

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Hasil penelitian terdiri dari 3 macam, yaitu:

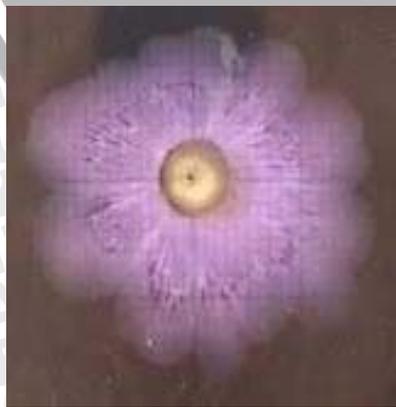
- ✓ Perubahan bentuk *interfacial instability* campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat.
- ✓ Perubahan proses pembentukan *viscous finger* dan degradasi warna yang menunjukkan difusifitas campuran pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat.
- ✓ Perubahan bentuk daerah reaksi dan lama terjadinya reaksi pada berbagai laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin.
- ✓ Jari-jari reaksi pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat.

4.2 Pembahasan

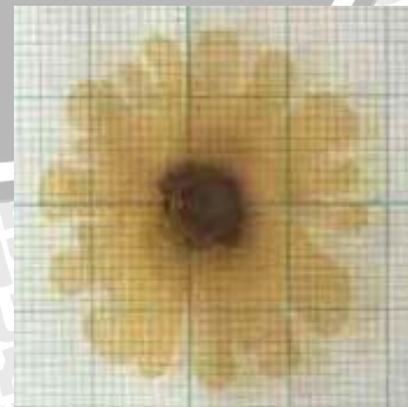
Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui pola kecenderungan dari data hasil penelitian yang dilakukan pada setiap pengambilan data penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam *hele shaw cell* yang berisi gliserin dengan berbagai variasi laju massa alir.

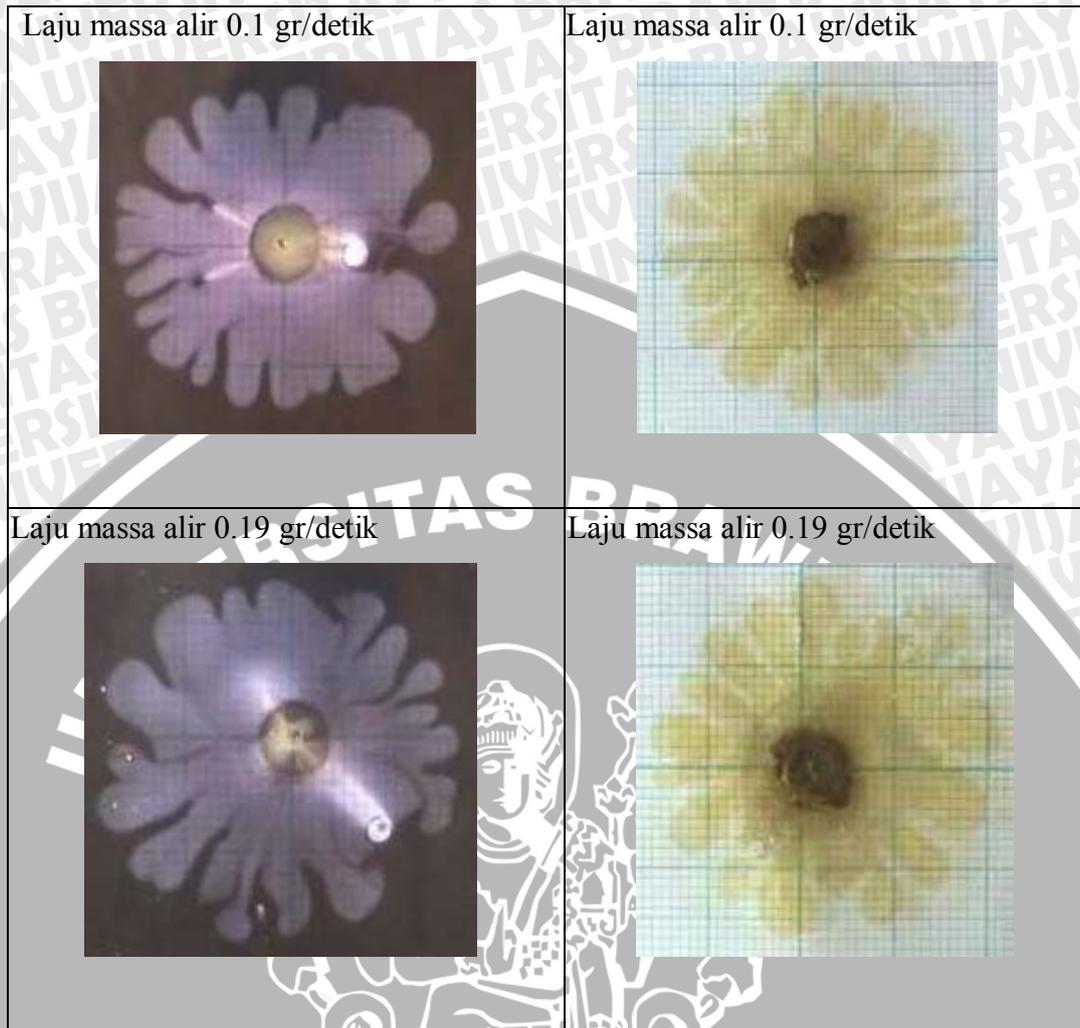
4.2.1 Visualisasi bentuk *interfacial instability* campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin pada berbagai variasi laju massa alir

Laju massa alir 0.01 gr/detik



Laju massa alir 0.01 gr/detik





Gambar 4.1 visualisasi bentuk *interfacial instability* dengan berbagai variasi laju massa alir 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 bentuk *interfacial instability* pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin dengan gliserin diberi warna maupun campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dapat dilihat bahwa *viscous finger* yang dihasilkan memiliki bentuk yang berbeda-beda tiap variasi laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat. *Finger* yang terbentuk dengan laju massa alir rendah yaitu 0.01 gr/detik memiliki panjang yang lebih pendek bila dibandingkan dengan laju massa alir yang lebih tinggi yaitu 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik. Hal ini disebabkan karena pada penginjeksian dengan laju massa alir rendah ketidakstabilan antarmuka (*interfacial instability*) antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dengan

gliserin berlangsung lambat sehingga ketika jumlah campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diinjeksikan habis panjang *finger* yang terbentuk cenderung pendek. Berbeda dengan kecepatan penginjeksian dengan laju massa alir yang lebih tinggi dimana ketidakstabilan antarmuka (*interfacial instability*) lebih cepat terjadi hal ini memungkinkan terbentuknya *finger* dengan ukuran yang lebih panjang. Hal ini sesuai dengan teori pada *viscous fingering* yang disederhanakan bahwa beda tekanan antara ujung *finger* dengan pusat penginjeksian ΔP berbanding lurus dengan kuadrat laju massa alir yaitu dirumuskan dengan $\Delta P = \frac{1}{2\rho} \left(\frac{m}{A_2}\right)^2 \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)$, dimana beda tekanan tersebut berpengaruh pada panjang *finger* yang dihasilkan yaitu dirumuskan dengan $\epsilon = e^{Ct}$ dimana :

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

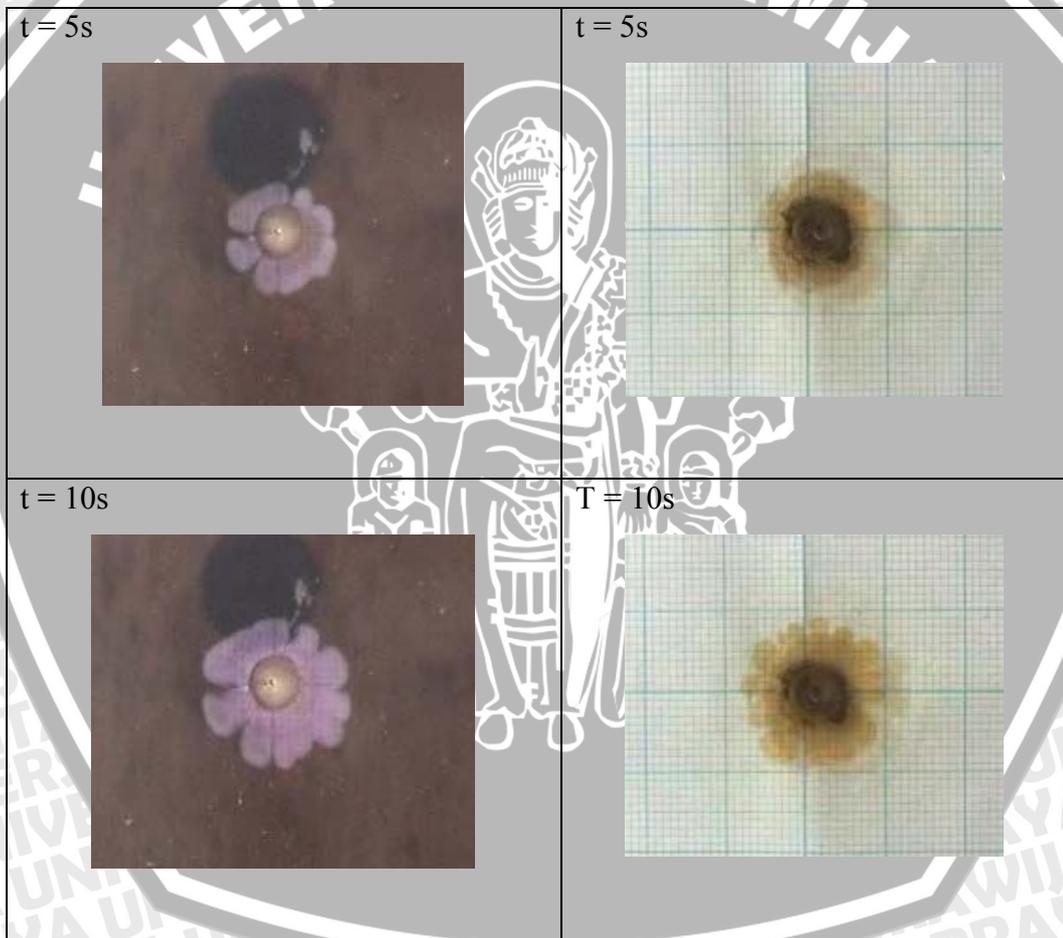
sehingga semakin besar laju massa alir akan menghasilkan *finger* yang semakin panjang pula.

