

**PENGARUH LEBAR CELAH *HELE SHAW CELL* TERHADAP
INTERFACIAL INSTABILITY PADA PEMBUATAN
NITROGLISERIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

FIKRUL AKBAR ALAMSYAH

NIM. 0510620044-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH LEBAR CELAH *HELE SHAW CELL* TERHADAP
INTERFACIAL INSTABILITY PADA PEMBUATAN
NITROGLISERIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

FIKRUL AKBAR ALAMSYAH
NIM. 0510620044-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LEBAR CELAH *HELE SHAW CELL* TERHADAP
INTERFACIAL INSTABILITY PADA PEMBUATAN NITROGLISERIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**FIKRUL AKBAR ALAMSYAH
NIM. 0510620044-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 20 Januari 2010

Skripsi 1

Ir. Saifuddin Baedowie
NIP. 19460703 197009 1 001

Skripsi 2

Prof.Ir. Sudjito, Ph.D.
NIP: 19470330 198002 1 001

Komprehensif

Ir. Suharto, MT.
NIP: 19531030 198212 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT.
NIP: 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul ” **Pengaruh Lebar Celah *Hele Shaw Cell* Terhadap *Interfacial Instability* Pada Pembuatan Nitrogliserin** “ dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., M.T., selaku Ketua Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, M.T, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya.
4. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan menyusun skripsi ini.
5. Seluruh Staf Pengajar yang saya hormati.
6. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
7. Kedua orang tua yang telah memberikan segala yang terbaik untuk penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
8. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama dalam bidang Teknik Mesin.

Malang, 15 Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	v
RINGKASAN	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 KetidakStabilan Antarmuka (<i>Interfacial Instability</i>).....	5
2.3 Tegangan Permukaan.....	7
2.4 Viskositas.....	8
2.5 Pembuatan Nitrogliserin.....	9
2.6 Gliserol.....	11
2.7 Asam Nitrat.....	12
2.8 Asam Sulfat.....	13
2.9 Difusi.....	14
2.10 <i>Hele Shaw Cell</i>	15
2.11 Hipotesis.....	17
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Metode Penelitian.....	18
3.2 Variabel Penelitian.....	18
3.3 Alat-Alat Penelitian.....	19
3.4 Instalasi Penelitian.....	20
3.5 Prosedur Pengambilan Data Penelitian.....	20
3.6 Data Grafik yang akan diambil.....	21

3.7	Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Hasil	26
4.2	Pembahasan	26
4.2.1	Visualisasi bentuk <i>interfacial instability</i> campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin pada berbagai variasi lebar celah <i>hele shaw cell</i>	26
4.2.2	Hubungan antara waktu dengan jari-jari <i>finger</i> pada berbagai variasi lebar <i>hele shaw cell</i> pada campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin.....	29
4.2.3	Hubungan perubahan bentuk daerah reaksi dan waktu terjadinya reaksi pada berbagai variasi lebar celah <i>hele shaw cell</i> pada campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin.....	32
4.2.4	Hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi pada berbagai variasi lebar celah <i>hele shaw cell</i>	35
BAB V PENUTUP.....		40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	<i>Viscous fingering</i> Blok diagram proses pembuatan biodiesel	5
Gambar 2.2	proses terbentuknya percabangan Reaksi Transesterifikasi	6
Gambar 2.3	Gaya Adhesi dan Kohesi Difusi pada campuran gas biner	8
Gambar 2.4	Gaya Adhesi dan Kohesi pada tabung kapiler <i>Viscous fingering</i>	8
Gambar 2.5	Blok diagram proses pembuatan biodiesel	11
Gambar 2.6	Reaksi Transesterifikasi model sederhana <i>interfacial instability</i>	13
Gambar 2.7	Rumus $C_3H_5(OH)_3$	13
Gambar 2.8	Rumus molekul HNO_3	13
Gambar 2.9	Rumus molekul H_2SO_4	14
Gambar 2.10	Pergerakan larutan dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah	15
Gambar 2.11	Gambar dari tipe <i>hele-shaw cell</i>	16
Gambar 2.12	Pola penetrasi <i>viscous finger</i>	16
Gambar 2.13	Bentuk umum radial <i>viscous finger</i>	16
Gambar 2.14	Pola penetrasi <i>viscous finger</i> pada lateral <i>Hele-Shaw cell</i>	17
Gambar 3.1	Rangkaian alat uji penelitian	20
Gambar 3.2	Grafik Hubungan Waktu Pengujian dengan jari-jari <i>viscous finger</i>	22
Gambar 3.3	Grafik Hubungan Lebar Celah <i>hele shaw cell</i> Terhadap Waktu Reaksi	22
Gambar 3.4	Grafik Hubungan Waktu Jari-Jari Reaksi Terluar	23
Gambar 3.5	Grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi dalam	23
Gambar 3.6	Grafik hubungan waktu terhadap selisih jari-jari reaksi	24
Gambar 3.7	Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1	Visualisasi bentuk <i>interfacial instability</i> berbagai variasi lebar celah <i>hele shaw cell</i> campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin	27
Gambar 4.2	Grafik hubungan waktu terhadap jari-jari	30
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Lebar Celah <i>hele shaw cell</i> Terhadap Waktu Reaksi	34
Gambar 4.4	Grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi terluar	35
Gambar 4.5	Grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi dalam	37
Gambar 4.6	Grafik hubungan waktu terhadap selisih jari-jari reaksi	38

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Ukuran Finger Hasil Penelitian
Lampiran 2	Ukuran Jari-Jari Reaksi Hasil Penelitian



RINGKASAN

Fikrul Akbar A., Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2009, *Pengaruh Lebar Celah Hele Shaw Cell Terhadap Interfacial Instability Pada Pembuatan Nitrogliserin*, Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D.

Nitrogliserin merupakan bahan kimia yang memiliki beragam manfaat, salah satunya yaitu sebagai bahan dasar dari propelan jenis double base. Pembuatannya dengan mereaksikan gliserin dengan asam nitrat (HNO_3) reaksi ini juga disebut esterifikasi, pada prosesnya bisa ditambahkan katalis asam sulfat (H_2SO_4). Hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan nitrogliserin adalah proses pencampurannya semua bagian harus tercampur, karena jika tidak maka dapat menyebabkan terakumulasi panas yang tidak terkontrol dan bisa menimbulkan resiko ledakan. Sehingga pada proses pencampurannya perlu diperhatikan dengan seksama, salah satu cara mengamati proses pencampuran itu dapat menggunakan media *hele shaw cell* dan bervariasi lebar celahnya. Pada proses pencampuran komponen penyusunnya dapat terjadi *interfacial instability* (ketidakstabilan antarmuka) antara campuran asam nitrat dan asam sulfat dengan gliserin. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi lebar celah *hele shaw cell* pada pembuatan nitrogliserin terhadap ketidakstabilan antarmuka (*interfacial instability*) antara gliserin dengan campuran asam nitrat dan asam sulfat.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Dalam penelitian ini variasi lebar celah *hele shaw cell* yang digunakan adalah 0.01 mm, 0.5 mm, 1 mm. Dengan waktu pengujian untuk perkembangan finger yaitu 5s, 10s, 15s, 20s, 25s, 30 s, dan untuk perkembangan jari-jari reaksi pada kelipatan 25s saat mulai terjadinya reaksi. Parameter *interfacial instability* yang diteliti adalah bentuk *finger*, panjang jari-jari *viscous finger*, bentuk reaksi, kecepatan reaksi dan jari-jari reaksi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil lebar celah *hele shaw cell* akan menyebabkan *finger* yang terbentuk semakin panjang, dengan kata lain *interfacial instability* semakin meningkat, luas bidang kontak semakin luas sehingga pertukaran energi menjadi intensif akibatnya reaksi kimia dalam pembuatan nitrogliserin lebih efektif untuk gliserin yang tidak berwarna namun sebaliknya pada gliserin yang diberi warna. Untuk lebar celah *hele shaw cell* yang efektif untuk menghasilkan campuran yang lebih sempurna adalah lebar celah *hele shaw cell* dengan ukuran 0,1 mm

Kata kunci : *hele shaw cell*, *interfacial instability*, pembuatan nitrogliserin.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nitrogliserin merupakan bahan kimia yang memiliki beragam manfaat salah satunya dalam bidang pertahanan negara, yaitu dapat berfungsi sebagai salah satu bahan dasar dari propelan jenis double base, selain itu campuran nitrogliserin dan nitroselulosa merupakan bahan yang umum digunakan dalam industri bahan peledak. Hal ini karena sifat nitrogliserin yang memiliki sensitivitas gesekan dan kejutan yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan peledak atau bahan baku propelan. Meskipun nitrogliserin merupakan bahan strategis pada industri pertahanan, untuk memperolehnya masih diperoleh dari luar negeri, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai nitrogliserin dalam rangka mengurangi ketergantungan dari luar negeri.

Pembuatan nitrogliserin dilakukan dengan cara mereaksikan gliserin (gliserol) dengan asam nitrat (HNO_3) proses ini juga disebut proses nitrasi. Reaksi ini merupakan reaksi esterifikasi, yaitu reaksi antara alkohol dan asam. Pada saat ini yang biasa digunakan sebagai nitrating agent adalah campuran asam nitrat dan asam sulfat, asam sulfat digunakan karena sangat sulit untuk memperoleh asam nitrat dengan kandungan diatas 90%. Faktor-faktor yang menentukan besarnya nitrogliserin yang dihasilkan adalah temperatur reaktor, kecepatan aliran penambahan gliserin, dan pengadukan ketiga unsur tersebut.

Saat ini dari ketiga bahan itu baik asam nitrat, asam sulfat dan gliserin sudah dapat dihasilkan di dalam negeri sehingga dirasa perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan nitrogliserin dengan memanfaatkan sumber daya lokal yang tersedia. Untuk melakukan penelitian mengenai pembuatan nitrogliserin dapat memanfaatkan fenomena *viscous finger*, *viscous finger* merupakan salah satu fenomena ketidakstabilan fluida yang cukup menarik. *Viscous finger* sendiri ialah fenomena yang terjadi karena bentuk pendesakan antar muka tidak stabil (*interfacial instability*) akibat proses pendesakan fluida yang kurang kental menuju fluida lain yang relatif lebih kental. Pada pembuatan nitrogliserin fluida yang lebih kental adalah gliserin sedangkan yang relatif kurang kental adalah asam nitrat dan asam sulfat, pada saat dilakukan proses pendesakan gliserin oleh campuran asam menuju gliserin mengakibatkan bidang kontak antara gliserol dengan asam nitrat dan asam sulfat semakin besar. Proses ini dapat dilakukan salah satunya dengan cara memberikan tekanan injeksi campuran HNO_3 dan H_2SO_4 terhadap gliserol.

Pada penelitian yang dilakukan kali ini untuk mengamati fenomena *viscous finger* dapat dilakukan dengan menggunakan dua plat transparan yang digabungkan pada bagian yang luas menjadi satu membentuk celah sempit dan biasa disebut *Hele saw cell*, celah sempit ini digunakan sebagai tempat gliserin yang akan didesak oleh campuran asam.

Melalui penelitian ini akan diketahui pengaruh variasi lebar celah pada *Hele Shaw Cell* yang berisi gliserin terhadap ketidakstabilan antar muka (*interfacial instability*) antara gliserin dengan asam nitrat dan asam sulfat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yang akan diteliti yaitu:

Bagaimana pengaruh variasi lebar celah *Hele Shaw Cell* terhadap ketidakstabilan antarmuka (*interfacial stability*) antara gliserin dengan asam nitrat dan asam sulfat.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian experimental yaitu dengan membuat model *Hele Shaw Cell* sebagai media pencampur gliserol dengan campuran asam nitrat dan asam sulfat
2. Bahan kimia yang digunakan adalah asam nitrat, asam sulfat, dan gliserol
3. Konsentrasi asam nitrat dan asam sulfat tetap
4. Volume gliserol yang digunakan tetap sebesar 20 ml
5. Perbandingan campuran asam nitrat dan asam sulfat yang digunakan 1:1.
6. Tidak membahas pengaruh panas lingkungan
7. Tidak membahas proses kimia yang terjadi.
8. Membahas pola *viscous finger* yang terbentuk.
9. Lebar *Hele Shaw Cell* digunakan adalah 0,1 mm; 0,5 mm ; 1 mm
10. Pengambilan data untuk perkembangan *finger* dilakukan tiap 5 detik dan 25 detik untuk perkembangan reaksi dengan lima kali pengambilan data.
11. Laju volume alir dijaga konstan 0,05 ml/s.
12. Parameter *interfacial instability* yang diteliti adalah bentuk *finger*, panjang jari-jari *viscous finger*, bentuk reaksi, kecepatan reaksi dan jari-jari reaksi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi lebar celah *Hele Shaw Cell* terhadap ketidakstabilan antar muka (*interfacial stability*) antara gliserin dengan asam nitrat dan asam sulfat.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Melalui penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi bagi penulis dan pembaca untuk mengembangkan pengetahuannya mengenai pola pencampuran antar fluida khususnya pada fluida penyusun nitrogliserin.
2. Memberikan informasi kepada dunia industri khususnya industri kimia berupa cara-cara peningkatan efektivitas dalam memproduksi nitrogliserin
3. Bagi masyarakat umum dapat menambah wacana, yang diharapkan dapat memberikan dorongan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada tahun 1956 Sir Geoffrey Taylor mengunjungi Humble Oil Company dan tertarik pada permasalahan aliran dua fase pada media berpori, ia meneliti tentang ketidakstabilan makroskopik yang muncul saat fluida yang memiliki viskositas lebih kecil mendorong fluida lain yang memiliki viskositas lebih besar. Hasil dari eksperimen ini memberikan masukan pada proses secondary oil recovery pada pertambangan minyak. Dalam eksperimennya Sir Geoffrey Taylor merealisasikan aliran dua dimensi dengan membuat sebuah alat yang terdiri dari dua plat datar yang terpisah dengan jarak yang sangat kecil atau biasa disebut *Hele Shaw Cell* (Saffman, 1986: 1).

Sedangkan penelitian tentang efek dari konsentrasi terhadap karakteristik pada reaktif *miscible viscous fingering*, pernah dilakukan penelitian (Yuichiro Nagatsu dan Toshihisa Ueda, 2001). Penelitian yang dilakukan menggunakan *Hele Shaw Cell* dengan kecepatan pertumbuhan *finger* yang diatur dengan lambat, penelitian yang dilakukan telah dipelajari secara teoritis dan eksperimental. Hasil yang diperoleh bervariasi sejalan dengan variasi konsentrasi reaktan awal dan tergantung pada letak dari zona reaksi. Ketika zona reaksi terletak pada cairan yang memiliki kekentalan lebih tinggi, produk reaksi terkonsentrasi pada ujung *finger*, akan tetapi saat zona reaksi terletak pada cairan dengan kekentalan yang lebih rendah produk reaksi tersebar pada seluruh area pada bagian dalam *finger*. Perbedaan signifikan pada pola reaksi yang dihasilkan dari variasi konsentrasi reaktan disebabkan oleh perbedaan yang besar dari difusivitas molekular pada dua cairan, sehingga viskositas merupakan salah satu faktor penting dalam proses *viscous finger*. Hasil ini dibenarkan oleh analisa reaktif teoritis dari difusi satu dimensi.

Sedangkan pada penelitian yang lain (Gilje Eli, 2008:iii) dilakukan simulasi tentang ketidakstabilan viskositas pada fluida pada perpindahan *miscible* dan *immiscible*, penelitian ini dilakukan dalam rangka mencocokkan hasil penelitian laboratorium CIPR (Centre for Integrated Petroleum Research) dengan hasil simulasi UTCHEM yaitu sebuah simulator aliran kimia. Pada penelitian yang dilakukan di laboratorium dilakukan penelitian terhadap *viscous finger* pada perpindahan *miscible* dengan *mobility ratio* yang baik dan kurang baik sedangkan pada perpindahan yang *immiscible* dilakukan pada *mobility ratio* yang kurang baik. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat

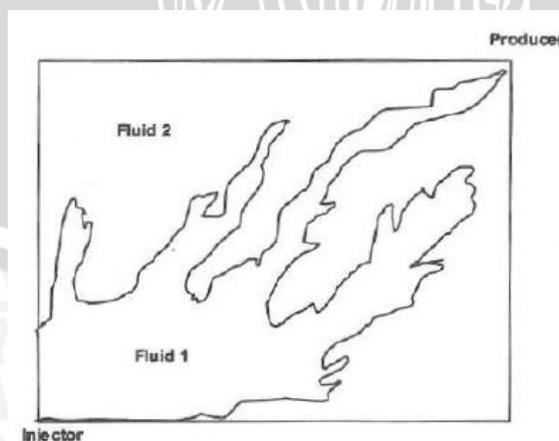
kesamaan pola antara hasil eksperimen laboratorium dengan hasil simulasi menggunakan simulator.

2.2 Ketidakstabilan Antarmuka (*Interfacial Instability*)

Perpindahan fluida oleh fluida lain karena perbedaan viskositas antar keduanya dapat disebabkan sebuah gaya yang disebut gaya viskos (*viscous force*), gaya viskos ini menyebabkan ketidakstabilan antarmuka (*interface*) antara kedua fluida yang bertemu itu. Ketidakstabilan antar muka yang terjadi dapat berbentuk seperti jari (*finger*) sehingga ketidakstabilan antar muka yang disebabkan oleh viskositas disebut *viscous finger*.

