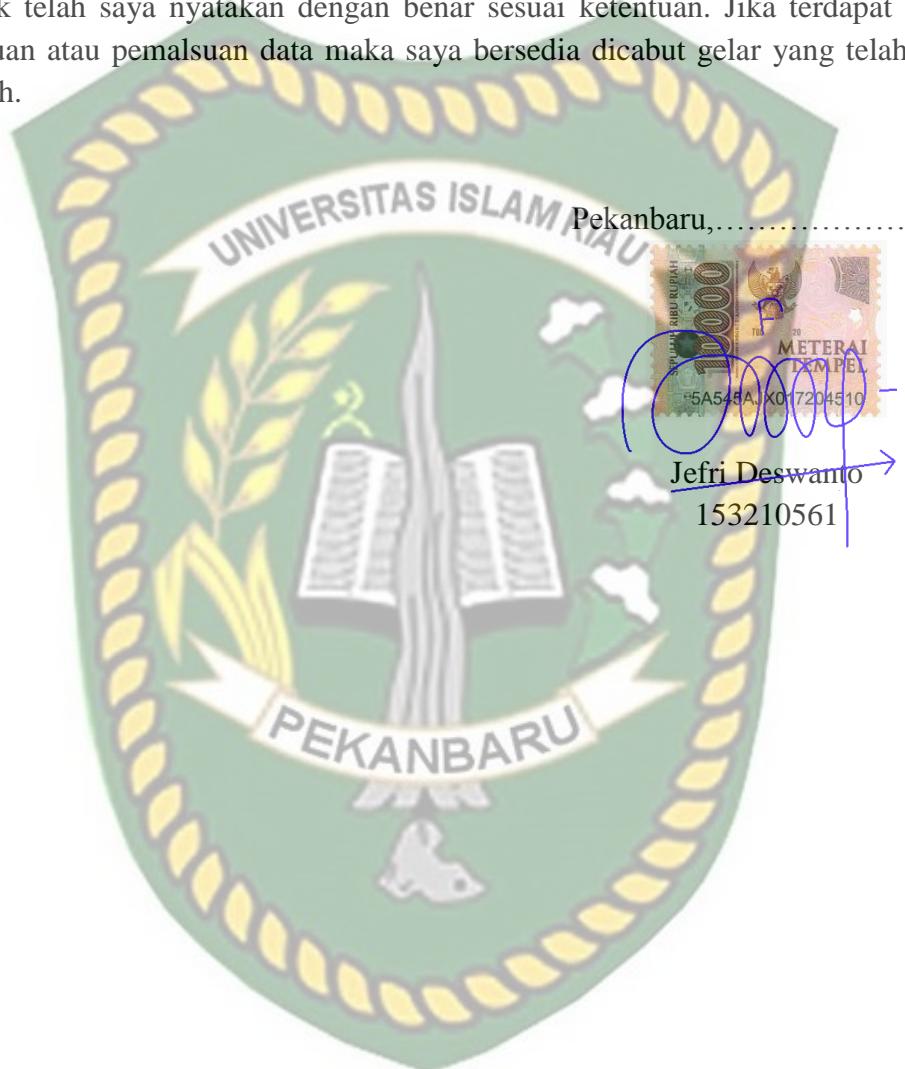
Disahkan oleh

KETUA PROGRAM STUDI  
TEKNIK PERMINTAKAN

  
(Noviarita, 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 di dalamnya baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

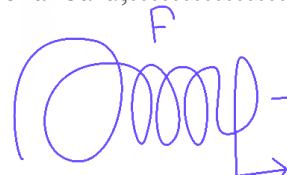
## KATA PENGANTAR

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

1. Novrianti, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Muhammad Ariyon, ST., M.T selaku pembimbing akademik yang telah memberi arahan dan nasehat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
3. Ketua dan 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. Untuk orang tua saya Syamsurizal dan Jalinar, serta kakak-kakak saya yang telah memberi dukungan penuh berupa semangat, materil maupun moral.
5. Sahabat “pejuang akhir zaman” dan rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

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

Pekanbaru,.....



Jefri Deswanto  
153210561

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
DAFTAR SINGKATAN .....	ix
DAFTAR SIMBOL .....	x
ABSTRAK .....	xi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.3 MANFAAT PENELITIAN .....	3
1.4 BATASAN MASALAH .....	3
BAB II .....	4
TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 IRON ORE STONE (BATU BIJIH BESI) .....	4
2.2 THICKENING TIME .....	6
2.3 COMPRESSIVE STRENGTH .....	7
2.4 SHEAR BOND STRENGTH (SBS) .....	8
2.5 STATE OF THE ART .....	10
BAB III .....	16
METODOLOGI PENELITIAN .....	16
3.1 METODE PENELITIAN .....	16
3.2 METODE ANALISIS DATA .....	16
3.3 JADWAL PENELITIA .....	17
3.4 TEMPAT PENELITIAN .....	18
3.5 ALAT DAN BAHAN .....	18
3.5.1 Bahan .....	18
3.5.2 Alat .....	18
3.6 PROSEDUR PENELITIAN .....	19
3.7 FLOW CHART .....	22
BAB IV .....	23
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	23
4.1 HASIL SINTESIS NANO- <i>Fe2O3</i> .....	23
4.2 HASIL X-RAYS FLUORESENCE (XRF) .....	27
4.3 ANALISIS FASA (ANALISIS KUALITATIF) .....	28

4.4	HASIL PENGUJIAN COMPRESSIVE STRENGTH.....	29
4.5	HASIL PENGUJIAN SHEAR BOND STRENGTH.....	31
4.6	HASIL PENJUJIAN THICKENING TIME.....	33
BAB V .....		37
KESIMPULAN .....		37
5.1	KESIMPULAN .....	37
5.2	SARAN .....	38
DAFTAR PUSTAKA .....		39
LAMPIRAN I .....		44
LAMPIRAN II .....		53
LAMPIRAN III .....		61
LAMPIRAN IV .....		73
LAMPIRAN V .....		74



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir .....	22
Gambar 4.1 Bijih besi .....	23
Gambar 4.2 Bijih besi ukuran $\pm 3$ cm .....	23
Gambar 4.3 Kuning-hijau.....	24
Gambar 4.4 Kuning-Coklat.....	24
Gambar 4.5 Coklat .....	24
Gambar 4.6 Coklat-Hitam.....	24
Gambar 4.7 Endapan Hasil kopresipitasi .....	25
Gambar 4.8 Pencucian endapan menggunakan aquades.....	25
Gambar 4.9 Proses pengeringan pada suhu 100 °C .....	25
Gambar 4.10 Endapan yang sudah mengerak .....	25
Gambar 4.11 Serbuk besi sebelum dikalsinasi (hasil kopresipitasi) .....	26
Gambar 4.12 Serbuk besi (siap untuk dikalsinasi).....	26
Gambar 4.13 Furnace .....	26
Gambar 4.14 Serbuk besi setelah proses kalsinasi.....	26
Gambar 4.15 Pola difraksi sampel SMYS 2 suhu 800 °C .....	29
Gambar 4.16 Grafik <i>compressive strength</i> .....	31
Gambar 4.17 Grafik <i>shear bond strength</i> .....	33
Gambar 4.18 Grafik <i>thickening time</i> .....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Distribusi Ukuran Partikel Hematit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .....	5
Tabel 2.2 Persentase Unsur di dalam Serbuk Besi.....	5
Tabel 2.3 Harga <i>Thickening Time</i> Dari Hasil Tes Laboratorium Suhu 230F – 284F .....	6
Tabel 2.4 Efek Penambahan Aditif CMC Pada <i>Compressive Strength</i> .....	8
Tabel 2.5 Komposisi Kimia dan Mineral Semen Kelas G .....	9
Tabel 2.6 Variasi Konsentrasi NT, Semen dan Air.....	10
Tabel 2.7 <i>Shear Bond Strength</i> Hasil Percobaan .....	10
Tabel 2.8 <i>State of The Art</i> .....	11
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	17
Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRF .....	27
Tabel 4.2 <i>Oxide XRF</i> .....	28
Tabel 4.3 Komposisi Sampel <i>Compressive Strength</i> .....	30
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan <i>Compressive Strength</i> .....	30
Tabel 4.5 Komposisi Sampel <i>Shear Bond Strength</i> .....	32
Tabel 4.6 <i>Load Gauge Hydrolic Press</i> Untuk SBS.....	32
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan <i>Shear Bond Strength</i> .....	32
Tabel 4.8 Pembacaan pada alat <i>atmospheric consistometer</i> sampel 1 .....	33
Tabel 4.9 Pembacaan pada alat <i>atmospheric consistometer</i> sampel 2.....	34
Tabel 4.10 Pembacaan pada alat <i>atmospheric consistometer</i> sampel 3.....	34
Tabel 4.11 Pembacaan pada alat <i>atmospheric consistometer</i> sampel 4.....	35
Tabel 4.12 Pembacaan pada alat <i>atmospheric consistometer</i> sampel 5.....	35
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Thiceking Time.....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN I</b>	Perhitungan <i>Compressive Strength</i>
<b>LAMPIRAN II</b>	Perhitungan <i>Shear Bond Strength</i>
<b>LAMPIRAN III</b>	Basic Data Process XRD
<b>LAMPIRAN IV</b>	Sertifikat Mengaji
<b>LAMPIRAN V</b>	Sertifikat Toefl



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR SINGKATAN

NS	Nano- $\text{SiO}_2$
NT	Nano- $\text{TiO}_2$
NA	Nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$
NF	Nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$
XRF	<i>X-ray fluorescene</i>
BHCT	<i>Bottome hole circulating temperature</i>
CMC	<i>Carboxymethyl cellulose</i>
FR	<i>Friction reduction</i>
Hrs	<i>Hours</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
BWOC	<i>By weight of cement</i>
W/C	<i>Water to cement ratio</i>
Mpa	<i>Mega Pascal</i>
Nm	<i>Nano meter</i>
CS	<i>Compressive strength</i>
SBS	<i>Shear bond strength</i>
XRD	<i>X-ray Diffractometer</i>
CH	<i>Calcium hydroxide</i>
FoM	<i>Figure of merit</i>
Be	<i>Bearden unit of consistency</i>
UC	<i>Unit of consistency</i>
Th	Theta

## DAFTAR SIMBOL

A	Alpha
Å	Angstrom
I/10	Intensitas/Intensitas 0
P	Tekanan
F	Gaya
A	Luas
D	Diameter
R	Jari-jari
$\mu$	Pi



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

# ANALISIS EFEK SENYAWA ANORGANIK NANO- $Fe_2O_3$ IRON STONE TERHADAP THICKENING TIME DAN STRENGTH SEMEN PEMBORAN

JEFRI DESWANTO

NPM 153210561

## ABSTRAK

Kualitas semen yang baik perlu di-*design* sesuai kondisi lubang bor. Adakalanya pengeboran cukup dalam sehingga memerlukan *thickening time* besar agar semen memiliki cukup waktu sebelum akhirnya mengeras. Sebaliknya pada sumur dangkal *thickening time* rendah sangat diperlukan agar semen cepat mengeras. Kualitas semen juga ditentukan oleh *strength* semen dalam menahan tekanan-tekanan di lubang bor, baik tekanan horizontal maupun vertikal. Penelitian menggunakan teknologi nano cukup populer pada saat ini. Beberapa tipe nanopartikel seperti nano-SiO<sub>2</sub> (NS), nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NA), nano-TiO<sub>2</sub> (NT), dan nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NF) dianggap sebagai *additive* semen. Alih-alih menggunakan NT atau NS yang sudah umum, penelitian tugas akhir ini fokus meneliti potensi NF sebagai *additive* semen karena jumlah yang sangat melimpah. NF didapatkan dengan sintesis batu besi Jorong Pasalolo, Nagari Lolo, Kec Pantai Cermin, Kabupaten Solok Sumatera Barat menggunakan metode kopresipitasi. Pengujian XRF dan XRD dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam batu besi dan fasa yang terbentuk setelah proses kalsinasi. Hasil pengujian menunjukkan terdapat 62.8 % Fe pada batu besi dan senyawa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berfasa alpha (NF) terdeteksi menggunakan *Match!* 3. NF dapat mempengaruhi *compressive strength* dengan konsentrasi optimum 1% NF BWOC yaitu sebesar 2536.2953 psi (kenaikan 304.47% dari semen + 0% NF) begitu pula pada pengujian *shear bond strength* didapatkan konsentrasi NF optimum sebesar 1% NF BWOC yaitu 351.8479 psi (kenaikan 21.73% dari semen + 0% NF). Pada pengujian *thickening time* didapatkan NF mengurangi *thickening time* seiring penambahan konsentrasi 1%, 2%, 3%, dan 5% sehingga bubur semen lebih cepat mengeras.

