



## Perbandingan Penggunaan Nano Silika dan Nano Abu Batubara pada Uji Kestabilan Busa untuk Injeksi CO<sub>2</sub>

Astra Agus Pramana dan Ridho Akbar Szafdarian

Universitas Pertamina

Jl. Teuku Nyak Arif, Simprug, Kebayoran Lama Jakarta Selatan, Indonesia

### ABSTRAK

#### Artikel Info:

Naskah Diterima:

09 Juni 2023

Diterima setelah perbaikan:

26 September 2023

Disetujui terbit:

11 Oktober 2023

#### Kata Kunci:

injeksi CO<sub>2</sub>

nano silika

nano abu batubara

polimer *xanthan gum*

stabilitas busa

Penggunaan busa CO<sub>2</sub> untuk metode injeksi cenderung tidak stabil dalam pembentukan stabilitas dari busa. Karena hal itu, dibutuhkan penguat untuk menambahkan stabilitas busa yang terbentuk. Pada penelitian ini, menggunakan nano abu batubara dan nano silika serta polimer berupa xanthan gum sebagai penguat busa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dengan penambahan nano dan polimer pada stabilitas busa, perbandingan penggunaan nano abu batubara dan silika dalam uji stabilitas busa serta penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui penguat apa yang dapat meningkatkan stabilitas busa secara signifikan. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium yang dimulai dari proses milling sampel, karakterisasi sampel, hingga pengujian stabilitas busa. Pengujian stabilitas busa menggunakan metode yang menghitung waktu halftime. Hasil dari pengujian stabilitas busa ini didapatkan bahwa penambahan nano silika dan nano abu batubara memiliki peningkatan waktu halftime sebesar 10.23% dan 2.96% dibandingkan tidak menggunakan nanopartikel. Campuran dari nanopartikel dan polimer berupa xanthan gum dapat meningkatkan waktu halftime 12.65% untuk nano silika dan 6.33% untuk nano abu batubara. Sedangkan campuran nanopartikel, polimer, dan minyak mengalami penurunan 10.9% untuk nano silika dan 16.29% untuk nano abu batubara. Berdasarkan hasil analisis data percobaan yang sudah dilakukan, penambahan nano silika memiliki nilai stabilitas busa yang lebih tinggi dibandingkan nano abu batubara serta penambahan nano silika dan polimer merupakan penguat yang paling baik dalam menjaga stabilitas dari busa yang dihasilkan.

### ABSTRACT

*The use of CO<sub>2</sub> foam for the injection method tends to be unstable in the formation of foam stability. Therefore, foam booster is needed to add stability to the foam formed. In this research, nano coal fly ash and nano silica and polymers in the form of xanthan gum were used as foam booster. The aim of this research is to determine the effect of adding nano and polymer on foam stability, comparing the use of coal ash and silica nano in foam stability tests and this research also aims to find out what reinforcements can significantly increase foam stability. The method used in this research uses a laboratory test method starting from the sample milling process, sample characterization, to foam stability testing. Foam stability testing uses a method that calculates halftime. The results of testing the stability of this foam showed that the addition of nano silica and nano coal ash had an increase in half time of 10.23% and 2.96% compared to not using nanoparticles. A mixture of nanoparticles and polymer in the form of xanthan gum can increase the half time by 12.65% for nano silica and 6.33% for nano coal ash. Meanwhile, the mixture of nanoparticles, polymers and oil experienced a decrease of 10.9% for nano silica and 16.29% for nano coal ash. Based on the results of the experimental data analysis that has been carried out, the addition of nano silica has a higher foam stability value than nano coal ash and the addition of nano silica and polymer is the best reinforcement in maintaining the stability of the resulting foam.*

Korespondensi:

E-mail: [astraagus.p@universitaspertamina.ac.id](mailto:astraagus.p@universitaspertamina.ac.id) (Astra Agus Pramana DN)

© LPMGB - 2023

## PENDAHULUAN

Penurunan produksi minyak dari tahun ke tahun dari suatu reservoir pasti akan terjadi. Hanya dengan mengandalkan metode produksi primer, besar kemungkinan minyak yang tersisa di reservoir masih banyak. Metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan cadangan minyak dan gas bumi adalah dengan menggunakan metode *Enhanced Oil Recovery* (EOR) (Putra & Kiono 2021). Salah satu metode EOR yang paling sering digunakan adalah injeksi gas dengan menggunakan CO<sub>2</sub> atau dapat disebut juga sebagai Injeksi CO<sub>2</sub> (Putra & Kiono 2021).

Gas CO<sub>2</sub> merupakan gas yang banyak muncul pada sektor energi terutama dari pembakaran batubara. Penggunaan energi fosil yang terus meningkat dapat menyebabkan tingginya gas CO<sub>2</sub> yang lepas di atmosfer dan mengakibatkan suhu bumi naik dan menimbulkan efek gas rumah kaca (Saputra, Sugihardjo, & Tobing 2018). Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> adalah dengan menginjeksikan gas tersebut pada formasi lapangan tua yang masih memiliki cadangan minyak (Syahrial & Purnomo 2009). Gas CO<sub>2</sub> mempunyai karakteristik densitas yang mirip dengan minyak tetapi memiliki viskositas seperti uap pada kondisi reservoir tertentu (Lee & Kam 2013) serta fase superkritikal pada tekanan 73.0 atm dan temperatur 31 C (Lee & Kam 2013). Hal ini mengakibatkan penggunaan gas CO<sub>2</sub> untuk EOR lebih sering dibandingkan dengan penggunaan gas yang lain seperti Nitrogen, Metana, dan Etana.