Viscous finger adalah suatu fenomena yang dihasilkan dari proses dimana larutan yang memiliki viskositas yang rendah mendesak larutan yang memiliki viskositas yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini larutan yang memiliki viskositas yang lebih rendah yaitu asam nitrat dan asam sulfat sedangkan yang lebih tinggi viskositasnya yaitu gliserin. Fokus utama dalam penelitian ini adalah *fingering* yang disebabkan oleh *viscous force*. Beberapa penyebab dari *viscous force* sendiri ini adalah ketidaksamaan perbandingan viskositas, gaya gravitasi yang disebabkan oleh gradien dari masa jenis fluida, gaya kapiler karena tegangan antarmuka (*interfacial*) antara dua fluida yang tidak dapat bercampur, dan gaya dispersi yang disebabkan gradien konsentrasi antara dua fluida yang bisa bercampur. Satu atau beberapa dari efek gaya tersebut dapat menimbulkan *viscous fingering*.

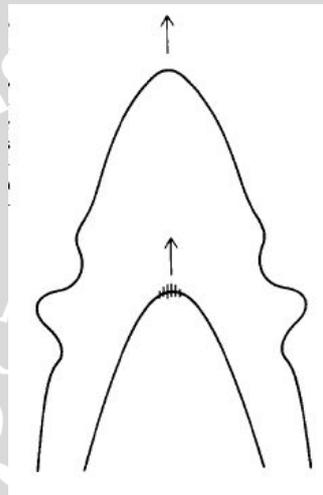
Viscous fingering mempunyai efek yang sangat besar dalam proses pencampuran dua zat atau lebih. Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan terbentuknya *viscous fingering*:



Gambar 2.1 : *Viscous fingering*

Sumber : Gilje, eli, 2008 : *Simulation of viscous instabilities in miscible and immiscible displacement* University of Bergen

Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahwa semakin terbentuk *viscous finger* maka bidang kontak antara fluida 1 dengan fluida 2 akan semakin besar, itu artinya semakin *viscous finger* terbentuk maka campuran antara dua fluida tersebut semakin sempurna. *Viscous fingering* akan meningkat seiring dengan peningkatan perbandingan viskositas. Selain itu *viscous fingering* juga akan semakin membesar akibat gaya dispersi yang disebabkan gradien konsentrasi antara dua fluida yang bisa bercampur. Dimana semakin besar perbedaan viskositas dan gaya dispersi maka *interfacial instability* antara dua fluida tersebut akan semakin terganggu dan akan menimbulkan percabangan. Gambar 2.2 berikut ini menunjukkan proses terbentuknya percabangan.



Gambar 2.2 : proses terbentuknya percabangan

Sumber : Langer, j.s., 1989 : *Dendrites, Viscous Fingers, and the Theory of Pattern Formation* University of California

Lebar jari (*finger*) yang dihasilkan oleh *viscous finger* dilambangkan dengan simbol λ , jari (*finger*) yang dihasilkan oleh *viscous finger* secara matematis ditunjukkan oleh rumus 2.1 berikut :

$$\lambda = \pi b \sqrt{\sigma / \mu V} \dots\dots\dots \text{Park,S.S.;1994:3348} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Dimana :
- λ = Lebar jari (m)
 - π = 3,14
 - b = Lebar celah antar plat/*Hele Shaw Cell* (m)
 - σ = Surface tension (N/m)
 - μ = viskositas (Pa.s)

V = kecepatan antarmuka (m/s)

Dari rumusan 2.1 dapat ditarik kesimpulan bahwa lebar jari (*finger*) berbanding lurus dengan lebar celah antar plat, sehingga semakin besar lebar antar plat maka diikuti dengan semakin besarnya lebar jari (*finger*).

Selain untuk mengetahui bagaimana pengaruh lebar celah *Hele Shaw Cell* terhadap bentuk *interfacial instability*, melalui penelitian ini juga dapat diketahui hubungan antara hidrodinamika dengan kimia yaitu bagaimana hubungan antara ruang tempat bereaksi terhadap daerah terbentuknya reaksi kimia pada pola antarmuka.

2.3 Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan ialah kecenderungan permukaan suatu zat cair untuk berlaku seolah-olah ditutupi selaput tipis. Hal ini disebabkan gaya kohesi molekul-molekul yang terdapat pada dan di sekitar permukaan zat cair. Tegangan permukaan terjadi karena permukaan zat cair cenderung untuk menegang yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul di sekitarnya sehingga permukaannya tampak seperti selaput tipis. Hal ini dipengaruhi oleh adanya gaya kohesi antara molekul cairan.

Tegangan permukaan γ didefinisikan sebagai gaya F persatuan panjang L yang bekerja tegak lurus pada setiap garis di permukaan fluida. Secara matematis ditunjukkan rumus 2.2 berikut ini :

$$\gamma = \frac{F}{2L} \dots\dots\dots \text{Soegito,dkk ,1991,93} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana, γ = tegangan permukaan (N/m)

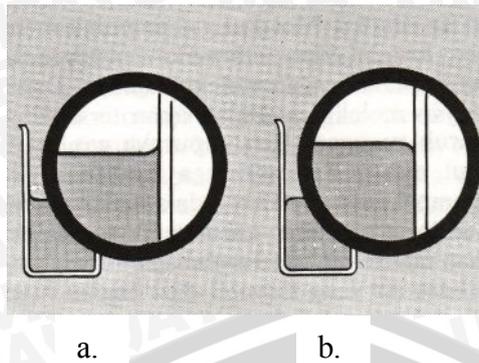
F = gaya (Newton)

L = panjang permukaan selaput fluida (m)

Karena tegangan permukaan merupakan perbandingan antara Gaya tegangan permukaan dengan Satuan panjang, maka satuan tegangan permukaan adalah Newton per meter (N/m) atau dyne per centimeter (dyn/cm).

$$1 \text{ dyn/cm} = 10^{-3} \text{ N/m} = 1 \text{ mN/m}$$

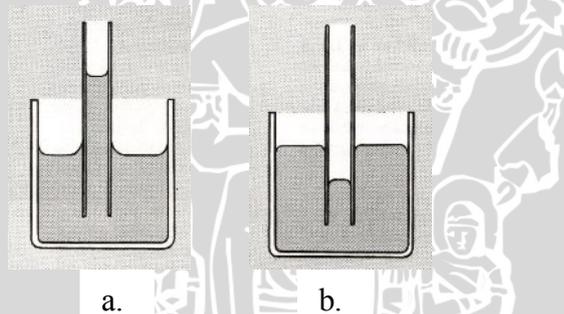
Ketika terjadi kenaikan suhu nilai tegangan permukaan mengalami penurunan Hal ini disebabkan karena ketika suhu meningkat, molekul cairan bergerak semakin cepat sehingga pengaruh interaksi antar molekul cairan berkurang. Akibatnya nilai tegangan permukaan juga mengalami penurunan.



Gambar 2.3 Gaya Adhesi(a) dan Kohesi(b)

Sumber : 1984; *ilmu Pengetahuan Populer 4*; Grolier International Inc.

Tegangan permukaan erat kaitannya dengan gaya kohesi dan adhesi seperti gambar 2.3 di atas, karena gaya kohesi dan adhesi yang menyebabkan terjadi tegangan permukaan. Kohesi atau gaya kohesi adalah sifat fisik dari suatu zat, yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul sejenis, sedangkan adhesi adalah gaya tarik antara molekul-molekul yang berbeda jenis. Salah satu efek dari gaya Adhesi dan Kohesi pada tabung kapiler dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4 Gaya Adhesi(a) dan Kohesi(b) pada tabung kapiler
Sumber : 1984; *ilmu Pengetahuan Populer 4*; Grolier International Inc.

2.4 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. Hukum viskositas newton menyatakan bahwa, untuk laju perubahan bentuk suatu fluida tertentu, merupakan fungsi dari tegangan geser dan viskositas. Contoh cairan yang sangat kental adalah larutan gula sedangkan air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil/ tidak kental

Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu viskositas dinamik (μ) dan viskositas kinematik (ν), dimana viskositas kinematik adalah rasio perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Secara matematis ditunjukkan seperti pada rumus 2.3 berikut ini :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(Mott, Robert. L, 1994 : 25) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

v = viskositas kinematik (m^2/s)

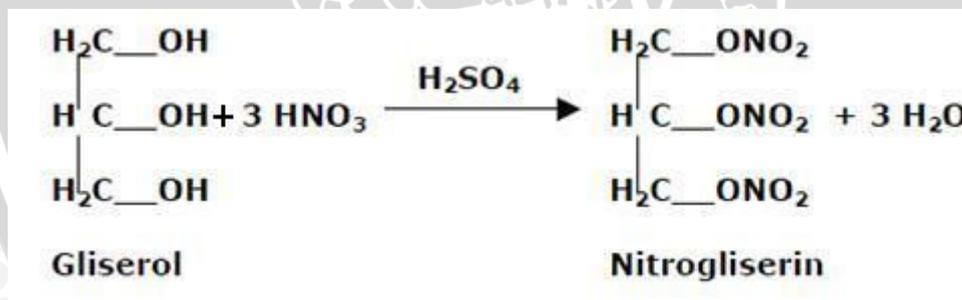
μ = viskositas dinamik ($N.s/m^2$)

ρ = densitas/massa jenis (Kg/m^3)

Viskositas kinematik adalah viskositas yang banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan gaya yang bekerja dan banyak muncul dalam penerapan, misalnya untuk menentukan bilangan Reynold pada internal flow, misalnya aliran fluida di dalam pipa, sedangkan viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser / gaya yang bekerja padanya.

2.5 Pembuatan Nitrogliserin

Nitrogliserin adalah salah satu bahan dasar dari propelan. Nitrogliserin dapat dihasilkan dengan mereaksikan gliserin ($C_3H_5(OH)_3$) dengan asam nitrat (HNO_3). Reaksi ini merupakan reaksi esterifikasi, yaitu reaksi antara alkohol dan asam, berikut ini prosesnya secara stoikiometri



Perhitungan secara teoritis yang didasarkan pada persamaan reaksi di atas dapat diartikan bahwa bila 100 g gliserin ditambahkan pada 205,5 g HNO_3 akan dihasilkan 246,8 g nitrogliserin. Pada proses yang sama juga akan terbentuk 58,7 g air. Pada kenyataannya, hasil ini tidak bisa diperoleh, karena karakteristik dari nitrasi gliserin seperti halnya pada reaksi esterifikasi lainnya, merupakan reaksi "reversible", artinya nitrogliserin yang terbentuk dapat terhidrolisis kembali menjadi gliserin.

Untuk menggeser agar kesetimbangan mengarah ke kanan diperlukan asam nitrat yang berlebih. Semakin tinggi konsentrasi asam, semakin besar pula derajat nitrasi sehingga semakin tinggi pula nitrogliserin yang dihasilkan. Akan tetapi kelebihan asam

nitrat tidak boleh terlalu besar, karena kelarutan gliserin hanya sedikit di dalam asam yang digunakan, dan hal ini dapat menyebabkan berkurangnya produk yang dihasilkan.

Bila 10 g gliserin dicampur dengan 100 g asam nitrat 99% pada temperatur di bawah suhu kamar, kemudian diencerkan dengan 300 cc air, akan dihasilkan 20,72 g nitrogliserin yang mengandung sebagian kecil nitrogliserin. Hal ini berkisar sekitar 84% dari hasil teoritis. Kandungan nitrogliserin akan semakin tinggi, yaitu 3 kali kandungan nitrogliserin, bila 10 g gliserin dicampur dengan 50 g asam nitrat 99%. Hal ini jelas tidak ekonomis, karena disamping hasilnya yang rendah juga sangat sulit untuk memperoleh asam nitrat 99%.

Nitrating agent saat ini, yang umum digunakan dalam proses pembuatan nitrogliserin adalah campuran asam nitrat dan asam sulfat dengan perbandingan sebagai berikut:

50-60 % H_2SO_4

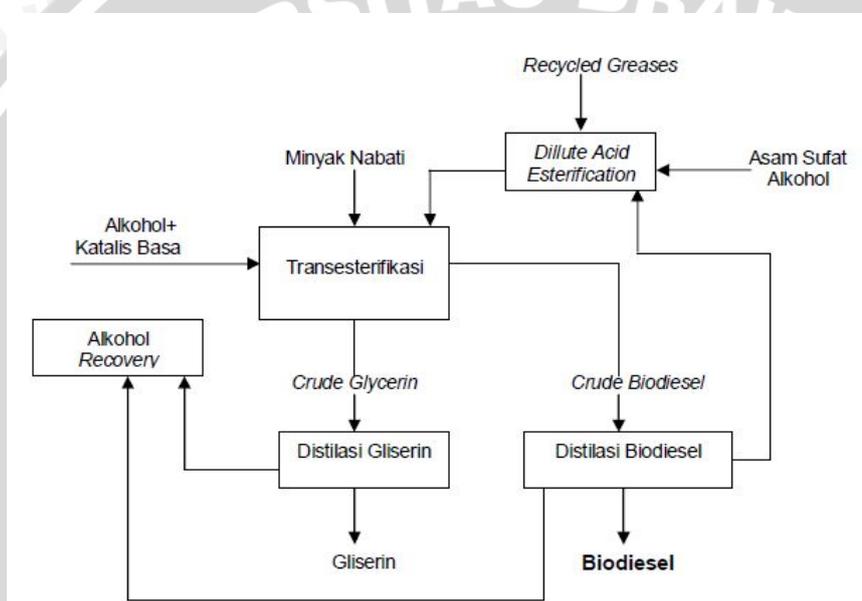
40-50 % HNO_3

Perbandingan asam/gliserin harus dijaga sedemikian rupa, sehingga jumlah asam yang berlebih (kira-kira 20%) dari asam yang seharusnya dibutuhkan menurut perhitungan teoritis. Asam yang tersisa setelah reaksi tidak boleh digunakan lagi sebagai nitrating agent atau disimpan. Hal ini karena besar kemungkinan nitrogliserin masih terdapat dalam asam tersebut dan dapat menyebabkan bahaya ledakan. Proses pengadukan merupakan salah satu faktor utama yang harus diperhatikan, selain tentu saja proses pengadukan yang kurang baik akan menghasilkan hasil yang rendah. Yang harus diperhatikan dalam proses pengadukan adalah semua bagian campuran harus teraduk, tidak boleh ada bagian di dalam reaktor yang tidak teraduk, hal ini dapat menyebabkan terakumulasi panas yang tidak terkontrol dan bisa menimbulkan resiko ledakan. Secara umum sifat-sifat nitrogliserin dapat ditunjukkan dibawah ini:

Berat molekul	: 227,09
Kandungan nitrogen	: 18,51%
Massa jenis pada 15 ⁰ C	: 1,60
Tekanan uap pada 22 ⁰ C	: 0,00037 mmHg
Indeks bias	: 1,47
Panas peledakan (pada volume konstan)	: 1,455 Kkal/kg
Tekanan spesifik	: 12240 atm
Kecepatan detonasi	: 7450 m/detik
Sensifitas kejatuhan beban (2kg)	: 15 cm

2.6 Gliserol

Gliserol adalah produk samping dari proses pembuatan biodiesel. Pembuatan biodiesel melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi, yaitu suatu proses kimia dimana gliserol dipisahkan dari minyak nabati. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil esters (biodiesel)/mono-alkyl esters dan gliserol yang merupakan produk samping. Bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel antara lain minyak nabati, lemak hewani, lemak bekas/lemak daur ulang. Dari ketiga bahan baku ini mengandung trigliserida, asam lemak bebas (ALB) dan zat-pencemar dimana tergantung pada saat proses pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut. Diagram pembuatan biodiesel dengan hasil samping gliserol/gliserin dapat dilihat pada gambar 2.5 sebagai berikut :



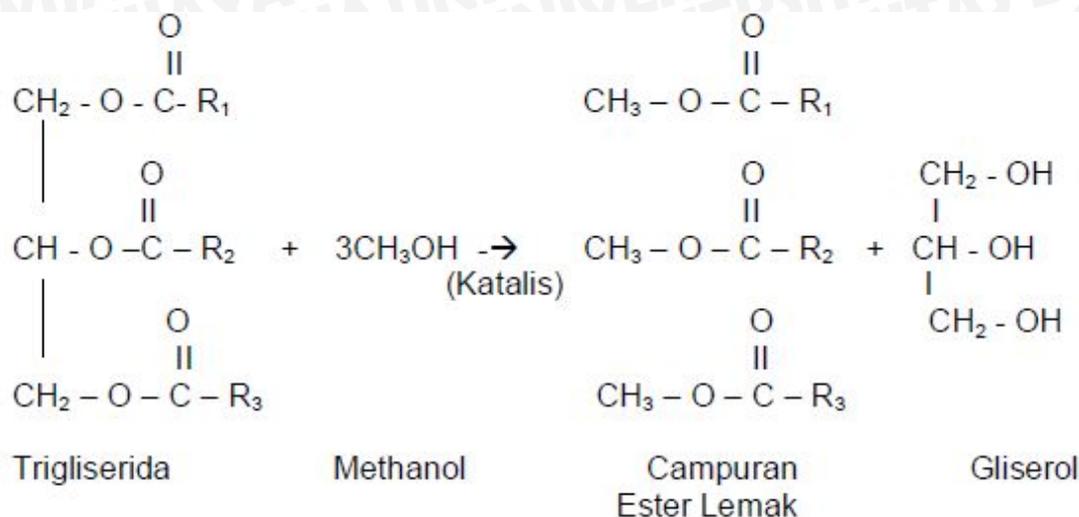
Gambar 2.5 : Blok diagram proses pembuatan biodiesel
Sumber : Rahayu, Martini., Teknologi Proses Produksi Biodiesel

Beberapa alasan penggunaan gliserol sebagai bahan bakar energi alternatif :

1. Gliserol mengandung unsur hidrogen yang jika dilepas dari ikatan kimianya menjadi bahan bakar fuelcell.
2. Keberadaan gliserol yang kurang dimanfaatkan secara maksimal sebagai sebagai hasil samping dari proses pembuatan biodiesel.
3. Gliserol adalah sumber energi yang dapat diperbaharui.
4. Pembuatan biodiesel dengan hasil samping gliserol di Indonesia memiliki potensi sangat besar.