**Kata kunci :** nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, semen, batu besi, *shear bond strength*, *compressive strength*, *thickening time*

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INORGANIC COMPOUND NANO-  
 $Fe_2O_3$  IRON STONE ON THICKENING TIME AND STRENGTH OF  
CEMENT SLURRY.**

**JEFRI DESWANTO**

**NPM 153210561**

**ABSTRACT**

Decent cement quality needs to be designed according to borehole conditions. Occasionally, drilling activity deep enough so that it requires high thickening time to let cement has enough time before it finally hardens. On the other hand, in shallow wells, a low thickening time is needed for the cement to harden quickly. Cement quality is also determined by the strength of the cement to withstand the pressures in the borehole, both horizontally and vertically. The earlier nanotechnology research is quite popular. Several types of nanoparticles such as nano-  $SiO_2$  (NS), nano-  $Al_2O_3$  (NA), nano-  $TiO_2$  (NT), and nano-  $Fe_2O_3$  (NF) are considered as cement additives. Instead of using NT or NS which are already common, this final project would like to focus on examining the potential of NF as a cement additive due to its abundance. NF was obtained by synthesizing iron ore from Jorong Pasalolo, Nagari Lolo, Kec Pantai Cermin, Kabupaten Solok Sumatera Barat using coprecipitation method. XRF and XRD tests were carried out to determine the elemental content in iron ore and the phase formed after calcination. The examination result reveals 62.8 % Fe in iron ston and  $Fe_2O_3$  compound with alpha phase detected using Match! 3. NF can affect the compressive strength of cement with an optimum concentration of 1% NF BWOC worth 2536.2953 psi (an increase about 304.47% of cement + 0% NF) and likewise shear bond strength test obtained an optimum concentration of 1% NF BWOC worth 351.8479 psi (an increase about 21.73% of cement + 0% NF). In the thickening time test, it was found that NF reduces the thickening time along with the addition of 1%, 2%, 3%, and 5% concentrations so that the cement slurry hardens faster.

**Key word :** nano- $Fe_2O_3$ , cement, iron ore stone, shear bond strength, compressive strength, thickening time.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 LATAR BELAKANG

Bahan bakar fosil, gas alam, minyak, dan batu bara tercatat sebagai pasokan energi komersial terbesar di dunia (MacKenzie, 1998). *The U.S Energy Information Administration (EIA)* memperkirakan konsumsi *petroleum* (minyak bumi) di dunia mencapai *92.2 million b/d* di tahun 2020, memang mengalami penurunan sekitar 9% dari tahun sebelumnya akibat wabah virus C-19. Namun jika dibandingkan dengan catatan *BP Statistical Review of World Energy 2020* total *proved oil reserves* di dunia hanya sekitar *1.73 trillion barel* (BP, 2020) yang berarti jika dihitung menggunakan perhitungan sederhana tersisa sekitar 52 tahun sebelum cadangan minyak habis. Hal tersebut mendorong industri migas untuk terus mencari cadangan baru dan mengembangkan teknologi yang melibatkan berbagai disiplin ilmu pengetahuan seperti geologi, geofisika, studi seismik, dan teknik pengeboran.

Pengeboran dilakukan untuk membuktikan adanya hidrokarbon di suatu lapangan. Pengeboran tidak lepas dari proses penyemenan. Semen mempengaruhi masa hidup dan produktifitas sumur, oleh karena itu kualitas semen sangat penting dalam produksi minyak (Zuo et al., 2020). Fungsi semen di lubang bor sangat fatal yaitu menguatkan *casing* dan menyediakan zona terisolasi antara formasi dan *casing* (Radonjic & Oyibo, 2014). Jika semen tidak cukup kuat menahan tekanan dari arah vertikal maupun horizontal maka akan berakibat sangat buruk pada lubang bor. Selain itu semen juga berfungsi melindungi *casing* dari korosi yang disebabkan fluida formasi, dan mengisolasi zona produktif dan non-produktif (Choolaei et al., 2012). Sehingga diperlukan studi mengenai kualitas semen dan kesesuaian dengan kondisi lubang bor.

Penambahan zat aditif dapat meningkatkan *rheology* semen pemboran dan digunakan untuk *adjustment* bubur semen sesuai kondisi lapangan. Semen dengan *compressive strength* rendah dapat dinaikkan dengan penambahan zat kimia pozzolan. Hal ini dikarenakan pozzolan mengandung senyawa silika dan alumina

yang sangat halus dan dapat bereaksi secara kimiawi dengan senyawa hasil reaksi semen dan air sehingga membentuk kalsium aluminat hidrat yang bersifat seperti semen. Silika merupakan senyawa polimerisasi asam silikat dengan rumus molekul  $\text{SiO}_2$  (Sulastri & Kristianingrum, 2010). Namun, penggunaan silika sebagai *additive* semen sudah sangat banyak.

Teknologi nano cukup populer di dunia sains, terutama di bidang ilmu fisika kuantum. Teknologi nano memanfaatkan sifat-sifat unik sebuah materi dalam ukuran nano  $(1 - 100) \times 10^{-9}$ . Dalam skala nano, sebuah materi memiliki sifat berbeda dibandingkan jika materi tersebut dalam ukuran normal. Senyawa logam oksida dalam ukuran nanometer, memiliki sifat-sifat unik seperti sensitif terhadap gas, superkonduktif pada suhu tinggi, dan memiliki kemampuan resistansi internal terhadap medan magnet (Mayasari, 2020). Ukuran partikel nano memiliki karakteristik berbeda dari partikel makro, seperti perbandingan luas area yang besar terhadap volume (*large surface area per volume ratio*), reaktifitas kimia tinggi, dan memicu kemampuan dalam memodifikasi sifat-sifat semen (Maagi et al., 2020). Santra dan yuan dalam (Maagi et al., 2020) menyatakan nanopartikel dapat memodifikasi beberapa sifat semen seperti *strength*, *setting time*, mikrostruktur, dan daya tahan.

Beberapa tahun belakangan, sejumlah peneliti fokus pada penggunaan nanopartikel dalam peningkatan efisiensi semen (Maagi et al., 2020). Beberapa tipe nano partikel seperti nano-  $\text{SiO}_2$  (NS), nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  (NA), nano- $\text{TiO}_2$  (NT), nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (NF) dianggap sebagai aditif semen. Penelitian menunjukkan NS dan NT adalah nanopartikel yang paling sering digunakan sebagai material pembentuk semen dengan performa tinggi. Namun, nanopartikel lain seperti NF sangat menarik untuk diteliti, karena berpotensi menjadi alternatif disaat material NS dan NT menjadi langka. Sebagai senyawa anorganik ketersediaan NF sangat melimpah di bumi. NF dapat disintesis dari batu besi dengan metode kopresipitasi dan kalsinasi. Penambahan nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (NF) diharapkan dapat berpengaruh terhadap *thickening time* dan *strength* semen pemboran, sehingga ditemukan konsentrasi optimum dan dapat dijadikan bahan evaluasi pada penelitian di masa depan.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui unsur-unsur yang terdapat dalam serbuk hasil sintesis batu besi dan fasa yang terbentuk setelah proses kalsinasi.
2. Menganalisis pengaruh penambahan *additive* nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  batu besi konsentrasi 0%, 1%, 2%, 3%, dan 5% terhadap *compressive strength*.
3. Menganalisis pengaruh penambahan *additive* nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  batu besi konsentrasi 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% terhadap *shear bond strength*.
4. Menganalisis pengaruh penambahan *additive* nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  batu besi konsentrasi 0%, 1%, 2%, 3% dan 5% terhadap *thickening time* suspensi semen.

## 1.3 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan rujukan bagi penelitian-penelitian selanjutnya terkait topik yang dibahas.
2. Pengkayaan materi kuliah teknik pemboran II, khusus semen pemboran, sehingga dapat dijadikan karya ilmiah yang nantinya dipublikasikan dalam skala nasional maupun internasional.
3. Memanfaatkan ketersediaan sumber daya alam anorganik sebagai zat *additive* pada semen pemboran.

## 1.4 BATASAN MASALAH

Agar lebih terfokus, penelitian ini memiliki beberapa batasan diantaranya:

1. Batu besi untuk pembuatan nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  didapatkan langsung di lokasi tambang bijih besi Alahan Panjang, Sumatera Barat.
2. Pegujian dilakukan untuk mengetahui efek penambahan *additive* nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  terhadap *thickening time*, *compressive strength*, dan *shear bond strength* pada semen pemboran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Allah SWT berfirman dalam surat Al-Jatsiyah ayat 29.

Artinya: “(Allah berfirman), “Inilah Kitab (catatan) Kami yang menuturkan kepadamu dengan sebenar-benarnya. Sesungguhnya Kami telah menyuruh mencatat apa yang telah kamu kerjakan.” (QS. Al-Jatsiyah [45]: 29).

#### 2.1 IRON ORE STONE (BATU BIJIH BESI)

Besi merupakan unsur paling melimpah di bumi, sekitar 80% inti bumi bagian luar dan dalam tersusun oleh besi (Frey & Reed, 2012). Dalam tabel periodik, besi terletak pada logam transisi dengan simbol Fe, nomor atom 26, Ar 55.847 gr/mol, titik didih 2862 °C, titik leleh 1538 °C. Besi sangat mudah melepaskan elektron-elektron yang berada di kulit terluar sehingga memiliki biloks beragam yaitu +2, +3, +4, +6. Oleh sebab itu besi memiliki kemampuan untuk berikatan dengan unsur lain seperti oksigen dalam senyawa oksida.

Secara umum bijih besi mengandung lebih dari 25% besi, biasanya dalam bentuk senyawa hematit  $Fe_2O_3$ , magnetit  $Fe_3O_4$ , geotit  $FeO(OH)$ , siderit  $FeCO_3$  atau limonit  $FeO(OH)*nH_2O$ . Hematit adalah senyawa yang sangat mudah ditemui di alam dan memiliki banyak manfaat seperti digunakan dalam aplikasi katalis, pigmen, sensor, agen pembersih polutan lingkungan, material magnetik, dan material biomedis (Tadic et al., 2014). Sebagai senyawa anorganik, hematit dapat diperoleh dengan sintesis *iron stone* atau batu besi dalam ukuran nano melalui metode kopresipitasi.

Kopresipitasi adalah metode sintesis senyawa anorganik pada suhu rendah untuk mendapatkan partikel nano dan bersifat homogen. Secara prinsip metode kopresipitasi dilakukan dengan menambahkan zat pengendap pada spesimen, kemudian hasil endapan dikeringkan pada suhu 100 °C sampai berbentuk kerak dan digerus sehingga didapatkan serbuk halus. Kemudian dilakukan kalsinasi pada suhu

tinggi sehingga didapatkan partikel nano dari spesimen yang diuji. (Mufid & Zainuri, 2015) melakukan penelitian pada serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  untuk membentuk senyawa hematit dengan metode kopresipitasi. Partikel hematit berhasil didapatkan pada beberapa variasi suhu kalsinasi. Semakin tinggi suhu kalsinasi semakin besar partikel yang terbentuk. Hal ini membuktikan suhu kalsinasi berbanding lurus dengan ukuran partikel. Hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Distribusi Ukuran Partikel Hematit  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$**

NO	Calcination	Phase	Particle size distribution
1	400 C	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	269.7 nm
2	445 C	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	332.2 nm
3	500 C	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	357.9 nm
4	600 C	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	412.2 nm

Sumber : (Mufid & Zainuri, 2015)

**Tabel 2.2 Persentase Unsur di dalam Serbuk Besi**

Element	Before (%)	After (%)
Fe	92.16	98.51
Si	2.2	0.3
Mn	0.19	0.19
Ca	0.16	0.14
Cr	0.090	0.093
Cu	0.33	0.15
Ni	0.59	0.59

Sumber : (Mufid & Zainuri, 2015)

Tabel 2.2 adalah karakterisasi XRF (*X-ray fluorescence*) pada *iron powders* sesudah dan sebelum dicuci. Karakterisasi dilakukan pada sampel untuk mengetahui persentase kandungan unsur di dalamnya. Kandungan unsur Fe lebih dari 90% membuktikan bijih besi dapat diesktrak dalam bentuk senyawa besi oksida.

