

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Pengolahan Data Minyak Hasil Pirolisis

Minyak yang telah diperoleh dari proses pirolisis kemudian diukur volumenya dan ditimbang massanya. Setelah itu densitas minyak diukur dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

dengan contoh perhitungan:

$$0.776 = \frac{27,2}{34,5}$$

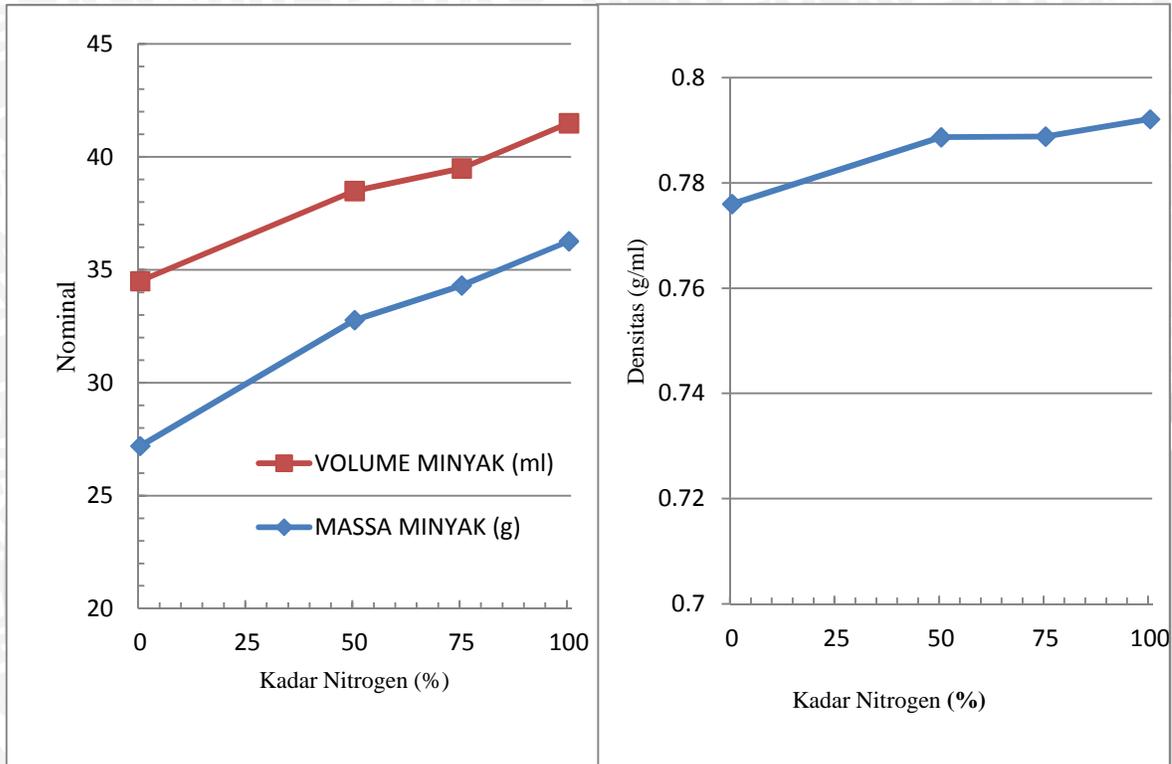
4.2 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa data yang menunjukkan hubungan berbagai variasi temperatur pirolisis terhadap beberapa variabel terikatnya, yaitu :

- Pada gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara variasi kadar nitrogen terhadap massa, volume, dan densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE.
- Pada gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara variasi kadar nitrogen terhadap nilai *flas point* minyak hasil pirolisis plastik HDPE.
- Pada gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara variasi kadar nitrogen terhadap nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik HDPE.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan Antara Kadar Nitrogen Terhadap Massa, Volume, dan Densitas Minyak Hasil Pirolisis Plastik HDPE



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Nitrogen Terhadap Massa, Volume, dan Densitas Minyak Hasil Pirolisis Plastik HDPE

Grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap volume minyak pirolisis plastik dengan temperatur pemanasan 600°C selama satu jam dan massa awal plastik HDPE 150 gram. Adapun variasi kadar nitrogen di dalam reaktor pemanas yaitu 0%, 50%, 75%, 100%.