Kebanyakan semua biodiesel diproduksi dengan metode transesterifikasi yaitu dengan katalisator basa, proses ini digunakan karena merupakan proses yang ekonomis dan

hanya memerlukan suhu dan tekanan rendah. Proses transesterifikasi adalah reaksi dari trigliserin (lemak/minyak) dengan bioalkohol (methanol atau ethanol) untuk membentuk ester dan gliserol, seperti terlihat pada gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6 Reaksi Transesterifikasi
Sumber : Rahayu, Martini., Teknologi Proses Produksi Biodiesel

Adapun struktur molekul gliserol seperti tampak pada gambar 2.7 berikut ini :



Gambar 2.7 Struktur molekul $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
Sumber : www.wikipedia.org

Karakteristik gliserol adalah sebagai berikut :

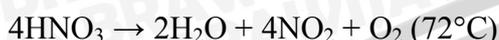
Rumus kimia	: $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
Massa molar	: 92.09382 g/mol
Densitas	: 1.261 g/cm ³
Titik leleh	: 18 °C (64.4°F)
Titik didih	: 290 °C (554°F)
Viskositas	: 1.5 Pa·s

2.7 Asam Nitrat

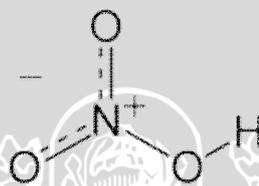
Senyawa kimia asam nitrat (HNO_3) adalah sejenis cairan korosif yang tak berwarna, dan merupakan asam beracun yang dapat menyebabkan luka bakar. Larutan asam nitrat dengan kandungan asam nitrat lebih dari 86% disebut sebagai asam nitrat

berasap, dan dapat dibagi menjadi dua jenis asam, yaitu asam nitrat berasap putih dan asam nitrat berasap merah.

Asam nitrat murni (100%) merupakan cairan tak berwarna dengan berat jenis 1.522 kg/m³. Ia membeku pada suhu -42 °C, membentuk kristal-kristal putih, dan mendidih pada 83 °C. Ketika mendidih pada suhu kamar, terdapat dekomposisi (penguraian) sebagian dengan pembentukan nitrogen dioksida sesudah reaksi:



Nitrogen dioksida (NO₂) tetap larut dalam asam nitrat yang membuatnya berwarna kuning, atau merah pada suhu yang lebih tinggi dan memiliki struktur molekul seperti tampak pada gambar 2.8 berikut ini :



Gambar 2.8 Struktur molekul HNO₃
Sumber : www.wikipedia.org

Karakteristik Asam Nitrat adalah sebagai berikut :

Nama Sistematis	: Asam Nitrat
Massa molar	: 63.012 g/mol
Penampilan	: Bening tidak berwarna
Densitas	: 1.5129 g/cm ³ , cairan
Titik leleh	: -42 °C, 231 K, -44 °F
Titik didih	: 83 °C, 356 K, 181 °F (asam murni 68% larutan mendidih pada 120.5 °C)
Viskositas	: 2,6 cP pada 20°C

2.8 Asam Sulfat

Asam sulfat mempunyai rumus kimia H₂SO₄, merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan, termasuk dalam kebanyakan reaksi kimia. Kegunaan utama termasuk pemrosesan bijih mineral, sintesis kimia, pemrosesan air limbah dan pengilangan minyak serta berperan sebagai katalis dalam pembuatan nitrogliserin.

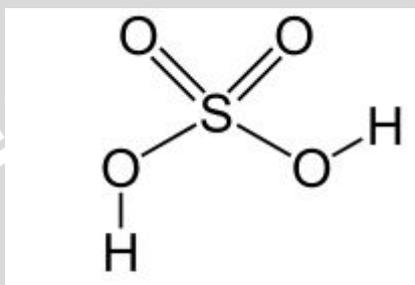
Asam Sulfat menghasilkan asam nitrat yang terprotonasi, yang mana bereaksi dengan atom nucleophilic oxygen dari gliserin. Atom-atom nitro bereaksi dan menjadi

ester C-O-NO₂ dan dihasilkan juga air. Dan disinilah letak perbedaan antara reaksi nitration aromatik yang mana ion nitronium yang berperan sebagai bagian yang aktif pada reaksi electrophilic.

Asam Nitrat dapat menjadi (berperan) sebagai basa pada cairan asam sulfat :



Protonasi adalah penambahan proton (H⁺) kepada atom molekul, atau ion. Protonasi sangat mungkin terjadi pada kebanyakan reaksi kimia dasar dan sebagai langkah dasar pada banyak proses katalitik dan stokiometri. Adapun Struktur molekul Asam Sulfat seperti tampak pada gambar 2.9 berikut ini :



Gambar 2.9 Rumus molekul H₂SO₄

Sumber : www.wikipedia.org

karakteristik Asam Sulfat dapat dilihat sebagai berikut :

Nama Sistematis	: Asam Sulfat
Nama lain	: Minyak vitriol
Massa molar	: 98,078 g/mol
Penampilan	: Bening tidak berwarna, cairan tak berbau
Densitas	: 1,84 g cm ⁻³ , cairan
Titik leleh	: 10 °C, 283 K, 50 °F
Titik didih	: 290 °C, 563 K, 554 °F (asam murni. 98% mendidih pada 338°C)
Kelarutan dalam air	: tercampur penuh (eksotermik)
Viskositas	: 26,7 cP pada 20°C

2.9 Difusi

Difusi adalah pergerakan partikel dari area berkonsentrasi tinggi ke area berkonsentrasi rendah. Sebagai contoh, molekul yang berdifusi akan bergerak secara acak diantara area berkonsentrasi tinggi dan area berkonsentrasi rendah, akan tetapi karena ada banyak molekul berada pada daerah berkonsentrasi tinggi maka, molekul akan meninggalkan daerah berkonsentrasi tinggi dan menuju daerah berkonsentrasi rendah. Oleh

karena itu, akan ada pergerakan molekul dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Dan seiring dengan waktu konsentrasi akan seimbang karena efek dari pergerakan molekul itu sendiri. Difusi adalah proses yang spontan seperti tampak pada gambar 2.10, bahkan lebih dikenal sebagai perpindahan molekul yang bersifat pasif daripada yang bersifat aktif.



Gambar 2.10 Pergerakan larutan dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah

Sumber : www.encyclopedia.thefreedictionary.com/diffusion

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi, yaitu:

1. Ukuran partikel. Semakin kecil ukuran partikel, semakin cepat partikel itu akan bergerak, sehingga kecepatan difusi semakin tinggi.
2. Ketebalan membran. Semakin tebal membran, semakin lambat kecepatan difusi.
3. Luas suatu area. Semakin besar luas area, semakin cepat kecepatan difusinya.
4. Jarak. Semakin besar jarak antara dua konsentrasi, semakin lambat kecepatan difusinya.
5. Suhu. Semakin tinggi suhu, partikel mendapatkan energi untuk bergerak dengan lebih cepat. Maka, semakin cepat pula kecepatan difusinya.

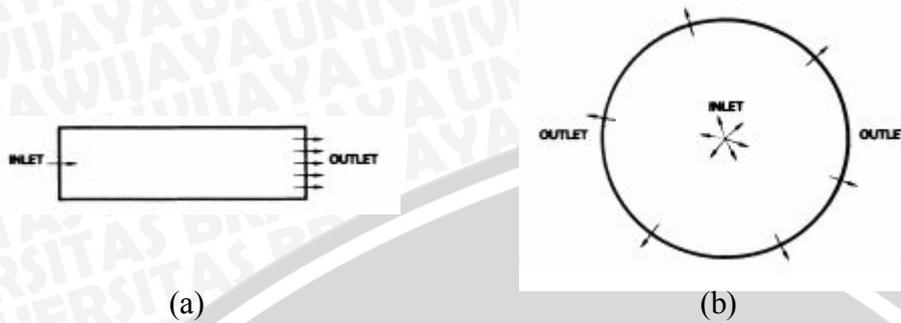
2.10 Hele-Shaw Cell

Hele-Shaw adalah suatu alat yang terdiri atas dua plat yang terhubung satu sama lain akan tetapi dipisahkan dengan jarak yang sangat kecil. Salah satu plat harus transparan sebagai media pengamatan. Media ini dapat digunakan untuk mempelajari berbagai macam fenomena pendesakan dua fluida yang memiliki berbeda viskositas. Nama Tekhnis dari *Hele-Shaw cell* yang lengkap ialah *quasi-two-dimensional Hele-Shaw cell*.

Secara umum *Hele-Shaw cell* dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu :

1. Tipe Lateral
2. Tipe Radial

Tipe Lateral memiliki ciri *finger* yang dihasilkan menuju hanya satu arah dan bentuknya persegi panjang, sedangkan tipe radial memiliki ciri *finger* yang dihasilkan menuju ke segala arah gambar 2.11 dan bentuknya lingkaran.



Gambar 2.11 : Gambar dari tipe *hele-shaw cell* (a) Tipe Lateral; (b) Tipe Radial

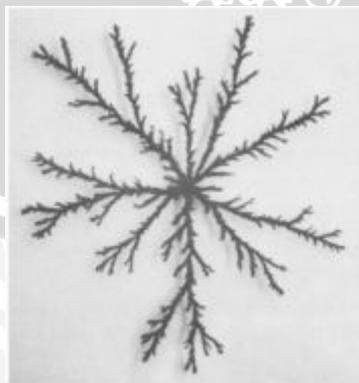
Sumber : Eugene Stanley, H., Radial Viscous fingers And Diffusion Limited Aggregation : Fractal Dimensiion and Growth Sites

Gambar 2.12, 2.13 dan 2.14 berikut ini merupakan contoh gambar hasil dari *viscous finger*, baik tipe lateral dan radial:



Gambar 2.12 : Pola penetrasi *viscous finger*; dari udara (hitam) menuju ke minyak (putih) pada lateral dan radial *Hele-Shaw cell*

Sumber : Ristroph, Leif., Fjords in viscous fingering : Selection of width and opening angle



Gambar 2.13 : Bentuk umum radial *viscous finger*

Sumber : Eugene Stanley, H., Radial Viscous fingers And Diffusion Limited Aggregation : Fractal Dimensiion and Growth Sites

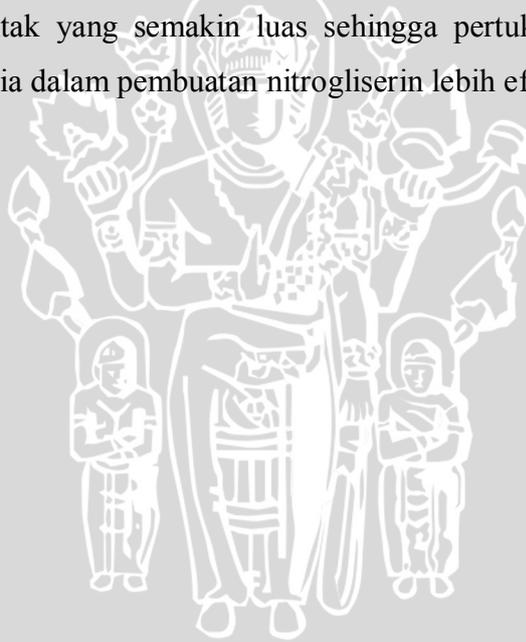


Gambar 2. 14 : Pola penetrasi *viscous finger* pada lateral *Hele-Shaw cell* ; dari udara (putih) menuju ke minyak (hitam)

Sumber : Gilje, Eli., Simulation of viscous instabilities in miscible and immiscible displacement

2.11 Hipotesis

Semakin kecil lebar celah *Hele-Shaw cell* menyebabkan tegangan permukaan menjadi besar; *interfacial instability* meningkat, ditunjukkan dengan mengecilnya lebar finger dan luas bidang kontak yang semakin luas sehingga pertukaran energi menjadi intensif akibatnya reaksi kimia dalam pembuatan nitrogliserin lebih efektif.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Dalam penelitian ini dibuat sebuah model aliran dalam *Hele Shaw Cell* yaitu sebuah alat yang terdiri dari dua plat yang terpisah dengan jarak yang kecil dan didalamnya terdapat gliserin yang akan di injeksi dengan asam sulfat dan asam nitrat.

Untuk memudahkan pengamatan dari proses terbentuknya *finger* maka diberikan pewarna kepada gliserin pada pengamatan pertama dan pada pengamatan kedua diberikan kepada campuran asam.

3.2. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada dua macam variabel yang digunakan, yaitu :

a. Variabel bebas

Variabel bebas (*independent variabel*) yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian adalah lebar celah *hele shaw cell*. Dalam penelitian ini lebar celah *hele shaw cell* yang digunakan yaitu : 0,1 mm; 0,5 mm; 1 mm.

b. Variabel terikat

Variabel terikat (*dependent variabel*) yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. bentuk *finger*, panjang jari-jari *viscous finger*, bentuk reaksi, kecepatan reaksi dan jari-jari reaksi.

c. Variabel terkendali

Variabel terkendali yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti, dan perubahan nilainya dikendalikan oleh peneliti. Variabel terkendali dalam penelitian adalah waktu pengujian. dalam penelitian ini adalah waktu pengujian yaitu 5s, 10s, 15s, 20s, 25s dan 30 s untuk perkembangan *finger*, dan kelipatan 25s mulai terjadinya reaksi untuk perkembangan jari-jari reaksi.

3.3 Alat-Alat Penelitian

Fungsi dan spesifikasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. *Helle Saw Cell*

Media untuk mengamati terbentuknya *viscous finger*, terbuat dari dua plat kaca ukuran 200 x 200 mm, dengan tebal masing-masing 5 mm. Dua plat tersebut terpisah dengan jarak yang telah diatur sebelumnya sesuai dengan kebutuhan penelitian, dan didalam celah tersebut terdapat gliserin yang akan di injeksikan asam nitrat dan asam sulfat.

2. *Injector*

Spesifikasi: volume 2,5 ml

Digunakan untuk menginjeksikan campuran asam sulfat dan asam nitrat ke *hele shaw cell* yang berisi gliserin.

3. Kamera

Digunakan untuk merekam proses terjadinya *viscous finger* selama proses penginjeksian berlangsung.

Spesifikasi :- Merk : Sony
- Model : C530
- Buatan : China
- Optical zoom : 6 kali

4. Gelas ukur

Spesifikasi: volume 1000 ml

Digunakan untuk mentakar volume asam sulfat, asam nitrat dan gliserin, sesuai dengan yang dibutuhkan.

5. Beban

Digunakan untuk mengatur laju massa alir asam sulfat dan asam nitrat.

6. *Stop Watch*

Digunakan untuk mengukur waktu penginjeksian sehingga dapat diketahui laju massa alir asam sulfat dan asam nitrat.

7. Saluran Injektor

Spesifikasi : Diameter 1 mm

Digunakan untuk mengalirkan cairan asam menuju *hele shaw cell*

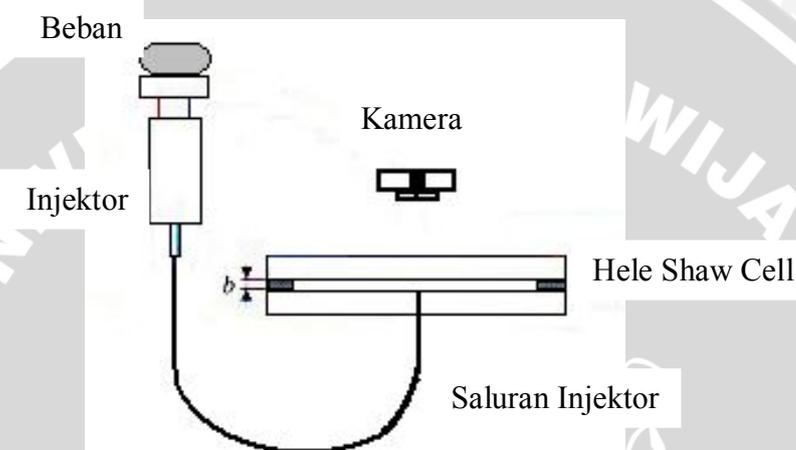
8. Pewarna

Spesifikasi : tinta warna hitam (e-print EFC 018 PLC)

Digunakan untuk memberi warna gliserin dan campuran asam agar dapat diamati proses terbentuknya *finger*.