## 2.2 THICKENING TIME

Waktu yang diperlukan bubur semen dalam mencapai konsistensi tertentu disebut *thickening time* (Ahmed et al., 2018). Menurut (Liska et al., 2019) *thickening time* didapatkan ketika semen mencapai 100 Be (*Bearden unit of consistency*). Be merujuk kepada UC (*unit of consistency*) yaitu satuan yang menyatakan konsistensi semen. Konsistensi yang dimaksud dalam penyemenan adalah viskositas atau derajat kekentalan semen. Namun nilai viskositas semen diukur dengan *consistometer* dan diekspresikan dalam satuan UC (Khalid et al., 2020); (Rosyidan, 2019). Berbeda pada fluida umumnya viskositas diukur dengan alat viskometer dengan satuan *centipoise* (cP).

Pengaturan *thickening time* dalam operasi pemboran sangat penting, karena berhubungan dengan temperatur dan kondisi lubang bor. Semakin dalam lubang bor, semakin lama waktu yang diperlukan untuk memompa fluida. Jika *thickening time* lebih rendah dari waktu pemompaan, suspensi semen bisa saja mengeras sebelum sampai pada kedalaman yang diinginkan (Novrianti & Umar, 2017). *Bottome hole circulating temperature* (BHCT) dapat mempengaruhi *thickening time* atau kemampuan semen untuk dipompakan (Umeokafor & Joel, 2010). BHCT adalah temperatur yang dicapai *slurry* selama disirkulasikan ke dalam lubang bor (Liska et al., 2019). Temperatur ini lebih kecil dari temperatur maksimum yang dicapai *slurry* ketika sirkulasi dihentikan, namun ketika BHCT semakin tinggi *thickening time* semakin kecil. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3, *thickening time* 70 BC semakin kecil ketika BHCT (°F) semakin besar dengan % retarder yang sama.

**Tabel 2.3** Harga *Thickening Time* Dari Hasil Tes Laboratorium Suhu 230F – 284F

<i>Dyckerhoff Cement (Retarder/Intensifier)</i>			
<i>70BC Thickening Time (Hrs)</i>	<i>BHCT (°F)</i>	<i>Retarder (%BWOC)</i>	<i>Intensifier (%BWOC)</i>
7.08	230	0.40	0.20
8.25	230	0.42	0.21
9.17	230	0.43	0.20
13.00	230	0.53	0.27
11.98	230	0.54	0.28

11.50	230	0.55	0.28
2.17	239	0.20	0.10
6.00	239	0.40	0.20
6.00	239	0.42	0.21
8.67	239	0.44	0.22
10.00	239	0.45	0.23
2.50	248	0.35	0.17
6.00	248	0.45	0.23
7.83	248	0.47	0.23
6.00	248	0.47	0.23
6.92	248	0.48	0.24
7.75	248	0.50	0.25
8.50	248	0.52	0.26
3.17	257	0.40	0.20
6.30	257	0.52	0.25
6.73	257	0.54	0.27
5.68	266	0.55	0.24
5.67	266	0.55	0.26

Sumber : (Umeokafor & Joel, 2010)

### 2.3 COMPRESSIVE STRENGTH

*Compressive strength* merupakan salah satu sifat semen pemboran yang sangat penting karena berkaitan dengan *tensile strength* dan sifat elastis semen (Roshan & Asef, 2010). Dalam kasus spesifik, *compressive strength* secara signifikan dapat menahan kegagalan semen yang disebabkan oleh tekanan-tekanan horizontal seperti tekanan dari formasi maupun casing. Bahkan dalam sebuah pengeboran *casing shoe* tidak diperbolehkan dibor sebelum *compressive strength* selubung semen mencapai 500 psi (Professors, 2005).

Adakalanya proses pengeboran memerlukan *compressive strength* tinggi agar semen yang dihasilkan sesuai dengan kondisi lubang bor, untuk itu para ahli terus melakukan penelitian dalam mencari solusi terbaik untuk menangani hal ini. Sebuah penelitian dilakukan oleh (Roshan & Asef, 2010) untuk mengetahui efek penambahan CMC terhadap *compressive strength*. Didapatkan bahwa CMC dapat menaikkan *compressive strength* secara optimal sebesar 37% dengan konsentrasi CMC 0.2 %. Dapat dilihat pada tabel 2.4 di mana konsentrasi CMC optimum sebesar 0.2 %, penambahan konsentrasi hingga 0.3 % justru akan mengurangi nilai

*compressive strength* dikarenakan CMC tidak dapat larut dalam campuran. Terlihat juga perbedaan pada waktu pengujian, yaitu waktu pengujian 48 jam menghasilkan *compressive strength* lebih besar daripada 24 jam, artinya waktu juga berpengaruh terhadap *compressive strength*. Dengan demikian penambahan zat aditif mempengaruhi *compressive strength*, takaran yang tepat diperlukan agar menghasilkan suspensi semen yang diinginkan. Selain CMC, zat aditif seperti CaCl<sub>2</sub>, *lignosulfonate*, *bentonite*, dan nano-SiO<sub>2</sub> juga dapat mempengaruhi *compressive strength* (Labibzadeh et al., 2010) ; (Mohammed et al., 2020).

**Tabel 2.4** Efek Penambahan Aditif CMC Pada *Compressive Strength*

		Efek CMC terhadap <i>Compressive Strength</i>			
		<i>*Compressive Strength (psi)*</i>			
		(Dry)		(Wet)	
CMC (%)	FR (%)	24 hrs	48 hrs	24 hrs	48 hrs
0.0	0	2375	2625	2375	2625
0.2	0.1	2750	3590	3125	4100
0.2	0.5	3087	4000	3250	4250
0.3	0.5	2050	2600	2300	2700
0.5	0.3	1425	—	—	2500
0	0.3	2300	2750	2450	2875

Sumber : (Roshan & Asef, 2010)

## 2.4 SHEAR BOND STRENGTH (SBS)

*Shear bond strength* didefinisikan sebagai gaya geser antara *casing* dan sekitaran ikatan semen (Salehi et al., 2017). Secara sederhana *shear bond strength* adalah kekuatan ikat antara semen terhadap *casing* dan semen terhadap formasi (Rudi Rubiandini, 2000), sehingga semen dapat menahan berat *casing* dan mengikatnya terhadap formasi agar tidak runtuh. Rendahnya SBS mengakibatkan pemutusan ikatan antarmuka antara formasi-semen-*casing*, dalam jangka waktu yang lama akan berakibat buruk pada kekuatan semen jika beban masuk ke sumur

semakin bertambah. *De-bonding* atau pemutusan ikatan dapat menyebabkan terbentuknya *microannulus* yang memungkinkan fluida formasi memasuki anulus sehingga mengganggu zona terisolasi (Jadhav et al., 2017).

Penelitian dilakukan oleh (Maagi et al., 2020) untuk menyelidiki *shear bond strength* pada semen yang mengandung partikel nano- TiO<sub>2</sub> (NT) ukuran 40 nm dan 20 nm. Penelitian ini menggunakan material semen sumur minyak kelas G sesuai dengan klasifikasi API 10A yang diproduksi oleh Jiahua Enterprises Corp., Sichuan China dengan komposisi yang ditunjukkan tabel 2.5. Sementara nanopartikel NT didapatkan di Guangzhou Probing Fine Chemical Co., Ltd, China. Konsep pembuatan bubur semen mengikuti standar API. Bubuk NT konsentrasi 1, 2, 3, dan 4% BWOC dicampurkan dengan semen kelas G, dan ditambahkan air 0.45 (W/C) (tabel 2.6). Kemudian bubur diaduk dengan mixer berkecepatan tinggi (4000 r/min) selama 15s, (12000 r/min) selama 35 s menurut standar API 10A. Dispersan ditambahkan secukupnya pada campuran agar tidak terjadi penggumpalan. Hasil menunjukkan bahwa *shear bond strength* spesimen dengan nano- TiO<sub>2</sub> secara signifikan lebih besar dari *control specimen* tanpa nano- TiO<sub>2</sub>.

Seperti yang ditampilkan pada tabel 2.7, peningkatan kekuatan semen dipengaruhi oleh ukuran partikel NT. Spesimen dengan ukuran partikel NT 40 nm memberikan peningkatan *shear bond strength* lebih besar daripada NT 20 nm. Ini mengindikasikan semakin besar ukuran partikel NT dalam campuran, semakin besar *shear bond strength* yang dicapai. Juga dapat dilihat nilai *shear bond strength* mengalami peningkatan secara bertahap selama waktu pemulihan 3, 7, 14, dan 28 hari. Konsentrasi % NT yang bervariasi menunjukkan bahwa dosis optimal NT adalah 3% di setiap ukuran partikel. Dimana nilai *shear bond strength* tertinggi pada percobaan ini adalah 0.553 Mpa di konsentrasi 3% (40 nm). Penambahan bubuk NT di atas 3% justru akan mengurangi *shear bond strength*.

**Tabel 2.5** Komposisi Kimia dan Mineral Semen Kelas G

<i>*Chemical composition ( wt %)</i>					<i>*Mineralogical composition (wt %)</i>				
SiO <sub>2</sub> 23.056	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2.85	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3.52	CaO 65.2	MgO 1.78	SO <sub>3</sub> 2.12	C3S 59.890	C2S 16.756	C4AF 10.70	C3A 1.63

Sumber : (Maagi et al., 2020)

**Tabel 2.6** Variasi Konsentrasi NT, Semen dan Air

<i>Batch</i>	<i>Water (g)</i>	<i>Cement (g)</i>	<i>Nanoparticles (g)</i>	<i>Total weight (g)</i>	<i>W/C Ratio</i>
CO 0%	354	792	0	792	*0.45
NT 1%	354	784.08	7.92	792	*0.45
NT 2%	354	776.16	15.84	792	*0.45
NT 3%	354	768.24	23.76	792	*0.45
NT 5%	354	760.32	31.68	792	*0.45

Sumber : (Maagi et al., 2020)

**Tabel 2.7** Shear Bond Strength Hasil Percobaan

<i>Slurry batch</i>	<i>Mud cake thickness (mm)</i>	<i>Nano-P Dosage (%)</i>	<i>Shear bond strength (Mpa)</i>			
			<i>*3 days</i>	<i>*7 days</i>	<i>*14 days</i>	<i>*28 days</i>
NA 0 control	0.5	0	0.035	0.048	0.061	0.108
NA 1 40 nm	0.5	1	0.119	0.131	0.146	0.255
NA 2 40 nm	0.5	2	0.151	0.207	0.315	0.509
NA 3 40 nm	0.5	3	0.22	0.29	0.401	0.553
NA 4 40 nm	0.5	4	0.208	0.283	0.308	0.365
NA 0 control	0.5	0	0.035	0.048	0.061	0.108
NA 1 20 nm	0.5	1	0.109	0.123	0.139	0.246
NA 2 20 nm	0.5	2	0.14	0.197	0.306	0.472
NA 3 20 nm	0.5	3	0.207	0.283	0.38	0.503
NA 4 20 nm	0.5	4	0.196	0.242	0.297	0.339

Sumber : (Maagi et al., 2020)