Pada proses pirolisis rantai panjang polimer plastik HDPE terdekomposisi secara sempurna menjadi rantai pendek monomer. Hal ini dikarenakan pada suhu 600°C terjadi pemecahan molekul yang sangat kuat (*strong cracking*) pada komponen rantai polimer dari plastik HDPE menjadi molekul dengan nomer karbon yang rendah. Dari grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap volume minyak pirolisis plastik dapat dilihat semakin tinggi kadar nitrogen pada reaktor pemanas, maka volume minyak yang dihasilkan juga semakin banyak.

Pada grafik dapat dilihat volume minyak yang terendah yaitu 34.5 ml, hal ini terjadi ketika di dalam reaktor tidak diisi dengan nitrogen ($N_2=0\%$) atau dengan kata lain proses pirolisis plastik dilakukan di dalam lingkup oksigen. Pada proses pirolisis dengan kadar nitrogen 0% terjadi proses pembakaran pada saat awal proses disebabkan adanya energi panas yang memicu reaksi pembakaran kandungan hidrokarbon dari senyawa penyusun plastik dengan kadar oksigen di dalam reaktor pemanas. Sehingga tidak seluruh plastik dapat terdekomposisi menjadi karbon melainkan menjadi hasil pembakaran. Selain itu tanpa adanya nitrogen mengakibatkan waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor menjadi lebih lama, sehingga banyak molekul berat terpecah menjadi molekul ringan karena adanya *secondary reaction*.

Pada kadar nitrogen 50% terjadi kenaikan volume minyak pirolisis plastik sebesar 4 ml dari volume minyak pirolisis plastik dengan kadar nitrogen 0%. Kenaikan volume minyak pada proses pirolisis dikarenakan oleh adanya penambahan kadar nitrogen sebesar 50% dari volume reaktor. Dengan ditambahkan nitrogen ke dalam reaktor pirolisis telah meminimalisir terjadinya proses pembakaran dari sebagian plastik menjadi gas CO_2 . Selain itu dengan adanya kadar nitrogen dapat mempersingkat waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor. Singkatnya waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor mengakibatkan waktu dekomposisi molekul-molekul berat menjadi molekul-molekul ringan menjadi lebih singkat, sehingga akan lebih banyak dihasilkan molekul-molekul berat berupa minyak.

Pada kadar nitrogen 75% terjadi kenaikan volume minyak pirolisis plastik sebesar 5 ml dari volume minyak pirolisis plastik dengan kadar nitrogen 0%. Sama halnya dengan yang terjadi pada proses pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 50%, kenaikan volume minyak dikarenakan meningkatnya kadar nitrogen di dalam reaktor selama proses, sehingga proses pembakaran plastik yang terdekomposisi dapat diminimalisir dan waktu tinggal gas pirolisis menjadi lebih singkat.

Pada kadar nitrogen 100% menghasilkan volume minyak pirolisis plastik HDPE yang paling tinggi dibandingkan volume minyak pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 0%, 50%, 75%. Hal ini dikarenakan pada saat terjadi proses dekomposisi dengan kadar nitrogen 100%, tidak terjadi proses pembakaran pada gas pirolisis yang terdekomposisi di dalam reaktor karena adanya nitrogen sebagai gas inert, sehingga plastik yang dipanaskan bereaksi untuk memecah ikatan polimernya sendiri dan akhirnya

terdekomposisi menjadi ikatan monomer. Selain itu dengan adanya nitrogen mengakibatkan waktu tinggal yang singkat dari gas pirolisis di dalam reaktor dan mengurangi terjadinya *secondary reaction* pada saat proses pirolisis plastik HDPE.