3.4. Instalasi Penelitian

Alat uji merupakan komponen penting yang digunakan untuk mengambil data penelitian. Komponen-komponen alat uji terdiri atas peralatan yang sebagaimana sudah disebutkan sebelumnya, sedangkan rangkaian alat uji penelitian dapat dilihat seperti pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1
Rangkaian Alat Uji Penelitian

3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian

Prosedur dari pengambilan data ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

- Prosedur pemberian warna

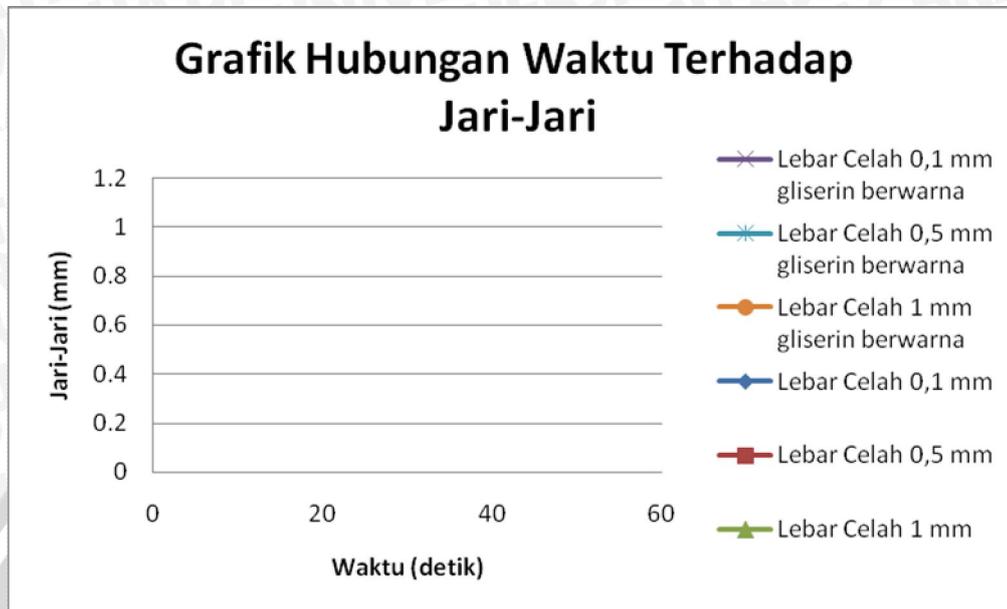
1. Untuk pengamatan yang pertama gliserin diambil sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan untuk penelitian, dalam pencampuran ini gliserin yang digunakan sebanyak 20 ml
2. Pewarna diambil sebanyak 1 ml, volume sebanyak ini sudah cukup memberikan warna yang mencolok pada gliserin.
3. Gliserin dicampur dengan pewarna secara perlahan-lahan dan diaduk secara merata.
4. Begitu juga untuk pengamatan yang kedua campuran asam diberi warna dengan perbandingan yang sama yaitu 1:20 ; 1 ml pewarna untuk tiap 20 ml campuran asam.

- Prosedur persiapan saat akan dilaksanakan penelitian.
 1. Gliserin dituangkan ke atas plat pertama *Hele saw cell* sesuai dengan volume yang ditetapkan sebelumnya, kemudian diberi penyangga agar terbentuk celah yang diinginkan, setelahnya plat kedua *Hele saw cell* diletakkan.
 2. Asam sulfat dan asam nitrat dimasukkan ke dalam injektor sesuai dengan volume yang diinginkan, yaitu sebesar 0,2 ml dgn perbandingan 1 : 1.
 3. Dari atas injektor diberi beban yang sesuai dengan laju massa alir yang diinginkan.
 4. Pada saat pemberian beban timer dinyalakan dan dimatikan saat asam nitrat dan asam sulfat yang ada di injektor habis.
- Prosedur pembentukan *viscous finger* asam nitrat dan asam sulfat dalam gliserin.
 1. Asam sulfat dan asam nitrat dimasukkan ke dalam injektor dengan volume 0,2 ml.
 2. Injektor dihubungkan dengan selang menuju *hele shaw cell*, dimana di dalam celahnya terdapat gliserin dengan volume 20 ml.
 3. Dari atas injektor diberi beban yang sesuai dengan laju volume alir yang diinginkan
 4. *Viscous finger* terbentuk di dalam *hele shaw cell*.
- Prosedur rangkaian pengambilan data
 1. Setting semua peralatan penelitian sesuai dengan prosedur penelitian yang dilakukan.
 2. Asam nitrat dan asam sulfat dimasukkan ke dalam *hele shaw cell* yang berisi gliserin dengan lebar celah yang sudah ditetapkan sebelumnya menggunakan injektor.
 3. Kamera dihidupkan untuk mengambil video.
 4. Injektor diberi beban agar asam nitrat dan asam sulfat dapat mengalir menuju *Hele saw cell* yang diinginkan.
 5. Melakukan pengambilan data melalui hasil rekaman dengan melihat perkembangan *finger* yang terbentuk tiap waktunya sesuai dengan variabel terkontrolnya
 6. Prosedur ini diulang untuk tiap-tiap variasi pengujian dengan membersihkan semua peralatan dari sisa-sisa pengujian sebelumnya terlebih dahulu.

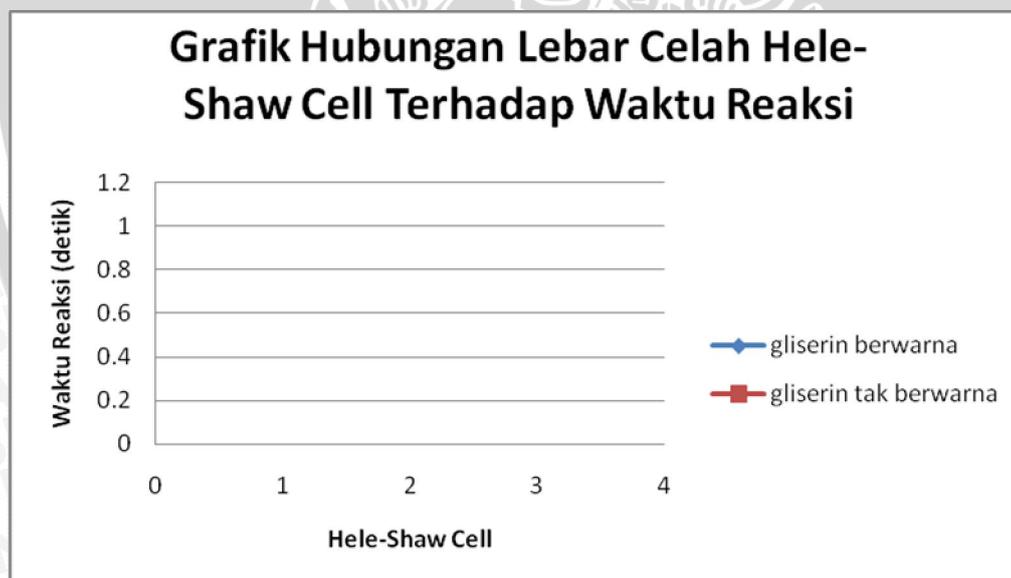
3.6. Data grafik yang akan diambil

Pada penelitian ini nantinya akan diperoleh data berupa gambar yang akan menunjukkan bentuk *finger*, panjang jari-jari *viscous finger*, bentuk reaksi, kecepatan reaksi dan jari-jari reaksi. Dari data yang diperoleh akan didapatkan hubungan dengan beberapa variabel yang telah ditentukan lewat grafik, gambar 3.2 sampai dengan gambar

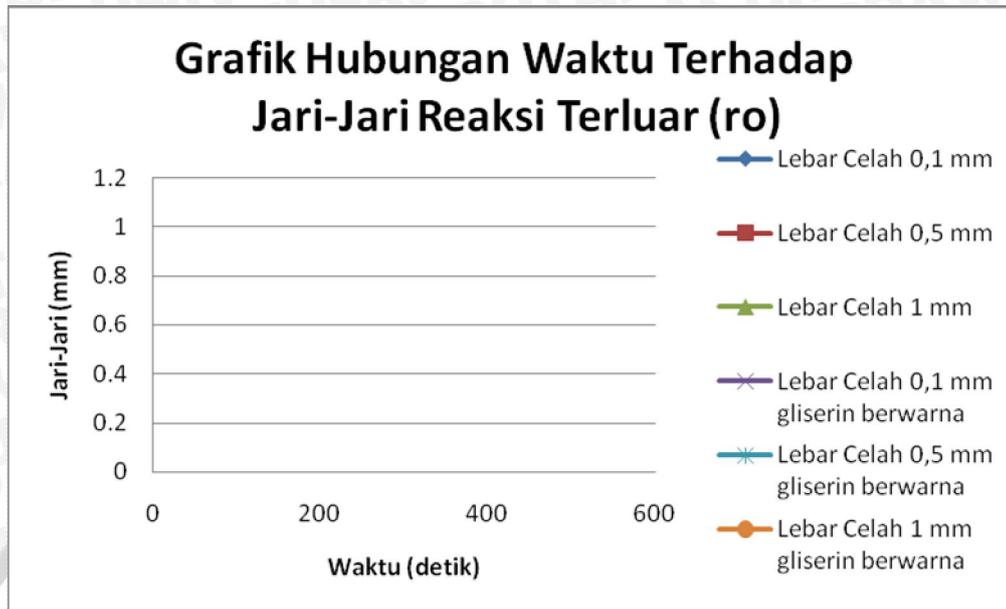
3.6 berikut ini akan ditunjukkan beberapa grafik yang dihasilkan untuk membantu penelitian.



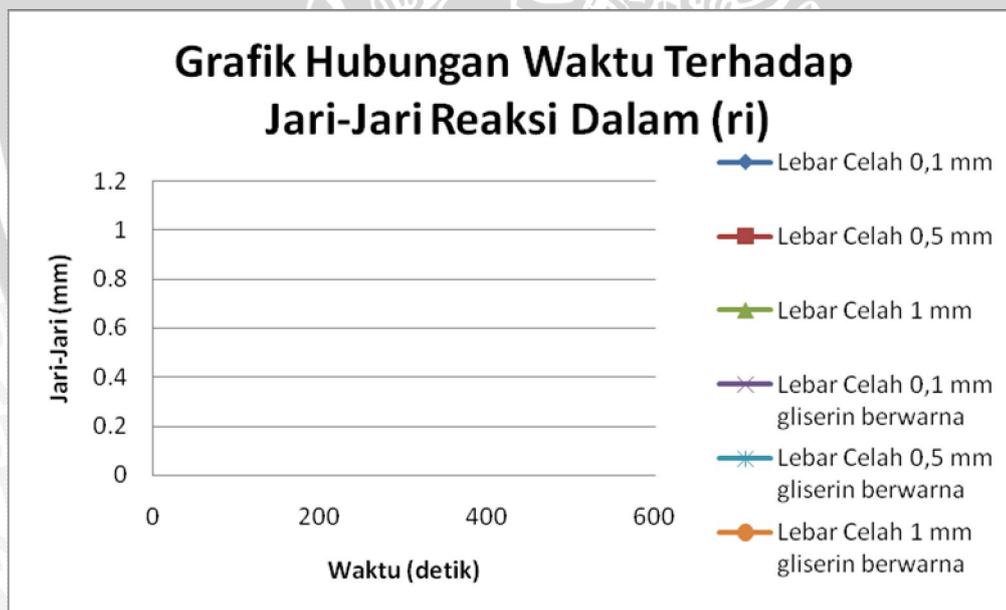
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Waktu Pengujian dengan jari-jari viscous finger



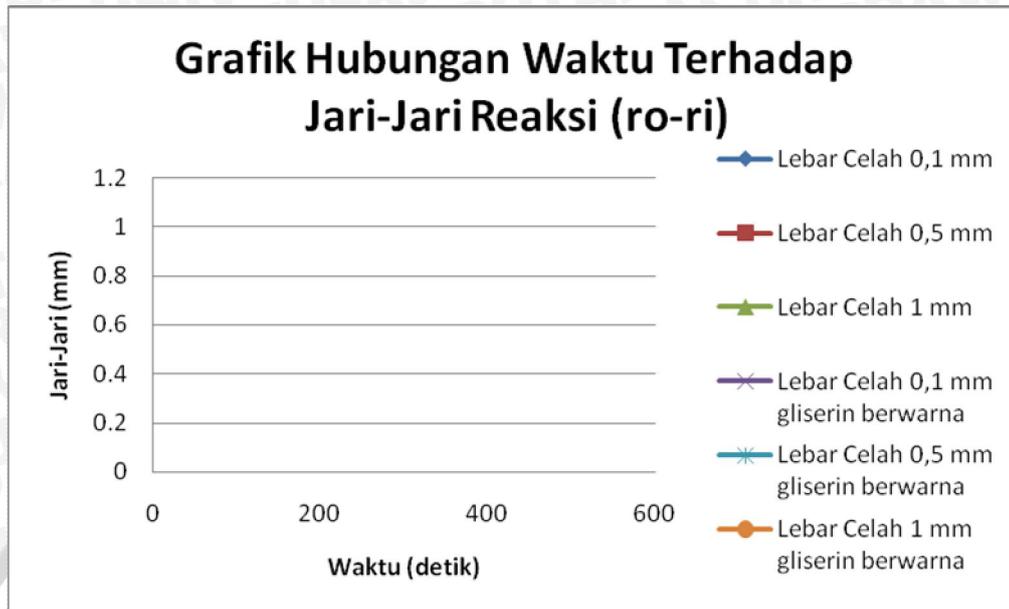
Gambar 3.3 Grafik Hubungan Lebar Celah *Hele Shaw Cell* Terhadap Waktu Reaksi



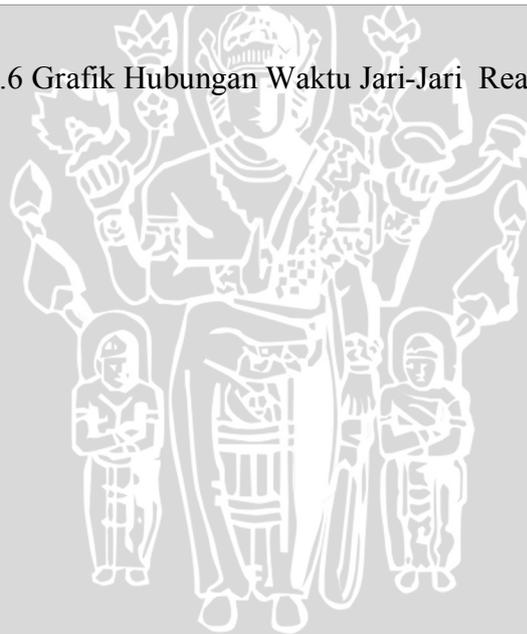
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Waktu Jari-Jari Reaksi Terluar



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Waktu Jari-Jari Reaksi Dalam

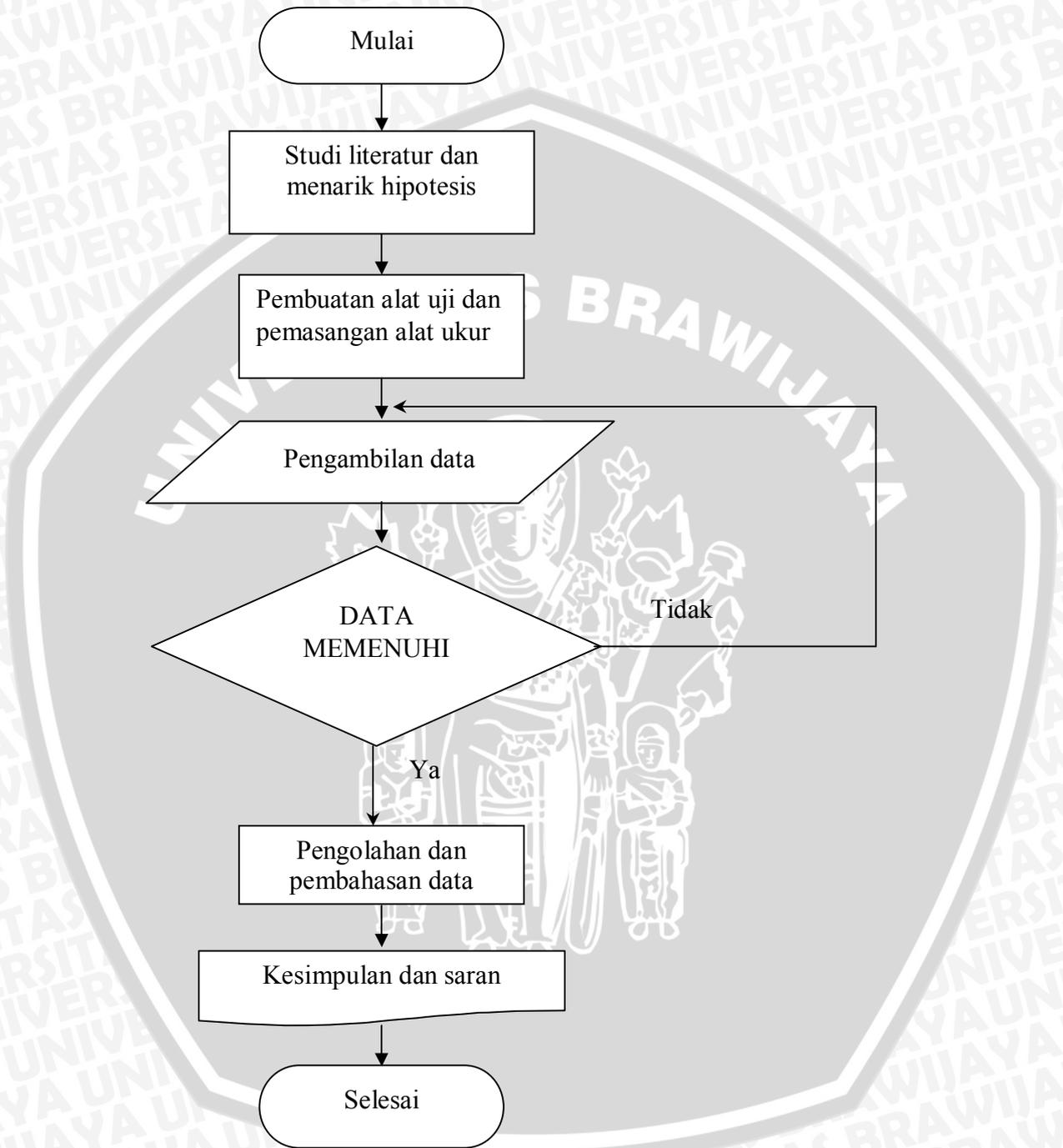


Gambar 3.6 Grafik Hubungan Waktu Jari-Jari Reaksi



3.7. Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian yang dilakukan secara diagram dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.7 berikut ini :