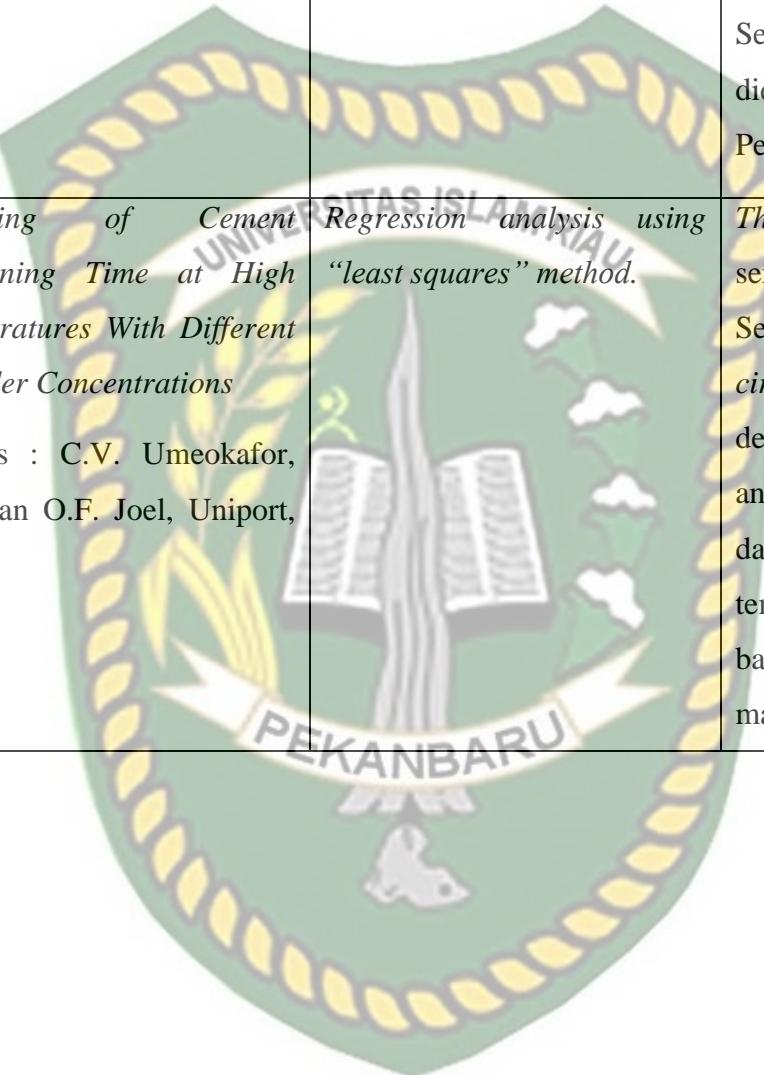
## 2.5 STATE OF THE ART

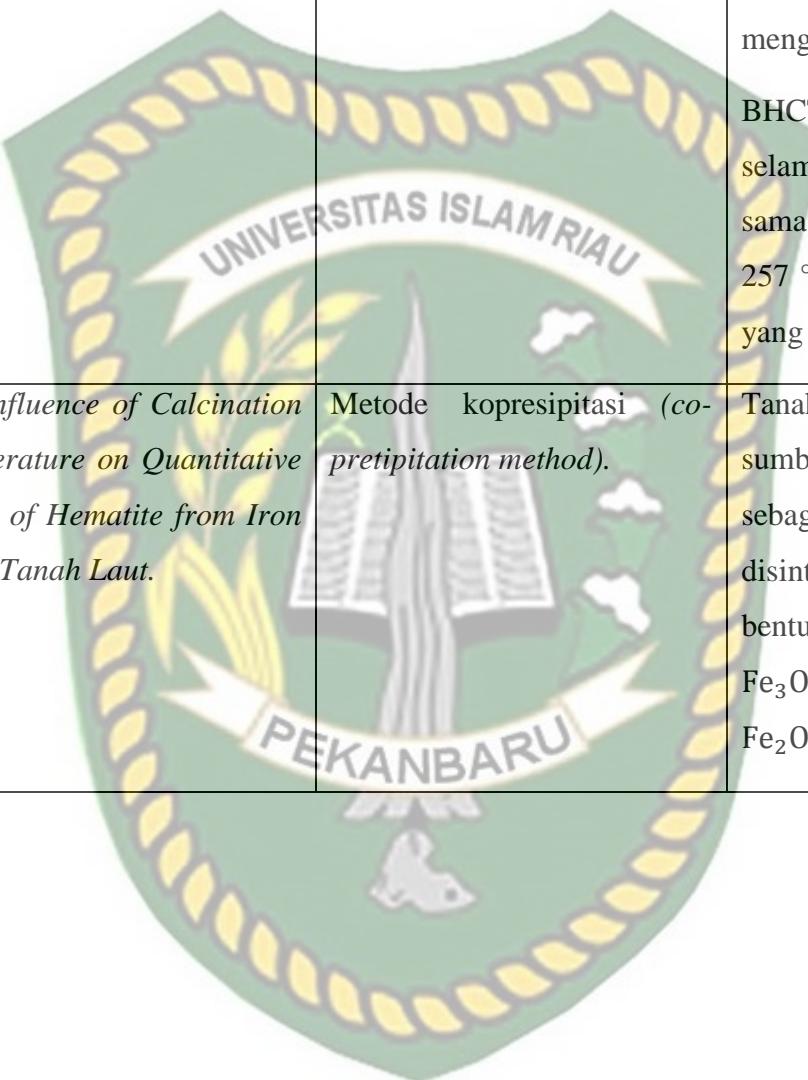
Penelitian-penelitian terdahulu mengenai penambahan zat *additive* pada bubur semen pemboran membantu penulis dalam memperkaya penelitian yang telah dilakukan dalam mencari inovasi atau hal baru dalam ilmu pengetahuan yang bersifat dinamis. Pada subbab ini penulis akan menampilkan beberapa jurnal terkait sebagai referensi pada penelitian tugas akhir ini, yang dapat dilihat pada tabel 2.8.

**Tabel 2.8 State of The Art**

No	Judul	Metode	Hasil
1	<p><i>Influence of nano- TiO<sub>2</sub> on the wellbore shear bond strength at cement-formation interface</i></p> <p>Peneliti : Mtaki Thomas Maagi, Gan Pin, dan Gu Jun.</p>	<i>Laboratory experiment.</i>	<p>Beberapa studi mengungkapkan lemahnya <i>shear bond strength</i> antara semen dan formasi merupakan faktor kritis terjadinya kebocoran fluida. Untuk itu sejumlah penelitian fokus dalam meningkatkan <i>bond strength</i> antar muka semen-formasi guna meningkatkan integritas dan produktifitas sumur. Para peneliti menggunakan nano-partikel untuk meningkatkan efisiensi semen. Beberapa tipe nano-partikel seperti nano- SiO<sub>2</sub> (NS), nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NA), nano- TiO<sub>2</sub> (NT), dan nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (NF) dianggap sebagai aditif semen. Namun, studi mengindikasikan NS dan NT merupakan nano-partikel yang sering digunakan dalam membentuk material semen dengan performa tinggi.</p> <p><i>Shear bond strength</i> meningkat bertahap seiring bertambahnya waktu pemulihan. Hasil juga menunjukkan bahwa bubuk NT pada spesimen dengan ukuran partikel 40 nm menunjukkan hasil yang lebih dapat diandalkan daripada spesimen ukuran 20 nm. Ini mengindikasikan bahwa semakin besar ukuran nano-partikel yang</p>

			ditambahkan pada campuran, semakin besar <i>shear bond strength</i> yang dapat dicapai. Selain itu konsentrasi optimum dicapai sekitar 3% BWOC, penambahan konsentrasi di atas 3% justru menurunkan <i>shear bond strength</i> .
2	<p><i>Characteristics of Oilwell Cement Slurry Using CMC</i></p> <p>Peneliti : H. Roshan, SPE, University of New South Wales, dan M.R. Asef, SPE, Tarbiat Moallem University.</p>	<p><i>Methodological combination of theoretical and experiment using system-based approach.</i></p> 	<p>Aditif digunakan untuk tujuan tertentu seperti meningkatkan <i>compressive strength</i>, mengurangi porositas, permeabilitas, dan mengurangi <i>fluid loss</i>. Salah satu aditif yang banyak digunakan pada aplikasi penyemenan teknik sipil adalah CMC. Namun di industri migas, penggunaan CMC perlu dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan lapangan, karena sifat-sifat semen seperti porositas dan permeabilitas, pengurangan <i>fluid loss</i> dan <i>free water</i>, pengaturan <i>thickening time</i>, dan peningkatan <i>compressive strength</i> yang dibutuhkan di setiap lapangan berbeda-beda. Konsentrasi optimum harus diselidiki lebih lanjut.</p> <p>Berdasarkan percobaan ini, permeabilitas berkurang sedikit yaitu dari 0.3 md menjadi 0.1 md setelah penambahan 0.4 % CMC. Grafik yang dihasilkan pada pengujian ini cenderung menurun, sehingga dapat diasumsikan penambahan proporsi CMC di atas 0.4 % terus</p>

			mengurangi permeabilitas. Pada campuran kering sebanyak 0.4 % CMC terbukti dapat mengeliminasi <i>free water</i> , ini dikarenakan CMC dapat menyerap air lebih banyak daripada semen murni. Sementara pada campuran basah tidak ditemukan <i>free water</i> karena CMC larut dalam air dan membuat campuran bubur menjadi seragam. Sementara pada pengujian CS, konsentrasi CMC optimum didapatkan sebanyak 0.2 % dan 0.5 <i>FR</i> ( <i>friction reducer</i> ). Penambahan di atas 0.2 % akan mengurangi CS.
3	<p><i>Modeling of Cement Thickening Time at High Temperatures With Different Retarder Concentrations</i></p> <p>Penulis : C.V. Umeokafor, IPS, dan O.F. Joel, Uniport, IPS.</p>	<p><i>Regression analysis using “least squares” method.</i></p> 	<p><i>Thickening time</i> adalah lamanya waktu yang dibutuhkan bubur semen untuk tetap dapat dipompakan di bawah permukaan. Sensitifitas semen naik ketika temperatur meningkat. Seperti halnya <i>circulating temperature</i> dan <i>static temperature</i> mempengaruhi desain semen. Hal ini berkaitan dengan reaksi hidrasi, yaitu reaksi antara semen dan air. Ketika reaksi ini terjadi semen menjadi padat dan mengeras, sehingga terbentuklah kekuatan semen. Pada temperatur rendah, proses hidrasi memerlukan waktu beberapa hari bahkan beberapa minggu. Namun, pada temperatur tinggi maksimum <i>strength</i> dicapai hanya beberapa jam. Dapat dikatakan</p>

			<p>reaksi hidrasi dipercepat secara <i>thermal</i>, jadi pada temperatur tinggi semen akan membutuhkan waktu lebih sedikit untuk mengeras. Laju hidrasi ini dapat dipengaruhi oleh penambahan aditif kimia. Namun, laju hidrasi berbeda pada setiap unsur. Hal ini memungkinkan kita untuk mengontrol laju hidrasi beberapa derajat dengan menggunakan <i>accelerator</i> dan retarder.</p> <p>BHCT 230 °F, retarder 0.4 % mencapai <i>thickening time</i> 70 BC selama 7.08 jam. Sementara pada BHCT 239 °F dengan retarder sama, <i>thickening time</i> 70 BC dicapai selama 6 jam. Begitu juga pada 257 °F retarder sama, <i>thickening time</i> 70 BC dicapai dalam waktu yang semakin singkat yaitu 3.17 jam.</p>
4	<i>The Influence of Calcination Temperature on Quantitative Phase of Hematite from Iron Stone Tanah Laut.</i>	Metode kopresipitasi ( <i>coprecipitation method</i> ).	Tanah Laut merupakan salah satu area di Kalimantan yang memiliki sumber daya alam batu besi. Batu besi di Tanah laut digunakan sebagai material bangunan. Namun, mineral magnetit $Fe_3O_4$ dapat disintesis dari batu besi menggunakan <i>Ultrasonic Cleaned</i> dalam bentuk serbuk. Sebagai material yang memiliki sifat magnetis tinggi, $Fe_3O_4$ dapat diubah menjadi senyawa lain seperti besi(III) oksida $Fe_2O_3$ dengan berbagai metode, salah satunya kopresipitasi.

	Penulis : Ali Mufid dan Mochamad Zainuri.		Penelitian ini menghasilkan partikel hematit melalui metode kopresipitasi pada suhu kalsinasi bervariasi. Sampel diidentifikasi menggunakan <i>X-ray Fluorescence (XRF)</i> untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam sampel. Didapatkan 98.51 % Fe yang menandakan batu besi kaya akan unsur besi. Kemudian karakterisasi menggunakan XRD didapatkan fasa dominan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ hematit dengan ukuran partikel berbeda disetiap variasi suhu kalsinasi. (Tabel 1 dan 2).
--	--	---	---

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian percobaan laboratorium (*lab experiment research*) yaitu penelitian dilakukan untuk mencari atau melacak hubungan kausal antara variabel independen dan variabel dependen (Tanner, 2018). Dengan kata lain, percobaan ini dilakukan untuk mencari tau efek zat aditif nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (independen) dan meneliti pengaruhnya terhadap sifat-sifat semen pemboran (dependen). Data yang didapat berupa data primer yaitu data yang pertama kali didapatkan oleh peneliti di laboratorium.

#### 3.2 METODE ANALISIS DATA

Data yang digunakan adalah data primer, yaitu suatu data yang pertama kali ditulis atau diperoleh oleh peneliti (Sanusi, 2011). Analisis dilakukan dengan melakukan pengujian penambahan aditif nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  batu besi terhadap *thickening time*, *compressive strength*, dan *shear bond strength* semen pemboran. Sampel yang digunakan adalah batu besi yang disintesis menggunakan metode kopresipitasi dan kalsinasi untuk membentuk partikel hematit (nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Penelitian ini juga didukung oleh bacaan seperti jurnal, paper, buku, artikel ilmiah, maupun rujukan atau saran dari dosen pembimbing terkait penelitian yang dilakukan. Karakterisasi menggunakan XRF dan XRD untuk mengetahui kandungan senyawa pada batu besi dan fasa yang terbentuk pada sampel *additive*.