Dapat disimpulkan dari grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap volume minyak pirolisis plastik HDPE bahwa semakin tinggi kadar nitrogen dalam proses pirolisis plastik HDPE maka minyak yang dihasilkan juga semakin banyak. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khaghanikavkani E, dkk (2013) dimana selama proses pirolisis dengan kadar nitrogen yang semakin tinggi dapat meminimalisir terjadinya proses pembakaran antara plastik dan oksigen di dalam reaktor. Selain itu dengan adanya kadar nitrogen di dalam proses pirolisis mengakibatkan waktu tinggal gas pirolisis menjadi lebih singkat. Dengan semakin singkat waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor, sehingga terjadinya *secondary reaction* akan semakin kecil.

Grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE dengan temperatur pemanasan 600°C selama satu jam dengan massa awal plastik 150 gram. Adapun variasi kadar nitrogen di dalam reaktor pemanas yaitu 0%, 50%, 75%, 100%.

Pada proses pirolisis rantai panjang polimer plastik HDPE terdekomposisi secara sempurna menjadi rantai pendek monomer. Hal ini dikarenakan pada suhu 600°C terjadi pemecahan molekul yang sangat kuat (*strong cracking*) pada komponen rantai polimer dari plastik HDPE menjadi molekul dengan nomer karbon yang rendah.

Pada proses pirolisis rantai panjang polimer plastik HDPE terdekomposisi secara sempurna menjadi rantai pendek monomer. Hal ini dikarenakan pada suhu 600°C terjadi pemecahan molekul yang sangat kuat (*strong cracking*) pada komponen rantai polimer dari plastik HDPE menjadi molekul dengan nomer karbon yang rendah. Dari grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap massa minyak pirolisis plastik dapat dilihat semakin tinggi kadar nitrogen pada reaktor pemanas, maka massa minyak yang dihasilkan juga semakin banyak.

Pada grafik menjelaskan bahwa massa minyak yang terendah. Hal ini terjadi ketika di dalam reaktor tidak diisi dengan nitrogen ($\text{N}_2=0\%$) atau dengan kata lain proses pirolisis plastik dilakukan di dalam lingkup oksigen. Pada proses pirolisis dengan kadar nitrogen 0% terjadi proses pembakaran pada saat awal proses terdekomposisinya plastik disebabkan

adanya kandungan hidrokarbon dari plastik yang terdekomposisi, dan kadar oksigen di dalam reaktor pemanas, serta energi aktivasi dari panas yang dihasilkan reaktor pemanas. Sehingga tidak seluruh plastik dapat terdekomposisi menjadi karbon melainkan menjadi hasil pembakaran. Selain itu tanpa adanya nitrogen mengakibatkan waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor menjadi lebih lama, sehingga banyak molekul berat terpecah menjadi molekul ringan karena terjadinya *secondary reaction*. *Secondary reaction* mengakibatkan massa dari minyak pirolisis dengan kadar nitrogen 0% menjadi yang paling ringan karena banyaknya karbon dengan massa molekul ringan yang terkondensasi menjadi minyak pada proses pirolisis dengan kadar nitrogen 0%.

Pada kadar nitrogen 50% terjadi kenaikan massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE bila dibandingkan dengan massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 0%. Kenaikan massa minyak pada proses pirolisis dikarenakan oleh adanya penambahan kadar nitrogen sebesar 50% dari volume reaktor. Dengan ditambahkan nitrogen ke dalam reaktor pirolisis telah meminimalisir terjadinya proses pembakaran dari sebagian plastik menjadi gas CO₂. Selain itu dengan adanya kadar nitrogen dapat mempersingkat waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor. Sehingga mempersingkat waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor. Singkatnya waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor mengakibatkan waktu dekomposisi ikatan karbon dengan massa molekul berat menjadi ikatan karbon dengan massa molekul ringan terjadi lebih singkat, sehingga akan lebih banyak dihasilkan ikatan karbon dengan massa molekul yang lebih berat, sehingga massa minyak yang dihasilkan dengan kadar nitrogen 50% lebih berat dibandingkan dengan massa minyak pada proses pirolisis dengan kadar nitrogen 0%.