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

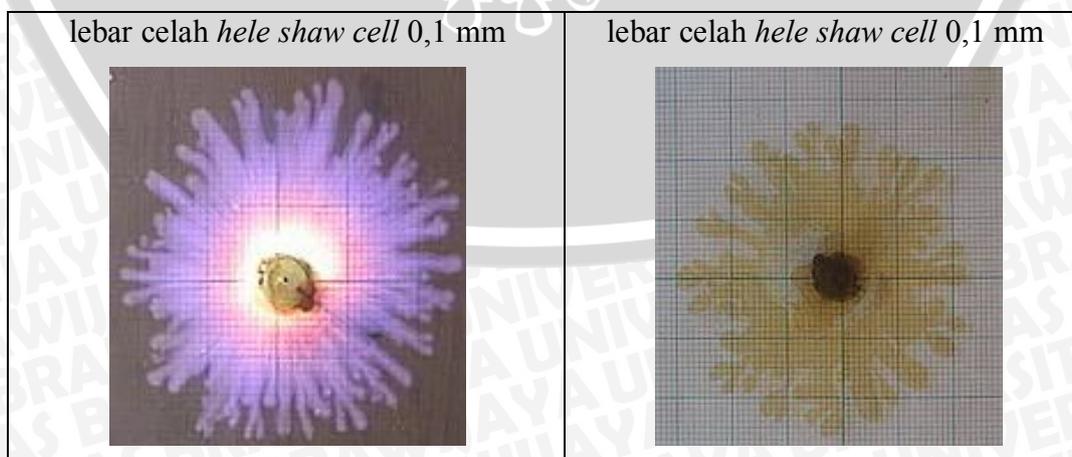
Hasil penelitian ini dikelompokkan, yaitu:

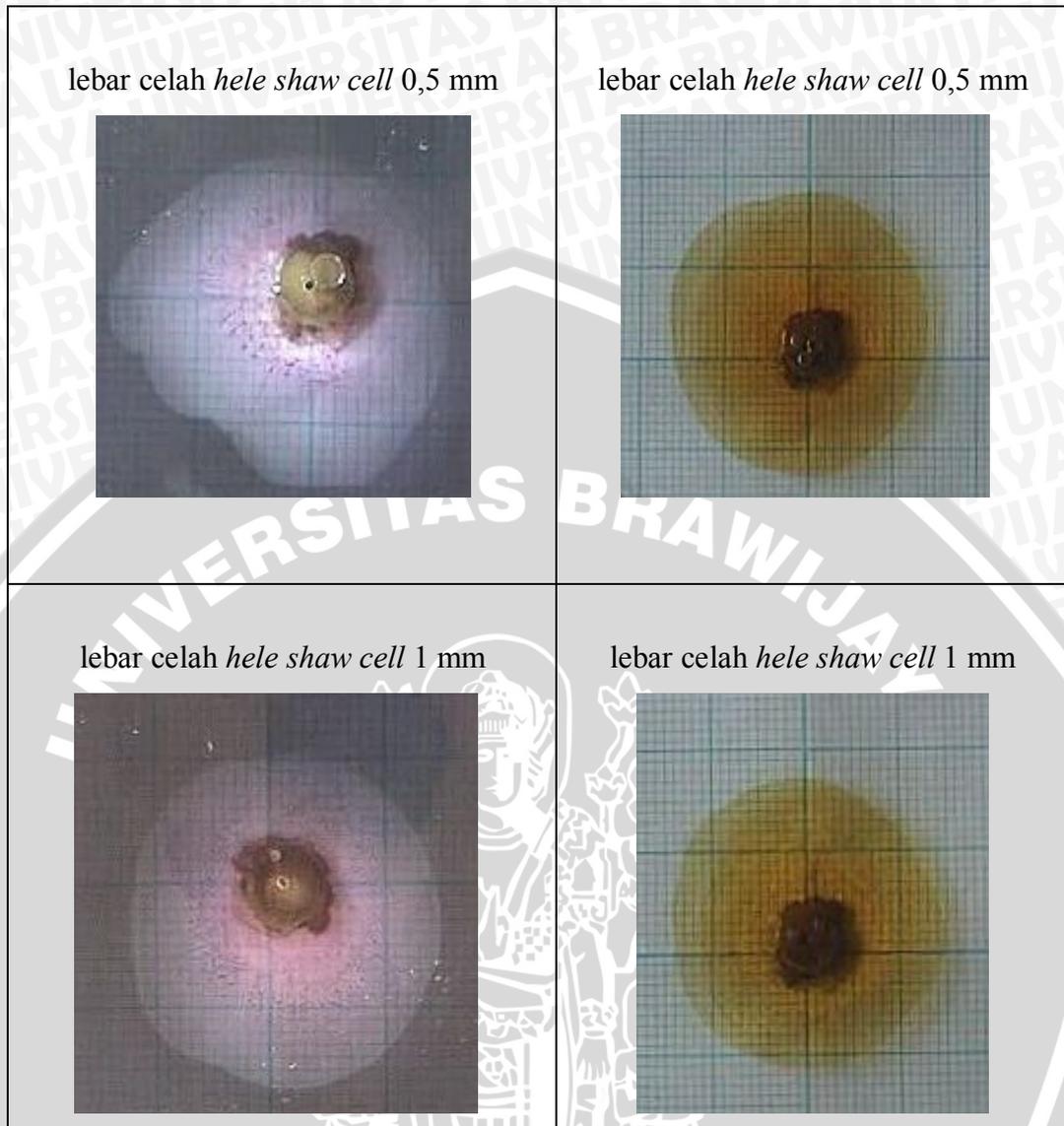
- ✓ Perubahan bentuk *interfacial instability* campuran asam sulfat dan asam nitrat pada gliserin dengan berbagai variasi lebar celah *Hele Shaw Cell*.
- ✓ Perubahan proses pembentukan viscous finger campuran asam sulfat dan asam nitrat pada gliserin dengan berbagai variasi lebar celah *Hele Shaw Cell*.
- ✓ Perubahan degradasi warna yang menunjukkan difusifitas campuran asam sulfat dan asam nitrat pada gliserin dengan berbagai variasi lebar celah *Hele Shaw Cell*.
- ✓ Perubahan bentuk daerah reaksi campuran asam sulfat dan asam nitrat pada gliserin dengan berbagai variasi lebar celah *Hele Shaw Cell*.
- ✓ Perubahan lama terjadinya reaksi campuran asam sulfat dan asam nitrat pada gliserin dengan berbagai variasi lebar celah *Hele Shaw Cell*.

4.2 Pembahasan

Pembahasan ini ditujukan untuk mengetahui pola kecenderungan dari data hasil penelitian yang dilakukan pada setiap pengambilan data penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam *hele shaw cell* yang berisi gliserin dengan berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell*.

4.2.1 Visualisasi bentuk *interfacial instability* campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin pada berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell*.





Gambar 4.1 visualisasi *interfacial instability* pada *viscous fingering* dengan berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell* dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin, kiri: gliserin diberi warna, kanan: campuran asam sulfat dan asam nitrat diberi warna.

Dari gambar 4.1 visualisasi *interfacial instability* pada gliserin diberi warna maupun gliserin yang tidak diberi warna dengan berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell* pada detik ke 30 dapat dilihat bahwa *viscous finger* yang dihasilkan memiliki bentuk yang berbeda-beda tiap variasi lebar celah *hele shaw cell*. Lebar *finger* yang terbentuk dengan lebar celah *hele shaw cell* yang paling

tipis yaitu 0,1 mm memiliki lebar yang lebih kecil dibandingkan dengan lebar celah *hele shaw cell* yang lebih besar yaitu 0,5 mm dan 1 mm. Hal ini disebabkan karena pada *hele shaw cell* dengan lebar yang paling tipis ketidakstabilan antarmuka (*interfacial instability*) antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dengan gliserin lebih besar karena tegangan permukaan yang besar sehingga ketika jumlah campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diinjeksikan habis lebar *finger* yang terbentuk kecil dan panjang, *finger* yang terbentuk cenderung panjang dan kompleks. Berbeda dengan lebar celah *hele shaw cell* yang lebih besar dimana ketidakstabilan antarmuka (*interfacial instability*) lebih kecil hal ini menyebabkan terbentuknya *finger* yang lebar dan sederhana dengan ukuran yang lebih pendek. Hal ini sesuai dengan teori pada *viscous fingering* yang menunjukkan bahwa lebar *finger* (λ) berbanding lurus dengan lebar celah *hele shaw cell* (b) dan nilai akar dari tegangan permukaan ($\sqrt{\sigma}$) dirumuskan dengan $\lambda = \pi b \sqrt{\sigma / \mu V}$ selain dipengaruhi oleh lebar celah *hele shaw cell* dan tegangan permukaan, lebar *finger* juga dipengaruhi oleh nilai viskositas (μ) dan kecepatan antar muka (v) dengan hubungan berbanding terbalik. Dimana :

- λ = Lebar jari (m)
- π = 3,14
- b = Lebar celah antar plat/*Hele Shaw Cell* (m)
- σ = Surface tension (N/m)
- μ = viskositas (Pa.s)
- V = kecepatan antarmuka (m/s)

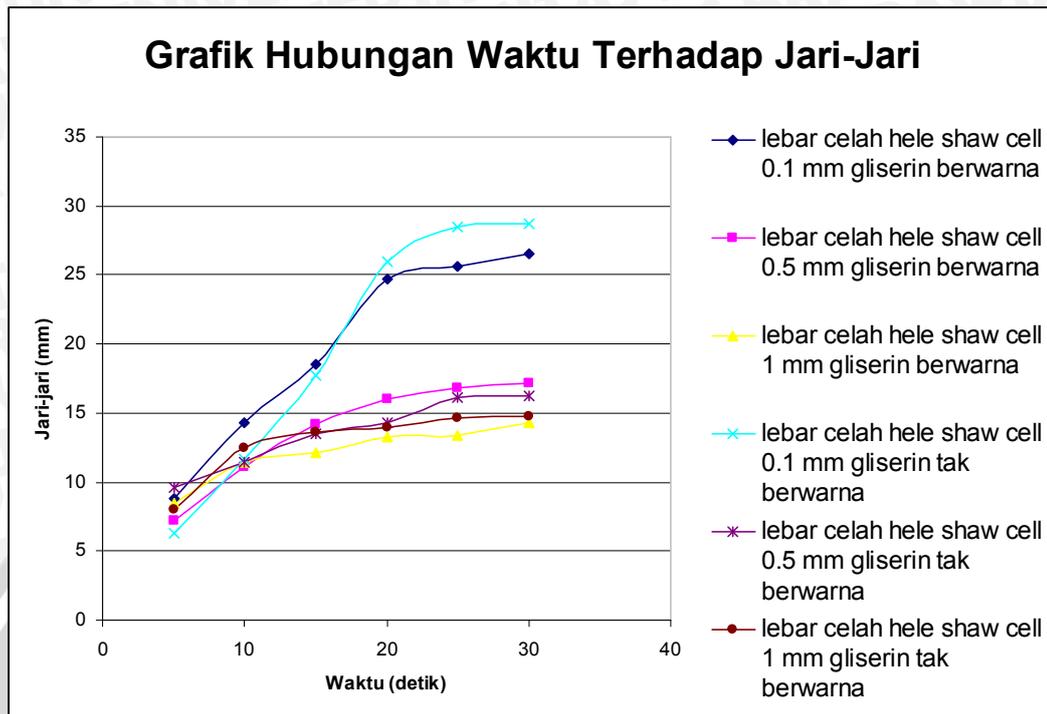
sehingga semakin besar lebar celah *hele shaw cell* maka akan menghasilkan *finger* yang semakin lebar pula.

Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan lebar celah *hele shaw cell* yang paling besar (1 mm) dan medium (0,5 mm) terjadi degradasi warna yang tidak terlalu mencolok dibandingkan dengan degradasi warna pada lebar *hele shaw cell* yang paling tipis (0,1 mm) hal ini disebabkan karena pada penginjeksian dengan lebar celah *hele shaw cell* yang paling besar, campuran asam sulfat dan asam nitrat tidak menyapu gliserin secara bersih dan terjadi difusi antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dengan gliserin selama proses penginjeksian sehingga dari pusat

penginjeksian ke ujung *finger* akan terjadi pemudaran warna yang tidak terlalu mencolok, dan pada daerah tersebut terjadi difusi. Namun degradasi warna kurang begitu tampak pada campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna hal ini disebabkan warna yang dihasilkan dari pencampuran tersebut menghasilkan warna yang agak transparan sehingga degradasi warna kurang tampak, akan tetapi sama halnya dengan penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna yaitu proses difusi juga terjadi saat penginjeksian berlangsung. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna maupun campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang tidak berwarna dengan lebar *hele shaw cell* yang paling tipis (0,1 mm) saat akhir penginjeksian terjadi degradasi warna yang cukup mencolok, hal ini dikarenakan pada saat penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat menyapu gliserin lebih bersih bila dibandingkan dengan lebar celah *hele shaw cell* yang lebih besar sehingga degradasi warna tersebut terlihat dengan jelas. Namun apabila kita diamkan lagi beberapa saat maka degradasi warna tersebut juga akan muncul pada lebar *hele shaw cell* yang berukuran medium (0,5 mm) dan berukuran besar (1 mm), seiring dengan mulai bereaksinya campuran asam sulfat dan nitrat dengan gliserin baik yang berwarna atau tidak berwarna.

4.2.2 Hubungan antara waktu dengan jari-jari *finger* pada berbagai variasi lebar *hele shaw cell* pada campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin.

Dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat diperoleh hubungan waktu terhadap reaksi seperti ditunjukkan pada gambar 4.2, pada semua variasi lebar celah *hele shaw cell* menunjukkan tren kenaikan. Sedangkan pengaruh pemberian warna tidak terlalu terlihat antara gliserin yang berwarna dan yang tidak berwarna, seperti yang terlihat pada grafik lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm gliserin tak berwarna memiliki jari-jari yang paling besar disbanding pada yang berwarna untuk volume yang sama, hal yang sama terjadi pada lebar celah *hele shaw cell* 1 mm gliserin tak berwarna memiliki jari-jari yang lebih besar daripada gliserin berwarna. Pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm jari-jari gliserin berwarna lebih besar daripada tak berwarna.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Waktu Terhadap Jari-Jari

Sedangkan proses pembentukan *finger* dengan berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell* secara visualisasi dapat dilihat pada lampiran 1. Pada visualisasi proses perkembangan *finger* dapat dilihat campuran asam nitrat dan asam sulfat dalam gliserin pada waktu 5 detik, 10 detik, 15 detik, 20 detik, 25 detik dan 30 detik. Saat penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna pada detik ke 5, pada tiap-tiap *hele shaw cell* dengan berbagai variasi tidak tampak perbedaan dalam hal terbentuknya *finger* antara satu dengan yang lainnya karena volume asam belum banyak. Pada detik ke 10 mulai terbentuk *finger* untuk variasi lebar *hele shaw cell* 0,1 mm sedangkan pada variasi lebar *hele shaw cell* 0,5 mm tidak terlihat *finger* yang ada hanya calon *finger* yang tidak jadi terbentuk, begitupula pada variasi lebar *hele shaw cell* 1 mm tidak tampak *finger* sama sekali.

Begitu seterusnya pada lebar celah 0,1 mm *finger* yang terbentuk semakin kompleks dan berbanding terbalik dengan lebar celah 0,5 dan 1 mm yang tidak tampak *finger*. Fenomena tidak terbentuknya *finger* pada celah yang besar dapat

dijelaskan karena tegangan permukaan, pada lebar celah *hele shaw cell* yang besar memiliki tegangan permukaan yang kecil sehingga *finger* yang terbentuk tidak kompleks dan ketidakstabilan antar muka cenderung tidak terlalu besar. Pada campuran asam nitrat dan sulfat yang berwarna tidak terbentuknya *finger* disebabkan juga oleh tegangan permukaan.

Mengenai degradasi warna yang terjadi di ujung *finger* atau di bagian tepian *finger*, hal ini menunjukkan terjadinya proses difusi antara campuran asam nitrat dan sulfat dengan gliserin. Proses difusi ini nantinya akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia. Pada gliserin yang berwarna untuk lebar celah *hele shaw cell* yang paling kecil (0,1 mm) pada detik ke 5 masih belum terlihat degradasi warna karena volume campuran asam yang diinjeksikan masih sedikit. Degradasi warnanya mulai dapat di lihat sejak detik ke 10 atau sejak mulai terbentuknya *finger*, dan hal ini menunjukkan jika proses difusi pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm mulai terjadi pada detik ke 10. Pada detik ke 15 *finger* semakin berkembang begitu juga dengan proses difusi yang terus terjadi seiring dengan waktu. Pada detik ke 20 sampai dengan 30 seperti pada detik ke 15 perkembangan *finger* disertai dengan terjadinya proses difusi. Pada lebar celah 0,5 mm dan 1 mm degradasi warna sama-sama mulai terlihat pada detik ke 15, akan tetapi degradasi warna (proses difusi) yang terjadi tidak diiringi dengan bertambahnya *finger* hanya peningkatan diameter saja. Sehingga dapat disimpulkan jika proses difusi pada lebar celah 0,5 mm dan 0,1 mm mulai terjadi pada kisaran detik ke 15 meski tidak disertai pertambahan *finger*. Yang terjadi selanjutnya pada detik ke 20 sampai 30 yaitu peningkatan diameter campuran asam nitrat dan sulfat diiringi dengan semakin pudar warna campuran asam nitrat dan asam sulfat itu sendiri karena berdifusi dengan gliserin. Pada detik ke 10 atau ke 15 penginjeksian campuran asam nitrat dan sulfat masih dilakukan, yang berarti masih terjadi penambahan volume yang mendesak gliserin. Sehingga dapat ditarik kesimpulan lainnya yaitu bahwa proses difusi tidak hanya searah dari gliserin menuju ke campuran asam nitrat dan sulfat saja, akan tetapi juga dari campuran asam nitrat dan sulfat menuju ke gliserin karena terdorong oleh penambahan volume. Proses difusi yang terjadi dapat menghasilkan zona difusi, pada zona ini campuran asam nitrat dan sulfat dengan gliserin dapat menciptakan campuran yang setimbang

untuk terjadinya reaksi kimia. Akan tetapi pada campuran asam nitrat dan asam sulfat yang berwarna degradasi warna tidak terlalu terlihat meskipun sudah mencapai detik ke 30, hal ini karena gliserin yang transparan tidak terlalu terlihat saat berdifusinya.