### 3.3 JADWAL PENELITIA

**Tabel 3.1** Jadwal Penelitian

Kegiatann	Tahun 2021																	
	Bulan		Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember					
Minggu ke-	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pembutan Proposal																		
Bimbingan																		
Seminar proposal																		
Pengumpulan literature																		

Kegiatann	Tahun 2022																	
	Bulan		Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni		Juli			
Minggu ke-	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pencarian sampel batu besi																		
Sintesis nano Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																		
Pengujian pada semen <i>slurry</i>																		
Penyusunan naskah TA																		
Sidang																		

### 3.4 TEMPAT PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Perminyakan dan Laboratorium Dasar kampus Universitas Islam Riau yang beralamat di Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Pekanbaru Riau Indonesia — Kode Pos: 28284.

### 3.5 ALAT DAN BAHAN

#### 3.5.1 Bahan

1. Semen *portland*
2. Air
3. *Grease*
4. Batu besi 3 gr
5. HCl 12 M
6.  $\text{NH}_4\text{OH}$  6.5 M
7. Aquades

#### 3.5.2 Alat

1. *Hydraulic Press*
2. *Bearing block machine hydraulic mortar*
3. Manomener
4. Jangka sorong
5. Gerinda
6. *Mold Silinder*
7. Batang Pendorong
8. Timbangan
9. *Mixer*
10. Gelas ukur
11. *Stopwatch*
12. *Atmospheric consistometer*
13. *Oven Furnace*
14. *Magnetic stirerr*

### 3.6 PROSEDUR PENELITIAN

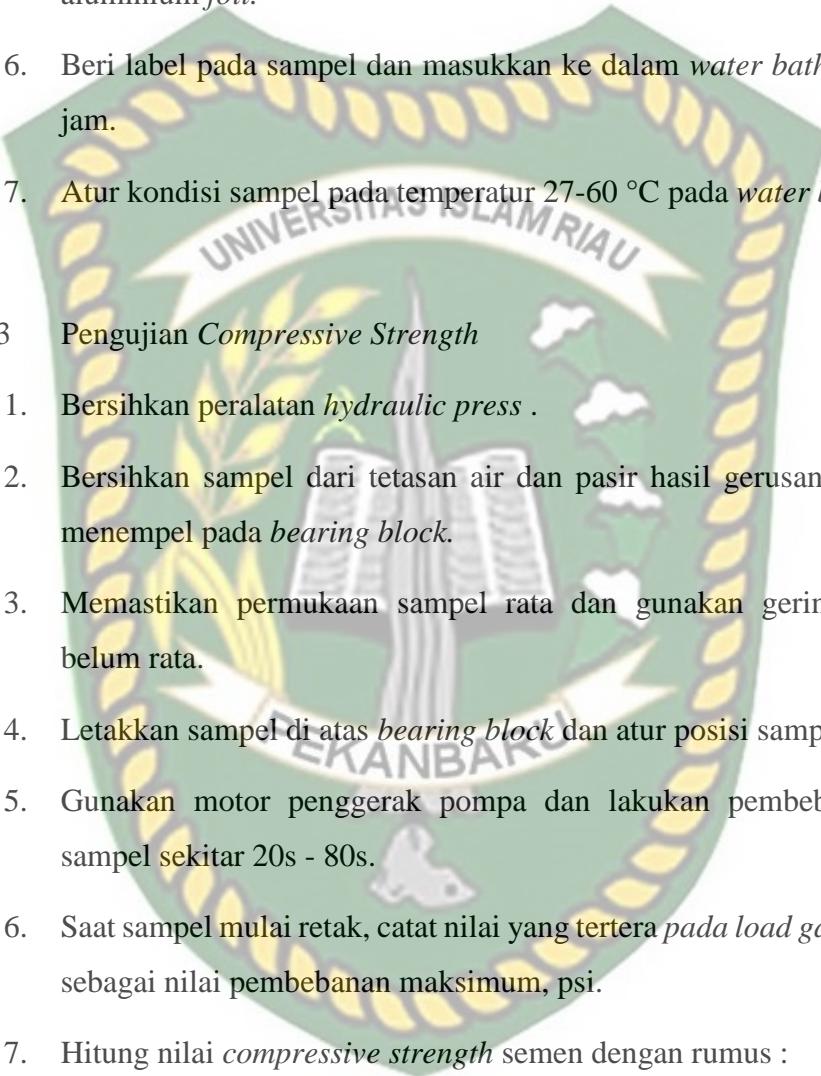
3.6.1 Pembuatan *additive* serbuk nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  batu besi dengan metode kopresipitasi dan kalsinasi (Budi et al., 2019) sebanyak 2 sampel adalah sebagai berikut :

1. Bongkahan batu besi besar dihancurkan dengan penumbuk besi hingga berbentuk bongkahan-bongkahan kecil.
2. Bongkahan kecil dihaluskan menggunakan ampelas hingga didapatkan permukaan yang halus dan rata.
3. Kemudian bongkahan kecil ukuran 50 cm dengan massa 3gr dilarutkan dalam HCl 12 M sampai volume 40 ml. Diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan kecepatan konstan dan temperatur 65 °C-70 °C.
4. Lalu larutan disaring 2 kali menggunakan *filter paper*.
5. Kemudian larutan yang telah disaring diendapkan dengan menambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$  6.5 M sampai pH larutan menjadi 8.
6. Kemudian larutan dimurnikan menggunakan aquades dan dikeringkan pada suhu 100 °C selama 8 jam sampai terbentuk kerak.
7. Sampel yang telah kering digerus menggunakan mortar sampai diperoleh serbuk.
8. Terakhir serbuk dikalsinasi pada temperatur 800 °C selama 1 jam.
9. Serbuk siap digunakan sebagai *additive* pada suspensi semen.

3.6.2 Pembuatan suspensi semen menurut (Khalid et al., 2020) dan (Samura & Zabidi, 2018) adalah sebagai berikut :

1. Membuat komposisi semen dasar terdiri dari 350 gr bubuk semen dan 213 ml air (213 gr air; densitas 1 gr/ml).
2. Menimbang % aditif serbuk hematit batu besi.
3. Memasukkan air ke dalam *mixer* kecepatan rendah 4000 rpm.

4. Mencampur bubuk semen dan aditif ke dalam *mixer cup* yang sudah diisi air dan menjalankan *mixer* pada kecepatan sedang selama 1 jam hingga didapatkan campuran homogen.
5. Tuangkan suspensi semen ke dalam cetakan, bungkus dengan aluminium *foil*.
6. Beri label pada sampel dan masukkan ke dalam *water bath* selama 24 jam.
7. Atur kondisi sampel pada temperatur 27-60 °C pada *water bath*.

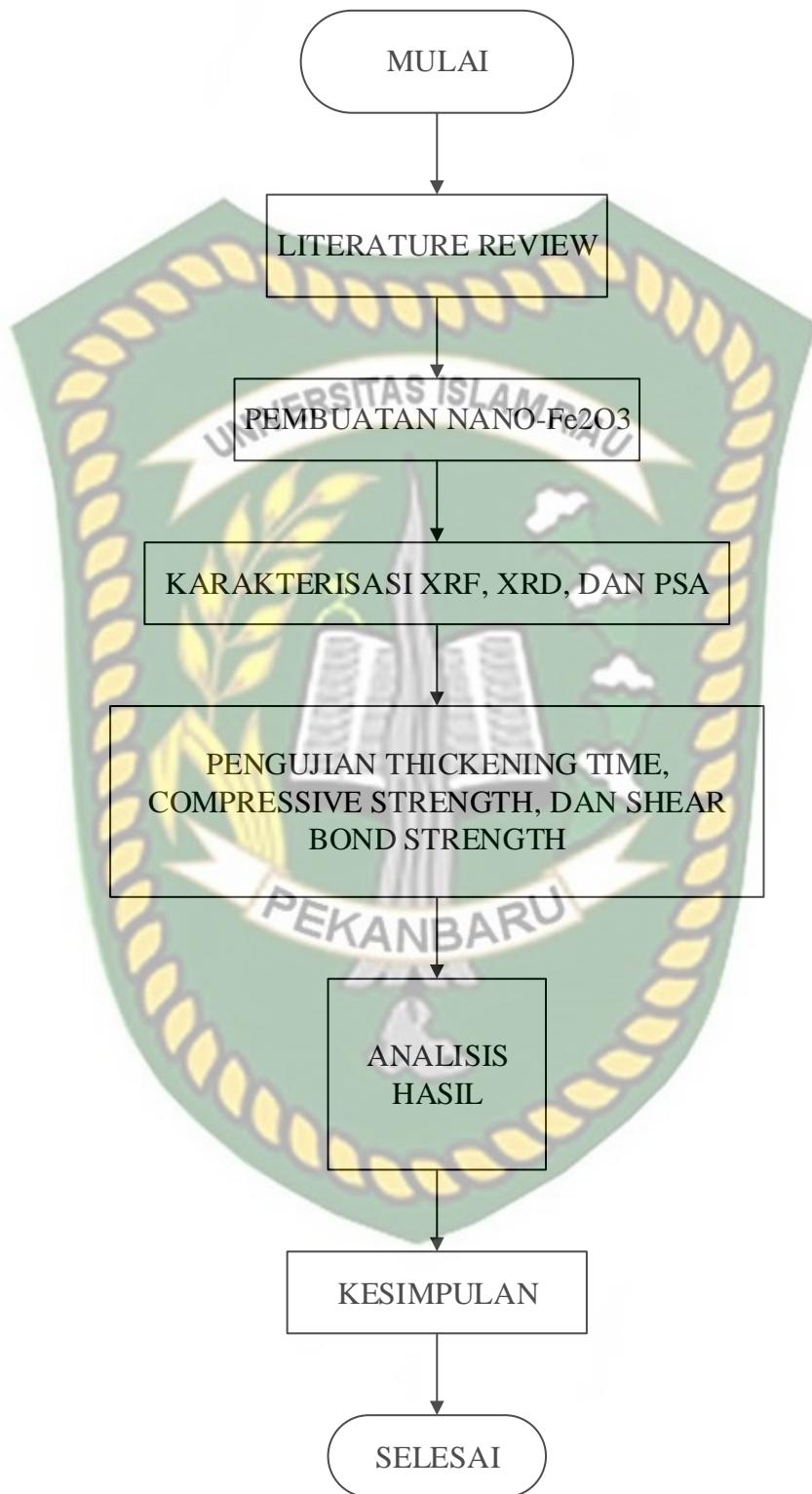
- 
- 3.6.3 Pengujian *Compressive Strength*
1. Bersihkan peralatan *hydraulic press* .
  2. Bersihkan sampel dari tetasan air dan pasir hasil gerusan agar tidak menempel pada *bearing block*.
  3. Memastikan permukaan sampel rata dan gunakan gerinda apabila belum rata.
  4. Letakkan sampel di atas *bearing block* dan atur posisi sampel.
  5. Gunakan motor penggerak pompa dan lakukan pembebangan pada sampel sekitar 20s - 80s.
  6. Saat sampel mulai retak, catat nilai yang tertera pada *load gauge reader* sebagai nilai pembebangan maksimum, psi.
  7. Hitung nilai *compressive strength* semen dengan rumus :

$$\text{CS} = k \times P \times \left(\frac{A_1}{A_2}\right) \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

- 3.6.4 Pengujian *Shear Bond Strength*, pengukuran ini sama dengan pengukuran *compressive strength* hanya saja sampel berbentuk silinder.
1. Letakkan *mold* silinder yang berisi sampel pada penyangga yang didudukan pada *bearing block* bagian bawah dengan posisi vertikal.



### 3.7 FLOW CHART



Gambar 3.1 Diagram Alir

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 HASIL SINTESIS NANO-*Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

Sintesis dilakukan dengan metode kopresipitasi dan kalsinasi di Lab Dasar Universitas Islam Riau. Gambar 4 adalah bijih besi yang disintesis, bijih besi tersebut didapatkan di Jorong Pasalolo, Nagari Lolo, Kec Pantai Cermin, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Sebelah kiri adalah bijih besi yang sudah sedikit teroksidasi, dan sebelah kanan adalah bijih besi yang telah menjadi bongkahan kecil.