Pada kadar nitrogen 75% terjadi kenaikan massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE bila dibandingkan dengan massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 0% dan 50%. Sama halnya dengan yang terjadi pada proses pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 50%, kenaikan massa minyak dikarenakan meningkatnya kadar nitrogen di dalam reaktor selama proses, sehingga waktu tinggal gas pirolisis dan waktu proses dekomposisi ikatan karbon dengan massa molekul berat menjadi ikatan karbon dengan massa molekul ringan terjadi lebih singkat dan menghasilkan massa minyak yang lebih berat.

Pada kadar nitrogen 100% menghasilkan massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE yang paling tinggi dibandingkan volume minyak pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 0%, 50%, 75%. Hal ini dikarenakan pada saat terjadi proses dekomposisi dengan kadar nitrogen 100%, tidak terjadi proses pembakaran pada gas pirolisis yang terdekomposisi di dalam reaktor karena adanya nitrogen sebagai gas inert. Selain itu dengan adanya nitrogen mengakibatkan waktu tinggal yang singkat dari gas pirolisis di dalam reaktor dan mengurangi terjadinya *secondary reaction* pada saat proses pirolisis plastik HDPE, sehingga waktu terjadinya proses pemecahan ikatan karbon dengan massa molekul yang lebih berat menjadi ikatan karbon dengan massa molekul yang lebih ringan menjadi sangat singkat.

Dapat disimpulkan dari grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap massa minyak hasil pirolisis plastik HDPE bahwa semakin tinggi kadar nitrogen dalam proses pirolisis plastik HDPE maka minyak yang dihasilkan juga semakin banyak. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khaghanikavkani E, dkk (2013) dimana selama proses pirolisis dengan kadar nitrogen yang semakin tinggi dapat meminimalisir terjadinya proses pembakaran antara plastik dan oksigen di dalam reaktor. Selain itu dengan adanya kadar nitrogen di dalam proses pirolisis mengakibatkan waktu tinggal gas pirolisis menjadi lebih singkat. Dengan semakin singkatnya waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor maka terjadinya *secondary reaction* akan semakin kecil, sehingga dekomposisi lanjut ikatan karbon dengan massa molekul yang berat menjadi ikatan karbon dengan molekul rendah menjadi lebih singkat pula dan akan menghasilkan lebih banyak karbon dengan massa molekul berat daripada karbon dengan massa molekul ringan.

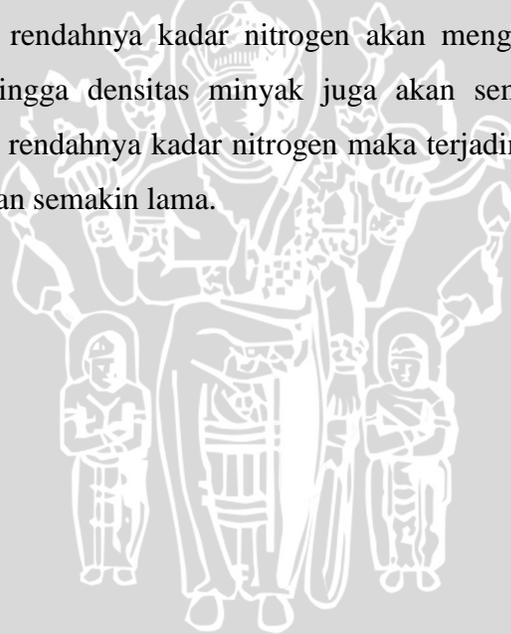
Grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE dengan temperatur pemanasan 600°C selama satu jam dengan massa awal plastik 150 gram. Adapun variasi kadar nitrogen di dalam reaktor pemanas yaitu 0%, 50%, 75%, 100%.

