

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

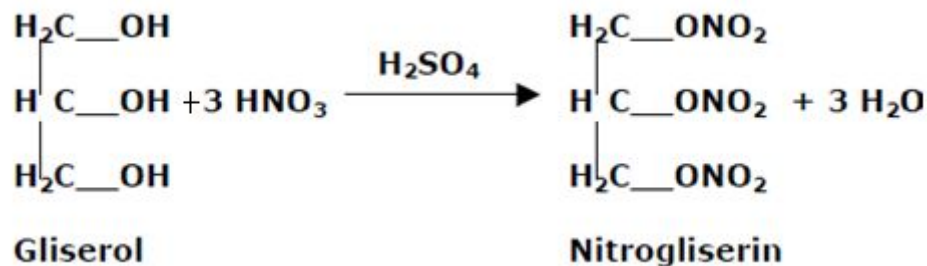
Sir Geoffrey Taylor (1956) mengunjungi *Humble Oil Company* dan tertarik pada permasalahan aliran dua fase pada media berpori. Dia meneliti tentang ketidakstabilan makroskopik yang dapat muncul ketika fluida yang memiliki viskositas lebih kecil mendorong fluida lain yang memiliki viskositas lebih besar, melalui eksperimen ini setidaknya 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.

Gilje Eli (2008) melakukan penelitian dengan judul “*Simulation of viscous instabilities in miscible and immiscible displacement*” pada penelitiannya dia memodelkan ketidakstabilan viskositas pada pemindahan campuran zat yang dapat dicampur dan tak dapat dicampur dengan tujuan mendapatkan kecocokan antara hasil percobaan laboratorium yang dilakukan oleh *Centre for Integrated Petroleum Research (CIPR)* dengan hasil simulasi menggunakan UTCHEM yaitu sebuah simulator yang dikembangkan oleh Universitas Texas.

Dalam penelitiannya dibandingkan *mobility ratio* yang baik dan kurang baik antara fluida yang dapat dicampur dan tak dapat dicampur. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat kesamaan pola antara hasil eksperimen laboratorium dengan hasil simulasi menggunakan simulator.

2.2 Pembuatan Nitrogliserin

Nitrogliserin merupakan salah satu bahan dasar dari propelan. Nitrogliserin dapat dibuat dengan mereaksikan gliserin ($C_3H_5(OH)_3$) dengan asam nitrat (HNO_3) serta asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalisator. Reaksi ini merupakan reaksi esterifikasi, yaitu reaksi antara alkohol dan asam, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 : Reaksi Pembuatan Nitrogliserin

Sumber : Zaidar, Emma., Nitrogliserin Dapat digunakan Sebagai Bahan Peledak. 2003 : 5

Dari gambar 2.1 dapat kita lihat bahwa ion H^+ dari gliserin akan disubstitusi dengan ion NO_2^+ yang dihasilkan dari reaksi asam nitrat dengan asam sulfat sehingga terbentuk nitrogliserin seperti yang terlihat pada reaksi keseluruhan pembuatan nitrogliserin diatas.

Perhitungan teoritis yang didasarkan atas persamaan reaksi di atas menunjukkan bahwa bila 100 g gliserin ditambahkan pada 205,5 g HNO_3 akan menghasilkan 246,5 g nitrogliserin. Pada saat yang sama juga akan terbentuk 58,7 g air. Pada prakteknya, hasil ini tidak pernah diperoleh, karena nitrasi gliserin, seperti halnya pada reaksi esterifikasi lainnya, merupakan reaksi "*reversible*", artinya nitrogliserin yang terbentuk dapat terhidrolisis kembali menjadi gliserin (Emma Zaidar NST, 2003:5).

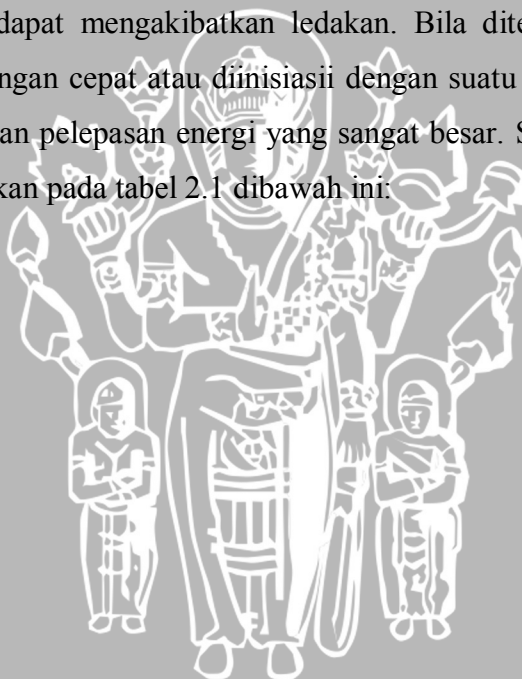
Untuk menggeser kesetimbangan ke arah kanan diperlukan asam nitrat berlebih. Semakin tinggi konsentrasi asam, semakin besar derajat nitrasi dan semakin tinggi nitrogliserin yang dihasilkan. Akan tetapi kelebihan asam nitrat tidak boleh terlalu besar, karena gliserin hanya sedikit larut dalam asam yang digunakan dan hal ini menyebabkan berkurangnya produk yang dihasilkan. Pada saat ini, asam yang umum digunakan sebagai *nitrating agent* adalah campuran asam nitrat dan asam sulfat dengan perbandingan sebagai berikut: 40-50 % HNO_3 dan 50-60 % H_2SO_4