Gambar 4.1 Bijih besi

Gambar 4.2 Bijih besi ukuran ± 3 cm

Preparasi berupa penghancuran bijih besi menjadi bongkahan kecil (gambar 4.2). Selanjutnya bijih besi dilarutkan menggunakan HCl 12 M. Bijih besi dapat larut dalam HCl 12 M, seperti pada gambar 4.3; 4.4; 4.5 dan 4.6 terjadi perubahan warna pada larutan yang ditempatkan di erlenmeyer. Perubahan warna terjadi dari kuning-kehijauan, kemudian menjadi coklat-emas, coklat dan coklat-gelap (mendekati warna hitam). Bubuk bijih besi berhasil didapatkan setelah endapan hasil kopresipitasi dikeringkan pada suhu 100 °C selama 3 jam. Sementara partikel hematit diperoleh setelah melakukan kalsinasi sampai suhu 800 °C dengan *furnace* selama 1 jam. Bubuk hematit yang didapat bewarna coklat kehitaman, ini

disebabkan oleh pigmen hitam dari bijih besi yang disintesis dan rasio Mn/Fe yang cukup besar (Buzgar et al., 2013).



**Gambar 4.3 Kuning-hijau**



**Gambar 4.4 Kuning-Coklat**



**Gambar 4.5 Coklat**



**Gambar 4.6 Coklat-Hitam**

Endapan yang didapatkan memiliki pH 8 (gambar 4.7) kemudian dicuci menggunakan aquades sampai pH mendekati 7 atau bersifat netral (gambar 4.8) untuk menghilangkan zat-zat pengotor atau produk samping (Morales -Morales,

2017). Kemudian endapan dikeringkan menggunakan *hotplate* pada suhu 100 °C selama 3 jam.



**Gambar 4.7** Endapan Hasil kopresipitasi



**Gambar 4.8** Pencucian endapan menggunakan aquades



**Gambar 4.10** Proses pengeringan pada suhu 100 C



**Gambar 4.9** Endapan yang sudah mengerak

Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan bubuk besi dengan massa 3.3 gr (belum dikalsinasi) dan massa bijih besi sebelum dilarutkan adalah 13.6 gr.

Kemudian bijih besi tersisa sebanyak 1.9 gr. Ini membuktikan sebagian besar bijih besi larut di dalam HCl.



**Gambar 4.11** Serbuk besi sebelum dikalsinasi (hasil kopresipitasi)



**Gambar 4.12** Serbuk besi (siap untuk dikalsinasi).

Bubuk besi kemudian dikalsinasi menggunakan *furnace* sampai suhu 800 °C untuk membentuk fasa  $\alpha$ - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematit) (Sharmila Justus et al., 2016); (Widayat et al., 2019) ; (Septityana et al., 2013).



**Gambar 4.13** Furnace  
Sumber : NRE Lab Medan



**Gambar 4.14** Serbuk besi setelah proses kalsinasi.  
Sumber : NRE Lab Medan

## 4.2 HASIL X-RAYS FLUORESENCE (XRF)

Pengujian XRF dilakukan di Lab Terpadu Universitas Diponegoro Semarang dengan menggunakan perangkat Rigaku Supermini 200. Hasil pengujian terhadap sampel bijih besi pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah.

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian XRF

Unsur	Hasil pengujian (%berat)
Fe	62.8
Mn	3.71
Si	1.78
P	0.0288
K	0.0359
Al	0.400
Zn	0.401
Mg	0.534
Ca	0.588
Cu	0.0705

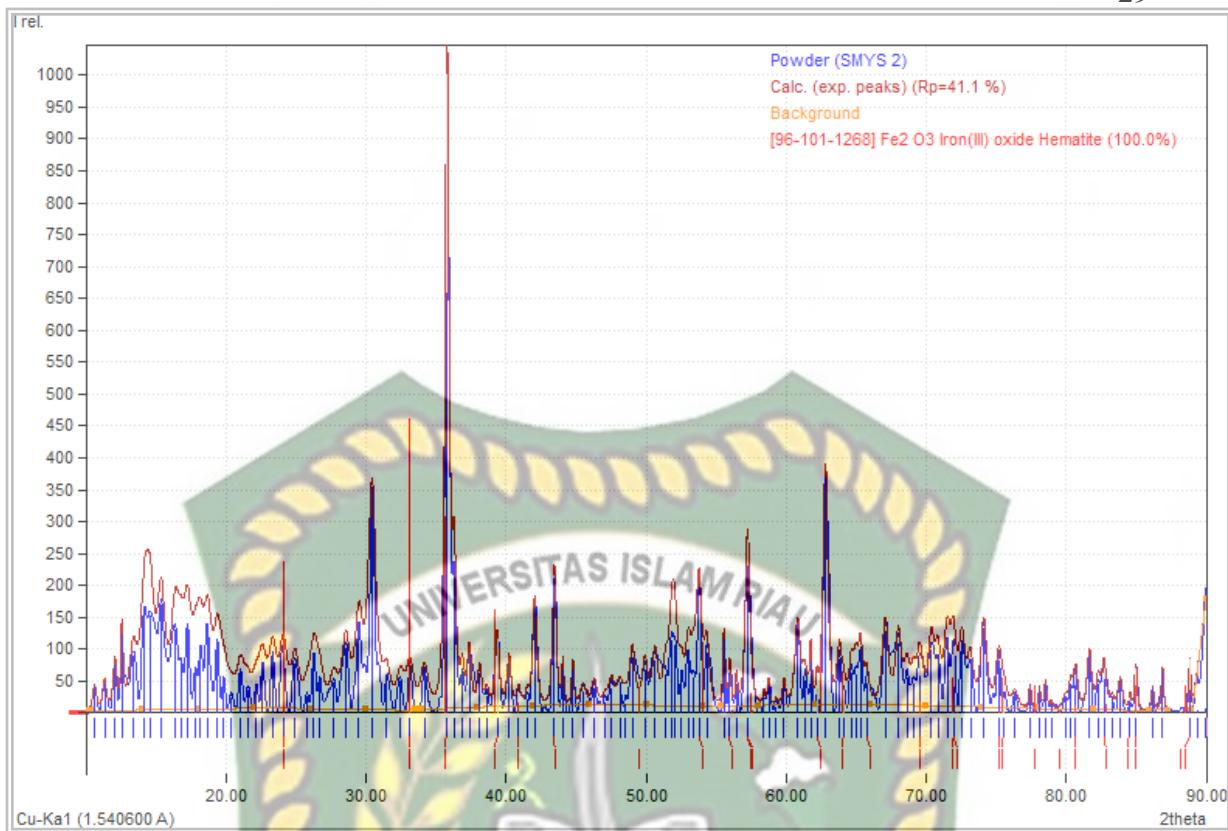
Terdapat berbagai macam unsur pada sampel bijih besi yang diteliti, persen berat paling besar adalah unsur Fe yaitu 62.8%. Hal ini membuktikan bijih besi dari Kota Solok cukup berkualitas dan dapat digunakan sebagai pembentuk senyawa besi oksida (Mufid & Zainuri, 2015). Alat XRF di lab UNDIP juga mampu medeteksi persen senyawa yang terdapat di sampel uji (bongkahan bijih besi) sebagai gambaran awal sebelum melakukan uji XRD (tabel 4.2). Diketahui dari hasil pengujian senyawa yang paling dominan adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yaitu sebanyak 81%, kemudian  $\text{MnO}$  sebanyak 4%,  $\text{SiO}_2$  2.92 %, selebihnya beberapa senyawa oksida dengan persen berat yang relatif sedikit

**Tabel 4.2 Oxide XRF**

SP-2022-0737	
Parameter Pengujian	Hasil Pengujian
MgO	0.887
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.577
SiO <sub>2</sub>	2.92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0511
K <sub>2</sub> O	0.0391
CaO	0.744
MnO	4.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	81.0
CuO	0.0796
ZnO	0.451
Balance	8.99

### 4.3 ANALISIS FASA (ANALISIS KUALITATIF)

Karakterisasi menggunakan *X-ray Diffractometer* (XRD) dengan CuKa 1.540600 Å dilakukan dengan perangkat tipe *SHIMADZU XRD 7000* di Lab Terpadu Universitas Diponegoro, Semarang. Kemudian data hasil XRD dianalisis menggunakan *software Match! 3*. Analisis ini merupakan analisis kualitatif, yaitu mencocokkan data hasil XRD sampel dengan data base *software Match!*. Gambar 4.15 menunjukkan pola difraksi sampel SMYS 2, yaitu sampel kedua yang peneliti buat di lab dasar UIR. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Match! 3* teridentifikasi puncak tertinggi berada pada sudut 33.16° 2Th dengan d-spacing [Å] 2.6995 dan I/I<sub>0</sub> 63.64, di mana nilai-nilai tersebut menjelaskan bahwa senyawa yang terbentuk adalah Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan fasa dominan alpha (hematit) dan struktur kristal rhombohedral (Yazirin et al., 2017). Nilai FoM pada sampel ini adalah 0.6533 yang mana nilai ini berada di atas 0.5 dan cendrung mendekati 1 sehingga hasil analisis ini cukup *reliable* atau dapat dihandalkan.



**Gambar 4.15** Pola difraksi sampel SMYS 2 suhu 800 °C

#### 4.4 HASIL PENGUJIAN *COMPRESSIVE STRENGTH*

Hasil pengujian yang dilakukan di lab pemboran teknik perminyakan UIR dapat dilihat pada tabel 4.4. Sementara tabel 4.3 adalah komposisi pembuatan bubur semen dengan variasi konsentrasi NF. Dapat dilihat pada tabel 4.2 penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi NF 0%, 1%, 2%, 3% dan 5%. Persen konsentrasi NF dalam % BWOC (*by the weight of cement*) yaitu NF 1% sama dengan 1% dari massa total semen. Hasil pengujian menggunakan *hydrollic press* menunjukkan bahwa NF dapat meningkatkan *compressive strength* pada konsentrasi optimal 1% yaitu 2536.295 psi. Peningkatan *compressive strength* ini disebabkan karena sifat NF yang reaktif, sehingga mempercepat proses hidrasi dan NF juga meningkatkan kerapatan campuran semen dan mengurangi pori-pori besar yang terdapat dalam pasta semen (Nazari et al., 2013); (Khoshakhlagh et al., 2012). Namun, penambahan di atas 1% ternyata menurunkan *compressive strength*. Hal ini dapat terjadi karena penambahan aditif yang berlebih akan menyebabkan terbentuknya agregat dan tidak terdispersi/tersebar dengan baik pada matrik batuan (Soltanian et al., 2015). Sehingga ada konsentrasi optimum nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam campuran terhadap air dan semen.