Selain beberapa kelebihan dari gas CO<sub>2</sub>, Injeksi menggunakan gas CO<sub>2</sub> juga memiliki kekurangan yaitu dapat menyebabkan terjadinya *viscous fingering* serta mengurangi *sweep efficiency* (Ibrahim & Nasr-El-Din 2019). Hal ini disebabkan karena injeksi CO<sub>2</sub> menghasilkan nilai viskositas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan fluida formasi. Nilai Viskositas CO<sub>2</sub> yang rendah juga menurunkan efisiensi pendesakan mikroskopik (Usman 2011). Selain itu, Gas CO<sub>2</sub> relatif lebih mudah larut dalam fluida hidrokarbon seperti minyak. Hal ini menyebabkan terjadinya pengembangan volume minyak dan penurunan harga viskositas minyak (Sugihardjo & Purnomo 2009). Salah satu cara untuk mengoptimalkan injeksi CO<sub>2</sub> adalah dengan menggunakan metode *Water Alternating Gas* (WAG)

atau injeksi busa (Budi, Rudiyo, & Pramana 2019). Pengoptimalan injeksi CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh efektivitas busa yang terbentuk saat dilakukan injeksi (Worthen et al. 2013). Pengujian sederhana yang untuk mengukur stabilitas dari suatu busa adalah dengan menggunakan pengukuran waktu berkurangnya setengah dari tinggi kolom busa yang dihasilkan. Metode ini disebut juga sebagai metode *half-time* (Lunkenheimer & Malysa 2003). Efektivitas busa yang terbentuk pada kondisi superkritikal CO<sub>2</sub> ini pada umumnya tidak stabil sehingga dibutuhkan penguat yang dapat menjaga kestabilan busa tersebut (Clark & Santiso 2018). Salah satu penguat yang digunakan adalah dengan penambahan surfaktan dan nanopartikel.

Penambahan surfaktan dalam peningkatan stabilitas busa adalah dengan mengurangi tegangan antarmuka gas-cair yang dapat menghasilkan tekanan kapiler yang lebih rendah sehingga energi yang dihasilkan antara antarmuka gas-cair dapat lebih rendah (Eftekhari, Krastev & Farajzadeh 2015). Hanya saja penggunaan surfaktan tergolong mahal dan memiliki tingkat adsorpsi tinggi di formasi sehingga dibutuhkan tambahan *foam booster* yang lebih ekonomis yaitu nano silika dan nano abu batubara.

Stabilitas foam dipengaruhi oleh stabilitas pada liquid film dari busa dan antarmuka udara dan air. Dengan menambahkan nanopartikel, dapat meningkatkan stabilitas dari busa karena nanopartikel membentuk lapisan *viscoelastic film* dengan cara menyerap tegangan antarmuka udara dan air (Vishal & Ghosh 2018). Selain itu, adsorpsi dari nanopartikel pada permukaan antara gas dan cairan dapat meminimalkan area kontak antara gas dan cairan sehingga terbentuk penghalang yang mencegah gelembung menyatu (Ibrahim & Nasr-El-Din 2019). Dalam peningkatan stabilitas busa, ukuran dari nanopartikel sangat berpengaruh. Berdasarkan beberapa eksperimen yang dilakukan, dalam penggunaan nano silika, semakin kecil ukuran dari nanopartikel maka stabilitas dari busa akan semakin tinggi (Yekeen et al. 2016). Partikel yang lebih kecil akan bergerak lebih cepat menuju permukaan *gas-liquid* sehingga adsorpsi dari nanopartikel dan konsentrasi permukaan *lamella* akan meningkat sehingga busa akan lebih stabil (Ibrahim & Nasr-El-Din 2019).

## MATERI DAN METODE

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah surfaktan anionik dengan tipe *Alpha-Olefin Sulfonate* (AOS), abu batubara yang sudah diuji karakteristiknya menggunakan *x-ray fluorescence spectrometer* dengan kandungan silika sebanyak 42.689%, Pasir silika dengan kandungan silika >95%, alkohol 70%, serta minyak dan brine yang berasal dari lapangan Tempino. Sedangkan alat yang digunakan pada percobaan stabilitas foam adalah tabung berisi gas CO<sub>2</sub>, valve, regulator, selang PVC, *flowmeter*, aerator, dan gelas ukur 250 ml, gelas kimia 50 ml.

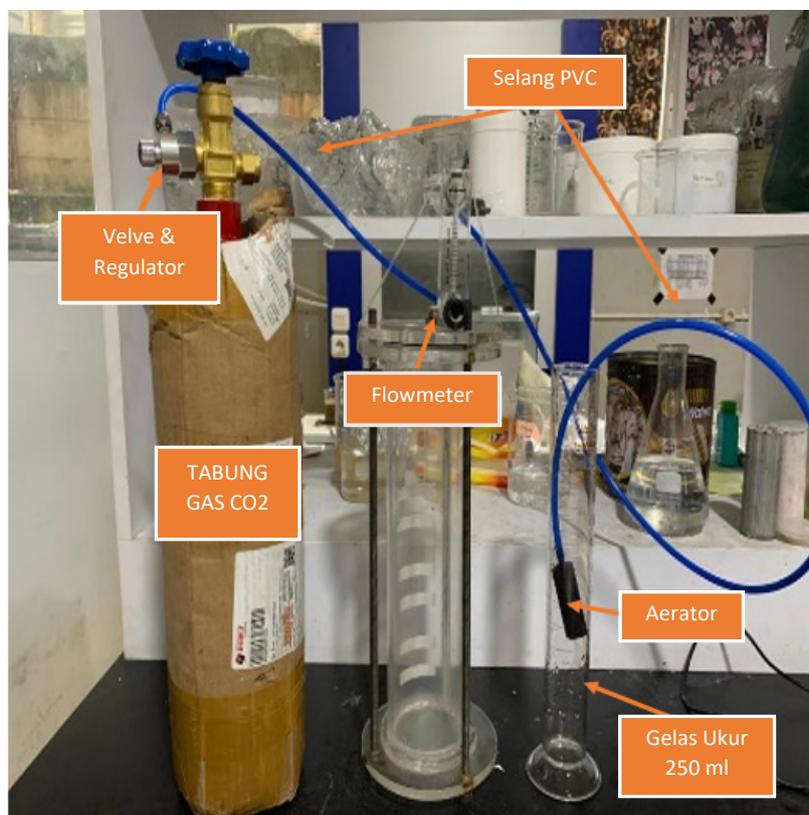
### Proses Pembuatan Nanopartikel

Pembuatan nanopartikel ini menggunakan proses bernama proses *milling* dengan menggunakan *Planetary Ball Mill* (PBM). Cara kerja dari PBM adalah dengan menggunakan silinder berongga yang berputar pada poros dan diisi dengan bola logam yang terbuat dari stainless steel, keramik atau karet (Hitesh, Wattal & Lata 2021). Proses ini dibagi menjadi dua yaitu menggunakan *jar*