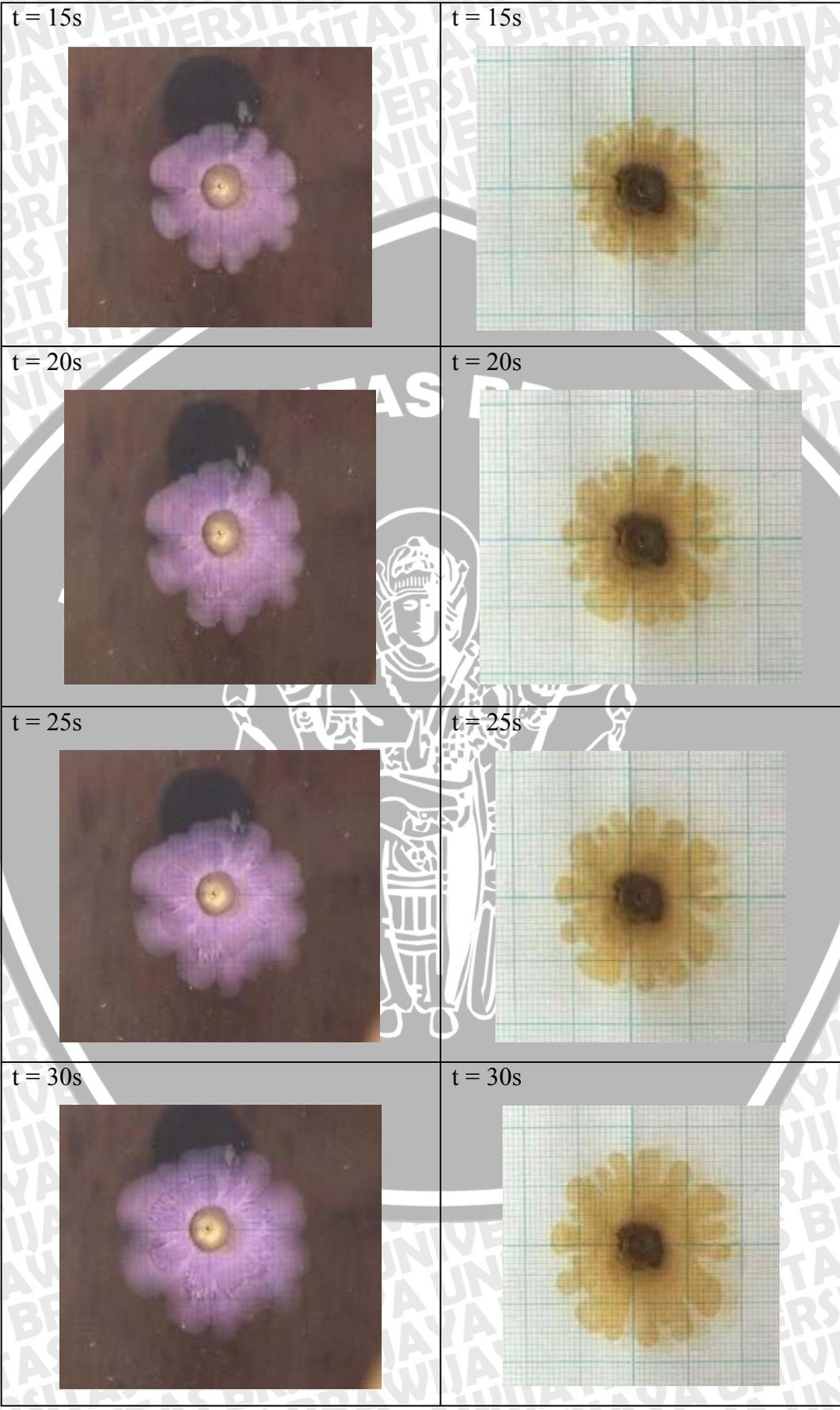
Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.01 gr/detik terjadi degradasi warna hal ini disebabkan karena ketika laju massa alir berlangsung lambat campuran asam sulfat dan asam nitrat tidak menyapu gliserin secara bersih melainkan 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 dimana 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. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna maupun campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dengan laju massa alir yang lebih cepat yaitu 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik saat akhir penginjeksian tidak terjadi degradasi warna, hal ini dikarenakan pada saat penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat langsung menyapu gliserin lebih bersih bila dibandingkan dengan laju massa alir rendah atau dengan

kata lain laju massa alir yang lebih besar tidak memungkinkan difusi terjadi selama proses penginjeksian sehingga degradasi warna tersebut tidak muncul pada saat akhir penginjeksian. Namun apabila kita diamkan lagi beberapa saat maka degradasi warna tersebut juga akan muncul pada kecepatan penginjeksian 0.1 gr/detik maupun 0.19 gr/detik.

4.2.2 Visualisasi pembentukan *viscous finger* dan hubungan antara jari-jari dengan waktu pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat.

Laju massa alir 0.01 gr/detik:



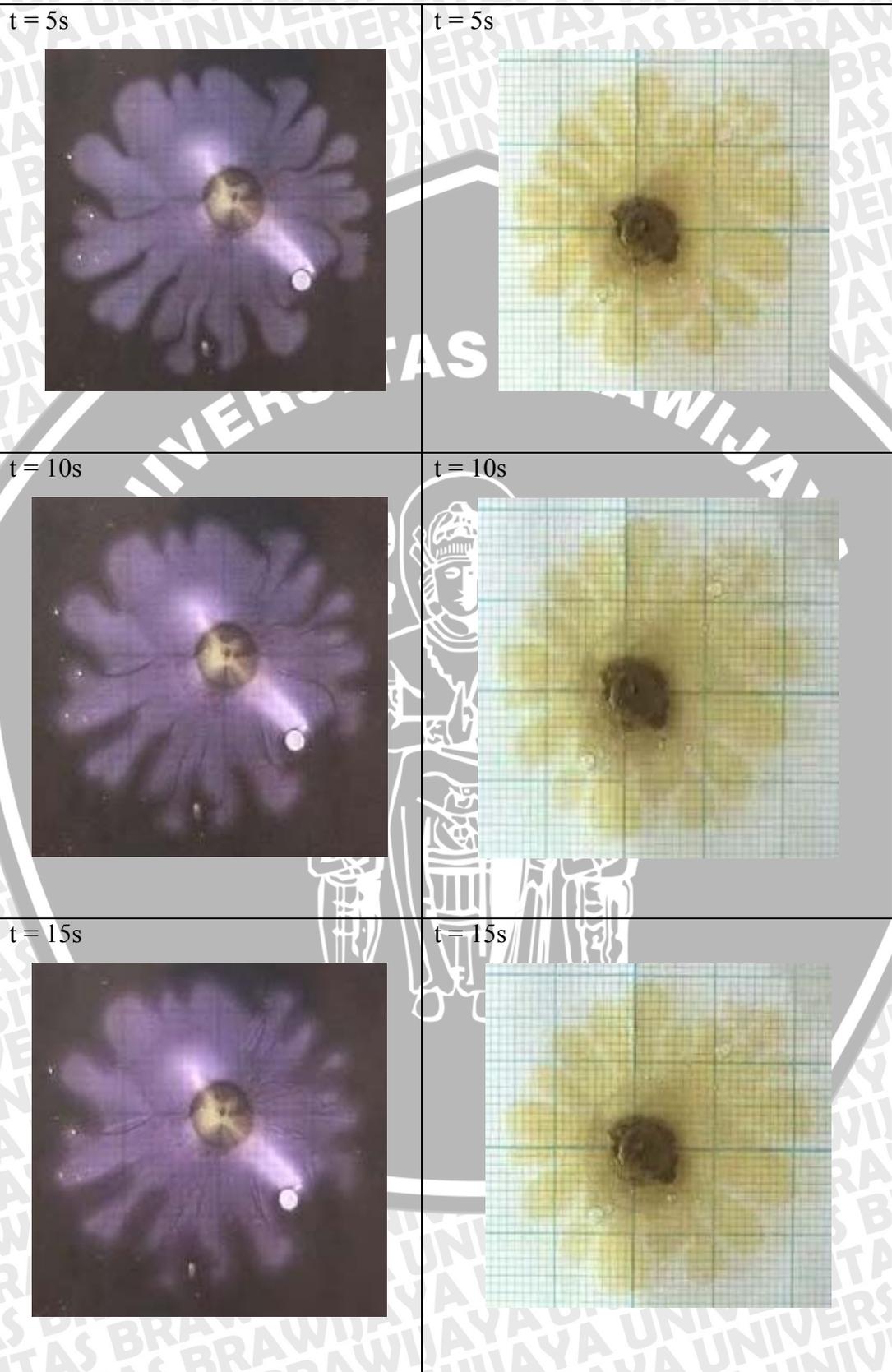


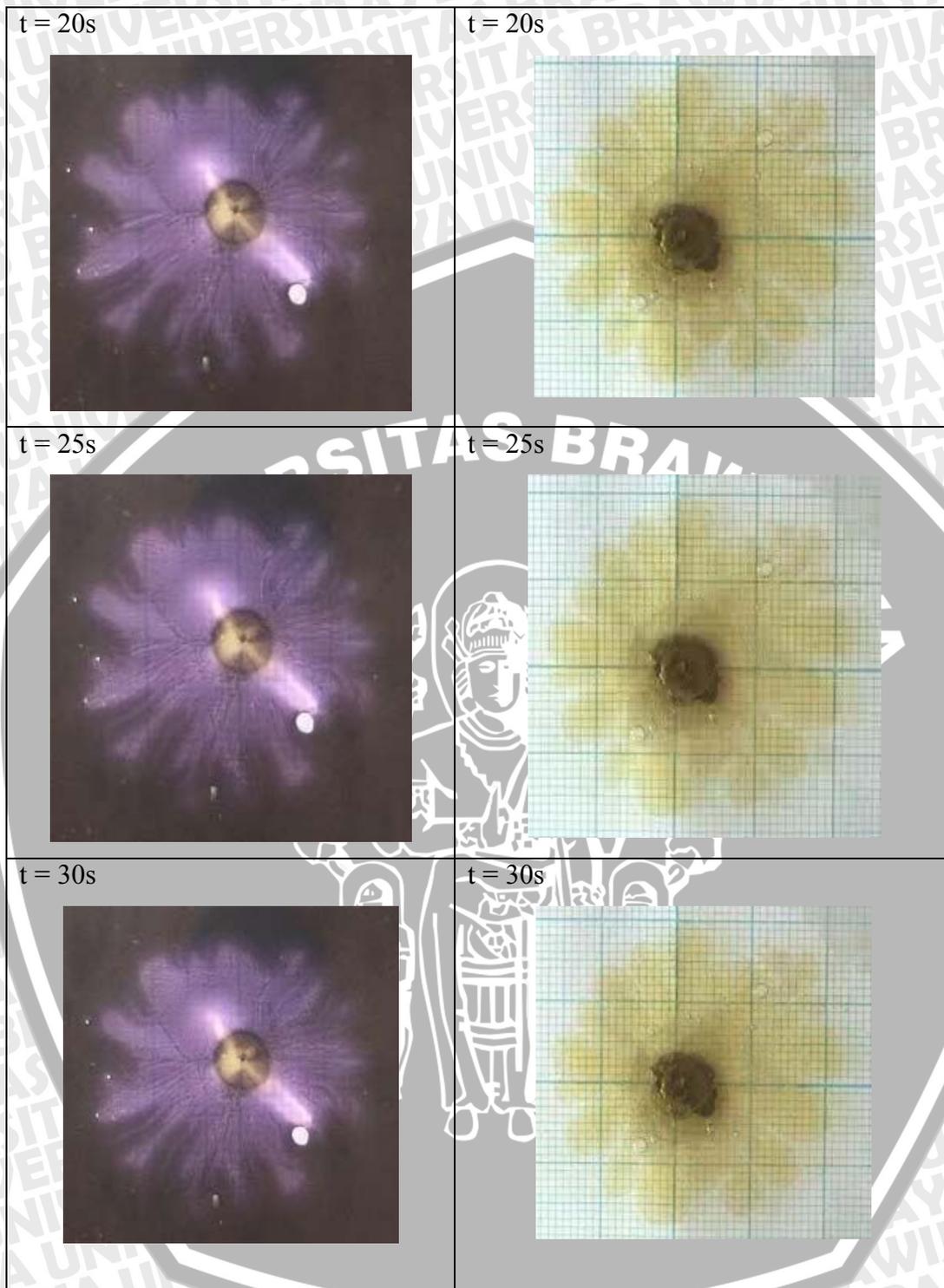
Laju massa alir 0.1 gr/detik:



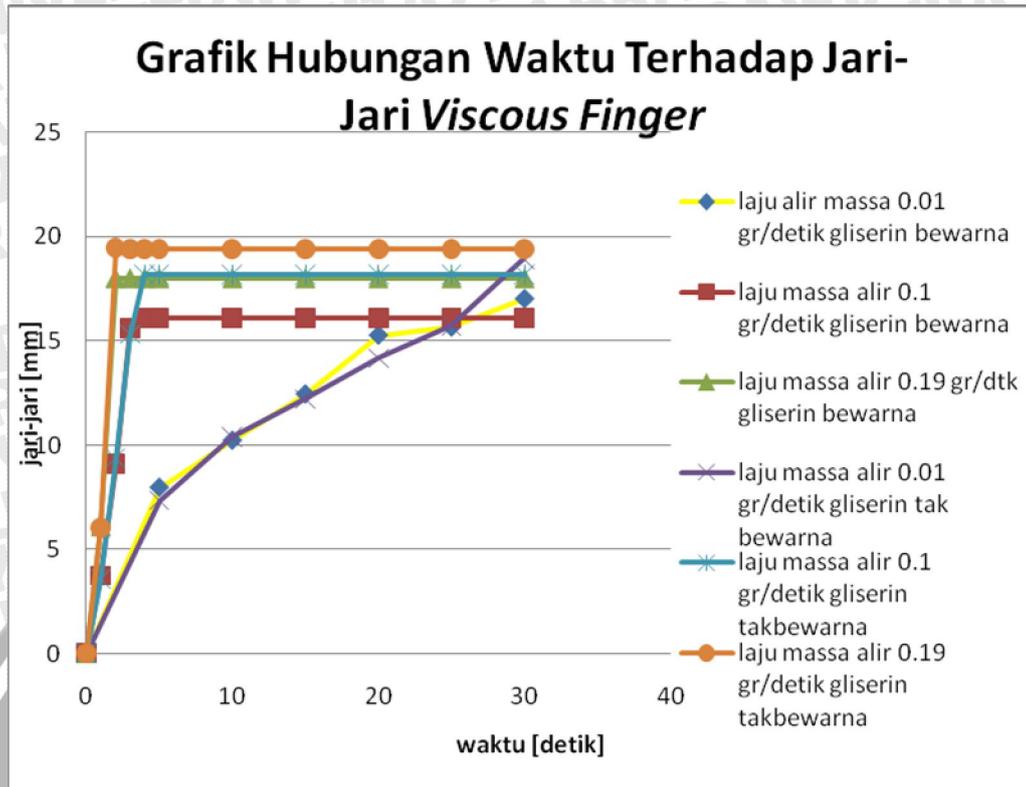


Laju massa alir 0.19 gr/detik :





Gambar 4.2 visualisasi perubahan proses pembentukan *viscous finger* dan degradasi warna pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam nitrat dalam gliserin, kiri: gliserin diberi warna, kanan: campuran asam sulfat dan asam nitrat diberi warna.



Gambar 4.3 grafik hubungan waktu terhadap jari-jari *viscous finger*

Dari gambar 4.2 dapat dilihat evolusi temporal dari pembentukan *finger* berbagai laju massa alir campuran asam nitrat dan asam sulfat dalam gliserin pada waktu 5 detik, 10 detik, 15 detik, 20 detik, 25 detik dan 30 detik. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.01 gr/detik pada detik ke 5 dan ke 10 tidak terjadi degradasi warna melainkan hanya terjadi perubahan ukuran jari-jari saja. Berbeda dengan detik ke 15 sampai detik ke 30, pada detik tersebut selain terjadi perubahan ukuran jari-jari juga terjadi degradasi warna di ujung-ujung *finger* hal ini menunjukkan bahwa pada detik ke 15 sudah terjadi difusi antara gliserin dengan campuran asam nitrat dan asam sulfat, sehingga pada detik tersebut selain terjadi penambahan massa campuran asam sulfat dan asam nitrat juga terjadi proses difusi. Pada laju massa alir yang sama dimana zat yang diberi warna adalah campuran asam sulfat dan asam nitrat degradasi warna tidak tampak, hal ini dikarenakan pencampuran yang dihasilkan memiliki warna yang agak transparan sehingga difusi tidak tampak.

Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.1 gr/detik pada detik ke 5 sampai detik ke 30 tidak terjadi perubahan perubahan diameter hal ini disebabkan karena campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diinjeksikan adalah 0.2 ml atau sekitar 0.33 gr, untuk menginjeksikan dengan laju massa alir 0.1 gr/detik dibutuhkan waktu 3.3 detik sehingga pada detik ke 5 sampai ke 30 proses penginjeksian telah selesai dan yang terjadi hanyalah proses difusi. Dari visualisasi tersebut dapat kita lihat bahwa pada detik ke 5 difusi belum terjadi hal ini dapat kita lihat pada ujung-ujung *finger* yang terbentuk, dimana di ujung *finger* tersebut tidak terjadi degradasi warna, batas antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dengan gliserin masih terlihat tajam. Pada detik ke 10 sampai ke 30 terlihat diujung-ujung *finger* mulai terjadi degradasi warna, semakin bertambahnya waktu degradasi warna tersebut semakin bergerak ke pusat penginjeksian hal ini menunjukkan bahwa proses difusi terus berjalan seiring dengan bertambahnya waktu. Sama halnya dengan proses penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna, pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna untuk menginjeksikan 0.33 gr campuran dengan laju massa alir 0.1 gr/detik dibutuhkan waktu sekitar 3.3 detik sehingga pada detik ke 5 sampai ke 30 sudah tidak terjadi perubahan diameter, yang terjadi hanyalah proses difusi namun proses ini tidak tampak karena warna yang dihasilkan dari pencampuran agak transparan.

Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.19 gr/detik juga dapat kita lihat mulai detik ke 5 sampai detik ke 30 tidak terjadi perubahan diameter hal ini terjadi karena untuk menghasilkan laju massa alir 0.19 gr/detik dengan 0.33 gr campuran asam sulfat dan asam nitrat membutuhkan waktu sekitar 1.74 detik sehingga pada detik ke 5 sampai detik ke 30 semua campuran asam nitrat dan asam sulfat telah diinjeksikan. Difusi mulai terlihat pada detik ke 10 terlihat pada ujung *finger* yang mengalami degradasi warna, proses difusi tersebut terus berjalan seiring dengan bertambahnya waktu sampai pada kondisi stabil dimana proses difusi akan berhenti. Sama halnya pada penginjeksian campuran asam sulfat dengan asam nitrat yang diberi warna dalam gliserin dengan laju massa alir 0.19 gr/detik

dimana untuk menginjeksikan 0.33 gr campuran asam sulfat dan asam nitrat diperlukan waktu sekitar 1.74 detik maka dapat dilihat pada detik ke 5 sampai detik ke 30 tidak terjadi perubahan diameter. Seperti dikatakan sebelumnya pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna akan menghasilkan warna yang agak transparan sehingga degradasi warna tidak tampak dan proses difusinya pun juga tidak tampak.

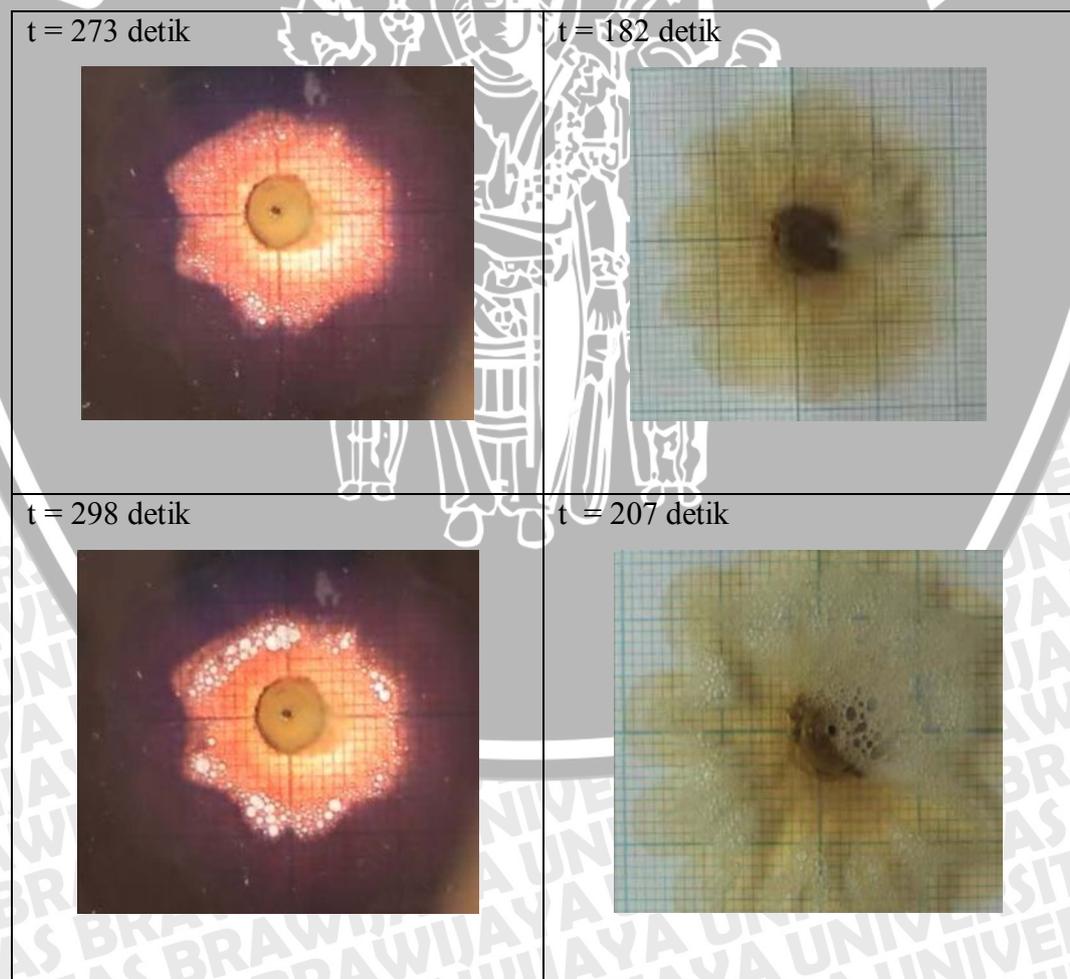
Dari gambar 4.3 grafik hubungan antara waktu terhadap jari-jari *viscous finger* dapat kita lihat bahwa pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.01 gr/detik baik pada penginjeksian dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna maupun gliserin yang diberi warna perubahan jari-jari berlangsung secara lambat dibanding dengan penginjeksian dengan laju massa alir yang lebih besar hal ini disebabkan untuk menginjeksikan 0.33 gr campuran dengan laju massa alir tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama, jari-jari tersebut akan terus membesar sampai semua campuran yang diinjeksikan meningkat. Pada laju massa alir 0.1 gr/detik memiliki gradien yang lebih besar hal ini disebabkan pada waktu yang sama jumlah campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diinjeksikan lebih banyak sehingga jari-jari yang dihasilkan lebih besar pada detik ke 4 dan seterusnya jari-jari tersebut akan konstan karena pada detik tersebut semua campuran sudah diinjeksikan. Pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.19 gr/detik memiliki gradien yang paling besar hal ini disebabkan pada waktu yang sama dibanding laju massa alir sebelumnya jumlah campuran yang diinjeksikan lebih besar namun pada detik ke 2 jari-jari akan konstan hal ini disebabkan semua campuran sudah diinjeksikan. Perbedaan besar jari-jari akhir disebabkan tiap-tiap penginjeksian dengan 0.33 gr campuran menghasilkan ketidakstabilan yang berbeda-beda sehingga berpengaruh pada besar jari-jari yang dihasilkan.

Jika kita simpulkan dari tiga variasi laju massa alir penginjeksian campuran asam nitrat dan asam sulfat dalam gliserin selain mempengaruhi terhadap bentuk *finger* yang terbentuk juga akan berpengaruh terhadap laju difusi antara gliserin dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat. Dimana pada laju massa alir rendah yaitu 0.01 gr/detik akan menghasilkan *finger* yang lebih pendek dan laju difusi yang lebih rendah, pada penginjeksian dengan laju massa alir

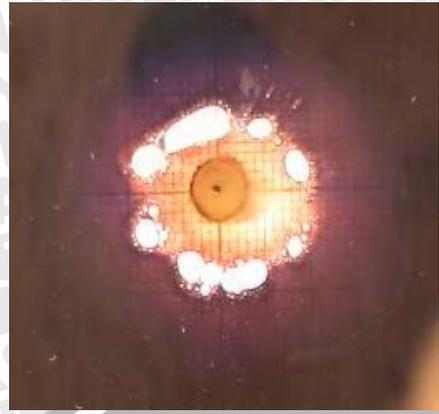
rendah selain terjadi penambahan massa campuran juga terjadi proses difusi, proses difusi ini mulai tampak pada detik ke 15 berbeda dengan penginjeksian dengan laju massa alir yang lebih tinggi yaitu 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik dimana pada laju massa alir tersebut *finger* yang terbentuk lebih panjang serta memiliki laju difusi yang lebih cepat yaitu proses difusi tampak pada detik ke 10. 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 Visualisasi Perubahan bentuk daerah reaksi dan waktu terjadinya reaksi pada berbagai laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin.