**Tabel 4.3** Komposisi Sampel *Compressive Strength*

<i>Batch</i> (% NF)	Air (g)	Semen (g)	Partikel NF (g)	Semen + NF (g)	W/C Ratio
NF 0%	157.5	350	0	350	0.45
NF 1%	157.5	346.5	3.5	350	0.45
NF 2%	157.5	343	7	350	0.45
NF 3%	157.5	339.5	10.5	350	0.45
NF 5%	157.5	332.5	17.5	350	0.45
Total	787.5	1711.5	38.5	1750	

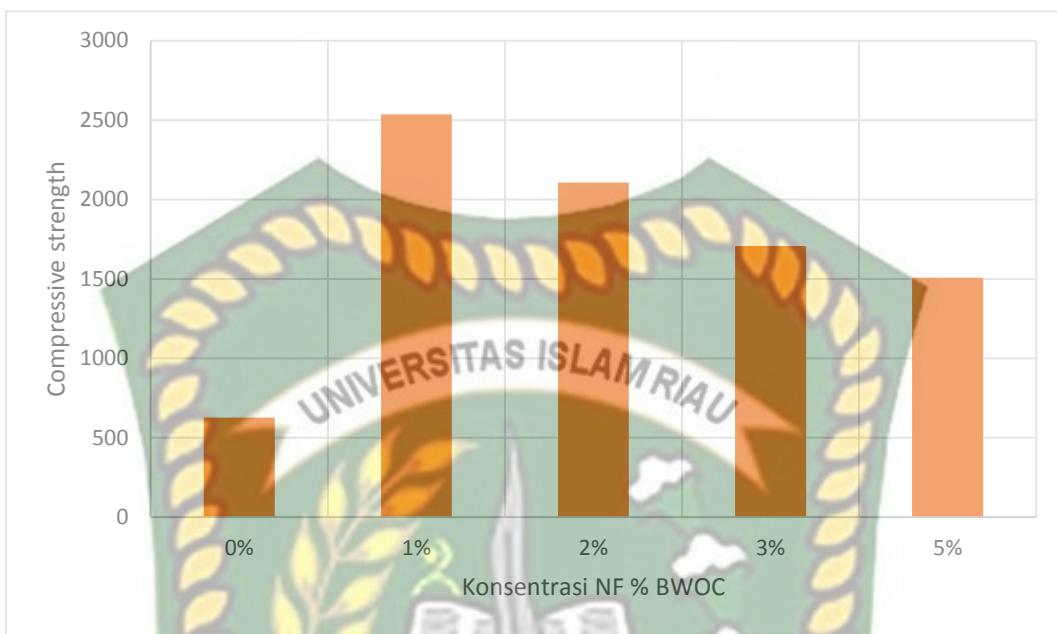
**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan *Compressive Strength*

Batch % NF	<i>Compressive Strength (psi)</i>
NF 0%	627.0604329
NF 1%	2536.295307
NF 2%	2106.597858
NF 3%	1707.509243
NF 5%	1507.827314

Pengurangan *compressive strength* tidak lepas dari fakta bahwa kuantitas nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam campuran lebih besar daripada jumlah yang dibutuhkan untuk bergabung dengan zat kapur yang terbebas selama proses hidrasi sehingga menyebabkan kelebihan silika dan penurunan *strength* karena senyawa-senyawa tersebut akan menggantikan sebagian material semen tetapi tidak berkontribusi terhadap *strength* sama sekali. Juga seperti yang disebutkan sebelumnya, hal ini dapat terjadi karena penyebaran nanopartikel yang buruk dan justru membuat zona menjadi lemah (Khoshakhlagh et al., 2012) ; (Nazari et al., 2013)

Peneliti juga mengukur nilai densitas bubur semen, terdapat kenaikan densitas setelah penambahan 1% NF yaitu sebesar 1.95 gr/cc jika dibandingkan campuran semen dan air 0% NF 1.83 gr/cc. Hal ini dikarenakan hematite memiliki densitas yang tinggi (5.05 gr/cc). Nilai ini bahkan lebih tinggi dari barite (4.2 gr/cc)

(Basfar & Elkhatatny, 2020). Sehingga NF dapat digunakan sebagai *heavy weight agent* material.



**Gambar 4.16** Grafik *compressive strength*

#### 4.5 HASIL PENGUJIAN SHEAR BOND STRENGTH

Pengujian *shear bond strength* juga dilakukan menggunakan *hydrolic press* di lab semen perminyakan UIR. Hasil pembacaan *load gauge* menunjukkan sampel dengan komposisi NF 1% BWOC memiliki nilai pembebanan maksimum paling besar dibanding 4 sampel yang lain yaitu sebesar 6.675 Ton (tabel 4.5). Ini membuktikan NF dapat menambah kekuatan ikatan semen terhadap dinding cetakan karena semakin sulit dilepaskan. Penyelidikan lebih lanjut dilakukan perhitungan nilai *shear bond strength* yang dapat dilihat pada halaman lampiran dengan komposisi sampel tertera pada tabel 4.5. Perlu diingat pembacaan pada *load gauge* adalah besaran gaya/force bukan tekanan/pressure, maka dari itu perlu dilakukan perhitungan tekanan sesuai prinsip hukum Fisika ( $P = F/A$ ) di mana nilai A adalah luas ram pada instrumen. Tabel 4.7 berisi nilai *shear bond strength* di berbagai konsentrasi NF.

Semen + NF 0% BWOC memiliki nilai *shear bond strength* sebesar 289.0194 psi. Kemudian sampel kedua dengan komposisi semen + NF 1% BWOC mengalami kenaikan *shear bond strength* menjadi 351.8479 psi (kenaikan sekitar

21.73% dari semen + NF 0%). Kenaikan ini ada hubungannya dengan NF sebagai zat pozzolan (seperti NS dan metakolin) yang cukup reaktif dan dapat bereaksi dengan C-H, lalu menyebabkan penurunan kadar CH di sepanjang antarmuka semen-formasi dan meningkatkan *strength* atau kekuatan material semen yang dihasilkan (Mabeyo, 2021) ; (Nazari et al., 2013).

**Tabel 4.5 Komposisi Sampel Shear Bond Strength**

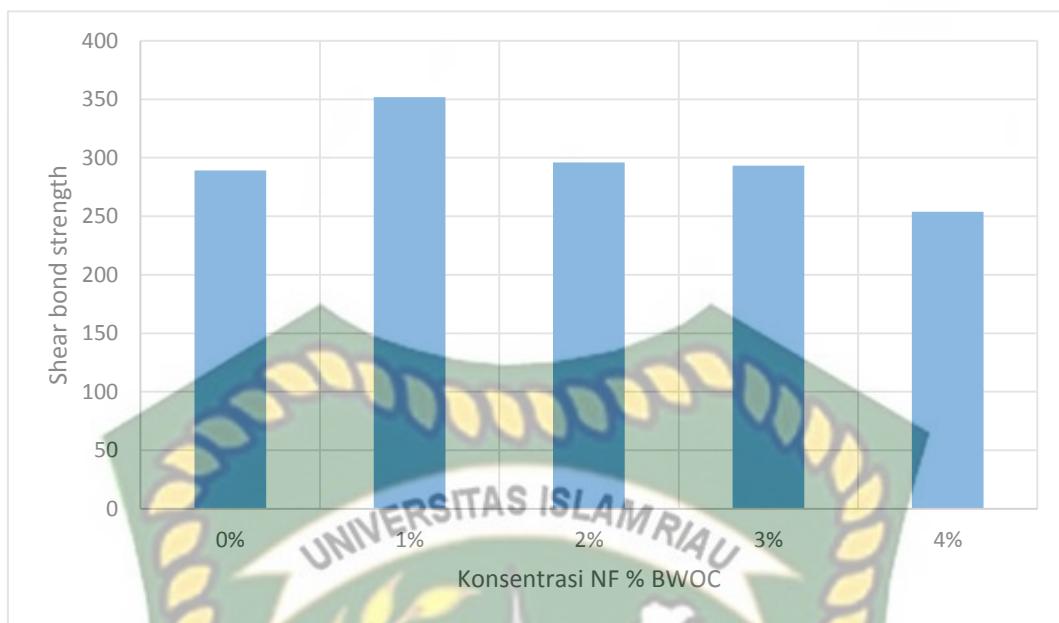
Batch (% NF)	Air (g)	Semen (g)	Partikel NF (g)	Semen + NF (g)	W/C Ratio
NF 0%	157.5	350	0	350	0.45
NF 1%	157.5	346.5	3.5	350	0.45
NF 2%	157.5	343	7	350	0.45
NF 3%	157.5	339.5	10.5	350	0.45
NF 4%	157.5	332.5	14	350	0.45
Total	787.5	1715	35	1750	

**Tabel 4.6 Load Gauge Hydrolic Press Untuk SBS**

Batch % NF	Load Gauge (Ton)
NF 0%	1.575
NF 1%	6.675
NF 2%	5.55
NF 3%	4.5
NF 4%	4.125

**Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Shear Bond Strength**

Batch % NF	Shear Bond Strength (psi)
NF 0%	289.019448365364
NF 1%	351.847925344353
NF 2%	296.012615642545
NF 3%	293.131592161246
NF 4%	253.856354012921



**Gambar 4.17** Grafik *shear bond strength*

Jika diamati sampel ke 3, 4 , dan 5 masing-masing mengalami penurunan *shear bond strength*. Hal ini dapat terjadi karena nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam campuran lebih besar daripada jumlah yang dibutuhkan untuk bergabung dengan zat kapur sehingga menyebabkan kelebihan silika dan penurunan kekuatan semen (Khoshakhlagh et al., 2012).

#### 4.6 HASIL PENUJIAN *THICKENING TIME*

Pengujian dilakukan di lab semen perminyakan UIR dengan menggunakan alat *Atmospheric consistometer*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.8 sampai tabel 4.12. Penelitian ini menggunakan konsistensi 70 UC sebagai *thickening time* (Umeokafor & Joel, 2010). Pengujian dilakukan dengan melihat kenaikan UC pada alat dengan interval waktu 5 m sampai semen mencapai 70 UC pada temperatur 150 °F, kemudian motor dihentikan.

**Tabel 4.8** Pembacaan pada alat *atmospheric consistometer* sampel 1

Sampel 1 ( 350 gr semen + 0% NF, 0 gr NF)	
Waktu (menit)	UC
5	15
10	17.5
15	19
20	20
25	22.5
30	25

Sampel 1 ( 350 gr semen + 0% NF, 0 gr NF)	
Waktu (menit)	UC
35	26
40	26.5
45	34
50	34.5
55	35.5
60	36
65	38
70	40
75	42.5
80	50
85	52.2
90	59
95	70

**Tabel 4.9** Pembacaan pada alat *atmospheric consistometer* sampel 2

Sampel 2 ( 346.5 gr semen +1% NF, 3.5 gr NF)	
time (m)	UC
5	11
10	18
15	20
20	22
25	24
30	25
35	26
40	29
45	30
50	32.5
55	37
60	43
65	51
70	60
75	72

**Tabel 4.10** Pembacaan pada alat *atmospheric consistometer* sampel 3

Sampel 3 ( 343 gr semen +2% NF, 7 gr NF)	
time (m)	UC
5	13
10	19
15	22
20	25
25	27

Sampel 3 ( 343 gr semen +2% NF, 7 gr NF)	
time (m)	UC
30	30
35	33
40	34
45	35
50	40
55	47
60	59
65	70

**Tabel 4.11** Pembacaan pada alat *atmospheric consistometer* sampel 4

Sampel 4 ( 339.5 gr semen +3% NF, 10.5 gr NF)	
time (m)	UC
5	15
10	20
15	23
20	26
25	27
30	34
35	36
40	38
45	40
50	46
55	58
60	70

**Tabel 4.12** Pembacaan pada alat *atmospheric consistometer* sampel 5

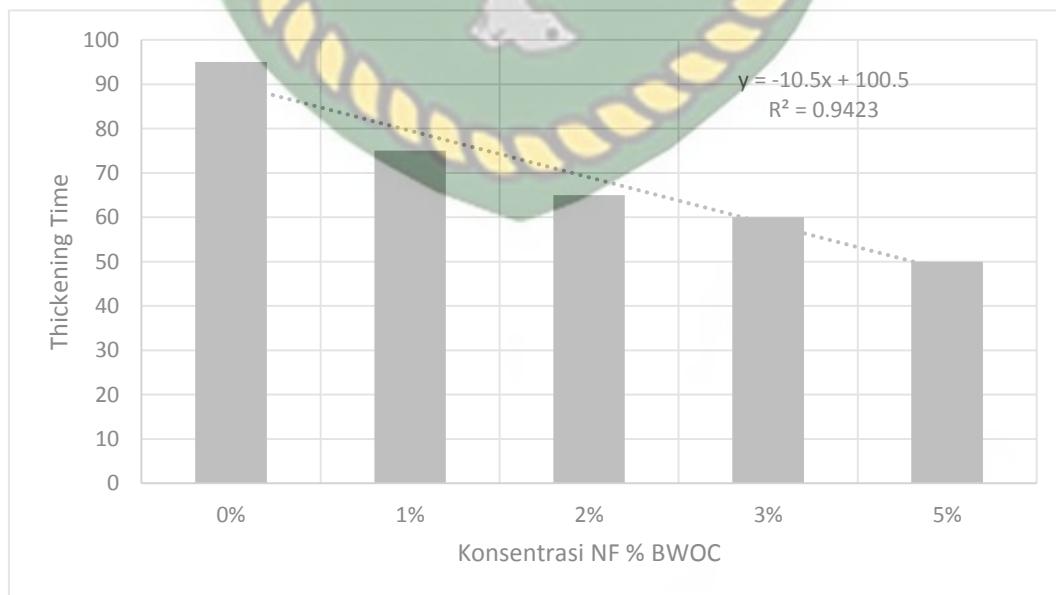
Sampel 5 ( 332.5 gr semen +5% NF, 17.5 gr NF)	
time (m)	UC
5	16
10	21
15	23
20	27
25	29
30	39
35	47
40	56
45	63
50	70

Jika diamati dari sampel 1 hingga 5 terjadi pengurangan waktu dalam mencapai konsistensi 70 UC. Sampel 1 dengan komposisi 0% NF mencapai

*thickening time* pada menit ke-95 dengan nilai 70 UC. Kemudian sampel 2 dengan komposisi 1% NF BWOC mencapai konsistensi 72 UC di menit 75. Selanjutnya sampel 3 dengan konsentrasi NF 2% BWOC dapat mencapai konsistensi 70 UC di menit ke 65. Sampel 4 dengan konsentrasi 3% NF BWOC mencapai nilai 70 UC selama 60 menit. Sampel 5 dengan konsentrasi 5% NF BWOC hanya memerlukan waktu tidak kurang dari 50 menit untuk mencapai konsistensi 70 UC. Terjadi pengurangan waktu dalam mencapai konsistensi 70 UC seiring penambahan konsentrasi NF. Dapat diambil kesimpulan bahwa NF bisa bertindak sebagai *accelerator* (Kongsat et al., 2021). Hal tersebut sangat berkaitan dengan sifat *accelerator* yang dapat meningkatkan kecepatan hidrasi semen dengan mempercepat reaksi dengan air, sehingga dapat meningkatkan peforma semen dengan mengurangi *thickening time* dan meningkatkan kekuatan awal setelah semen diset (Beach, 1961).