Perbandingan asam/gliserin harus dijaga sedemikian rupa sehingga jumlah asam 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. Cara pengadukan adalah satu faktor utama yang harus diperhatikan, selain tentu saja pengadukan yang kurang baik akan

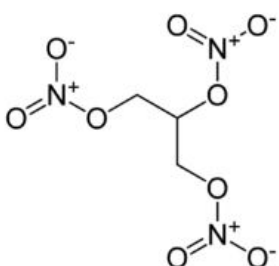
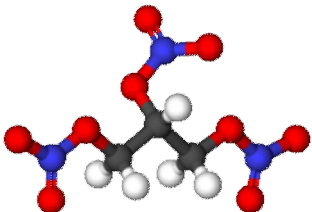
menghasilkan hasil yang rendah. Hal yang harus diperhatikan dalam pengadukan adalah semua bagian harus teraduk, tidak boleh ada bagian dalam reaktor yang tidak teraduk, yang menyebabkan terakumulasikannya panas yang tidak terkontrol dan bisa menimbulkan resiko ledakan (Emma Zaidar NST, 2003:5).

Pada temperatur ruang nitrogliserin berupa cairan seperti minyak, tidak berwarna biasanya mempunyai titik leleh 13,15 °C. Nitrogliserin praktis tidak larut dalam air dan karbon disulfida, akan tetapi mudah larut dalam kebanyakan pelarut organik, seperti metanol, etanol, aseton, dietil eter, kloroform, toluena dan lain-lain. Dalam larutan alkali terutama alkali etanolat, nitrogliserin dapat terhidrolisis menjadi gliserin dan garam nitrat.

Pada pemanasan sampai 18 - 20 °C, nitrogliserin mulai terdekomposisi dengan melepaskan uap NO₂ yang berwarna coklat. Pada temperatur ini, dekomposisi dapat berjalan dengan sangat cepat dan dapat mengakibatkan ledakan. Bila ditempatkan dalam ruang tertutup dan dipanaskan dengan cepat atau diinisiasi dengan suatu detonator, nitrogliserin akan meledak disertai dengan pelepasan energi yang sangat besar. Secara umum sifat-sifat nitrogliserin dapat ditunjukkan pada tabel 2.1 dibawah ini:



Tabel 2.1 Sifat-Sifat Nitrogliserin

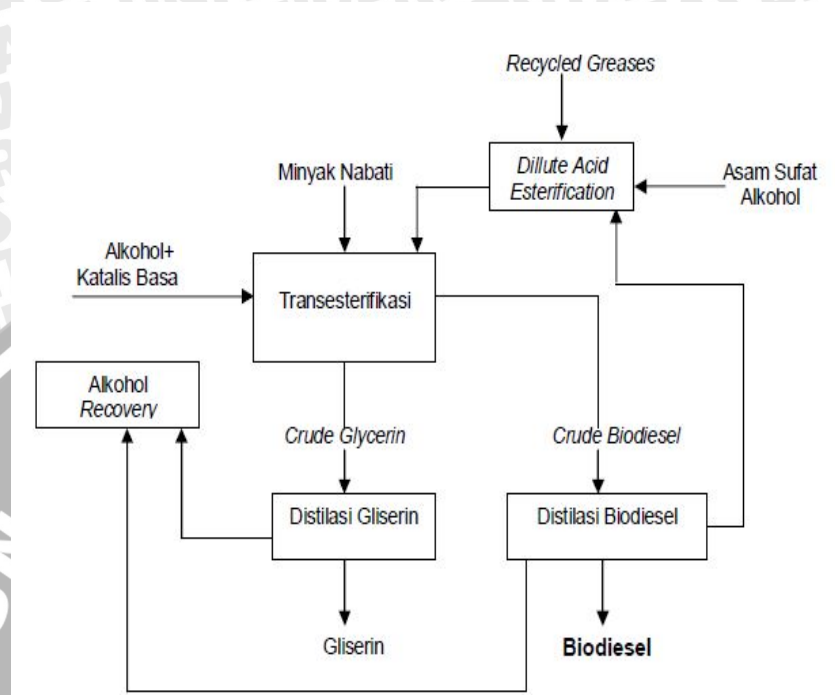
Nitroglycerin		
		
		
Other names	1,3-dinitrooxypropan-2-yl nitrate propane-1,2,3-triyl trinitrate	
	Properties	
	<u>Molecular</u>	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉
	<u>formula</u>	
<u>Molar mass</u>	227.09 g mol ⁻¹	
Appearance	Clear yellow/colorless oily liquid	
<u>Density</u>	1.6 g/cm ³ at 15 °C	
<u>Melting point</u>	13.2 °C, 286 K, 56 °F	
<u>Boiling point</u>	Decomposes at 50-60 °C (122-140 °F)	
Explosive data		
<u>Shock sensitivity</u>	high	
<u>Friction sensitivity</u>	high	
<u>Explosive velocity</u>	7700 m/s	
Except where noted otherwise, data are given for materials in their <u>standard state</u> (at 25 °C, 100 kPa)		

Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/nitroglycerin>

2.3 Gliserin

Gliserin atau bisa disebut gliserol merupakan hasil samping dari proses pembuatan biodiesel. Biodiesel dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi 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. Semua bahan baku ini mengandung trigliserida, asam lemak bebas (ALB) dan zat-pencemar dimana tergantung pada pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut.