Dari grafik pengaruh kadar nitrogen terhadap densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar nitrogen maka densitas minyak semakin tinggi, karena nitrogen akan meminimalisir terjadinya proses pembakaran pada plastik. Selain itu semakin tingginya kadar nitrogen maka akan mempersingkat *residence time* gas pirolisis di dalam reaktor pirolisis. Singkatnya *residence time* mengakibatkan singkatnya

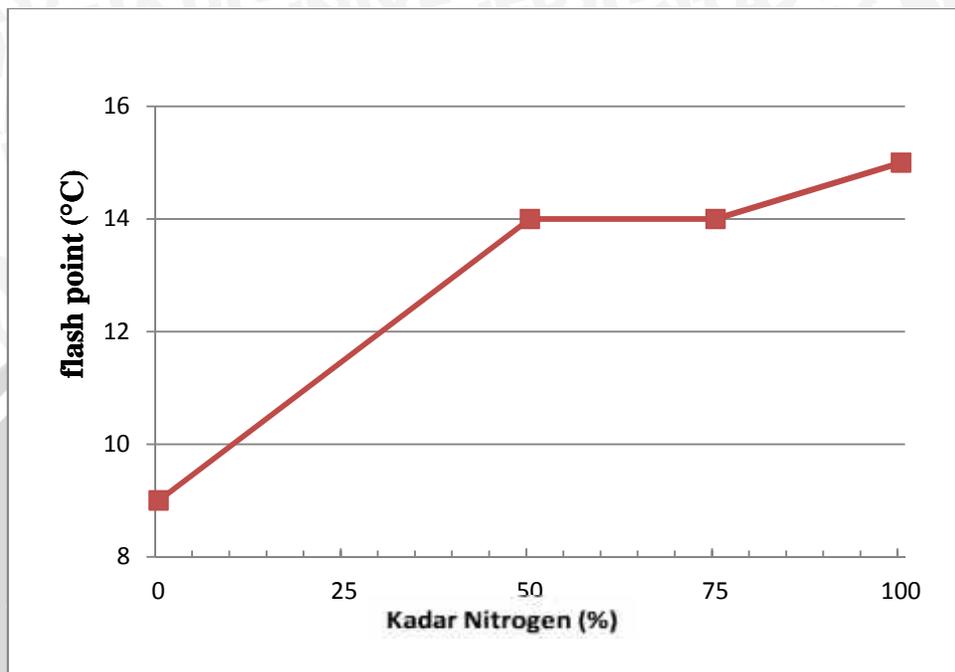
terjadinya *secondary reaction*, sehingga dekomposisi lanjut ikatan karbon rantai panjang menjadi ikatan karbon rantai pendek terjadi lebih singkat pula dan akan menghasilkan lebih banyak karbon rantai panjang daripada karbon rantai pendek. Sehingga pada saat terkondensasi menjadi minyak akan dihasilkan minyak dengan densitas yang lebih tinggi dengan kadar nitrogen yang lebih tinggi pula.

Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar nitrogen maka densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE semakin meningkat. Pada kadar nitrogen 100% memiliki nilai densitas minyak paling tinggi, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya kadar nitrogen di dalam proses pirolisis mengakibatkan waktu tinggal gas pirolisis menjadi lebih singkat. Dengan semakin singkatnya waktu tinggal gas pirolisis di dalam reaktor maka terjadinya *secondary reaction* akan semakin kecil, sehingga akan didapatkan minyak yang memiliki rantai karbon panjang dan nilai densitasnya semakin tinggi

Sedangkan semakin rendahnya kadar nitrogen akan menghasilkan rantai karbon yang semakin rendah, sehingga densitas minyak juga akan semakin rendah. Hal ini disebabkan dengan semakin rendahnya kadar nitrogen maka terjadinya *secondary reaction* di dalam reaktor pirolisis akan semakin lama.



4.3.2 Hubungan Antara Kadar Nitrogen Terhadap Nilai *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis Plastik HDPE



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Nitrogen Terhadap Nilai *Flash Point* Minyak Hasil Pirolisis Plastik HDPE

Grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap nilai *flash point* minyak hasil pirolisis plastik HDPE dengan temperatur pemanasan 600°C selama satu jam dengan massa awal plastik 150 gram. Adapun variasi kadar nitrogen di dalam reaktor pemanas yaitu 0%, 50%, 75%, 100%.