Jika kita simpulkan dari tiga variasi lebar celah *hele shaw cell*, lebar celah akan mempengaruhi bentuk *finger* yang terbentuk dan besarnya diameter begitu juga terhadap laju difusi juga cukup berpengaruh. Makin tipis lebar celah *hele shaw cell* maka makin kecil pula lebar *finger* yang terbentuk dan makin kompleks bentuk *finger*, begitu sebaliknya jika lebar celah *hele shaw cell* semakin besar *finger* yang terbentuk lebarnya semakin besar bahkan bisa tidak terbentuk *finger*. Diameter campuran antara asam nitrat dan sulfat yang terbentuk pada lebar celah *hele shaw cell* yang paling besar akan semakin kecil, dan semakin besar diameternya untuk lebar celah yang paling kecil. Untuk difusifitasnya, semakin besar lebar celah *hele shaw cell* maka laju difusifitasnya semakin kecil. Hal ini terlihat seperti pada gambar, yaitu degradasi warna yang terjadi pada lebar celah *hele shaw cell* yang besar (1 mm). Perubahan degradasi warnanya lebih lambat dibandingkan dengan lebar celah *hele shaw cell* (0,1 mm). Cepat lambatnya proses difusi serta *finger* yang terbentuk tentu akan memberikan efek terhadap reaksi yang terjadi, sehingga untuk mengetahui efek tersebut terhadap reaksi yang terjadi maka ditampilkan visualisasi proses terjadinya reaksi pada pembahasan selanjutnya.

4.2.3 Hubungan perubahan bentuk daerah reaksi dan waktu terjadinya reaksi pada berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell* pada campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin.

Dari hasil penelitian seperti ditunjukkan pada lampiran 2, dapat diketahui proses terjadinya reaksi pada gliserin yang berwarna untuk lebar celah *hele shaw cell* dengan ukuran 0,1 mm dimulai pada detik ke 189 sedangkan untuk lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm dimulai pada detik ke 260 dan 320. Proses terjadinya reaksi pada lebar celah *hele shaw cell* dengan ukuran yang paling kecil lebih cepat terjadi, hal ini dapat disebabkan oleh luas bidang kontak antara campuran asam sulfat dan nitrat dengan gliserin yang lebih besar dan dapat

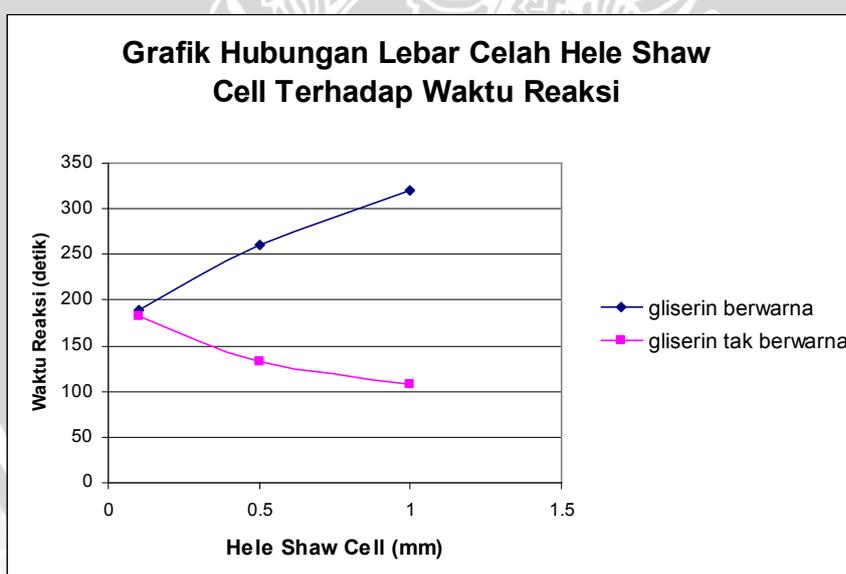
disebabkan oleh adanya energi awal yang diperoleh campuran asam nitrat & sulfat dengan gliserin yang berasal dari tegangan permukaan.

Bidang kontak, pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm, pada campuran asam nitrat dan sulfat dengan gliserin memiliki luas yang besar jika dibandingkan dengan lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan semakin kecil luas permukaan bidang kontak pada lebar celah *hele shaw cell* 1 mm. Hal ini menyebabkan pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm proses difusi antara campuran asam nitrat dan sulfat juga semakin cepat, dan efek selanjutnya menjadikan untuk mencapai kesetimbangan reaksi juga cepat. Jika kesetimbangan reaksi dapat dicapai dengan cepat maka reaksi yang terjadi juga semakin cepat apabila dibandingkan dengan lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm untuk gliserin berwarna.

Tegangan permukaan, seperti yang telah diketahui bahwa tegangan permukaan adalah gaya per satuan panjang. Dan ini berarti semakin kecil lebar celah *hele shaw cell* maka hasil bagi gaya dengan lebar celah semakin besar. Jika nilai bagi tadi hasilnya besar berarti tegangan permukaannya juga semakin besar, saat tegangan permukaan semakin besar maka lebar *finger* semakin kecil dan bentuk *finger* semakin kompleks. Jika bentuk *finger* semakin kompleks maka bidang kontak semakin besar, hasil kali luas bidang kontak dengan tegangan permukaan menghasilkan nilai energi dan hal ini dapat digunakan sebagai energi awal yang dapat mempercepat terjadinya reaksi antara asam sulfat dan nitrat dengan gliserin. Pada penelitian terbukti bahwa semakin besar lebar celah *hele shaw cell* maka waktu awal terjadinya reaksi juga semakin lama dan begitu sebaliknya pada lebar celah *hele shaw cell* yang tipis awal terjadinya reaksi semakin cepat untuk gliserin yang berwarna sedangkan untuk gliserin yang tidak berwarna semakin besar lebar celah *hele shaw cell* maka awal terjadinya reaksi semakin cepat. Hal ini menunjukkan pewarna mempengaruhi awal terjadinya reaksi.

Dari hasil penelitian dapat diketahui secara visual letak awal reaksi yang berbeda-beda, hal ini menunjukkan bahwa di zona awal terjadinya reaksi itulah komposisi antara campuran asam sulfat dan nitrat mencapai komposisi yang setimbang melalui proses difusi. Pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm awal

reaksi secara visual terletak pada bagian bawah dari lubang injeksi dan dimulai pada detik ke 189 kemudian terus menjalar sampai ke atas dan akan selesai saat komposisi yang setimbang dari campuran asam nitrat dan sulfat dengan gliserin habis terurai. Begitu juga yang terjadi pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm, awal bereaksinya pada detik ke 260 dan awal reaksinya tepat dibawah injector. Reaksi akan terus menyebar ke segala arah mengikuti kadar yang setimbang antara asam nitrat dan sulfat dengan gliserin, dan akan berhenti saat kadar yang setimbang antara asam nitrat dan sulfat dengan gliserin habis terurai, untuk lebar celah *hele shaw cell* 0,5mm. Pada lebar celah *hele shaw cell* yang paling besar (1 mm) awal reaksi terjadi pada zona kesetimbangan antara asam nitrat dan sulfat dengan gliserin juga. Pada gambar awal reaksi untuk lebar celah *hele shaw cell* 1 mm tampak semacam pola melingkar, hal ini disebabkan karena proses difusi dan injeksi dari campuran asam nitrat dan sulfat itu sendiri. Sedangkan letak reaksi tetap menunjukkan komposisi yang setimbang dari campuran asam nitrat dan sulfat dengan gliserin

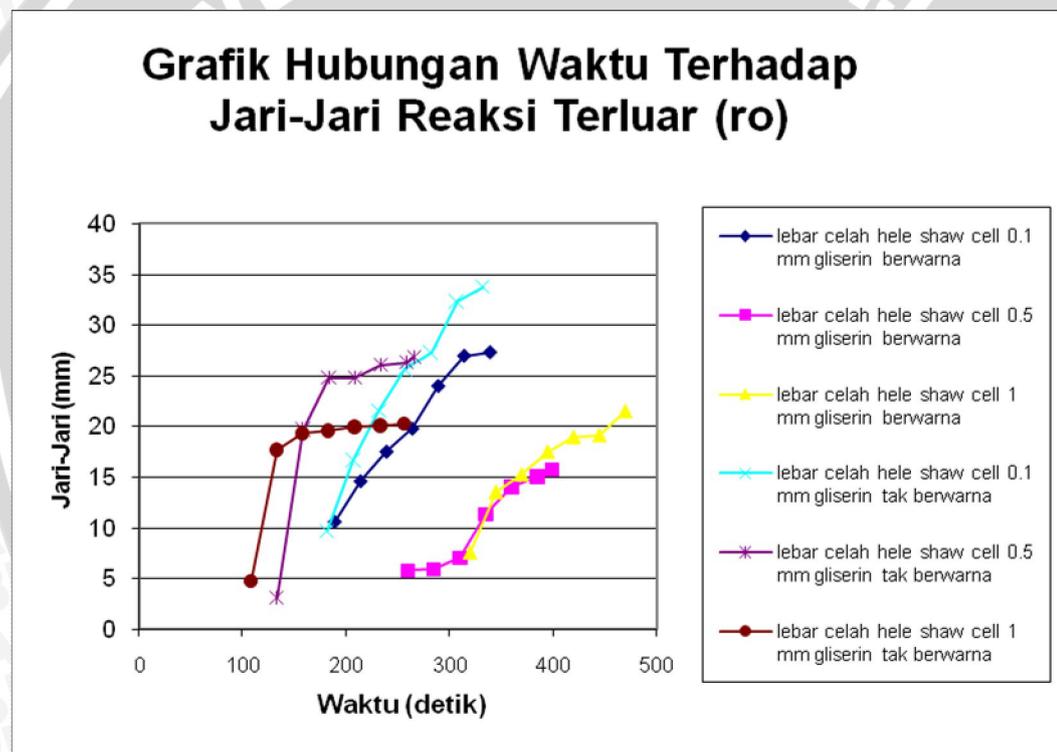


Gambar 4.3 Grafik Hubungan Lebar Celah Hele Shaw Cell Terhadap Waktu Reaksi

Pada gambar 4.3 Grafik Hubungan Lebar Celah Hele Shaw Cell Terhadap Waktu Reaksi. Tampak dua tren yang berlawanan dari dua series, jika pada gliserin berwarna semakin besar lebar celah *hele shaw cell*, maka waktu dimulai

reaksi semakin lama. Pada gliserin tak berwarna semakin lebar, celah *hele shaw cell* maka waktu reaksi semakin cepat. Pada gliserin berwarna bisa terjadi demikian karena reaksi kimia benar-benar terjadi pada saat setelah campuran asam nitrat dan sulfat di injeksikan dalam *hele shaw cell* sedangkan pada gliserin tak berwarna campuran asam nitrat dan sulfat bereaksi terlebih dahulu dengan pewarna sesaat sebelum diinjeksikan kedalam *hele shaw cell* sehingga pada saat bereaksi hanya dengan gliserin saja oleh karena itu, proses reaksi lebih cepat daripada gliserin berwarna.

4.2.4. Hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi pada berbagai variasi lebar celah *hele shaw cell*



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Waktu Jari-Jari Reaksi Terluar

Dari gambar 4.4 yaitu grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi terluar (r_o) pada gliserin yang berwarna dapat dilihat bahwa proses peningkatan jari-jari reaksi ditinjau dari segi waktu tidak terlihat ada yang meningkat secara drastis, semuanya melewati proses sedikit demi sedikit meningkat kecuali pada

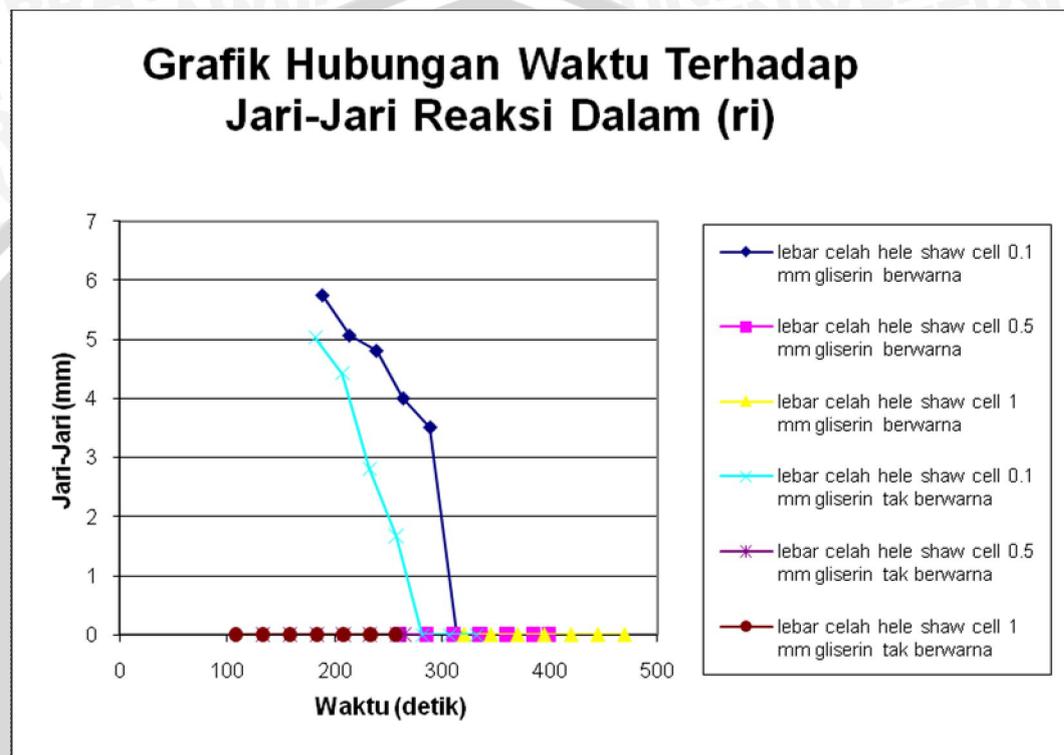
lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm, peningkatan jari-jari reaksinya tidak selambat pada 0,5 mm dan 1 mm, hal ini karena pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm terjadi *interfacial instability* yang lebih besar dibandingkan dengan lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm. Saat *interfacial instability* terjadi maka bentuk *finger* akan semakin rumit, jika bentuk *finger* semakin rumit maka mendorong terjadinya proses difusi yang lebih cepat, sedangkan proses difusi itu sendiri semakin cepat karena bentuk *finger* yang rumit menyebabkan peningkatan luas permukaan. Saat proses difusi semakin cepat terjadi, maka untuk mencapai kesetimbangan reaksi akan semakin cepat pula karena pada proses difusi, sebenarnya terjadi proses pencampuran. Jika kesetimbangan reaksi semakin cepat maka laju reaksi semakin cepat pula. Sehingga pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm tren garisnya terlihat curam, hal ini di karenakan peningkatan jari-jari reaksi terhadap waktu yang cepat. Sehingga dapat disimpulkan untuk gliserin yang berwarna, *interfacial instability* dapat mendorong semakin cepatnya reaksi.

Pada grafik untuk gliserin yang tak berwarna terlihat, ketiganya memiliki tren awal grafik yang curam baik pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm; 0,5 mm; & 1 mm. Hal ini berarti menunjukkan bahwa reaksi terjadi merata dibandingkan pada gliserin yang berwarna. Pada gliserin yang tak berwarna khususnya pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm grafik sangat curam pada awalnya dan selanjutnya tidak terlalu curam, hal ini berarti reaksi muncul secara serentak di seluruh bagian *finger*.

Pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm gliserin berwarna, grafiknya tidak securam pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm gliserin tak berwarna, peristiwa ini dapat disebabkan karena laju difusi yang rendah karena luas permukaan yang sedikit, juga dapat disebabkan pewarna berperan sebagai inhibitor/penghambat pada gliserin yang berwarna sehingga reaksi berjalan secara tidak serentak dan terlihat pada grafik untuk gliserin yang tak berwarna yang tidak terlalu curam.

Pada gambar 4.5 yaitu grafik hubungan antara waktu dengan jari-jari terdalam (r_i) pada gliserin berwarna dengan lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm memiliki tren yang menurun hal ini berarti menunjukkan penurunan nilai jari-jari

dari *finger* dan juga berarti arah rambat reaksi mengarah kedalam. Begitu juga yang terjadi pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm untuk gliserin yang tak berwarna. Keduanya memiliki ciri yang sama, yaitu penurunan yang curam, dan awal bereaksi tidak terlalu jauh jaraknya, hal ini berarti pengaruh warna sebagai inhibitor tidak terlalu dominan terlihat.