Diagram pembuatan biodiesel dengan hasil samping gliserol/gliserin dapat pada gambar 2.2:

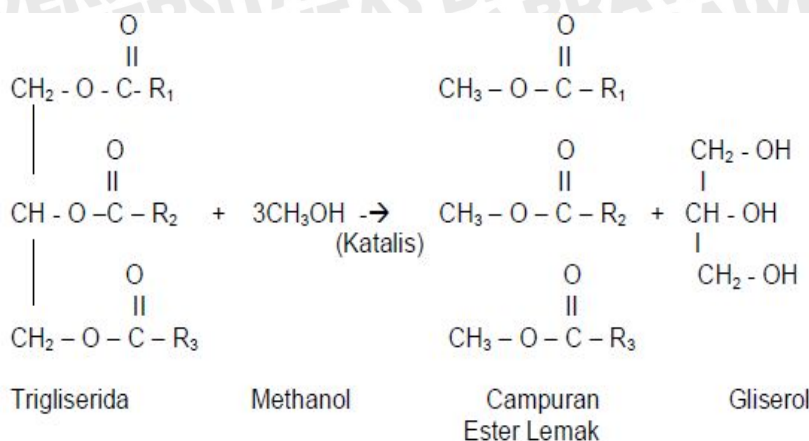


Gambar 2.2: Blok diagram proses pembuatan biodiesel
Sumber : Rahayu, Martini., Teknologi Proses Produksi Biodiesel, 5.

Beberapa alasan penggunaan gliserol sebagai propelan antara lain :

1. Keberadaan gliserol yang kurang dimanfaatkan sebagai hasil samping dari proses pembuatan biodiesel.
2. Gliserol merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui.
3. Potensi pembuatan biodiesel dengan hasil samping gliserol di Indonesia sangat besar.

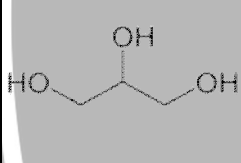
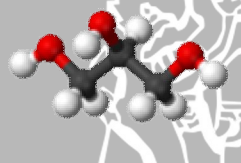
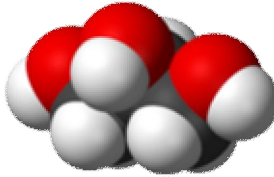
Hampir semua biodiesel diproduksi dengan metode transesterifikasi dengan katalisator basa karena merupakan proses yang ekonomis dan hanya memerlukan suhu dan tekanan rendah. Proses transesterifikasi merupakan reaksi dari trigliserin (lemak/minyak) dengan bioalkohol (methanol atau ethanol) untuk membentuk ester dan gliserol seperti yang ditunjukkan gambar 2.3:



Gambar 2.3: Reaksi Transesterifikasi
Sumber : Rahayu, Martini., Teknologi Proses Produksi Biodiesel, 6.

Adapun sifat dan karakteristik gliserol dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 : Sifat dan Karakteristik gliserol.

Glycerin		glycyl alcohol	
 		Properties	
		<u>Molecular formula</u>	C ₃ H ₅ (OH) ₃
Other names glycerin glycerine propane-1,2,3-triol 1,2,3-propanetriol 1,2,3-trihydroxypropane glyceritol		<u>Molar mass</u>	92.09382 g/mol
		<u>Density</u>	1.261 g/cm ³
		<u>Melting point</u>	18 °C (64.4°F)
		<u>Boiling point</u>	290 °C (554°F)
		<u>Viscosity</u>	1.5 Pa·s
		Except where noted otherwise, data are given for materials in their <u>standard state</u> (at 25 °C, 100 kPa)	

Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol>

2.4 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.

Asam nitrat murni (100%) merupakan cairan tak berwarna dengan berat jenis 1.522 kg/m^3 . 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 (NO_2) tetap larut dalam asam nitrat yang membuatnya berwarna kuning, atau merah pada suhu yang lebih tinggi. Pada tabel 2.3 ditunjukkan sifat-sifat asam nitrat.

Tabel 2.3 sifat-sifat asam nitrat

Nitric acid		Appearance	Clear, colorless liquid
		Density	1.5129 g/cm ³
Other names	Aqua fortis Spirit of nitre Salpetre acid Hydrogen Nitrate Azotic acid	Melting point	-42 °C, 231 K, -44 °F
		Boiling point	83 °C, 356 K, 181 °F (bp of pure acid. 68% solution boils at 120.5 °C)
		Solubility in water	completely miscible
Properties		Except where noted otherwise, data are given for materials in their standard state (at 25 °C, 100 kPa)	
Molecular formula	HNO ₃		
Molar mass	63.012 g/mol		

Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/nitricacid>

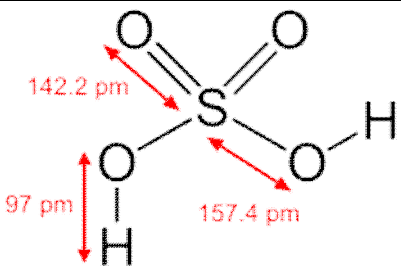
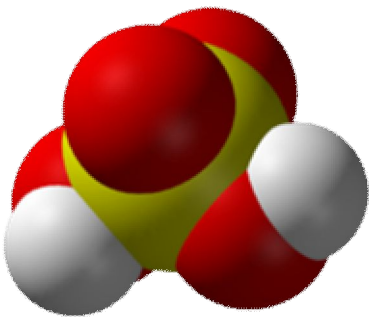
Asam nitrat memiliki viskositas sebesar 2.6 centipoise pada suhu lingkungan 20°C derajat celcius (sumber: <http://www.eng-tips.com/threadminder.cfm?pid=127&page=2>),

asam nitrat memiliki viskositas yang jauh lebih rendah dari gliserol yang memiliki viskositas sebesar 1.5 Pa.s atau 1500 centipoise.

2.5 Asam Sulfat

Asam sulfat mempunyai rumus kimia H_2SO_4 , 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. Adapun sifat-sifat dari asam sulfat dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 sifat-sifat asam sulfat

Sulfuric acid		formula	
		Molar mass	98.08 g/mol
		Appearance	clear, colorless, odorless liquid
		Density	1.84 g/cm ³ , liquid
		Melting point	10 °C, 283 K, 50 °F
		Boiling point	337 °C, 610 K, 639 °F
		Solubility in water	miscible
		Acidity (pK_a)	−3
		Viscosity	26.7 cP (20 °C)
Other names		Oil of vitriol	
Properties			
Molecular	H_2SO_4		

Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/asamsulfat>

Dalam pembuatan nitrogliserin salah satu bahan baku yang memiliki viskositas paling tinggi adalah gliserin, dari tabel 2.2 dapat kita lihat gliserin memiliki viskositas sebesar 1.5 Pa.s. didalam pencampuran beberapa zat, zat yang memiliki viskositas yang rendah akan memiliki kemampuan berpindah yang lebih besar dibandingkan zat yang memiliki viskositas yang tinggi sehingga zat yang memiliki viskositas yang lebih rendah akan menggeser zat yang memiliki viskositas yang lebih tinggi. Penggeseran tersebut akan menimbulkan suatu percabangan yang disebut dengan *viscous finger*. Semakin terbentuk *viscous finger* berarti bidang kontak antara dua zat tersebut semakin besar sehingga pencampuran semakin efektif. Apabila pencampuran dua zat tersebut adalah zat yang bereaksi maka dengan terbentuknya *viscous finger* akan meningkatkan keefektifan reaksi kimia.

2.6 Laju Massa Alir

Laju massa alir adalah massa dari sebuah zat yang melalui suatu saluran tiap satuan waktu. Laju aliran massa disimbolkan dengan $\dot{m}$, dan dirumuskan:

$$\dot{m} = \rho v A \quad (\text{Olson\&Wright; 1993:111}) \dots\dots\dots (2.1)$$

ρ = massa jenis [kg/m³]

v = kecepatan fluida [m/s]

A = luas penampang aliran [m²]

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa laju massa alir sebuah zat berbanding lurus dengan kecepatannya, artinya jika kecepatan sebuah zat diperbesar maka laju massa alir sebuah zat tersebut juga akan bertambah besar pula.

Berdasarkan persamaan kontinuitas bahwa laju massa alir dalam suatu saluran setiap titik penampang pada gambar 2.8 halaman 19 adalah sama maka:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Apabila fluida yang mengalir adalah fluida tak mampu mampat maka $\rho_1 = \rho_2$ sehingga persamaan tersebut menjadi

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Dengan menulis kembali persamaan tersebut ke bentuk lain maka:

$$\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{A_2^2}{A_1^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dari persamaan bernoulli didapatkan hubungan antara kecepatan dengan tekanan sebagai berikut: dengan memberikan indeks 1 untuk titik 1 dan indeks 2 untuk titik 2 pada gambar 2.8 halaman 19, maka:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (\text{Olson\&Wright; 1993:139}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana ρ = massa jenis [kg/m^3]

v = kecepatan fluida [m/s]

g = percepatan gravitasi [m/s^2]

h = elevasi [m]

p = tekanan [N/m^2]

Jika tidak ada elevasi maka $h_1 = h_2$. Maka persamaan bernoulli diatas data ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Sehingga :

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

Maka :

$$\Delta P = \frac{\gamma(v_2^2 - v_1^2)}{2g}$$

Dengan menulis ulang persamaan tersebut ke bentuk lain maka :

$$\Delta P = \frac{\gamma v_2^2}{2g} \left(1 - \frac{v_1^2}{v_2^2}\right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Memasukkan persamaan 2.3 ke persamaan 2.5 maka didapatkan persamaan baru sebagai berikut:

$$\Delta P = \frac{\gamma v_2^2}{2g} \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)$$

Karena $\gamma = \rho g$ maka persamaan tersebut menjadi:

$$\Delta P = \frac{\rho v_2^2}{2} \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan memasukkan persamaan 2.1 ke persamaan 2.6 dimana kecepatan titik 2 adalah:

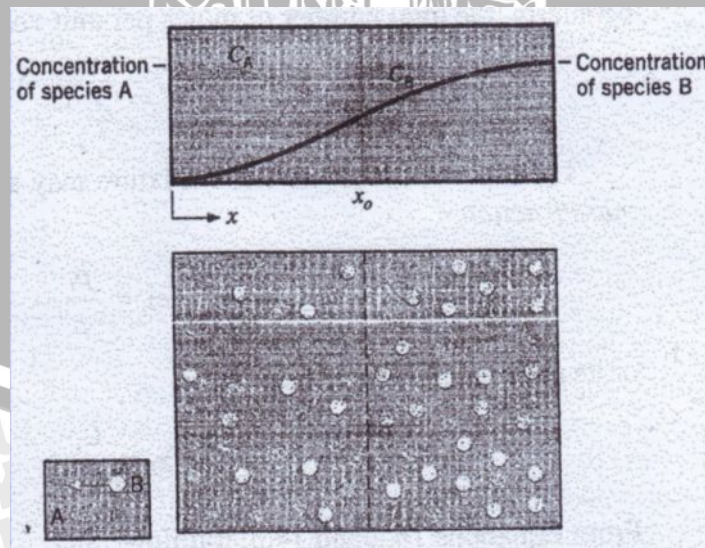
$v_2 = \frac{\dot{m}}{\rho A_2}$ maka diperoleh persamaan baru yang menunjukkan laju massa alir dengan beda tekanan yaitu:

$$\Delta P = \frac{\rho \left(\frac{\dot{m}}{\rho A_2}\right)^2}{2} \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)$$

$$\Delta P = \frac{1}{2\rho} \left(\frac{\dot{m}}{A_2}\right)^2 \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) \dots\dots\dots (2.7)$$

2.7 Transfer Massa

Berbeda dengan perpindahan volume fluida atau aliran fluida dimana sebuah fluida dipindahkan dalam level makroskopik dari satu tempat ketempat lain, transfer massa mensyaratkan keberadaan dua daerah pada komposisi kimia yang berbeda, transfer massa merujuk pada perpindahan spesies kimia dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah relatif terhadap suatu spesies kimia tertentu yang berada dalam sebuah medium disebut difusi.



Gambar 2.4: Difusi pada campuran gas biner

Sumber : Incropera, Frank P dan De Witt, David P: *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, United States, 1996: 785.

Gaya dorong primer dalam aliran fluida adalah perbedaan tekanan, tetapi untuk transfer massa adalah perbedaan konsentrasi. Transfer massa juga dapat terjadi dimana spesies kimia dipindahkan secara difusi maupun perpindahan volume di dalam sebuah medium hal ini disebut dengan konveksi. Beberapa kasus transfer massa dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.5 : berbagai macam transfer massa

	● A ○ B	Species	Density	Velocity	Mass flow rate
(a) Homogeneous mixture without bulk motion (no concentration gradients and thus no diffusion)	$\gamma = 0$	Species A Species B Mixture of A and B	$\rho_A = \text{constant}$ $\rho_B = \text{constant}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constant}$	$\gamma_A = 0$ $\gamma_B = 0$ $\gamma = 0$	$\dot{m}_A = 0$ $\dot{m}_B = 0$ $\dot{m} = 0$
(b) Homogeneous mixture with bulk motion (no concentration gradients and thus no diffusion)	γ	Species A Species B Mixture of A and B	$\rho_A = \text{constant}$ $\rho_B = \text{constant}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constant}$	$\gamma_A = \gamma$ $\gamma_B = \gamma$ $\gamma = \gamma$	$\dot{m}_A = \rho_A \gamma_A A$ $\dot{m}_B = \rho_B \gamma_B A$ $\dot{m} = \rho \gamma A = \dot{m}_A + \dot{m}_B$
(c) Nonhomogeneous mixture without bulk motion (stationary medium with concentration gradients)	$\gamma = 0$ $\gamma_{diff,A}$ $\gamma_{diff,B}$	Species A Species B Mixture of A and B	$\rho_A \neq \text{constant}$ $\rho_B \neq \text{constant}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constant}$	$\gamma_A = \gamma_{diff,A}$ $\gamma_B = \gamma_{diff,B}$ $\gamma = 0$	$\dot{m}_A = \rho_A \gamma_{diff,A} A$ $\dot{m}_B = \rho_B \gamma_{diff,B} A$ $\dot{m} = \rho \gamma A = 0$ (thus $\dot{m}_A = -\dot{m}_B$)
(d) Nonhomogeneous mixture with bulk motion (moving medium with concentration gradients)	γ $\gamma_{diff,A}$ $\gamma_{diff,B}$	Species A Species B Mixture of A and B	$\rho_A \neq \text{constant}$ $\rho_B \neq \text{constant}$ $\rho = \rho_A + \rho_B = \text{constant}$	$\gamma_A = \gamma + \gamma_{diff,A}$ $\gamma_B = \gamma + \gamma_{diff,B}$ $\gamma = \gamma$	$\dot{m}_A = \rho_A \gamma_{diff,A} A$ $\dot{m}_B = \rho_B \gamma_{diff,B} A$ $\dot{m} = \rho \gamma A = \dot{m}_A + \dot{m}_B$

Various quantities associated with a mixture of two species A and B at a location x under one-dimensional flow or no-flow conditions. (The density of the mixture $\rho = \rho_A + \rho_B$ is assumed to remain constant.)