berbahan *stainless steel* dan *jar* berbahan *ceramic alumina*. Untuk penggunaan *jar* berbahan *stainless steel*, rasio antara bahan sampel dan *ball mill* adalah 1:30 sedangkan untuk untuk *jar* berbahan *ceramic alumina* menggunakan rasio 1:10. Penggunaan *jar* berbahan *stainless steel* untuk bahan abu batubara tipe F sedangkan *jar* berbahan alumina untuk sampel silika.

### Proses Karakterisasi Nanopartikel

Proses karakterisasi nanopartikel setelah di *milling* adalah dengan menggunakan dua alat yaitu *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Penggunaan alat PSA digunakan untuk mengetahui persebaran ukuran dari partikel sampel yang diuji dengan memanfaatkan hamburan cahaya dinamis pada sampel (Nuraeni, Daruwati W. & Sriyani 2013). Sedangkan alat XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang ada dalam suatu sampel padatan (Modena, Ruhle, Burg, & Wuttke 2019). Cara kerja dari XRD adalah dengan menggunakan interferensi konstruktif dari sinar-x monokromatik dengan kandungan kristal dari sampel (Raja et al. 2022).



Gambar 1  
Rangkaian Alat Percobaan

## Proses Uji Stabilitas Foam

Pengujian stabilitas busa pada penelitian ini dengan melihat waktu *halftime* yang diperlukan busa yang terbentuk. Pengujian waktu *halftime* adalah dengan melihat waktu paruh yang dihasilkan dari busa untuk mempertahankan kestabilan. Pengujian ini dilakukan untuk melihat stabilitas dari foam yang terbentuk dengan penambahan komponen yaitu Nano Abu Batubara, Nano Silika, penambahan minyak, dan penambahan polimer berupa xanthan gum dengan komposisi sesuai dengan Tabel 1. Cara pengujian ini diawali dengan perangkaian alat seperti pada Gambar 1. Lalu, larutan pengujian dibuat sesuai

dengan komposisi pada Tabel 1. Kemudian, gas CO<sub>2</sub> diinjeksi melalui rangkaian selang PVC menuju *flowmeter* dan diatur keluaran CO<sub>2</sub> dari *flowmeter* sebesar 0.2 L/m. Setelah *flowmeter* stabil, aerator dimasukkan ke dalam dasar dari gelas ukur 250 ml dan CO<sub>2</sub> diinjeksikan selama satu menit. Setelah itu, volume busa yang terbentuk selama 1 menit dicatat. Kemudian saat volume mencapai setengah dari volume awal, waktunya dicatat sebagai waktu *half time*.

Berikut merupakan variabel yang akan digunakan dalam percobaan ini:

Tabel 1  
Variabel Percobaan

No	AOS	Brine	NFA	Kandungan			Total
				Silika	Xanthan Gum	Oil	
	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram
1	0.3	45	-	-	-	-	45.30
2	0.3	45	0.4	-	-	-	45.70
3	0.3	45	-	0.4	-	-	45.70
4	0.3	45	0.4	-	0.02	-	45.72
5	0.3	45	-	0.4	0.02	-	45.72
6	0.3	45	0.4	-	0.02	2.5	48.22
7	0.3	45	-	0.4	0.02	2.5	48.22

## HASIL DAN DISKUSI

### Proses Karakterisasi Nanopartikel

Proses Karakterisasi nanopartikel dibagi menjadi 2 macam yaitu menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