**Tabel 4.13** Hasil Pengujian Thickening Time

Bacth Sampel	<i>Thickening time</i> (menit)
NF 0%	95
NF 1%	75
NF 2%	65
NF 3%	60
NF 4%	50



**Gambar 4.18** Grafik *thickening time*

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian XRF mengungkapkan bahwa di dalam bijih besi yang diteliti terdapat berbagai unsur, diantaranya Fe, Mn, Si, P, K, Al, Zn, Mg, Ca, Cu. Persentase unsur yang paling besar adalah Fe yaitu sebesar 62.8 %. Kemudian dari pengujian XRD dan interpretasi data menggunakan *match!* 3 didapatkan senyawa yang paling dominan di dalam serbuk besi setelah proses kalsinasi adalah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  fasa alpha- $\alpha$  (hematit) dengan FoM 0.6962, nilai ini lebih besar dari 0.5 dan cendrung mendekati 1, sehingga hasil interpretasi cukup *reliable*.
2. Penambahan NF (nano-Hematit) ke dalam bubur semen terbukti dapat meningkatkan *compressive strength* pada konsentrasi optimum 1% NF BWOC yaitu 2536. 2953 psi. Penurunan terlihat pada konsentrasi 2%, 3%, dan 5% namun nilai ini masih lebih besar jika dibandingkan dengan campuran NF 0% dengan nilai *compressive strength* 627.0604 psi. NF dapat meningkatkan *compressive strength* pada komposisi yang tepat.
3. Hasil pengujian *shear bond strength* menunjukkan adanya kenaikan nilai dari 289.0194 psi (NF 0%) menjadi 351.8479 psi (NF 1%). Kemudian terjadi penurunan yang juga tidak begitu signifikan di konsentrasi NF 2%, NF 3%, dan NF 4%. Dapat disimpulkan bahwa senyawa nano- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  juga dapat meningkatkan *shear bond strength* pada komposisi yang tepat.
4. NF dapat bertindak sebagai *accelerator* yaitu mempercepat reaksi hidrasi sehingga mengurangi *thickening time* atau waktu pengerasan semen. Seiring penambahan jumlah NF, *thickening time* semakin singkat dari 95 menit (tanpa NF) menjadi 75 menit (NF 1%), lalu menurun hingga 65, 60, dan 50 menit pada konsentrasi NF 2%, 3%, 5%.

## 5.2 SARAN

Saran untuk penelitian di masa depan adalah perlu dilakukan investigasi atau penyelidikan lebih lanjut mengenai pengaruh *curing time*, temperatur, dan ukuran partikel nano-hematit sebagai aditif semen pemboran menggunakan PSA.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Ezeakacha, C. P., & Salehi, S. (2018). Improvement in cement sealing properties and integrity using conductive carbon nano materials: From strength to thickening time. *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2018-Septe*(Fink 2012). <https://doi.org/10.2118/191709-ms>
- Basfar, S., & Elkataatny, S. (2020). Prevention of hematite settling using synthetic layered silicate while drilling high-pressure wells. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(12). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05516-2>
- Beach, H. J. (1961). Improved Bentonite Cements Through Partial Acceleration. *Journal of Petroleum Technology*, 13(09), 923–926. <https://doi.org/10.2118/38-pa>
- BP. (2020). *Statistical Review of World Energy globally consistent data on world energy markets* . 66. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Budi, H., Husain, H., Supanun, L., & Suminar, P. (2019). Examination of natural and standard fe<sub>3</sub>o<sub>4</sub> powders using x-ray absorption near-edge spectroscopy (Xanes). *Materials Science Forum*, 964 MSF, 40–44. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.964.40>
- Buzgar, N., Ionut, A., & Buzatu, A. (2013). *Characterization and source of Cucuteni black pigment ( Romania ): vibrational spectrometry and XRD study*. 40, 2128–2135. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.12.034>
- Choolaei, M., Rashidi, A. M., Ardjmand, M., Yadegari, A., & Soltanian, H. (2012). The effect of nanosilica on the physical properties of oil well cement. *Materials Science and Engineering A*, 538, 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.01.045>
- Frey, P. A., & Reed, G. H. (2012). The ubiquity of iron. *ACS Chemical Biology*, 7(9), 1477–1481. <https://doi.org/10.1021/cb300323q>
- Jadhav, R., Gopala, V., Palla, R., Datta, A., & Dambre, M. (2017). *SPE-186441-MS Effect of Casing Coating Materials on Shear-Bond Strength*. October, 17–

19.

- Khalid, I., Musnal, A., Novriansyah, A., & Sitanggang, K. (2020). Aplikasi Bentonite Lokal Terhadap Nilai Compressive dan Shear Bond Strength Suspensi Semen Sumur Minyak. *Jurnal Saintis*, 20(02), 85–92. [https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20\(02\).5252](https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20(02).5252)
- Khoshakhlagh, A., Nazari, A., & Khalaj, G. (2012). Effects of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles on Water Permeability and Strength Assessments of High Strength Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials Science and Technology*, 28(1), 73–82. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60026-7](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60026-7)
- Kongsat, P., Sinthupinyo, S., Rear, E. A. O., & Pongprayoon, T. (2021). *Effect of Morphologically Controlled Hematite Nanoparticles on the Properties of Fly Ash Blended Cement*.
- Labibzadeh, M., Zahabizadeh, B., & Khajehdezfuly, A. (2010). Early-age compressive strength assessment of oil well class G cement due to borehole pressure and temperature changes. *Shahid Chamran University*, 6(7), 38–47.
- Liska, M., Wilson, A., & Bensted, J. (2019). Special cements. In *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (5th ed.). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100773-0.00013-7>
- Maagi, M. T., Pin, G., & Jun, G. (2020). Influence of nano-TiO<sub>2</sub> on the wellbore shear bond strength at cement-formation interface. *Upstream Oil and Gas Technology*, 5(August), 100016. <https://doi.org/10.1016/j.upstre.2020.100016>
- Mabeyo, P. E. (2021). Improving oil well cement strengths through the coupling of metakaolin and nanosilica. *Upstream Oil and Gas Technology*, 7(September 2020), 100048. <https://doi.org/10.1016/j.upstre.2021.100048>
- MacKenzie, J. J. (1998). Oil as a finite resource. *Natural Resources Research*, 7(2), 97–100. <https://doi.org/10.1007/BF02767703>
- Mayasari, R. D. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Material Nano-Perovskite Neodymium Iron Oxide (NdFeO<sub>3</sub>). *Metalurgi*, 35(2), 53. <https://doi.org/10.14203/metalurgi.v35i2.490>
- Mohammed, A., Rafiq, S., Mahmood, W., Noaman, R., Ghafor, K., Qadir, W., & Kadhum, Q. (2020). Characterization and modeling the flow behavior and

- compression strength of the cement paste modified with silica nano-size at different temperature conditions. *Construction and Building Materials*, 257, 119590. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119590>
- Morales -Morales, J. A. (2017). Synthesis of hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano powders by the controlled precipitation method / Síntesis de nano polvos de hematita  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por el método de precipitación. *Ciencia En Desarrollo*, 8(1), 99–107. <https://doi.org/10.19053/01217488.v8.n1.2017.4494>
- Mufid, A., & Zainuri, M. (2015). The Influence of Calcination Temperature on Quantitative Phase of Hematite from Iron Stone Tanah Laut. *Advanced Materials Research*, 1112(1), 489–492. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1112.489>
- Nazari, A., Riahi, S., Shirin Riahi, S. F. S., & Khademno, A. (2013). Benefits of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in concrete mixing matrix. *Journal of American Science*, 6(3), 11229–11236.
- Novrianti, N., & Umar, M. (2017). Studi Laboratorium Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Arang Batok Kelapa Terhadap Thickening Time dan Free Water Semen Pemboran. *Journal of Earth Energy Engineering*, 6(1), 38–43. <https://doi.org/10.22549/jeee.v6i1.632>
- Professors, H.-W. (2005). Heriot Watt University Drilling Engineering. *Institute of Petroleum Engineering*.
- Radonjic, M., & Oyibo, A. E. (2014). Experimental Evaluation of Wellbore Cement- Formation Shear Bond Strength in Presence of Drilling Fluid Contamination. *World Journal of Engineering*, 11(6), 597–604. <https://doi.org/10.1260/1708-5284.11.6.597>
- Roshan, H., & Asef, M. R. (2010). Characteristics of oilwell cement slurry using CMC. *SPE Drilling and Completion*, 25(3), 328–335. <https://doi.org/10.2118/114246-PA>
- Rosyidan, C. (2019). Analisis Compressive Strenght Dan Thickening Time Semen Kelas G Dengan Penambahan Additive Sodium Lignosulfonate Dan CaCl<sub>2</sub> Pada Skala Laboratorium. *PETRO:Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 8(3), 95. <https://doi.org/10.25105/petro.v8i3.5510>

- Rudi Rubiandini, R. S. (2000). New Additive for Improving Shearbond Strength in High Temperature and Pressure Cement. *Proceedings of the IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, APDT*, 181–198. <https://doi.org/10.2523/62750-ms>
- Salehi, S., Khattak, M. J., Bwala, A. H., & Karbalaei, F. S. (2017). Characterization, morphology and shear bond strength analysis of geopolymers: Implications for oil and gas well cementing applications. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 38, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.12.042>
- 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>
- Septityana, K. D., Rahman, T. P., Nugroho, W., Ikono, R., Maulana, N. N., & Rochman, N. T. (2013). Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Dari Bijih Besi Alam Melalui Metode Presipitasi. *Youngster Physics Journal*, 2(3), 95–100.
- Sharmila Justus, J., Dawn Dharma Roy, S., & Moses Ezhil Raj, A. (2016). Synthesis and characterization of hematite nanopowders. *Materials Research Express*, 3(10), 1–9. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/3/10/105037>
- Soltanian, H., Khalokakaie, R., Ataei, M., & Kazemzadeh, E. (2015).  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles improve the physical properties of heavy-weight wellbore cements: A laboratory study. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 695–701. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.06.004>
- Sulastri, S., & Kristianingrum, S. (2010). Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 211–216.
- Tadic, M., Panjan, M., Damnjanovic, V., & Milosevic, I. (2014). Magnetic properties of hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) nanoparticles prepared by hydrothermal synthesis method. *Applied Surface Science*, 320, 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.08.193>
- Tanner, K. (2018). Experimental research. In *Research Methods: Information, Systems, and Contexts: Second Edition*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102220-7.00014-5>

- Umeokafor, C. V., & Joel, O. F. (2010). Modeling of cement thickening time at high temperatures with different retarder concentrations. *Society of Petroleum Engineers - Nigeria Annual International Conference and Exhibition 2010, NAICE, 1*, 230–236. <https://doi.org/10.2118/136973-ms>
- Widayat, Putra, D. A., & Nursafitri, I. (2019). Synthesis and catalytic evaluation of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) magnetic nanoparticles from iron sand for waste cooking oil conversion to produce biodiesel through esterification-transesterification method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012035>
- Yazirin, C., Puspitasari, P., Sasongko, M. I. N., Tsamroh, D. I., & Risdanareni, P. (2017). Phase identification and morphology study of hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) with sintering time varitions. *AIP Conference Proceedings*, 1887(September 2017). <https://doi.org/10.1063/1.5003521>
- Zuo, C., Qiao, W., Che, X., & Yang, S. (2020). Evaluation of azimuth cement bond quality based on the arcuate phased array acoustic receiver station. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 195(August), 107902. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107902>