Sumber : Cengel, Yunus A: *Heat Transfer A Practical Approach*, University of Nevada, Reno; 1998; 651

Kasus (a) campuran homogen stasioner, pada kasus ini tidak ada difusi molekuler maupun konveksi karena tidak ada gradient konsentrasi maupun perpindahan volume (*bulk motion*). Pada kasus (b) tidak ada gradien konsentrasi yang ada hanyalah *bulk motion* dengan kecepatan v . pada kasus (c) campurannya stasioner ($v = 0$) terjadi difusi molekuler karena terdapat gradien konsentrasi. Pada kasus (d) selain terjadi difusi molekuler juga terjadi konveksi, dan kecepatan spesies pada kasus ini sama dengan jumlah dari kecepatan aliran bulk dan kecepatan difusi, tetapi aliran dan kecepatan difusi juga dapat pada arah yang sama maupun berlawanan, tergantung dari gradien konsentrasi. Kecepatan difusi dari spesies negatif ketika aliran bulk dalam arah x positif dan gradien konsentrasi adalah positif (yakni konsentrasi dari spesies meningkat dalam arah sumbu x).

2.8 Hukum Fick's

Hukum difusi Fick's diusulkan pada tahun 1855, menyatakan bahwa nilai dari difusi pada daerah dalam campuran gas (atau cairan atau padatan) adalah proporsional dengan gradien konsentrasi dari spesies pada konsentrasi tersebut.

Laju massa difusi $\dot{m}_{diff}$ dari spesies kimia A pada medium diam dalam arah x sebanding dengan gradien konsentrasi dC/dx dan diekspresikan dengan hukum difusi Fick's

$$\dot{m}_{diff} = -D_{AB} A \frac{dC_A}{dx} \quad (\text{Cengel;1998,626}) \dots \dots \dots (2.8)$$

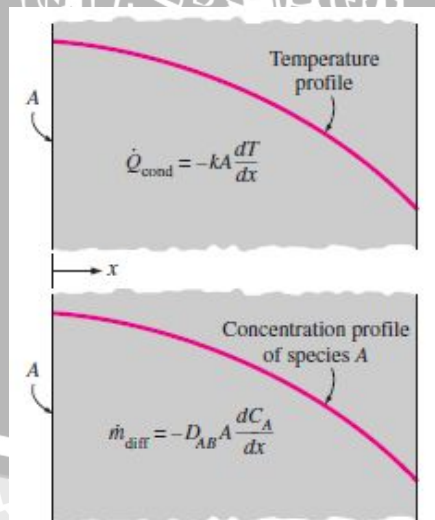
Dimana : D_{AB} = koefisien difusi spesies didalam campuran [m^2/s]

dC_A/dx = gradien konsentrasi dari spesies didalam campuran [mol/m^3]

dx = panjang dari aliran arah x [m]

A = daerah normal dari arah aliran [m^2]

Terdapat analogi antara transfer massa dengan perpindahan panas dimana difusi massa analog dengan perpindahan panas secara konduksi. Pada perpindahan panas yang dipindahkan adalah energi tiap satuan waktu sedangkan pada difusi massa yang dipindahkan adalah massa difusi dari spesies tiap satuan waktu. Analogi antara perpindahan panas dengan difusi massa dapat dilihat pada gambar 2.5:



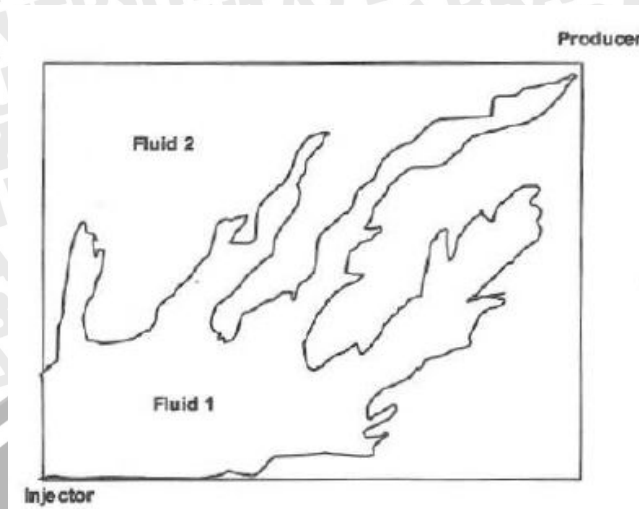
Gambar 2.5: Analogi antara konduksi panas dengan difusi massa

Sumber : Cengel,Yunus A: *Heat Transfer A Practical Approach*, University of Nevada,Reno;1998;720

Interpretasi dari persamaan (2.8) adalah semakin besar daerah normal dari arah aliran (A) maka laju massa difusi semakin besar, sehingga apabila dihubungkan dengan reaksi kimia maka dengan pencampuran yang baik akan menghasilkan reaksi kimia yang baik pula.