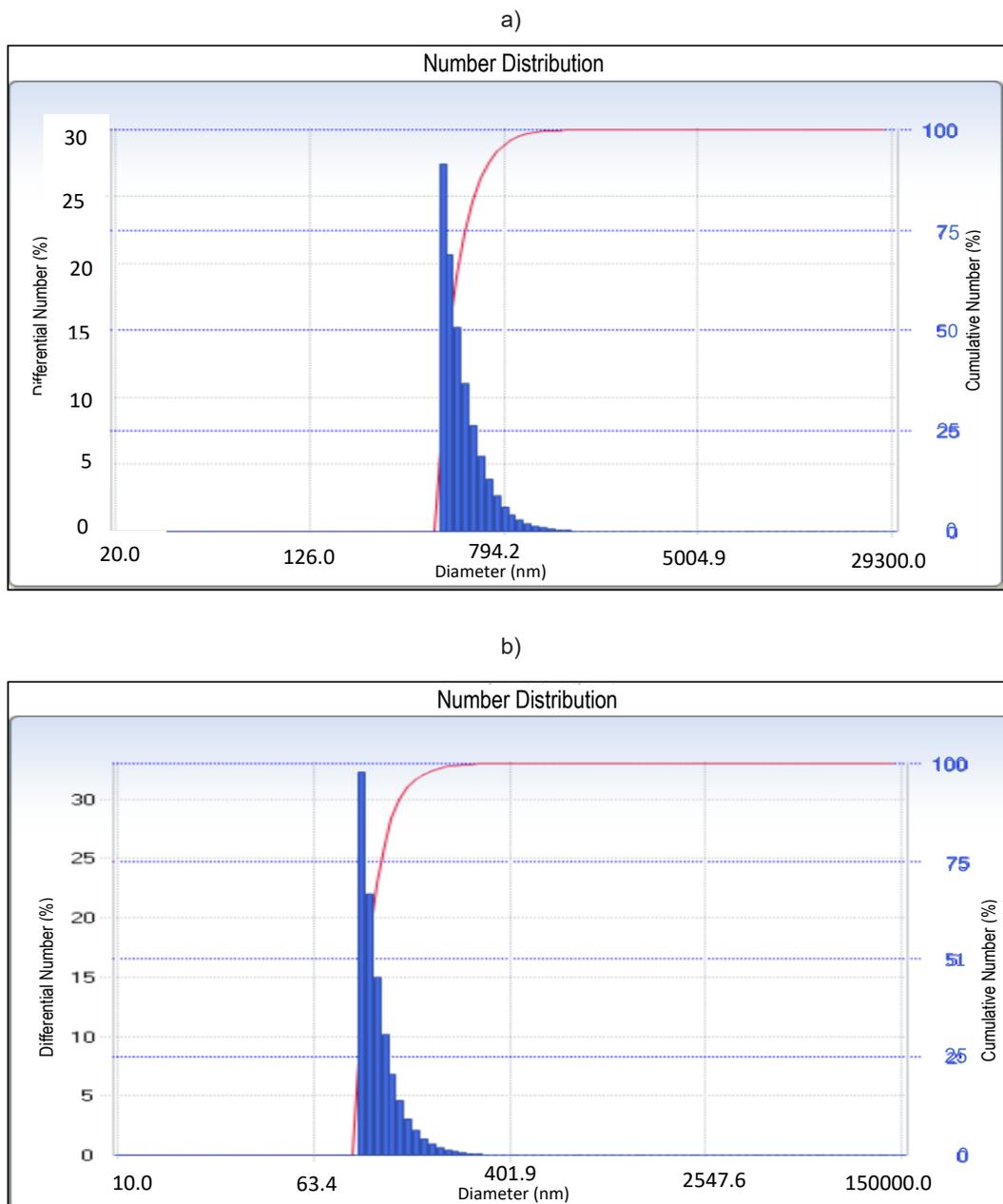
#### *Particle Size Analyzer* (PSA)

Karakterisasi menggunakan alat PSA dilihat berdasarkan ukuran dari partikel yang dihasilkan. Ukuran nanopartikel adalah ukuran yang memiliki diameter 1-1000 nm (Sabdoningrum dkk. 2021). Proses dari *milling* dapat merubah ukuran serta struktur kristal dari suatu sampel (Hitesh, Wattal, & Lata 2021). Pada penelitian ini, karakterisasi dilakukan pada sampel abu batubara dan silika setelah dilakukan proses *milling*. Proses karakterisasi sampel silika menggunakan alat PSA didapatkan perubahan pada distribusi ukuran sampel. *Polydispersity Index*

(PI) adalah perkiraan keseragaman rata-rata partikel dari sampel. Semakin besar nilai PI, maka nilai distribusi partikel semakin besar (Clayton et al. 2016). Pada sampel silika sebelum *milling*, distribusi ukuran dari sampel ini dilihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut, distribusi diameter sampel terbanyak berada pada ukuran 440.7 nm dengan tingkat persebaran 27.4%. Jika diambil nilai kumulatif yang dihasilkan, ukuran dari sampel ini berukuran 1247.6 nm dengan PI sebesar 0.424. Sedangkan, pada sampel silika sesudah, setelah dilakukan proses *milling* distribusi diameter terbanyak dari sampel ini berada pada ukuran 98.7 nm dengan tingkat persebaran 32.2%. Nilai kumulatif persebaran sampel sesudah di *milling* berukuran 721.5 nm dengan PI sebesar 0.331. Dari proses *milling* ini didapatkan perubahan ukuran diameter sampel menjadi lebih kecil. Sehingga, sampel silika sudah berukuran nanopartikel. Pada sampel abu batubara sebelum, distribusi ukuran

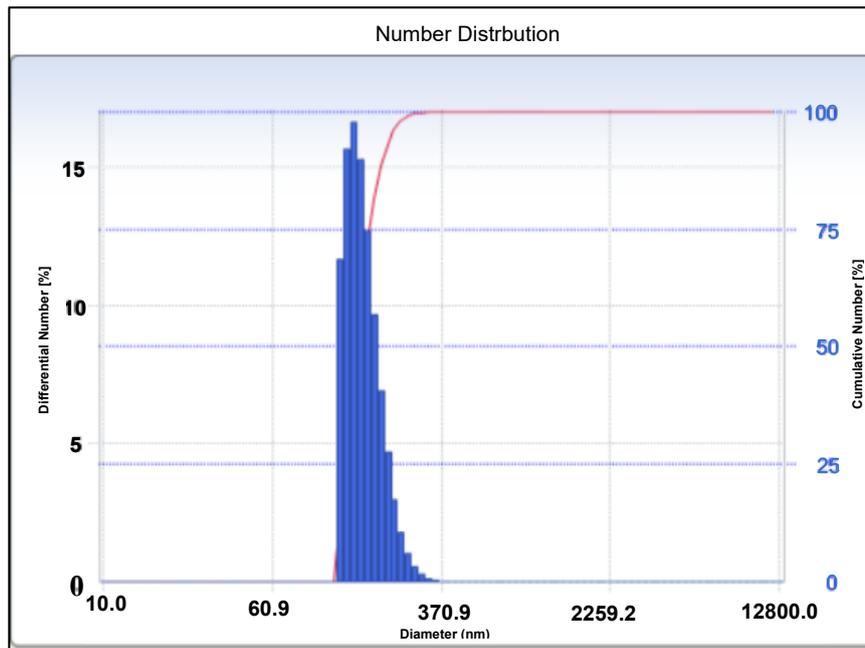
dari sampel ini pada Gambar 3 memiliki distribusi diameter terbanyak berada pada ukuran 1308.2 nm dengan tingkat persebaran 31.4%. Jika diambil nilai kumulatif yang dihasilkan, ukuran dari sampel ini berukuran 4279.2 nm dengan PI sebesar 0.740. Sedangkan, setelah dilakukan proses *milling*, distribusi diameter terbanyak dari sampel in berada pada ukuran 145.0 nm dengan tingkat persebaran

16.6%. Nilai kumulatif persebaran sampel sesudah di *milling* berukuran 640.8 nm dengan PI sebesar 0.304. Berdasarkan proses ini, sampel abu batubara mengalami perubahan diameter menjadi ukuran nanopartikel.

