

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pupuk

Tanaman membutuhkan nutrisi untuk tumbuh dan berkembang. Ada banyak nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman. Yang terbagi atas *macronutrient* dan *micronutrient*. *Macronutrient* adalah nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang besar. Biasanya konsentrasinya juga tinggi. *Macronutrient* biasa terdiri dari C, H, O, N, P, S, K, Ca, dan Mg. Sedangkan *micronutrient* dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang sedikit. Pada pupuk *macronutrient* sendiri dapat terbagi menjadi *primary nutrient* dan *secondary nutrient*. *Primary nutrient* adalah N, P, dan K. Sedangkan *secondary nutrient* adalah Ca, Mg, dan S. Oleh sebab itu dibutuhkan nutrisi lebih yang dapat didapatkan dari pupuk (Mangel, 2007).

Pupuk adalah suatu senyawa kimia yang menghasilkan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Nutrisi sendiri bagi tanaman sangatlah dibutuhkan untuk pertumbuhan akar, batang, daun, dan buah. Pupuk bertujuan untuk menyediakan nutrisi dalam tanah sehingga tanaman dapat memperoleh nutrisi yang optimal. Nutrisi dalam tanah sering kali mengalami defisiensi akibat pemanenan dan faktor lingkungan. Oleh sebab itu dibutuhkan pupuk agar dalam tanah tersedia nutrisi yang cukup untuk menggantikan nutrisi dalam tanah yang hilang tersebut (Gorecki, 2005).

#### 2.2 Klasifikasi Pupuk

Pupuk dapat terbagi menjadi 2 jenis yaitu pupuk organik dan inorganik

##### 1. Pupuk Organik

Menurut Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) No. 02/Pert/HK.060/2/2006 definisi pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari bahan organik yang berasal dari tanaman dan atau hewan yang telah melalui proses rekayasa, dapat berbentuk padat atau cair yang digunakan untuk mensuplai bahan organik, memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.

Keuntungan pupuk organik adalah harganya lebih murah jika dibandingkan dengan pupuk anorganik, selain itu pupuk organik dapat melepaskan nutrisi secara terkontrol sehingga dapat mengurangi dampak kerusakan pada lingkungan (Lal, 2006).

Selain itu pupuk organik memiliki beberapa kerugian yaitu memiliki nutrisi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pupuk anorganik, dan pada beberapa pupuk biasanya terkandung racun (Lal, 2006).

## 2. Pupuk Anorganik

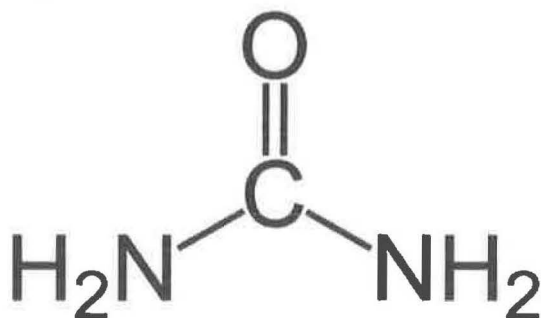
Menurut PP No.8 tahun 2001 Bab 1 Pasal 1 pupuk anorganik adalah pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisik, dan atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuatan pupuk. Jenis pupuk ini lebih mudah dikontrol. Contohnya pupuk urea, pupuk NPK (Sadava, et al., 2007).

Keuntungan pupuk anorganik adalah nutrisi yang terkandung lebih tinggi jika dibandingkan dengan pupuk organik dan pelepasan nutrisinya cepat karena tidak melalui dekomposisi (Morris, et al., 2007).

Sedangkan kerugian yang dimiliki pupuk anorganik adalah harganya lebih mahal dari pupuk organik dan karena pelepasan nutrisinya cepat dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan (Morris, et al., 2007).

### 2.3 Pupuk Urea

Pupuk urea adalah pupuk inorganik yang mengandung nitrogen yang tinggi. Rumus kimia dari urea adalah  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Pupuk urea mengandung 46.6% nitrogen (Kluwer, 1998). Kandungan nitrogen dalam urea tidak dapat semuanya terserap oleh tanaman, 50 % hingga 90 % nitrogen hilang ke lingkungan (James, 2010).



Gambar 2.1 Struktur Urea (Helmenstine, 2014)

Pupuk urea memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan pupuk lainnya yaitu kandungan nitrogennya yang tinggi, dapat menekan biaya, mudah larut dalam air, dan mudah ditangani. Pupuk urea memiliki kandungan N yang tinggi sekitar 45 sampai 46 %. Pupuk urea mudah ditangani karena tidak menimbulkan api maupun ledakan (Mulvaney dan Bremner, 1981). Biaya untuk , pengangkutan, penyimpanan, dan pengiriman murah jika dibandingkan dengan pupuk lain yang hanya mengandung single elemen nitrogen biaya pembuatannya lebih murah (James, 2010).