Dari grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap nilai *flash point* minyak pirolisis plastik dapat dilihat semakin tinggi kadar nitrogen pada reaktor pemanas, maka nilai *flash point* minyak yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini dikarenakan selama proses pirolisis dengan kadar nitrogen yang semakin tinggi dapat meminimalisir terjadinya proses pembakaran dan *residence time* gas pirolisis di dalam reaktor menjadi lebih singkat, sehingga terjadinya *secondary reaction* pada saat proses pirolisis berlangsung di dalam reaktor menjadi lebih singkat, sehingga nilai densitas dari minyak pirolisis plastik HDPE menjadi lebih tinggi seperti dijelaskan pada grafik 4.1.

Pada grafik menjelaskan bahwa nilai *flash point* terendah terjadi pada proses pirolisis plastik HDPE dengan kadar nitrogen 0%. Hal ini disebabkan pada minyak hasil

pirolisis dengan kadar nitrogen 0%, pada awal proses akan terjadi proses pembakaran pada plastik dan menghasilkan gas CO₂ yang akan menjadi gas inert untuk mencegah masuknya oksigen ke dalam reaktor dan selanjutnya gas CO₂ akan menghentikan proses pembakaran plastik tersebut. Setelah proses pembakaran berakhir selanjutnya ikatan polimer plastik akan terdekomposisi menjadi ikatan monomer. Tanpa adanya kadar nitrogen mengakibatkan *residence time* gas pirolisis di dalam reaktor menjadi lebih lama, sehingga akan terjadi dekomposisi lebih lanjut dari gas pirolisis di dalam reaktor dan akan banyak dihasilkan ikatan karbon rantai pendek. Sehingga pada saat terkondensasi akan dihasilkan minyak dengan massa molekul rendah dan densitas minyak yang rendah pula. Dengan rendahnya densitas minyak yang dihasilkan, akan menghasilkan titik penguapan yang rendah, sehingga nilai *flash point* atau derajat suhu titik nyala api dari minyak yang akan semakin rendah.

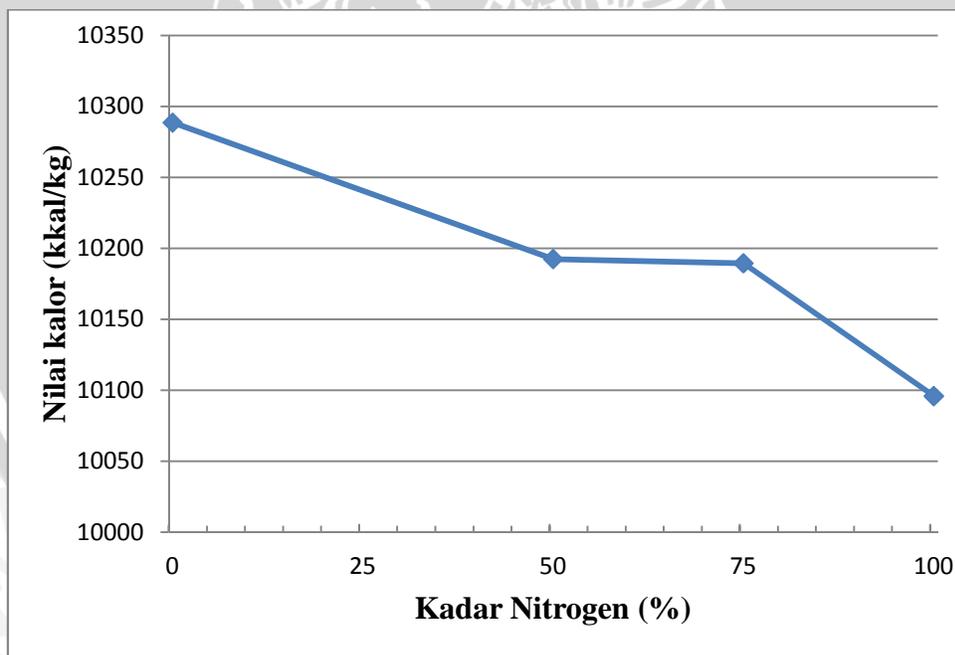
Selanjutnya pada kadar nitrogen 50% dan 75% nilai *flash point* minyak semakin meningkat dibandingkan dengan nilai *flash point* minyak pada kadar nitrogen 0%. Hal ini disebabkan pada awal proses akan terjadi proses pembakaran karena adanya sejumlah oksigen yang terdapat di dalam reaktor. Dan setelah itu terbentuk gas CO₂ sebagai gas inert, sehingga di dalam reaktor terdapat dua jenis gas inert yang akan mencegah oksigen masuk ke dalam reaktor. Setelah reaktor berada dalam kondisi inert, selanjutnya ikatan polimer plastik akan terdekomposisi menjadi ikatan monomer. Dengan meningkatnya kadar nitrogen maka akan mempersingkat *residence time* gas pirolisis di dalam reaktor, sehingga dekomposisi lebih lanjut dari gas pirolisis di dalam reaktor akan lebih singkat, sehingga akan dihasilkan lebih banyak ikatan karbon rantai panjang dibandingkan dengan kadar nitrogen 0%. Sehingga pada saat terkondensasi akan dihasilkan minyak dengan massa molekul lebih berat dan densitas minyak yang lebih besar pula. Dengan besarnya densitas minyak yang dihasilkan, akan menghasilkan titik penguapan yang rendah, sehingga nilai *flash point* atau derajat suhu titik nyala api dari minyak yang akan semakin tinggi daripada kadar nitrogen 0%.