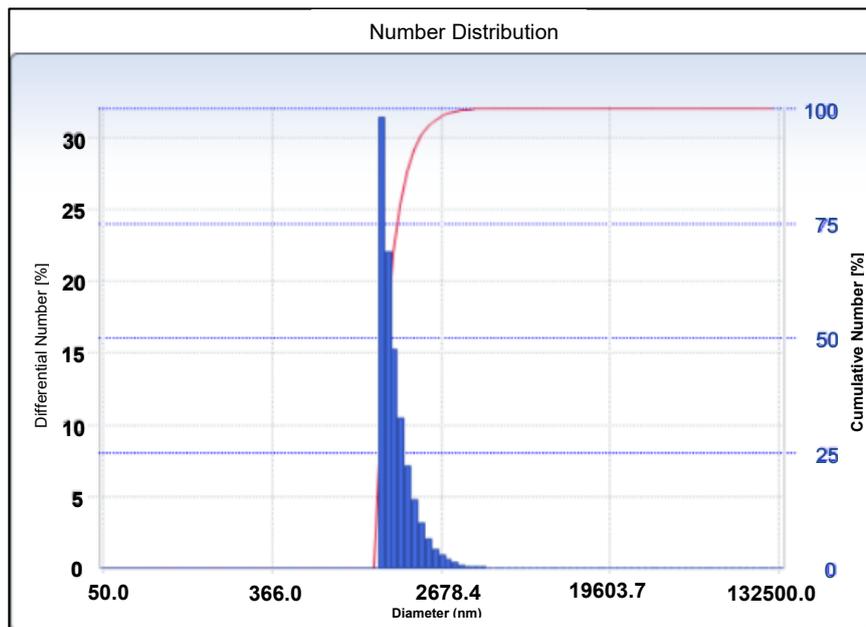


Gambar 2  
Distribusi ukuran silika: a) sebelum milling, b) setelah milling

a)



b)



Gambar 3  
Distribusi ukuran abu batubara: a) Sebelum Milling, b) Setelah Milling

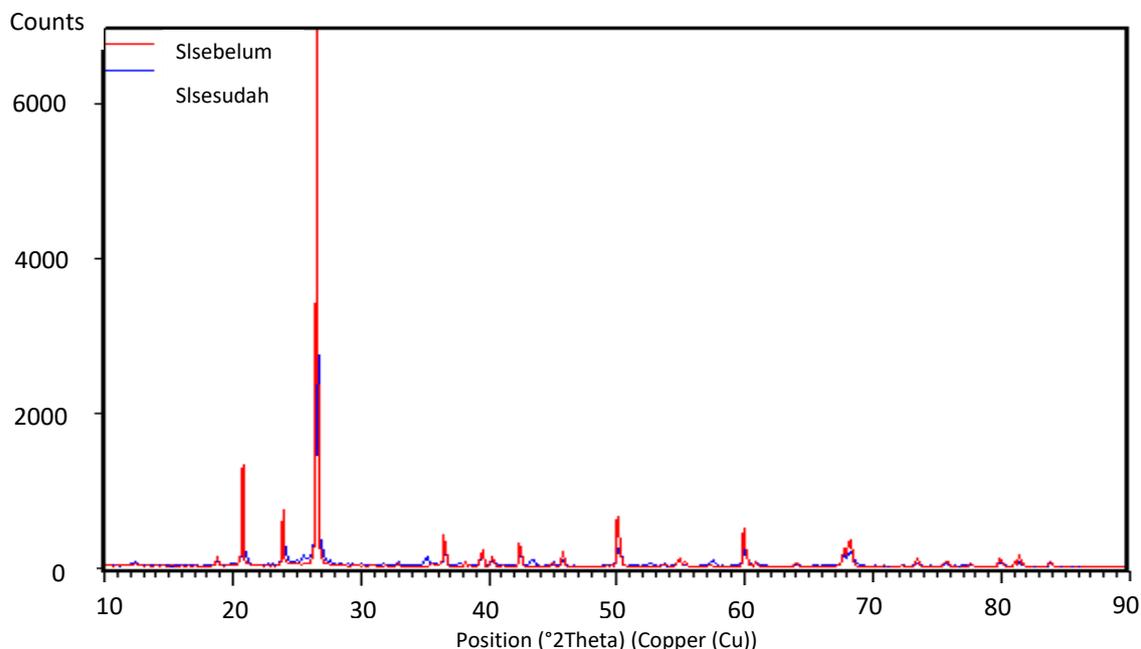
### X-Ray Diffraction (XRD)

Proses karaktersiasi menggunakan *X-ray Diffracton* (XRD) merupakan teknik yang digunakan untuk menyelidiki aspek struktur kristal dari suatu sampel (Modena et al. 2019). Berdasarkan uji XRD pada silika, didapatkan kandungan dari silika adalah  $\text{Si}_3\text{O}_6$  sebesar 98.5%, Fe sebesar 0,3%, dan *Silimanite*

( $\text{Al}_8\text{Si}_4\text{O}_{20}$ ) sebesar 1,1%. Setelah dilakukan proses *milling*, kandungan dari silika mengalami penurunan, sedangkan kandungan *aluminium* mengalami peningkatan. Kandungan silika setelah proses *milling* memiliki persentase kandungan  $\text{Si}_3\text{O}_6$  sebesar 80,7%, Fe sebesar 0,2%, dan *Corundum* ( $\text{Al}_{12}\text{O}_{18}$ ) sebesar 19,1%.