2.9 Ketidakstabilan antar Muka (*Interfacial Instability*)

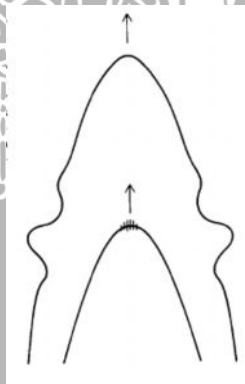
Tujuan dalam pencampuran dua zat atau lebih adalah mendapatkan hasil campuran yang sempurna. Dengan hasil campuran yang sempurna maka diharapkan reaksi kimia dari campuran zat tersebut dapat berjalan secara efisien dan sempurna karena pada reaksi kimia proses pembuatan nitrogliserin campuran yang kurang baik akan mengakibatkan terakumulasinya panas pada daerah tertentu sehingga terdapat kemungkinan terjadinya bahaya ledakan. Dalam pencampuran dua zat terdapat zat yang ditambahkan dalam zat lain, dalam penelitian ini asam nitrat dan asam sulfat ditambahkan dalam larutan gliserin. Dalam hal ini apabila kita menambahkan asam nitrat maupun asam sulfat dalam gliserin maka asam nitrat maupun asam sulfat tersebut akan memindahkan ruang dan akan menerobos dalam larutan gliserin. Larutan yang memiliki viskositas yang rendah yaitu asam nitrat dan asam sulfat akan menggeser larutan yang memiliki viskositas yang lebih tinggi yaitu gliserin. Penggeseran tersebut akan menimbulkan percabangan yang berbentuk jari yang disebut dengan *viscous finger*. *Viscous fingering* akan meningkat seiring dengan peningkatan perbandingan viskositas antara fluida yang didesak dengan fluida pendesak, viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. *Viscous fingering* mempunyai efek yang sangat besar dalam proses pencampuran dua zat atau lebih. Gambar dibawah ini menunjukkan terbentuknya *viscous fingering*:



Gambar 2.6 : *Viscous fingering*

Sumber : Gilje, eli : *Simulation of viscous instabilities in miscible and immiscible displacement* University of Bergen, 2008: 6.

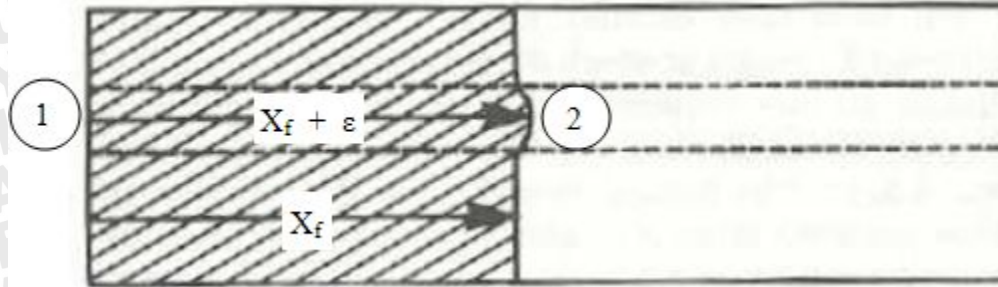
Dari gambar 2.6 dapat dilihat bahwa semakin terbentuk *viscous finger* maka bidang kontak antara fluida 1 dengan fluida 2 akan semakin besar, itu artinya adalah semakin terbentuk *viscous finger* maka campuran antara dua fluida tersebut semakin sempurna. Besarnya laju massa alir fluida 1 yang diinjeksikan *injector* juga berperan dalam proses pembentukan percabangan. Dimana semakin besar laju massa alir fluida 1 maka *interfacial instability* antara dua fluida tersebut akan semakin terganggu dan akan menimbulkan percabangan. Gambar dibawah ini menunjukkan proses terbentuknya percabangan.



Gambar 2.7 : proses terbentuknya percabangan

Sumber : Langer, j.s. : *Dendrites, Viscous Fingers, and the Theory of Pattern Formation* University of California, 1989:6.

Gambar 2.8 menggambarkan terbentuknya *viscous finger* dimana terdapat daerah yang terganggu sebagai awal terbentuknya *viscous finger* dan daerah yang tidak terganggu:



Gambar 2.8 : model sederhana *interfacial instability*

Sumber : Gilje, eli : *Simulation of viscous instabilities in miscible and immiscible displacement* University of Bergen, 2008:7.

Dari gambar 2.8 dapat dilihat daerah antar muka yang terganggu akan membentuk percabangan sebesar ε . Dimana $X_f + \varepsilon$ merupakan jarak antara aliran masuk terhadap permukaan antarmuka yang terganggu. Sedangkan X_f adalah jarak aliran masuk terhadap permukaan antarmuka yang tidak terganggu. Persamaan besarnya percabangan ε dirumuskan sebagai berikut:

Kecepatan untuk daerah tak terganggu adalah:

$$\frac{dx_f}{dt} = \frac{k\Delta p}{\phi\mu_s [ML + (1 - M)x_f]} \quad (\text{gilje; 2008:7}) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dan kecepatan fluida untuk daerah yang terganggu adalah:

$$\frac{d(x_f + \varepsilon)}{dt} = \frac{k\Delta p}{\phi\mu_s [ML + (1 - M)(x_f + \varepsilon)]} \quad (\text{gilje; 2008:7}) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dari persamaan 2.9 dan 2.10 dan dengan mengasumsikan $\varepsilon \ll X_f$ diperoleh :