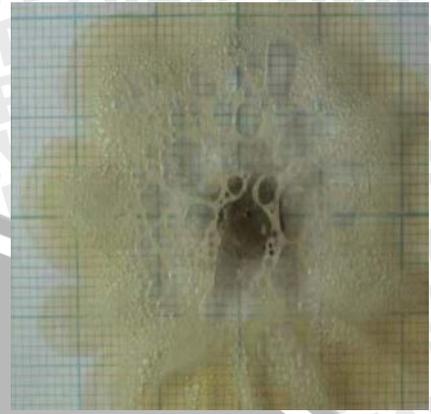
Laju massa alir 0.01 gr/detik:



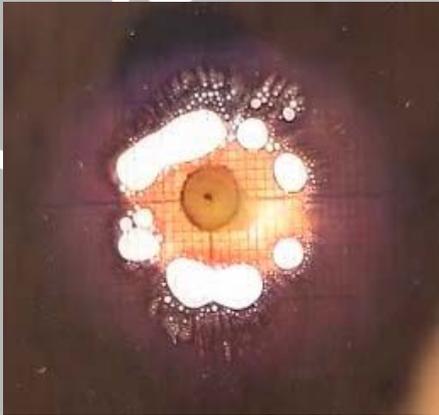
t = 323 detik



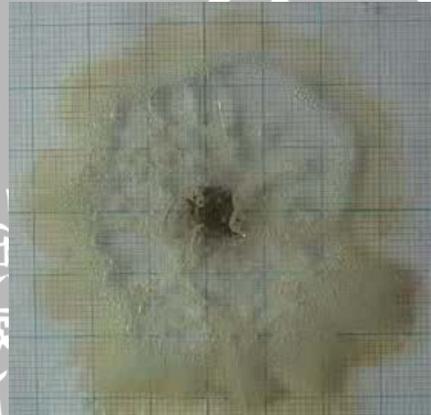
t = 232 detik



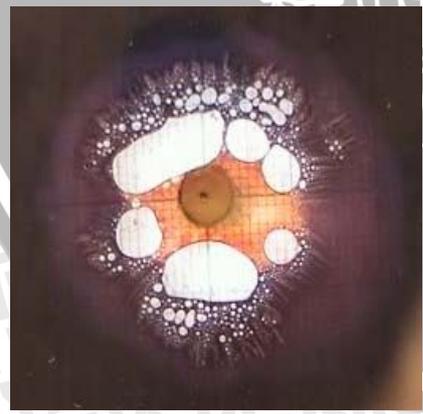
t = 348 detik



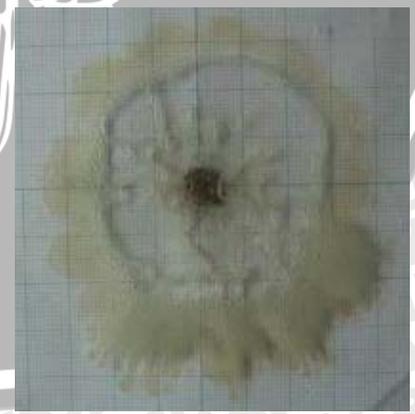
t = 257 detik



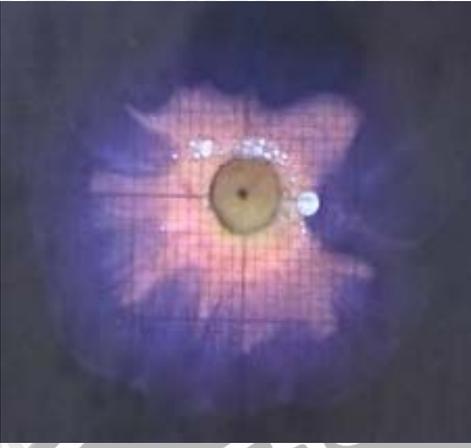
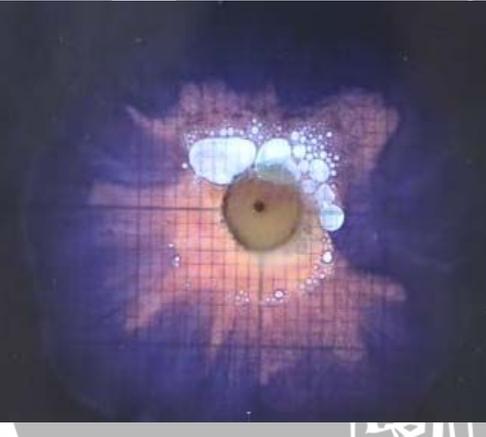
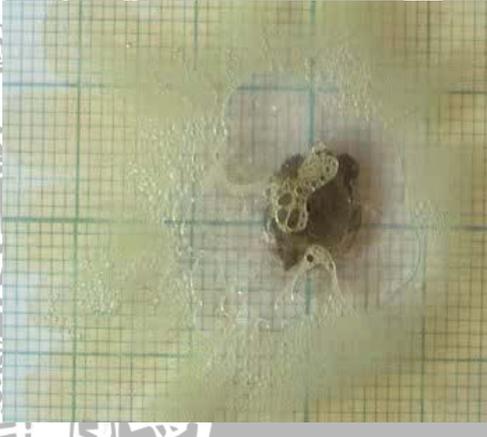
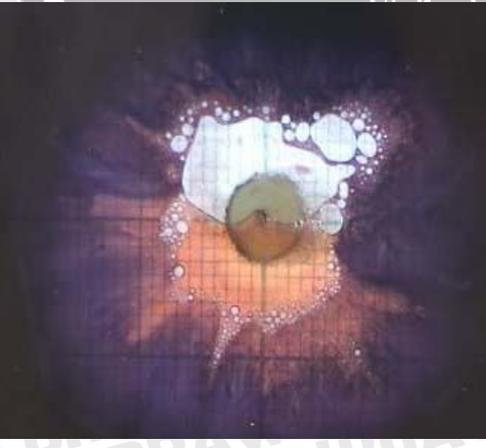
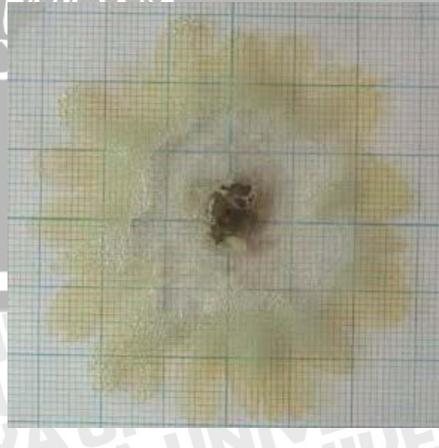
t = 373 detik



t = 282 detik



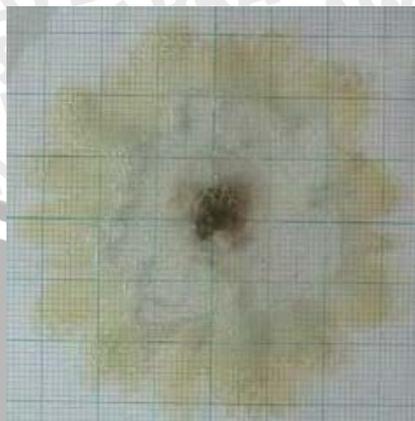
Laju massa alir 0.1 gr/detik

<p>t = 389 detik</p>  <p>A photograph showing a flame spreading from a central circular source on a dark surface. The flame is bright orange and yellow, with a small amount of white smoke rising from the center.</p>	<p>t = 125 detik</p>  <p>A photograph showing a small, dark, circular charred spot on a light-colored grid paper. The spot is surrounded by a faint, yellowish-brown discoloration.</p>
<p>t = 414 detik</p>  <p>A photograph showing a flame spreading from a central circular source on a dark surface. The flame is bright orange and yellow, with a small amount of white smoke rising from the center.</p>	<p>t = 150 detik</p>  <p>A photograph showing a small, dark, circular charred spot on a light-colored grid paper. The spot is surrounded by a faint, yellowish-brown discoloration.</p>
<p>t = 439 detik</p>  <p>A photograph showing a flame spreading from a central circular source on a dark surface. The flame is bright orange and yellow, with a small amount of white smoke rising from the center.</p>	<p>t = 175 detik</p>  <p>A photograph showing a small, dark, circular charred spot on a light-colored grid paper. The spot is surrounded by a faint, yellowish-brown discoloration.</p>

t = 464 detik



t = 200 detik



t = 489 detik



t = 225 detik



Laju massa alir 0.19 gr/detik:

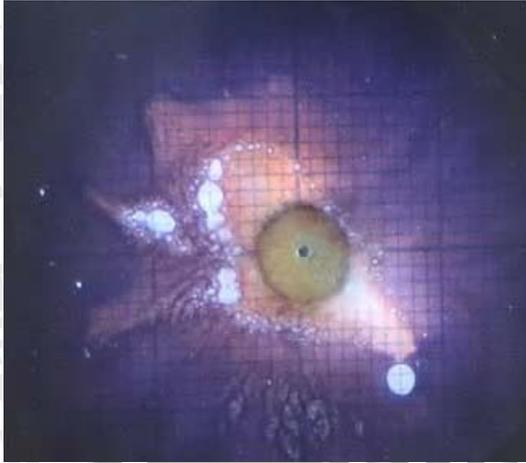
t = 408 detik



t = 100 detik



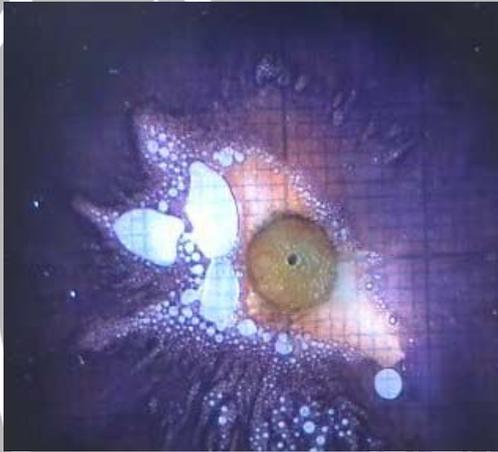
t = 433 detik



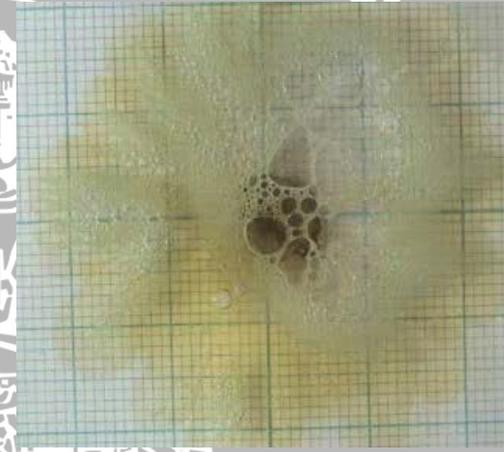
t = 125 detik



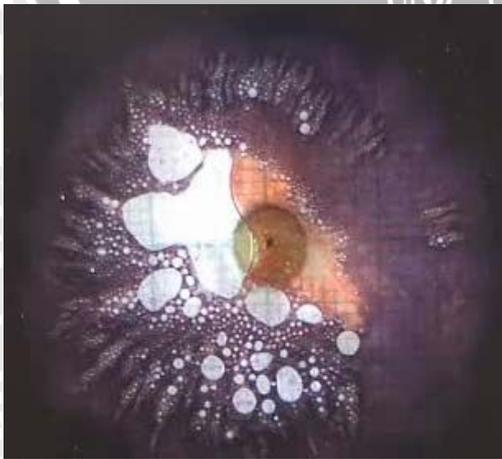
t = 458 detik



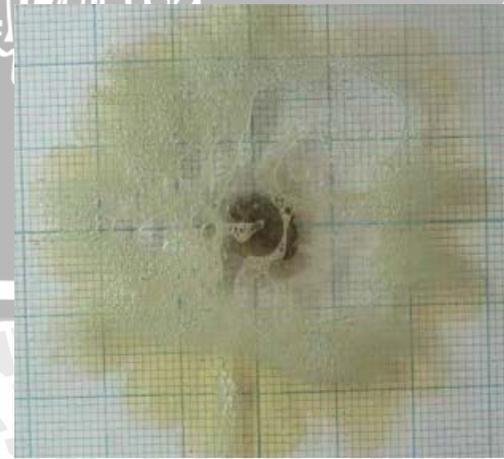
t = 150 detik

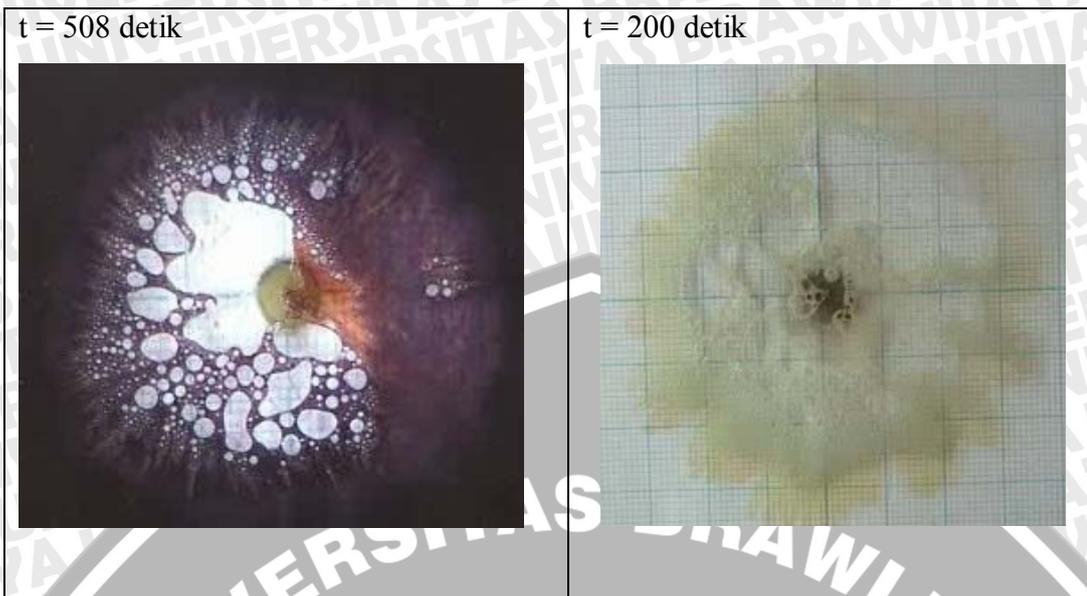


t = 483 detik

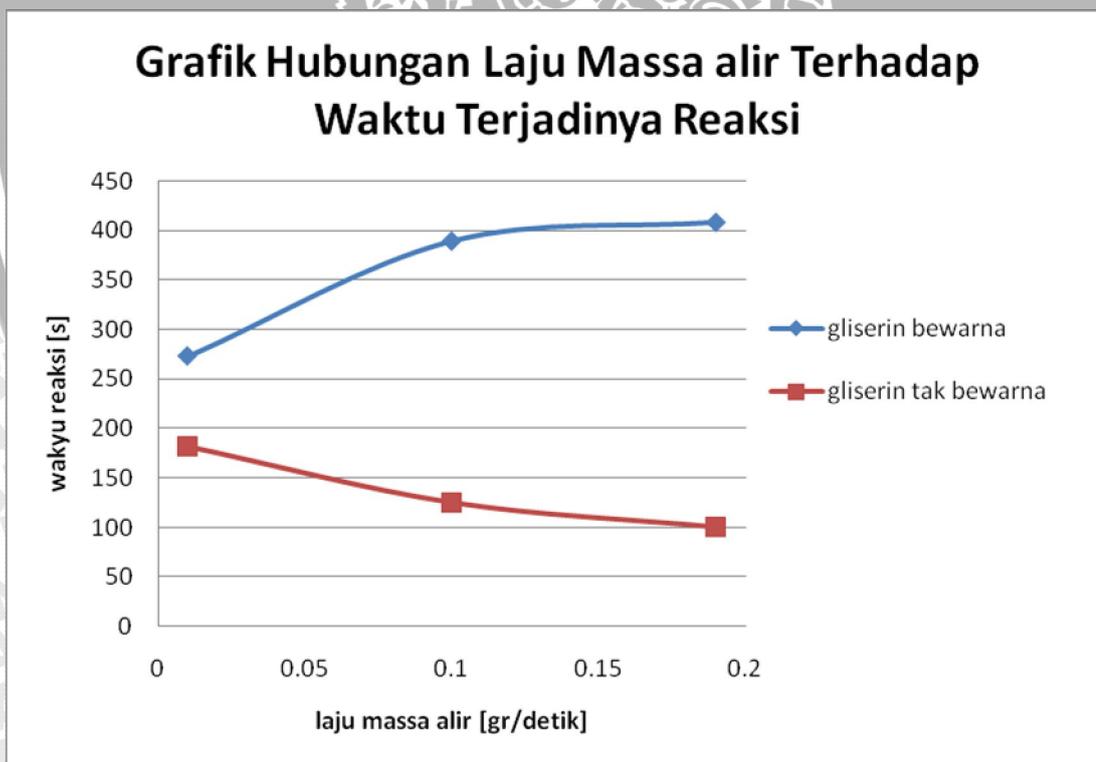


t = 175 detik





Gambar 4.4: visualisasi perubahan bentuk daerah reaksi pada berbagai variasi laju massa alir campuran asam nitrat dalam gliserin, kiri: gliserin diberi warna, kanan: campuran asam sulfat dan asam nitrat diberi warna.



Gambar 4.5 grafik hubungan laju massa alir terhadap waktu terjadinya reaksi

Dari gambar 4.4 dapat kita lihat perubahan bentuk daerah reaksi pada berbagai variasi penginjeksian laju massa alir campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.01 gr/detik reaksi terjadi pada daerah batas difusi sebelah dalam antara gliserin dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat, hal ini menunjukkan bahwa didaerah tersebut merupakan daerah stokiometri yang tepat dari reaksi pembentukan nitrogliserin. Pada detik ke 273 sampai detik ke 323 reaksi terjadi tepat diluar garis difusi membentuk gelembung-gelembung melingkar, hal ini menunjukkan bahwa pada laju massa alir 0.01 gr/detik sebaran campuran asam nitrat dan asam sulfat dalam gliserin membentuk pola sehingga reaksi yang terjadi teratur. Detik ke 348 sampai 373 reaksi mulai terjadi pada daerah difusi, hal ini menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai kondisi diluar kondisi stokiometri memiliki waktu yang lebih lama untuk bisa terjadi reaksi kimia. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dalam gliserin dengan laju massa alir yang sama pada detik ke 182 reaksi berlangsung secara teratur membentuk lingkaran hal ini menunjukkan sebaran campuran asam sulfat dan asam nitrat yang teratur, pada detik selanjutnya letak reaksi mulai terjadi pada daerah yang memiliki kondisi di luar stokiometri sehingga memiliki reaksi yang lebih lama. Pemberian warna pada gliserin juga berpengaruh terhadap kecepatan reaksi hal ini dapat kita lihat pada waktu terjadinya reaksi antara gliserin yang diberi warna dan tidak dimana pada gliserin yang diberi warna memiliki laju reaksi yang lebih lambat.

Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.1 gr/detik bentuk daerah reaksi awal tidak seteratur penginjeksian dengan kecepatan 0.01 gr/detik, hal ini menunjukkan sebaran campuran yang memiliki pola yang tidak teratur dan difusi yang tidak teratur pula, dimana daerah yang memiliki kondisi stokiometri akan memiliki kecepatan reaksi yang lebih tinggi. Dapat kita lihat pada laju massa alir 0.1 gr/detik reaksi kimia terlihat pada detik ke 389 lebih lambat dari laju massa alir 0.1 gr/detik hal ini disebabkan karena pada laju massa alir yang lebih besar memungkinkan terjadi luas bidang kontak yang lebih besar sehingga difusi gliserin juga lebih besar namun juga memungkinkan difusi pewarna yang lebih besar juga

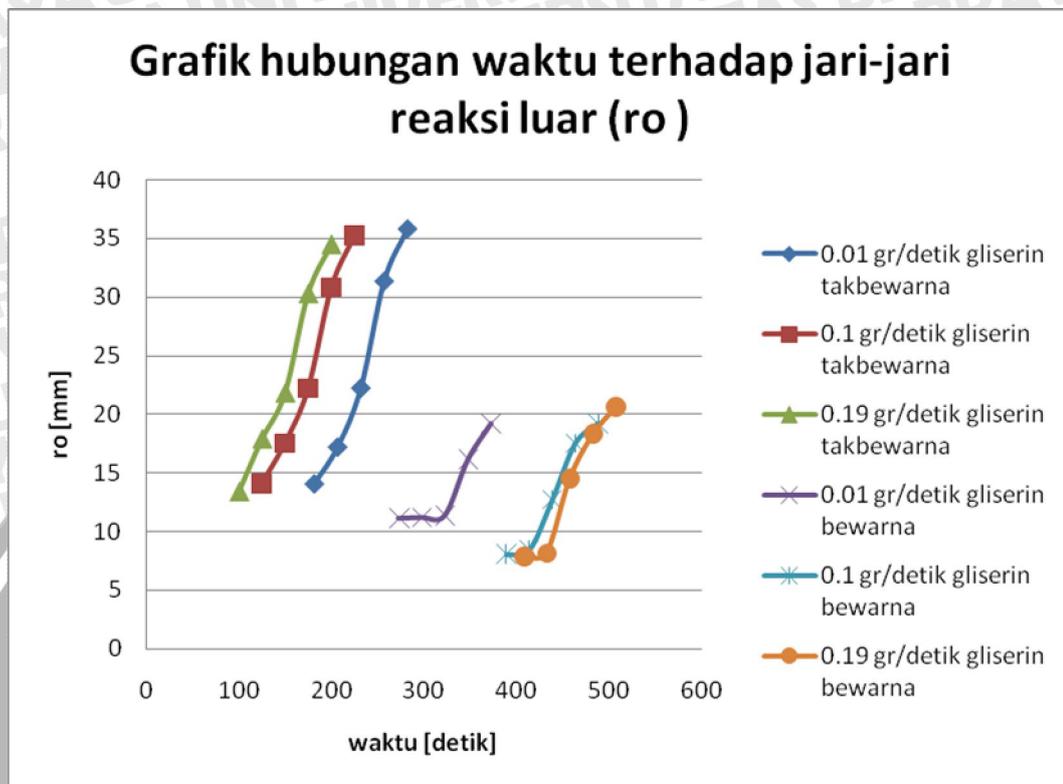
dimana pewarna tersebut bertindak sebagai inhibitor sehingga akan memperlambat laju reaksi. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dengan laju massa alir yang sama yaitu 0.1 gr/detik reaksi tidak seteratur reaksi dengan laju massa alir sebelumnya. Penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dengan laju massa alir 0.1 gr/detik memiliki waktu reaksi yang lebih cepat yaitu 125 detik bila dibandingkan dengan laju massa alir sebelumnya yaitu 182 detik, hal ini disebabkan pada laju massa alir yang lebih besar mengakibatkan difusi gliserin yang lebih besar sehingga memiliki campuran yang lebih baik untuk berada dalam kondisi stokiometri dimana reaksi dengan pewarna sudah terjadi saat awal pencampuran asam sulfat, asam nitrat dan pewarna sehingga saat penginjeksian tidak ada reaksi dengan pewarna lagi. Apabila kita lihat dari waktu terjadinya reaksi antara gliserin yang diberi warna dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna, penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna memiliki catatan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan gliserin yang diberi warna hal ini menunjukkan bahwa pemberian pewarna pada gliserin akan menghambat laju reaksi dari pembuatan nitrogliserin.

Pada penginjeksian campuran asam sulfat dengan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna dengan laju massa alir 0.19 gr/detik dapat kita lihat bahwa reaksi awal yang terbentuk tidak teratur membentuk lingkaran hal ini menunjukkan bahwa sebaran campuran asam nitrat dan asam sulfat tidak memiliki pola yang teratur dan juga proses difusi yang terjadi tidak teratur. Daerah yang memiliki kondisi stokiometri akan mengalami reaksi lebih dahulu. Apabila kita bandingkan dengan penginjeksian dengan laju massa alir 0.1 gr/detik, penginjeksian dengan laju massa alir 0.19 memiliki catatan waktu yang lebih lama hal ini dapat kita lihat pada waktu terjadinya reaksi kimia dimana pada laju massa alir 0.1 gr/detik reaksi sudah tercapai pada detik ke 389 sedangkan penginjeksian dengan laju massa alir 0.19 gr/detik reaksi terjadi pada detik ke 408 hal ini menunjukkan bahwa difusi gliserin ke dalam campuran asam sulfat dan asam nitrat sangat besar sehingga memiliki campuran yang lebih baik, namun pada gliserin yang diberi warna juga memungkinkan penetrasi warna yang besar pula dimana saat penginjeksian reaksi antara campuran dengan pewarna juga terjadi

akibatnya reaksi kimia berlangsung lebih lama. Sama halnya dengan penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dalam gliserin reaksi yang terjadi tidak teratur, dimana daerah yang memiliki kondisi stokiometri akan memiliki kecepatan reaksi yang lebih besar dibanding daerah yang memiliki kondisi tidak stokiometri.

Dari gambar 4.5 grafik hubungan laju massa alir terhadap waktu terjadinya reaksi dapat kita lihat untuk gliserin yang diberi warna memiliki kecenderungan semakin besar laju massa alir semakin besar pula waktu terjadinya reaksi hal ini disebabkan karena pada penginjeksian dengan laju massa alir yang lebih besar akan menghasilkan difusi gliserin yang lebih besar sehingga menghasilkan campuran yang lebih baik namun juga memungkinkan penetrasi warna yang lebih besar pula antara campuran asam sulfat dengan asam nitrat dan pewarna yang ada didalam gliserin sehingga reaksi yang terjadi tidak hanya reaksi pembentukan nitrogliserin tetapi juga reaksi antara pewarna dengan campuran asam sulfat dan asam nitrat sehingga memiliki waktu yang semakin lama pula seiring dengan bertambahnya laju massa alir. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna memiliki kecenderungan semakin besar laju massa alir semakin kecil waktu yang diperlukan untuk terjadi reaksi hal ini disebabkan karena pada penginjeksian dengan laju massa alir yang besar memungkinkan difusi gliserin yang lebih besar pula sehingga campuran yang dihasilkan semakin baik yang berakibat pada semakin cepatnya reaksi kimia. Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna yang terjadi hanya reaksi pembentukan nitrogliserin karena reaksi antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dengan pewarna sudah bereaksi saat proses pencampuran.