Dari hasil *milling* ini dapat dilihat pada Gambar 4, *peak* yang terbentuk pada sampel setelah *milling* mengalami sedikit penurunan tetapi tidak signifikan. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh waktu proses *milling* yang dilakukan pada sampel silika dan

alat yang digunakan. Selain itu, penambahan dari persentase *alumina* di dalam sampel dipengaruhi oleh bahan *ceramic alumina* pada *jar* dan juga *ball mill* yang digunakan pada pengujian sampel ini.



Gambar 4  
Perbandingan struktur kristal silika

Struktur kristal dari sampel abu batubara sebelum dilakukan proses *milling* terdiri dari kuarsa (Si<sub>3</sub>O<sub>6</sub>) sebanyak 94.1%, *Calciumn Cyclo-hexaluminat* (Ca<sub>72</sub>Al<sub>48</sub>O<sub>144</sub>) sebesar 3,5%, dan *Geothite* (Fe<sub>4</sub>O<sub>8</sub>) sebesar 2,4%. Dan setelah dilakukan proses *milling*, struktur kristal dari sampel kandungan kuarsa berubah menjadi lebih kecil yaitu sebesar 62.8% dan terdapat penambahan pada persentase kandungan besi hingga mencapai 37.2 %.

Jika dilihat perbandingan pada Gambar 5 sebelum dilakukan proses *milling*, terdapat *peak* yang cukup tinggi yang ditunjukkan lingkaran Oren. Sedangkan setelah proses *milling*, *peak* tersebut tetap ada hanya saja tidak setinggi sebelumnya dan terdapat *peak* baru yang muncul pada grafik. Kemunculan *peak* baru ini kemungkinan dipengaruhi oleh zat pengotor yang ada pada *jar* atau *ball mill* yang digunakan karena berbahan *stainless steel*. Hal ini membuktikan teori bahwa proses *milling* dapat mengubah struktur dari kristal suatu sampel khususnya silika dan proses *milling* dapat menghasilkan domain amorf dari sampel tersebut (Hitesh, Wattal & Lata 2021).

### Proses Pengujian Stabilitas Foam

Hasil dari persentase kenaikan *halftime* dari seluruh percobaan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2:

Pada percobaan ini melihat hasil dari waktu *halftime* yang dihasilkan dari campuran sesuai dengan komposisi pada Tabel 2

Berdasarkan tabel diatas, percobaan nomor 1 merupakan percobaan kondisi awal tanpa campuran nanopartikel, polimer serta minyak.

Penambahan dari nanopartikel pada percobaan nomor 2 dan 3 menghasilkan waktu *halftime* yang lebih tinggi. Dengan penambahan nano abu batubara pada waktu *halftime* rata-rata mengalami peningkatan sebesar 2.96% dengan volume yang terbentuk mengalami penurunan sekitar 0.2%. Sedangkan penggunaan nano silika meningkatkan waktu *halftime* hingga 10.23% dengan volume yang terbentuk mengalami peningkatan sebesar 5.72%. Dari percobaan ini didapatkan bahwa penggunaan nano silika memiliki penurunan waktu *halftime* yang lebih kecil dibandingkan dengan nano abu batubara.

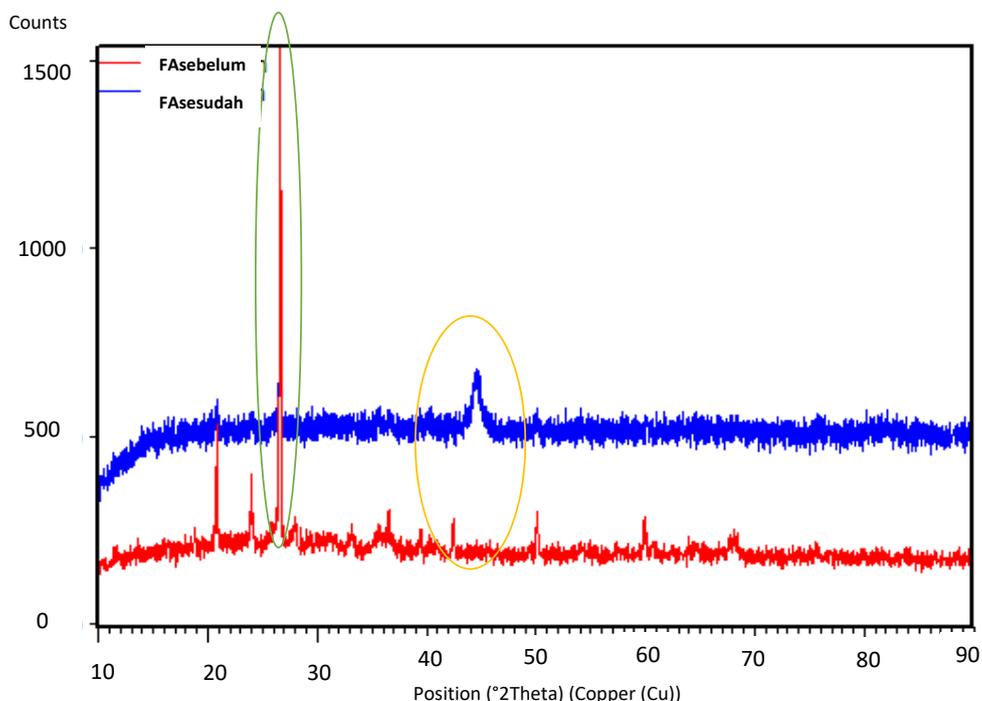
Hal ini dikarenakan kehadiran silika dalam *foam* dapat membentuk lapisan padat antarmuka gas dan liquid yang menyebabkan silika dengan kandungan yang lebih banyak dan murni dapat memiliki waktu *halftime* yang lebih lama (Ajiz dkk. 2020).