Selanjutnya kadar nitrogen 100% memiliki nilai *flash point* yang paling tinggi. Hal ini disebabkan dengan tingginya kadar nitrogen yang terdapat di dalam reaktor mengakibatkan ikatan polimer plastik langsung terdekomposisi menjadi ikatan monomer. Dengan tingginya kadar nitrogen di dalam reaktor maka akan mempersingkat *residence*

time gas pirolisis di dalam reaktor, sehingga dekomposisi lebih lanjut dari gas pirolisis di dalam reaktor akan lebih singkat, sehingga akan dihasilkan lebih banyak karbon rantai panjang dibandingkan dengan kadar nitrogen 0%, 50%, 75%. Sehingga pada saat terkondensasi akan dihasilkan minyak dengan massa molekul lebih berat dan densitas minyak yang lebih besar pula. Dengan besarnya densitas minyak yang dihasilkan, akan menghasilkan titik penguapan yang rendah, sehingga nilai *flash point* atau derajat suhu titik nyala api dari minyak yang akan semakin tinggi.

Dari grafik bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar nitrogen pada saat proses pirolisis maka nilai *flash point* akan semakin tinggi, karena minyak hasil pirolisis plastik HDPE memiliki nilai densitas yang semakin tinggi seiring dengan tingginya kadar nitrogen pada saat proses pirolisis. Seperti halnya solar yang memiliki densitas lebih rendah dari biodiesel, sehingga nilai *flash point* solar lebih rendah dari biodiesel.

4.3.3 Hubungan Antara Kadar Nitrogen Terhadap Nilai Kalor Minyak Pirolisis Plastik HDPE



Grafik 4.3 Hubungan Antara Kadar Nitrogen Terhadap Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis Plastik HDPE

Grafik hubungan antara kadar nitrogen terhadap nilai nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik HDPE dengan temperatur pemanasan 600°C selama satu jam dengan massa awal plastik 150 gram. Adapun variasi kadar nitrogen di dalam reaktor pemanas yaitu 0%, 50%, 75%, 100%.

Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar nitrogen maka nilai kalor minyak hasil pirolisis plastik HDPE semakin rendah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar nitrogen maka densitas minyak hasil pirolisis plastik HDPE semakin tinggi seperti yang dijelaskan pada grafik 4.3. Semakin tingginya densitas minyak menunjukkan bahwa minyak memiliki banyak kandungan karbon rantai panjang. Hal ini akan mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan, karena dengan lebih banyaknya karbon rantai panjang yang terkandung pada minyak akan menghasilkan nilai kalor yang rendah. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada perbandingan antara dua bahan, yaitu solar dan biodiesel. Bisa dibandingkan bahwa solar yang memiliki densitas lebih rendah dari biodiesel memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan biodiesel.