4.2.4 Hubungan antara waktu dengan jari-jari reaksi pada berbagai variasi laju massa alir.

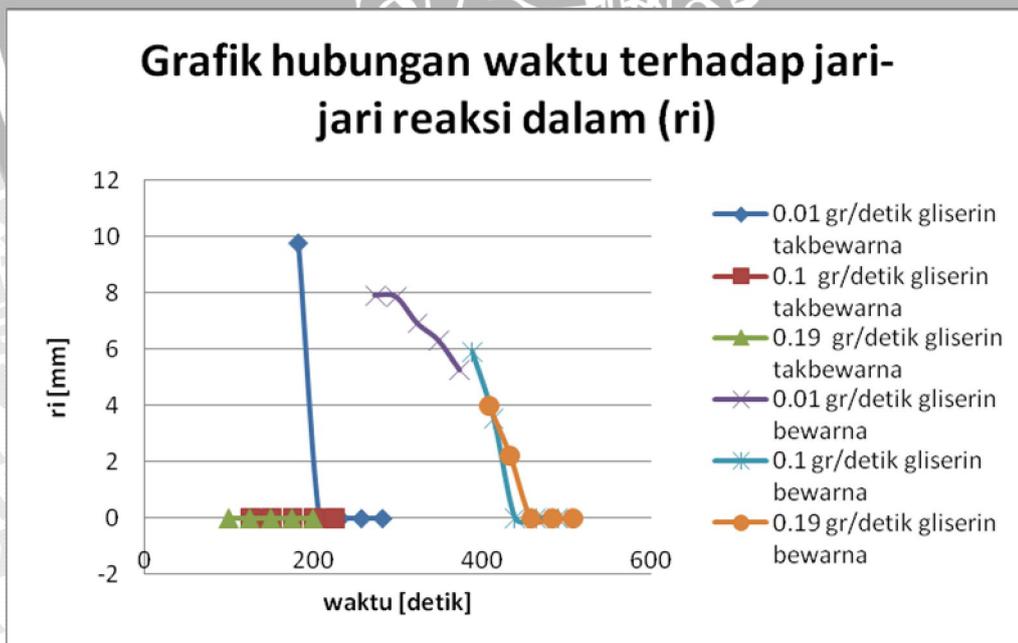


Gambar 4.6 : Grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi luar

Dari gambar 4.6 grafik hubungan waktu terhadap jari-jari terluar reaksi (r_o) untuk gliserin yang diberi warna memiliki kurva yang lebih landai dibandingkan gliserin yang tidak diberi warna hal ini menunjukkan bahwa kecepatan perambatan reaksi pada jari-jari terluar untuk gliserin yang diberi warna lebih lambat bila dibandingkan dengan gliserin yang tidak diberi warna, hal ini disebabkan pada gliserin yang diberi warna memungkinkan terjadinya reaksi antara campuran asam sulfat dan asam nitrat dengan pewarna terlebih dahulu. Pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.01 gr/detik memiliki letak terpisah dengan laju massa alir 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik hal ini disebabkan pada penginjeksian 0.01 gr/detik memiliki *interfacial instability* yang lebih sederhana sehingga memungkinkan penetrasi warna yang terdapat pada gliserin dalam campuran asam sulfat dan asam nitrat sedikit dimana pewarna disini bertindak sebagai inhibitor, sehingga memiliki kecepatan reaksi yang paling besar. Pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik memiliki kurva

yang berdekatan hal ini disebabkan penginjeksian dengan laju massa alir tersebut memiliki *interfacial instability* yang hampir sama dimana waktu penginjeksiannya pun perlu waktu yang relatif hampir sama yaitu 3.3 detik untuk laju massa alir 0.1 gr/detik dan 1.74 detik untuk laju massa alir 0.19 gr/detik.

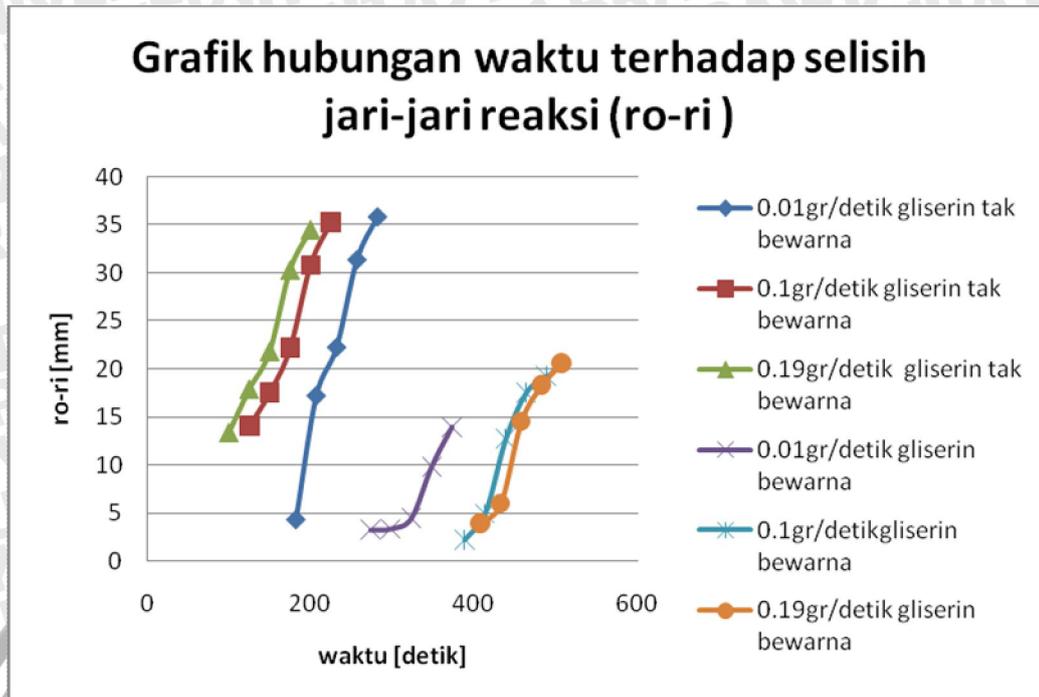
Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna memiliki kurva yang lebih tegak hal ini menunjukkan bahwa rambat reaksi kearah luar lebih besar dibandingkan dengan penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna, seperti dikatakan sebelumnya pada campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna tidak ada reaksi dengan pewarna saat penginjeksian karena reaksi tersebut telah terjadi saat pencampuran. Penginjeksian dengan laju massa alir 0.01 gr/detik memiliki letak yang terpisah dan waktu terjadinya reaksi yang lebih lama, hal ini disebabkan karena penginjeksiannya menghasilkan ketidakstabilan yang lebih sederhana sehingga difusi gliserin sedikit yang mengakibatkan reaksi berjalan lebih lambat. Pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik memiliki letak yang berdekatan hal ini menunjukkan pada laju massa alir tersebut memiliki *interfacial instability* yang hampir sama dimana difusi gliserin yang dihasilkan juga hampir sama yang berakibat rambat laju reaksi yang hampir sama pula.



Gambar 4.7 : Grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi dalam

Pada gambar 4.7 grafik hubungan waktu terhadap jari-jari reaksi dalam (ri) pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat dalam gliserin yang diberi warna memiliki waktu yang lebih lama bila dibandingkan dengan penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna hal ini disebabkan karena pewarna sebagai inhibitor. Pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.01 gr/detik pada gliserin yang diberi warna memiliki rambat reaksi kearah dalam yang lebih lambat serta memiliki letak grafik yang terpisah hal ini disebabkan difusi gliserin kearah dalam berlangsung lambat dibanding kecepatan reaksi sehingga pada bagian dalam tidak ada gliserin yang berdifusi selain itu juga adanya pewarna juga sebagai inhibitor. Pada penginjeksian dengan laju massa alir 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik rambat reaksi kearah dalam lebih besar dan memiliki kurva yang berdekatan hal ini disebabkan penginjeksian dengan laju massa alir tersebut menghasilkan difusi yang lebih besar sehingga memungkinkan reaksi sampai kesisi dalam dari *viscous finger*.

Pada penginjeksian campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna dengan laju massa alir 0.01 gr/detik reaksi awal memiliki jari-jari reaksi bagian dalam hal ini menunjukkan bahwa difusi gliserin semakin kedalam semakin kecil sehingga kondisi didalam berada diluar kondisi stokiometri yang berakibat reaksi dibagian dalam memiliki waktu yang lebih lama. Pada penginjeksian dengan laju massa alir yang lebih besar yaitu 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik pada campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna tidak memiliki jari-jari reaksi bagian dalam, hal ini menunjukkan bahwa difusi gliserin ke pusat yang besar sehingga mengakibatkan pada pusat *viscous finger* berada dalam kondisi yang stokiometri.



Gambar 4.8 : Grafik hubungan waktu terhadap selisih jari-jari reaksi

Dari gambar 4.8 grafik hubungan waktu terhadap selisih jari-jari reaksi terdalam dan terluar untuk gliserin yang diberi warna semakin bertambahnya waktu, selisih jari-jari juga meningkat. Pada laju massa alir 0.01 gr/detik memiliki grafik yang paling pendek, hal ini menunjukkan terjadi perbedaan yang kecil antara jari-jari reaksi bagian dalam dengan jari-jari reaksi bagian luar. Pada laju massa alir 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik memiliki kurva yang hampir berdekatan hal ini menunjukkan pada laju massa alir tersebut memiliki karakteristik yang hampir sama, dimana selisih waktu penginjeksian hanya 1.56 detik sehingga kecepatan difusi dan kecepatan reaksinya hampir sama.

Pada penginjeksian pada campuran asam sulfat dan asam nitrat yang diberi warna pada laju massa alir 0.01 gr/detik memiliki kurva yang paling panjang hal ini disebabkan pada reaksi awal masih terbentuk jari-jari reaksi bagian dalam sehingga menghasilkan selisih jari-jari yang kecil hal inilah yang menyebabkan kurva memanjang kebawah namun pada tahap selanjutnya jari-jari reaksi bagian dalam itu hilang menunjukkan reaksi sudah sampai pada sisi dalam. Pada laju massa alir 0.1 gr/detik dan 0.19 gr/detik tidak memiliki jari-jari reaksi bagian dalam sehingga dapat disimpulkan reaksi berjalan kearah luar, hal ini menunjukkan keadaan stokiometri terjadi di sisi dalam *viscous finger*.