Selain itu, penambahan polimer berupa *xanthan gum* dengan nanopartikel juga terbukti dapat meningkatkan stabilitas busa yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan waktu *halftime* yang dihasilkan dari percobaan. Untuk nano silika dengan penambahan polimer, mengalami peningkatan waktu *halftime* sebesar 12.65% dengan volume yang terbentuk mengalami penurunan sebesar 0.99%. Sedangkan untuk nano abu batubara mengalami peningkatan waktu *halftime* sebesar 6.33% dengan volume yang terbentuk mengalami penurunan sebesar 0.2%. Hal ini sesuai dengan teori dan percobaan yang dilakukan oleh (Ibrahim & Nasr-El-Din 2019). Saat konsentrasi polimer ditingkatkan, nilai dari viskositas juga akan meningkat. Hal ini yang menyebabkan penurunan tingkat drainase *lamella* dan meningkatkan waktu *halftime* dari campuran tersebut. Tetapi karena viskositas yang tinggi, kemampuan untuk menghasilkan busa semakin menurun (Ibrahim & Nasr-El-Din, 2019)

Sedangkan campuran polimer dan nanopartikel

ditambahkan dengan minyak dapat mengurangi stabilitas busa yang terbentuk. Untuk campuran nano silika, polimer, dan minyak mengalami penurunan waktu *halftime* sebesar 10.9% dengan volume yang terbentuk juga mengalami penurunan sebesar 4.54%. Hal ini juga berlaku untuk campuran nano abu batubara, polimer, dan minyak mengalami penurunan waktu *halftime* sebesar 16.29% dan volume yang terbentuk menurun hingga 5.72%. Hal ini terjadi dikarenakan interaksi permukaan yang terbentuk antara minyak dan busa yang dipengaruhi oleh penyebaran minyak pada permukaan gas-cair yang *lamella* yang terbentuk antara permukaan tersebut menjadi tidak stabil (Ibrahim & Nasr-El-Din 2019).

Hasil percobaan rata-rata dapat dilihat pada Gambar 6. Percobaan dengan menggunakan nano silika dan polimer menghasilkan waktu *halftime* tertinggi. Jika dibuat pada *scatter plot* pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa waktu *halftime* tertinggi dihasilkan oleh campuran nano silika dan polimer. Sedangkan, volume paruh tertinggi dihasilkan dengan pencampuran nano silika. Sehingga, berdasarkan percobaan laboratorium yang dilakukan, nano silika lebih baik dalam menjaga kestabilan busa yang terbentuk dibandingkan dengan penggunaan nano abu batubara.



Gambar 5  
Perbandingan struktur kristal abu batubara

Tabel 2  
Presentase kenaikan *halftime*

No	AOS gram	Brine gram	Kandungan				Oil gram	Total gram	T Halftime	V Halftime	% T	% V
			NFA gram	Silika gram	Xanthan gram	-			-	-	-	
1	0.3	45	-	-	-	-	45.30	247.67	84.50	0.00%	0.00%	
2	0.3	45	0.4	-	-	-	45.70	255.00	84.33	2.96%	-0.20%	
3	0.3	45	-	0.4	-	-	45.70	273.00	89.33	10.23%	5.72%	
4	0.3	45	0.4	-	0.2	-	45.72	263.33	84.33	6.33%	-0.20%	
5	0.3	45	-	0.4	0.2	-	45.72	279.00	83.67	12.65%	-0.99%	
6	0.3	45	0.4	-	0.2	2.5	48.22	207.33	79.67	-16.29%	-5.72%	
7	0.3	45	-	0.4	0.2	2.5	48.22	220.67	80.67	-10.90%	-4.54%	

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian “Perbandingan Penggunaan Nano Silika Dan Nano Abu Batubara Pada Uji Kestabilan Busa Untuk Injeksi CO<sub>2</sub>” didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

- Pengaruh dari proses *milling* yang dilakukan pada tiap sampel adalah perubahan ukuran yang didapatkan melalui karakterisasi dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) yaitu untuk nano abu batubara dari 4279.2 nm menjadi 640.8 nm dan nano silika dari 1247.6 nm menjadi 721.5 nm dan perubahan struktur kristal amorf melalui karakterisasi menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD).
- Pengaruh dari penambahan nano pada uji kestabilan busa adalah waktu *halftime* yang dihasilkan. Dimana nano silika dapat meningkatkan kestabilan busa menjadi 10.23% sedangkan nano abu batubara meningkatkan waktu *halftime* menjadi 2.96% jika dibandingkan tidak menggunakan nanopartikel.
- Pengaruh dari penambahan polimer berupa *xanthan gum* pada penelitian ini terbukti dapat meningkatkan stabilitas busa yang terbentuk yaitu sebesar 12.65% dengan tambahan nano silika dan 6.33% dengan tambahan nano abu batubara. Hal ini dikarenakan polimer merupakan pengental yang dapat meningkatkan viskositas yang dihasilkan.
- Jenis nanopartikel yang terbaik pada uji

penelitian ini adalah nano silika dibandingkan dengan nano abu batubara. Hal ini dipengaruhi oleh komponen dari silika itu sendiri. Sedangkan kestabilan busa terbaik adalah campuran antara nano silika dan polimer *xanthan gum* dengan kenaikan waktu *halftime* sebesar 12.65% dibandingkan hanya menggunakan surfaktan.