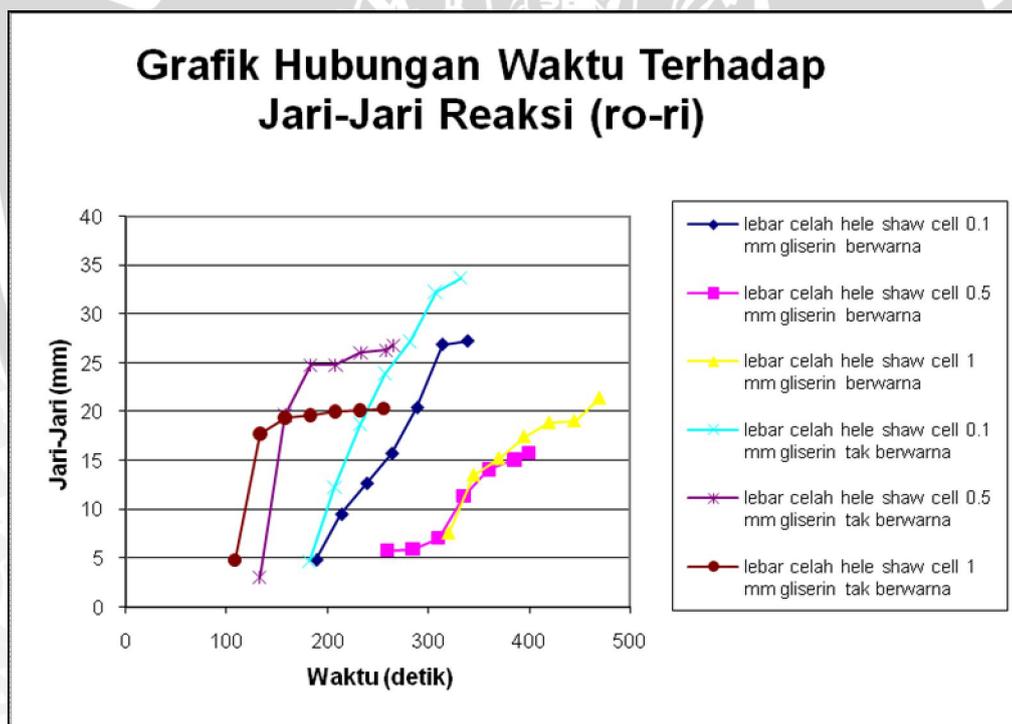


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Waktu Jari-Jari Reaksi Dalam

Pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm, untuk gliserin yang berwarna memiliki awal terjadinya reaksi lebih lambat dibandingkan pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm yang tidak berwarna, hal ini dapat disebabkan karena proses difusi pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm untuk gliserin yang berwarna berlangsung lebih lambat daripada proses difusi pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm yang tidak berwarna. Selain karena proses difusi yang lebih lambat, factor yang dapat menyebabkan reaksi lebih lambat ialah adanya zat pewarna. Pada gliserin yang berwarna campuran asam nitrat dan asam sulfat tidak hanya bereaksi dengan gliserin saja, akan tetapi juga dengan zat pewarna yang terkandung dalam gliserin tersebut. Peristiwa yang

beda terjadi pada gliserin yang tak berwarna, pada saat diinjeksikan campuran asam nitrat dan asam sulfat sudah bereaksi terlebih dahulu dengan pewarna yang dicampurnya, sehingga saat sudah diinjeksikan campuran asam sulfat dan nitrat tersebut tinggal bereaksi dengan gliserin saja tanpa zat pewarna yang sebelumnya sudah bereaksi terlebih dahulu.

Sedangkan pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm untuk gliserin yang berwarna dan tidak berwarna sama-sama memiliki jari-jari bernilai nol, hal ini karena pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm reaksi berlangsung secara serentak di seluruh zona *finger*. Proses bereaksi secara serentak di seluruh zona *finger* bisa terjadi karena campuran asam nitrat dan asam sulfat tidak mendorong gliserin baik yang berwarna atau tidak berwarna secara bersih, masih ada sisa-sisa gliserin yang tertinggal pada dinding *hele shaw cell*.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Waktu Terhadap Selisih Jari-Jari Reaksi

Pada gambar 4.6 yaitu grafik hubungan waktu terhadap selisih jari-jari reaksi dapat menunjukkan panjang zona reaksi terhadap waktu yang terjadi pada

finger, hal ini diperoleh dengan mengurangkan jari-jari reaksi terluar dengan jari-jari reaksi terdalam. Pola grafik memiliki ciri yang sama dengan grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi terluar, hal ini karena pada beberapa lebar celah *hele shaw cell* untuk jari-jari reaksi terdalamnya memiliki nilai nol.

Pada lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm baik itu pada gliserin yang berwarna atau tidak, memiliki kecenderungan yang sama, yaitu memiliki garis yang curam dan jari-jari reaksi yang cukup besar. Hal ini dapat menunjukkan bahwa lebar celah *hele shaw cell* 0,1 mm, memiliki panjang zona reaksi yang besar dan terbentuknya juga cukup cepat, proses seperti ini bisa disebabkan oleh *interfacial instability* yang besar pada celah 0,1 mm. Saat *interfacial instability* besar maka pola *finger* yang terbentuk juga cukup rumit, jika *finger* yang terbentuk rumit maka akan mendorong proses difusi lebih cepat, sehingga proses reaksi berlangsung cepat.

Pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm untuk gliserin yang berwarna, memiliki garis yang tidak terlalu curam, hal ini berarti pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm panjang zona reaksi tidak terlalu besar. Sedangkan jika dilihat dari segi waktu proses peningkatan panjang zona reaksinya sendiri berlangsung secara perlahan dan berlanjut. Hal ini berbeda dengan yang terjadi pada lebar celah *hele shaw cell* 0,5 mm dan 1 mm gliserin tidak berwarna, pada saat awal terjadi reaksi tampak peningkatan grafik yang cukup besar, jika dikaitkan dengan waktu berarti reaksi berlangsung sangat cepat pada awalnya. Akan tetapi setelah seluruh bagian *finger* bereaksi maka peningkatan panjang zona reaksi tidak terlalu besar, pada grafik tampak peningkatan yang hanya sedikit demi sedikit saja.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengamatan dan analisis terhadap grafik hasil percobaan, maka dapat ditarik kesimpulan pengaruh variasi lebar celah *Hele Shaw Cell* terhadap ketidakstabilan antarmuka (*interfacial stability*) antara gliserin dengan asam nitrat dan asam sulfat sebagai berikut:

- ❖ Semakin lebar, celah *helle shaw cell* maka *finger* yang terbentuk semakin sederhana bahkan bisa tidak terbentuk sama sekali.
- ❖ Dari pengamatan terhadap proses perkembangan *finger*, dapat diketahui bahwa proses difusi berjalan seirangan, sehingga dapat diketahui jika proses difusi berjalan dua arah.
- ❖ Semakin lebar, celah *hele shaw cell* maka semakin meningkat laju reaksi untuk gliserin yang berwarna, dan berkebalikan dengan laju reaksi gliserin yang tak berwarna, yaitu semakin melambat awal bereaksinya. Karena pada gliserin tak berwarna campuran asam telah bereaksi terlebih dahulu sebelum diinjeksikan sedangkan pada gliserin yang berwarna campuran asam bereaksi pada saat setelah diinjeksikan
- ❖ Pemberian pewarna tidak mempengaruhi besar jari-jari dari *viscous finger* baik itu pada gliserin yang berwarna ataupun gliserin yang tak berwarna.

5.2 Saran

1. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai *interfacial instability* khususnya dengan metode *viscous finger* dengan bahan yang lain.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut dengan variasi lebar celah *helle shaw cell*, yang lebih kecil lagi.
3. Perlunya pada penelitian selanjutnya penggunaan pewarna yang tidak mempengaruhi reaksi dari bahan penyusun nitrogliserin.

DAFTAR PUSTAKA

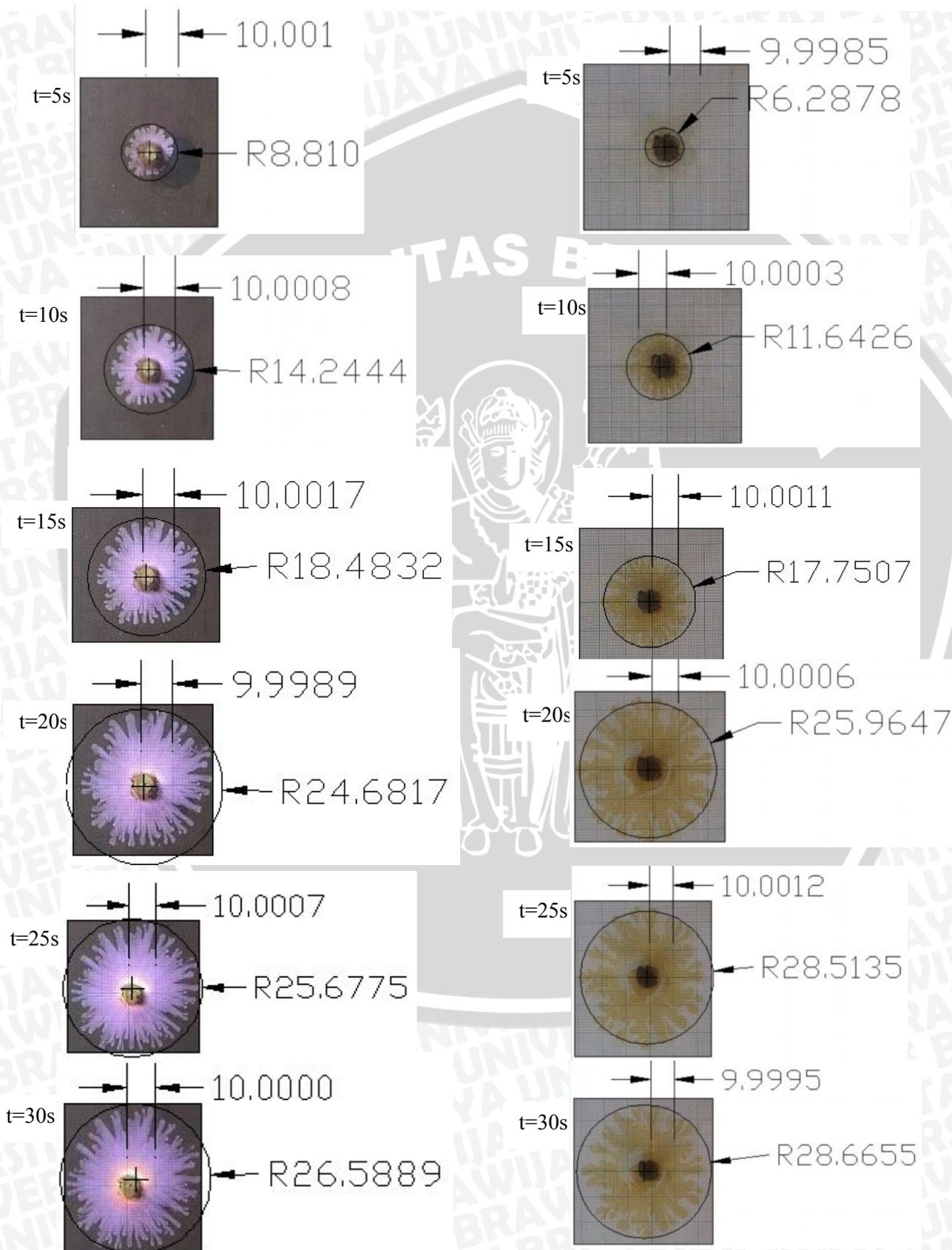
- Cengel, Yunus A; 1998: *Heat Transfer A Practical Approach*, McGraw-Hill, United States.
- Grolier Internasional; 1997: *Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 4* ; Penerbit Grolier International Inc, PT Widyadara
- Halliday and Resnick; 1978 : *Fisika edisi mahasiswa* ; Penerbit Erlangga, Ciracas, Jakarta
- Leif, Ristroph and Matthew Thrasher; 2006: *Jurnal in Viscous Fingering: selection of Width and Opening Angle* ; Jurnal; University of Texas at Austin, Austin, Texas
- Olubunmi, M. Ogunsola, Everett R. Ramer, dan Duane H. Smith; 2000: *Analysis of Viscous Fingering in Two-Dimensional Flow Cell by Fractal Dimension*; Jurnal; National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy
- Park, S.S., Durian, D.J.; 1994: *Viscous and Elastic Fingering Instabilities in Foam*; Jurnal; Department of Physics, University of California, Los Angeles, California
- Rahayu, Martini; 2005: *Teknologi Proses Produksi Biodiesel*.
- Saffman, P.G.; 1986: *Viscous Fingering in Hele Shaw cells*; Jurnal; Applied Mathematics, 217-50, California Institut of Technology , Pasadena, CA 91125, USA
- Soegito, dkk; 1991: *Fisika* ; Intan Pariwara, Klaten, Jawa Tengah
- Wardana, I.N.G.; 2008 : *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran* ; PT. Danar Wijaya, Brawijaya University Press, Malang
- www.wikipedia.org
- www.rinaagustinapanjaitan.blogspot.com/2009/04/
- www.encyclopedia.thefreedictionary.com/diffusion
- www.seed.slb.com/labcontent.aspx?id=11924
- Yamamoto T. and Kamikawa H. : *Viscous Fingering of Non-Newtonian Fluids in a Rectangular Hele-Shaw Cell*; Jurnal ; Departement of Mechanophysic Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan
- Zaidar, Emma NST; 2003: *Nitrogliserin Dapat Digunakan Sebagai Bahan Peledak* ; Jurnal; Universitas Sumatera Utara, Medan

LAMPIRAN

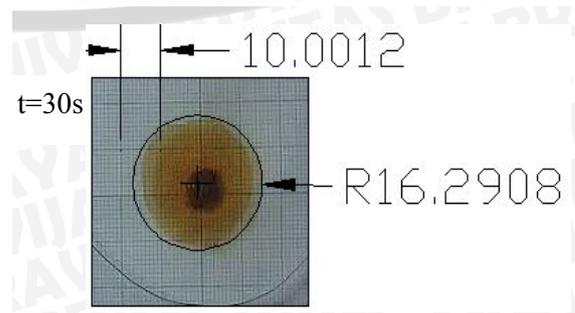
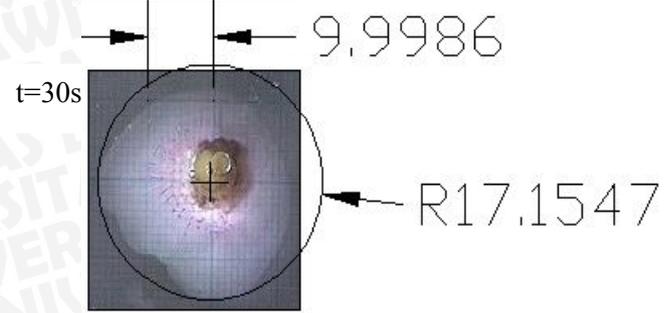
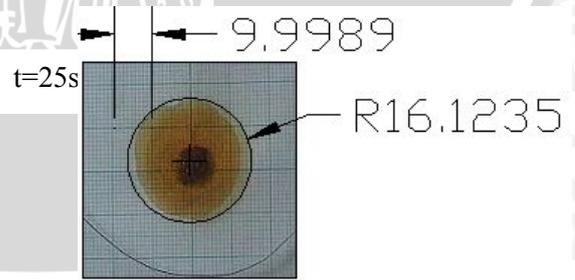
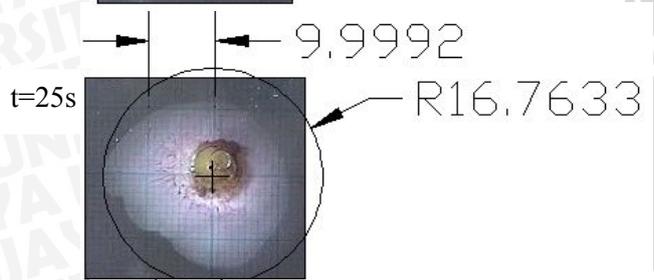
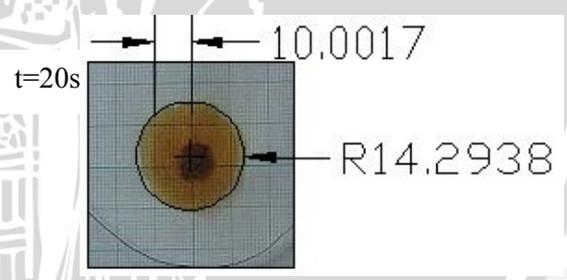
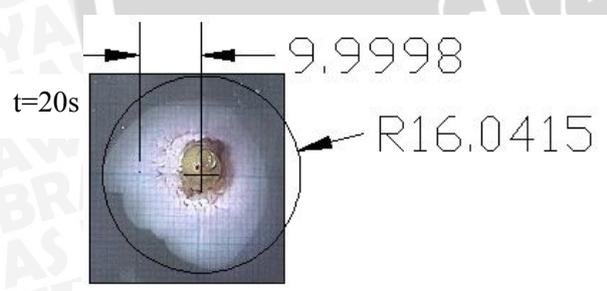
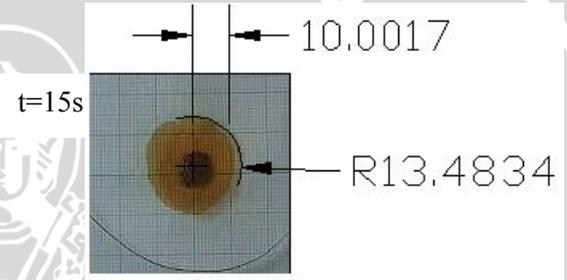
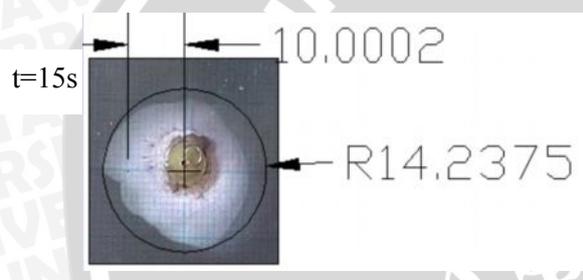
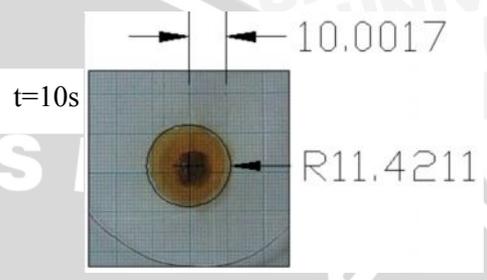
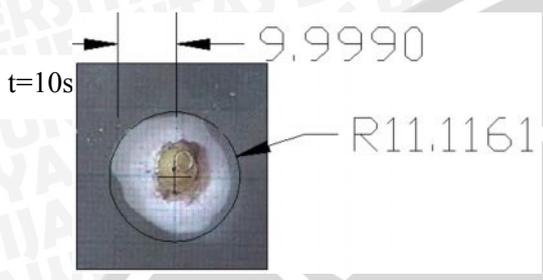
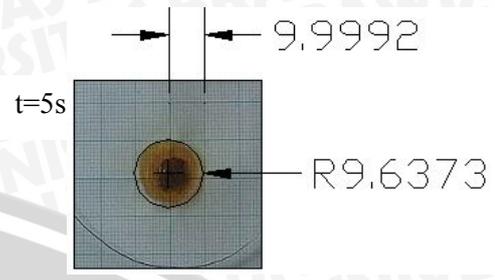
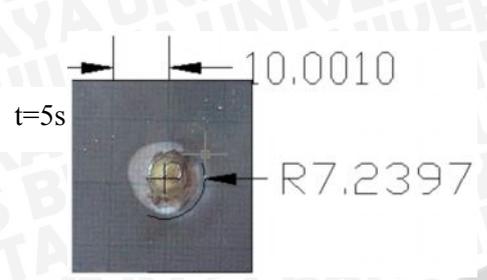