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{-k\Delta p(1 - M)\varepsilon}{\phi\mu_s [ML + (1 - M)x_f]^2} \quad (\text{gilje; 2008:8}) \dots\dots\dots (2.11)$$

Mengintegrasikan persamaan diatas diperoleh:

$$\varepsilon = e^{ct} \quad (\text{gilje; 2008:8}) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana

$$C = \frac{-k\Delta p(1-M)}{\phi\mu_s[ML + (1-M)x_f]^2}$$

keterangan :

k = permeabilitas [m^2]

ΔP = beda tekanan [N/m^2]

M = *mobility ratio*

Φ = porositas

L = panjang total [m]

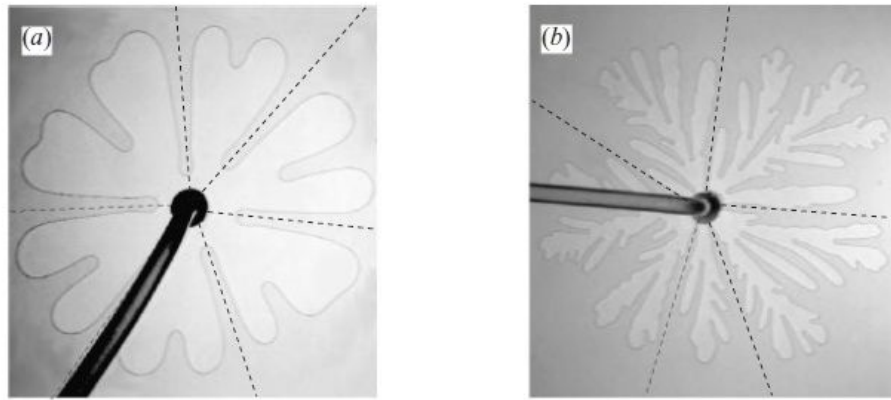
μ_s = viskositas dinamik fluida pendesak [Ns/m^2]

Dengan memasukkan persamaan 2.7 ke persamaan 2.12 maka akan diperoleh persamaan baru yaitu:

$$\epsilon = e^{Ct} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{Dimana } C = \frac{-k\left(\frac{1}{2\rho}\left(\frac{m}{A_2}\right)^2\left(1-\frac{A_2^2}{A_1^2}\right)\right)(1-M)}{\phi\mu_s[ML+(1-M)x_f]^2}$$

Dari persamaan 2.13 dapat kita lihat bahwa semakin besar laju massa alir larutan maka percabangan yang terbentuk semakin panjang sehingga bidang kontak campuran zat bahan baku pembuatan nitrogliserin semakin baik dan diharapkan reaksi kimia berjalan semakin efektif. Dari persamaan 2.13 juga dapat diketahui bahwa pertumbuhan *finger* juga merupakan fungsi dari waktu, dimana semakin lama waktu penginjeksian *finger* yang terbentuk semakin panjang dan kompleks.



Gambar 2.9 : (a) pertumbuhan *finger* pada tahap awal (b) pertumbuhan *finger* pada tahap lanjut.

Sumber : E. Lajeunesse & Y. Couder, *On the tip-splitting instability of viscous fingers*, 1999: 147.

Selain untuk mengetahui bagaimana pengaruh laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin terhadap bentuk *interfacial instability*, melalui penelitian ini juga dapat diketahui hubungan antara laju massa alir dengan kimia yaitu bagaimana hubungan antara laju massa terhadap kecepatan reaksi kimia pada pola antarmuka.

2.10 Kerangka Pemikiran Teoritis

Pembuatan nitrogliserin melibatkan pencampuran antara asam nitrat, asam sulfat dan gliserin. Pencampuran yang kurang baik dari ketiga komponen tersebut mengakibatkan terakumulasinya panas di satu titik yang dapat mengakibatkan resiko terjadinya ledakan. Oleh karena itu pengadukan yang baik mutlak diperlukan guna menghindari bahaya ledakan, sehingga akan menghasilkan reaksi kimia yang efektif.

Dengan mengatur besarnya laju alir massa zat penyusun nitrogliserin dalam suatu campuran maka akan meningkatkan *interfacial instability* yang nantinya akan meningkatkan kualitas campuran dan keefektifan reaksi kimia. Selain itu juga melalui penelitian ini juga dapat diketahui perbandingan antara kecepatan transport massa (kecepatan laju massa alir dan kecepatan difusi) dengan kecepatan reaksi antara asam sulfat, asam nitrat dan gliserin pada proses pembuatan nitrogliserin, sehingga nantinya diharapkan dapat diperoleh laju massa alir yang mampu menghasilkan bidang kontak yang besar dan memiliki batas aman dalam pencampuran ketiga unsur pembentuk nitrogliserin bila dibandingkan dengan kecepatan reaksinya.

2.11 Hipotesis

Semakin besar laju massa alir asam nitrat dan asam sulfat dalam gliserin maka akan terjadi beda tekanan yang semakin besar antara ujung percabangan *finger* dengan pusat penginjeksian, akibatnya akan terbentuk percabangan *finger* yang semakin panjang dan bidang kontak semakin luas antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang menghasilkan *interfacial instability* semakin besar sehingga reaksi kimia pembuatan nitrogliserin akan berjalan lebih efektif.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