- Campuran dari nanopartikel, polimer, dan minyak pada stabilitas busa adalah tambahan minyak akan membuat stabilitas busa menjadi lebih kecil. Hal ini terbukti pada uji campuran nanopartikel, polimer dan minyak yang menghasilkan nilai dari paruh waktu yang dihasilkan lebih kecil dari seluruh percobaan yang dilakukan yaitu 10.9% untuk nano silika dan 16.29% untuk nano abu batubara.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Universitas Pertamina dan Nano Center Indonesia dalam penelitian tesis dengan judul “Perbandingan Penggunaan Nano Silika dan Nano Abu Batubara pada Uji Kestabilan Busa untuk Injeksi CO<sub>2</sub>”. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih atas dukungan pada penelitian ini

## DAFTAR ISTILAH

Simbol	Definisi	Unit
EOR	Enhanced Oil Recovery	
PSA	Particle Size Analyzer	
XRD	X-Ray Diffraction	
PBM	Planetary Ball Mill	
PBR	Powder Ball Ratio	
AOS	Alpha-Olefin Sulfonate	
PI	Polydispersity Index	

## REFERENSI

- Ajiz, A. H., Mawarani, L. J., Widiyastuti, & Setyawan, H.** (2020). Peningkatan Stabilitas Busa Dengan Nanofluida Silika Untuk Meningkatkan Produksi Gas Alam. *Berkala Sainstek*, 7-8.
- Budi, I. S., Rudyono, A., & Pramana, A.** (2019). Injeksi Foam Sebagai Tertiary Oil Recovery. *Jurnal Petro 2019*, 51-57.
- Clark, J. A., & Santiso, E. E.** (2018). Carbon Sequestration Through CO<sub>2</sub> Foam-Enhanced Oil Recovery: A Green Chemistry Perspective. *Engineering*, vol. 4, no. 3, 336-342.
- Clayton, K. N., Salameh, W. J., Wereley, T. S., & Kinzer-Ursem, L. T.** (2016). Physical Characterization of Nanoparticle Size and Surface Modification Using Particle Scattering Diffusometry. *American Institute of Physics*.
- Eftekhari, A. A., Krastev, R., & Farajzadeh, R.** (2015). Foam Stabilized by Fly-Ash Nanoparticles for Enhancing Oil Recovery. *Society of Petroleum Engineers*, 3-9.
- Hitesh, Wattal, R., & Lata, S.** (2021). Development and characterization of coal fly ash through low-energy ball milling. *Materials Today: Proceedings*.
- Ibrahim, A. F., & Nasr-El-Din, H. A.** (2019). CO<sub>2</sub> Foam for Enhanced Oil Recovery Applications. *Foams-Emerging Technologies*, 3-13.
- Lee, S., & Kam, S. I.** (2013). Enhanced Oil Recovery by Using CO<sub>2</sub> Foams: Fundamentals and Field Applications. Dalam J. J. Sheng, *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies* (hal. 23). United State of America: Elsevier.
- Lunkenheimer, K., & Malysa, K.** (2003). Simple and Generally Applicable Method of Determination and Evaluation of Foam Properties. *Journal of Surfactant and Detergents Vol.6 No.1*, 71.
- Modena, M. M., Ruhle, B., Burg, T. P., & Wutke, S.** (2019). Nnanoparticle Characterization: What to Measure. *Advance Material*, 2-5.
- Nuraeni, W., Daruwati, I., W, E. M., & Sriyani, M.** (2013). Verifikasi Kinerja Alat Particle Size Analyzer (PSA) Horiba LB-550 Untuk Penentuan Distribusi Ukuran Nanopartikel. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir*, 268.
- Putra, B. P., & Kiono, B. F.** (2021). Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak Indonesia. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 85-90.
- Raja, P. B., Munusamy, K. R., Perumal, V., Nasir, M., & Ibrahim, M.** (2022). Characterization of nanomaterial used in nanobioremediation. *Micro and Nano Technologies*.
- Sabdoningrum, E. K., Hidanah, S., Chusniati, S., & Soeharsono.** (2021). Characterization and Phytochemical Screening of Meniran (*Phyllanthus niruri* Linn) Extract's Nanoparticles Used Ball Mill Method. *Pharmacogn J. Suppl:1568-1572 A multifaceted Journal in The field of Natural Product and Pharmacognosy*.
- Saputra, D. D., Sugihardjo, & Tobing, M. E.** (2018). Studi Kelayakan Untuk Implementasi Injeksi CO<sub>2</sub> Skala Pilot di Lapangan Minyak A, Sumatera Selatan. *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK dan GAS BUMI Vol.52, No.1*, 16.
- Sugihardjo, & Purnomo, H.** (2009). Perubahan Sifat-Sifat Fluida Reservoir Pada Injeksi CO<sub>2</sub>.

*LEMBARAN PUBLIKASI LEMIGAS Vol. 43.No. 1, April 2009:11-16, 13-15.*

**Syahrial, E., & Purnomo, H.** (2009). Peningkatan Produksi Minyak dengan Injeksi CO<sub>2</sub> pada Lapangan Minyak Tua Sangatta Kalimantan Timur. *LEMBARAN PUBLIKASI LEMIGAS VOL.43, NO.2*, 167.

**Usman.** (2011). Potensi Pengembangan EOR untuk Peningkatan Produksi Minyak Indonesia. *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI Vol. 45. No. 2, Agustus 2011: 91-102*, 94.

**Vishal, B., & Ghosh, P.** (2018). The Effect of Silica Nanoparticles On The Stability of Aqueous Foams. *Journal of Dispersion Science and Technology*.

**Worthen, A. J., Bagaria, H. G., Chen, Y., Bryant, S. L., Huh, C., & Johnston, K. P.** (2013). Nanoparticle-stabilized carbon dioxide-in-water foams with fine texture. *J. Colloid Interface Sci, Vol 391,no. 1*, 142-151.

**Yekeen, N., Idris, A. K., Manan, M. A., Samin, A. M., Risal, A. R., & Kun, T. X.** (2016). Bulk and Bubble-Scale Experimental Studies of influence of Nanoparticles on Foam Stability. *CJCHE 649*.