Lampiran 1 : Ukuran finger hasil penelitian (sebelah kiri gliserin diberi warna, sebelah kanan campuran asam sulfat dan asam nitrat diberi warna)

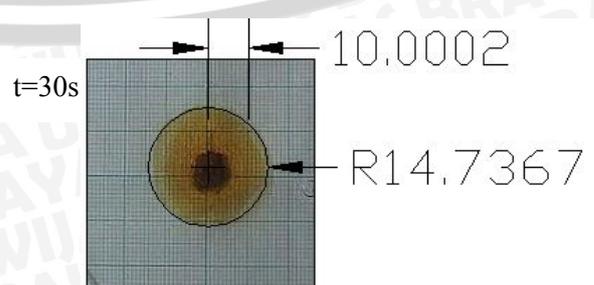
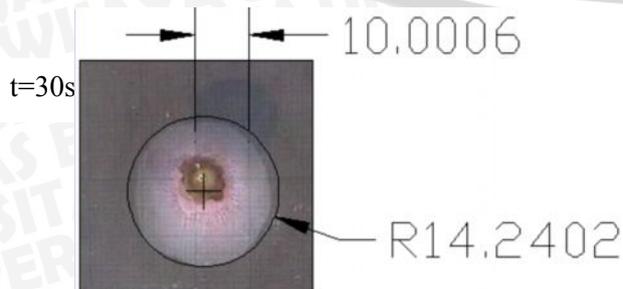
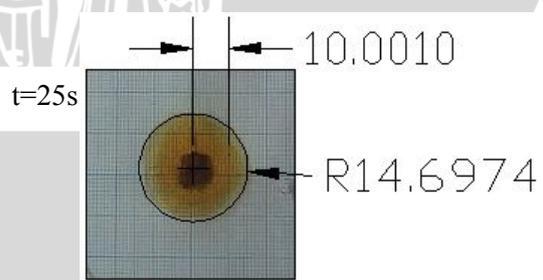
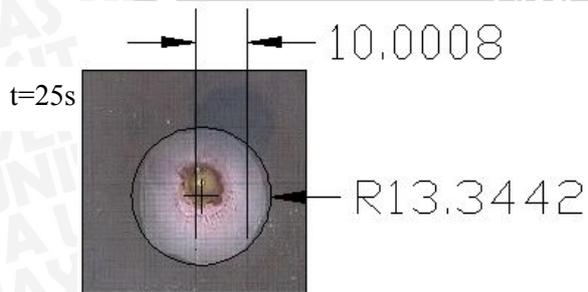
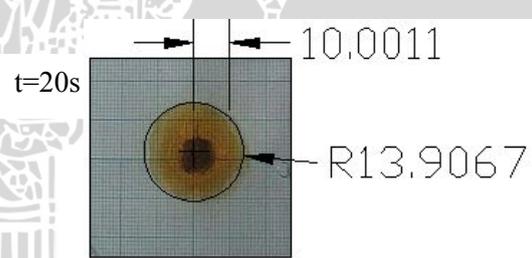
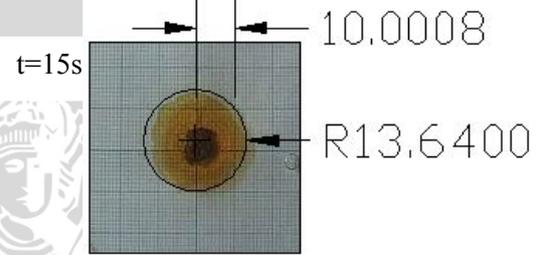
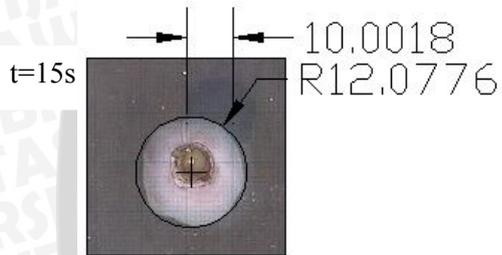
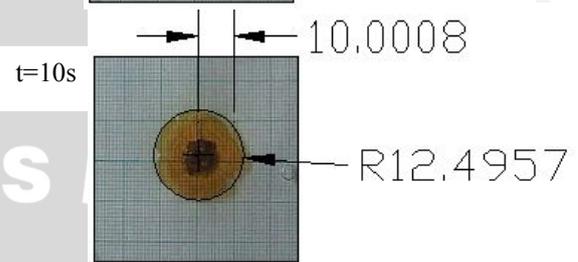
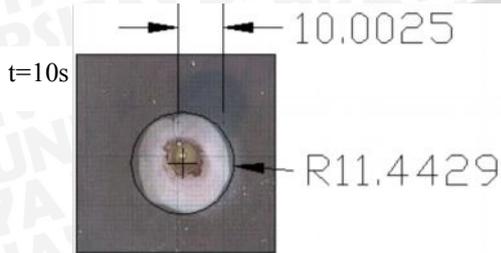
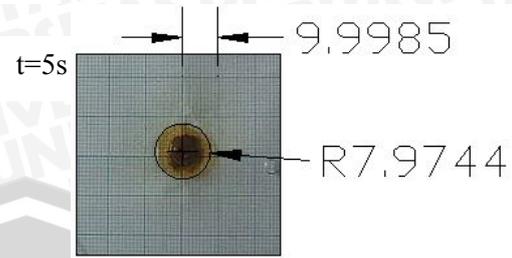
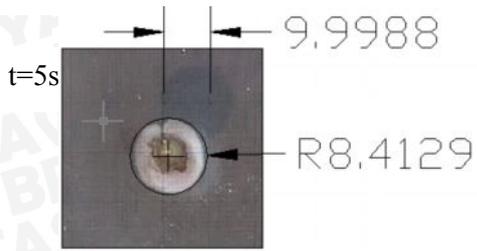
Lebar celah 0,1 mm



Lebar celah 0,5 mm

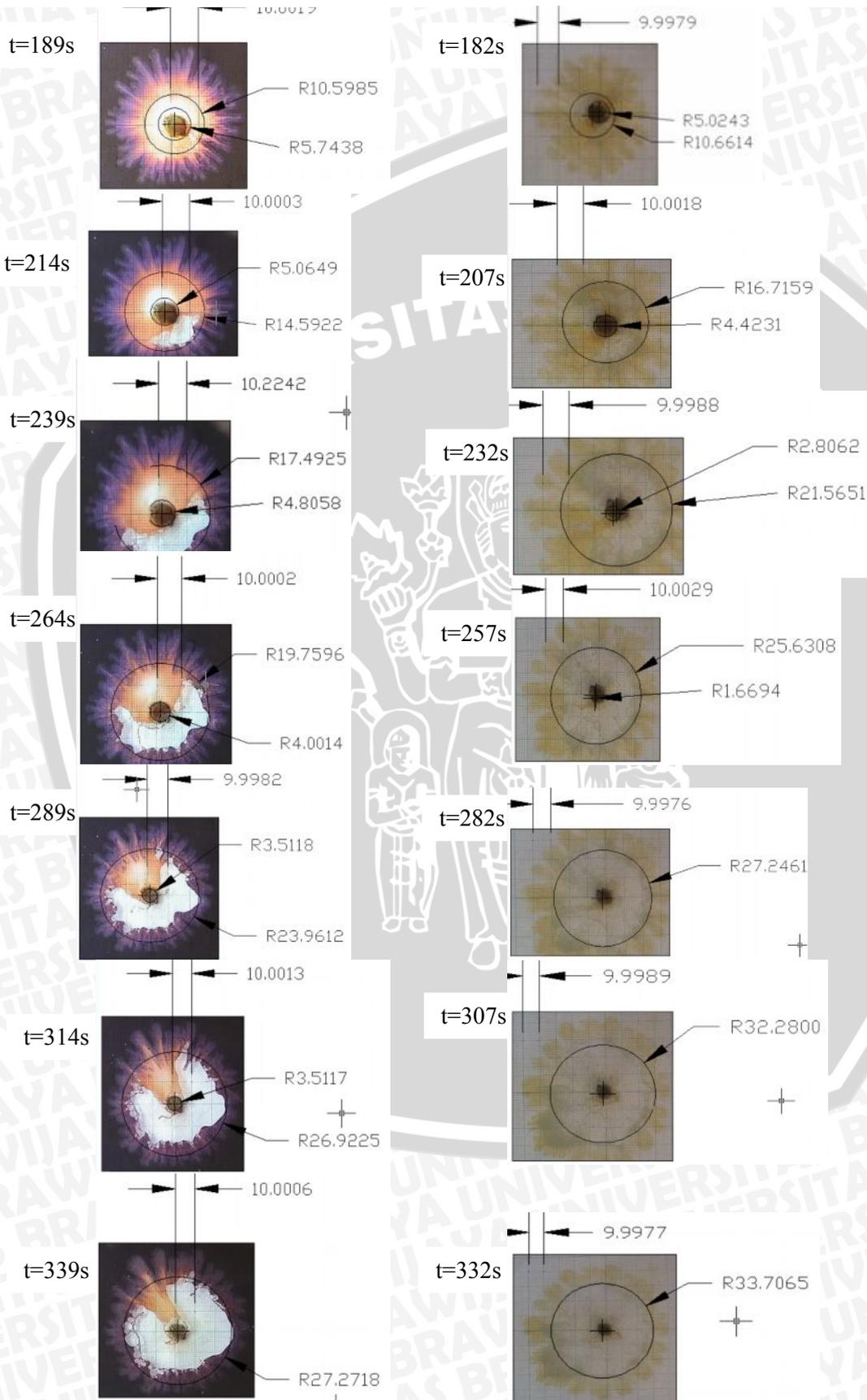


Lebar celah 1 mm

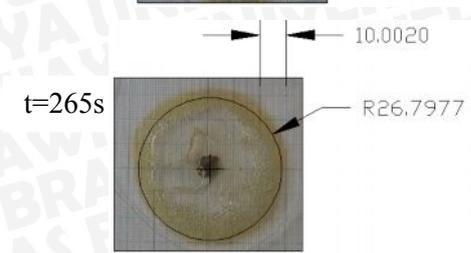
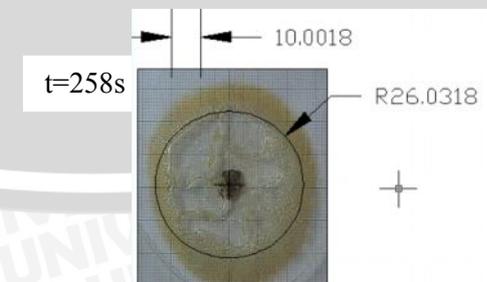
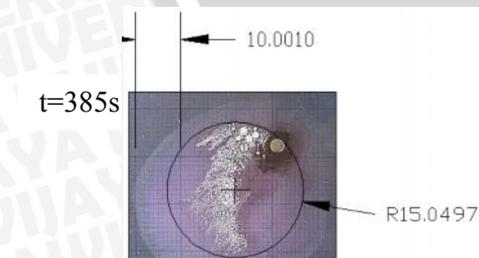
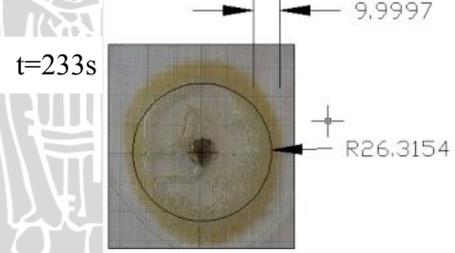
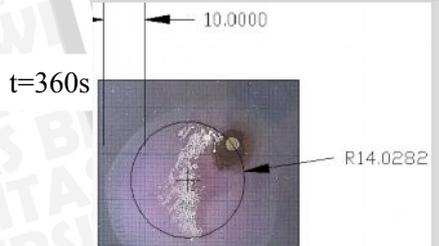
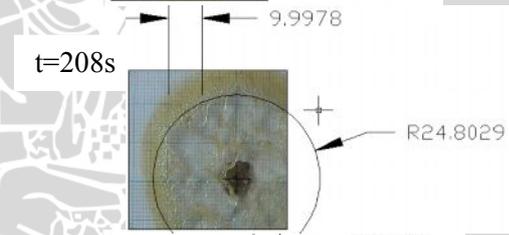
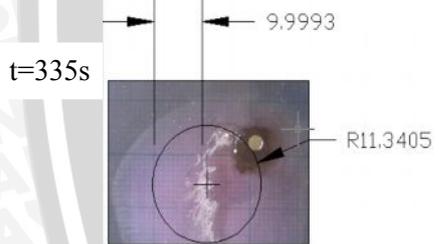
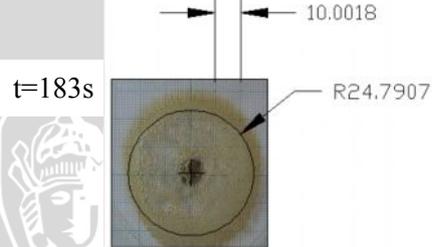
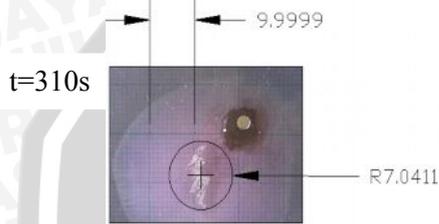
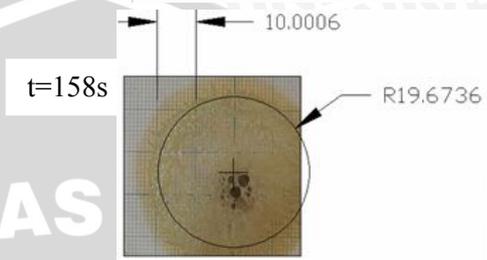
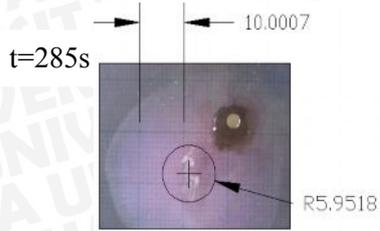
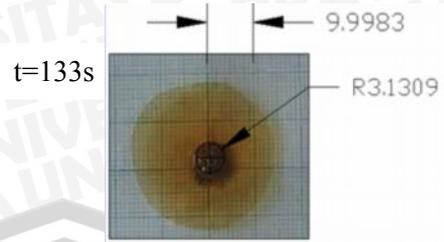
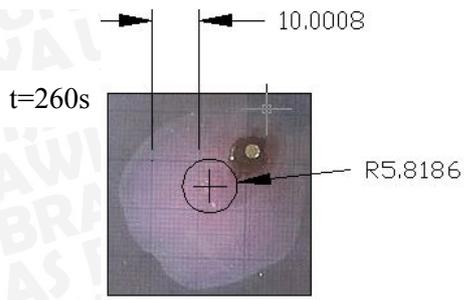


Lampiran 2 : Ukuran jari-jari reaksi hasil penelitian (sebelah kiri gliserin diberi warna, sebelah kanan campuran asam sulfat dan asam nitrat diberi warna)

Lebar Celah *Hele Shaw Cell* 0,1 mm



Lebar Celah *Hele Shaw Cell* 0,5 mm gliserin



Lebar Celah *Hele Shaw Cell* 1 mm gliserin