#### **2.4 Kerusakan Lingkungan yang disebabkan Pemakaian Pupuk yang Berlebihan**

Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan karena penggunaan pupuk yang berlebih dapat mengakibatkan terdapat sisa nutrisi yang tidak terserap oleh tumbuhan. Sisa nutrisi yang tidak terserap oleh tanaman tersebut biasa dapat hilang melalui *leaching*, *run-off*, *denitrification*, dan *ammonia volatilization*. Unsur yang dapat hilang tersebut biasanya adalah nitrogen. Nitrogen dapat menjadi ammonium-N dengan bantuan enzim urease yang terjadi pada tanah. Sedangkan ammonium-N dapat menjadi nitrat oleh mikroba pada tanah. (Defra, 2010).

*Leaching* terjadi ketika nitrat yang berada dalam tanah terbawa ke permukaan akibat tanah yang basah. Hujan menjadi pengaruh nitrat yang dapat terbawa ke permukaan. (Defra, 2010).

*Run-off* terjadi ketika terdapat hujan besar, nitrogen yang berada dalam tanah dapat terbawa keluar ke permukaan yang kemudian menuju ke sungai. (Defra, 2010).

*Denitrifikasi* terjadi ketika pada tanah yang anaerobik yaitu di mana kurangnya oksigen akibat kurangnya irigasi sehingga nitrat dapat hilang ke udara akibat denitrifikasi sabagai gas  $N_2O$  dan  $N_2$ . Biasanya terjadi pada tanah yang basah (Defra, 2010).

*Ammonia volatilization* terjadi ketika *nitrogen loss* sebagai gas ammonia. Biasanya *nitrogen loss* terjadi pada peternakan. *Nitrogen loss* akan terjadi sangat signifikan apabila menggunakan urea jika dibandingkan dengan pupuk lain (Defra, 2010).

#### **2.5 Controlled-Release Fertilizer**

Untuk mencengah nutrisi yang terbuang ke lingkungan yang dapat membuat pencemaran maka dilakukan pengontrolan pada nutrisi dari pupuk agar tidak lepas secara

langsung tetapi berkala sehingga tanamanpun dapat mendapatkan nutrisi yang optimum yang dinamakan *controlled-release fertilizer* (Trenkel, 2007).

*Controlled-release fertilizer* adalah pupuk yang mengandung bahan organik dan sintetik yang mana pelepasan nutrisinya dikontrol sepanjang waktu. Pengontrolan nutrisi tersebut didapatkan dari modifikasi pupuk konvensional seperti menurunkan kelarutan, enkapsulasi, nitrifikasi inhibitor, dll (Detroit, 1988). Karena pupuk anorganik memiliki kekurangan yaitu pelepasan nutrisinya cepat yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan maka perlu dimodifikasi menjadi *controlled-release fertilizer* (Morris, et al., 2007). Pupuk urea memiliki harga yang murah, mudah ditangani, mudah larut dalam air dan memiliki nitrogen yang tinggi sehingga digunakan sebagai bahan *controlled-release fertilizer* (Mulvaney dan Bremner, 1981).

Biasanya *controlled-release fertilizer* merupakan pupuk yang di *coated* atau di enkapsulasi. Karena dengan adanya lapisan tersebut pelepasan nutrisi dalam pupuk dapat lebih terkontrol (Passian, 2013). Penggunaan *controlled-release fertilizer* memiliki beberapa keuntungan yaitu mengurangi racun, dapat menghemat energi, tenaga kerja, serta waktu, dan mengurangi nutrisi yang hilang. *Controlled-release fertilizer* dapat mengurangi racun yang dari ion konsentrasi tinggi yang disebabkan oleh pupuk konvensional yang dapat larut dengan cepat. Selain itu dengan mengontrol pelepasan nutrisi akan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk sehingga tidak perlu dilakukan terus menerus yang dapat menghemat energi, tenaga kerja, dan waktu. Nutrisi yang hilang dapat berkurang dengan menggunakan *controlled-release fertilizer* karena pelepasan nutrisi tersebut dapat terkontrol. Sehingga dapat mengurangi dampak pada lingkungan (Trenkel, 1997).

## 2.6 Klasifikasi *Controlled-Release Fertilizer*

Klasifikasi *Controlled-Release Fertilizer* terbagi menjadi (Azeem et al., 2014) :



**Gambar 2.2** Klasifikasi *Controlled-Release Fertilizer*

*Controlled Release Fertilizer* dalam pembuatannya dapat terbagi menjadi teknik matriks dan teknik enkapsulasi. Pada teknik matriks, pupuk akan dicampurkan dengan material matriks dengan proses pengadukan sehingga pupuk akan tercampur dalam matriks tersebut. Pada metode matriks dapat terbagi menjadi 2 yaitu :

1. Dispersi  
Teknik dispersi adalah teknik pembuatan partikel koloid dan partikel kasar. Pada teknik dispersi dilakukan dengan cara mekanik dengan pengadukan antara campuran dengan medium pendispersinya pada kecepatan tinggi.
2. Ekstruksi  
Teknik ekstruksi adalah teknik pembentukan suatu polimer untuk mendapatkan suatu bentuk dengan menggunakan daya dorong.

Pada metode enkapsulasi pupuk akan dilapisi dengan komponen lain. Material untuk enkapsulasi sangat berpengaruh karena material tersebut yang akan mempengaruhi pelepasan pupuk ke tanah. Material tersebut harus memiliki sifat yang mudah terdegradasi di tanah, tidak menjadi kontaminan, dan memiliki harga yang relative murah bila jika dibandingkan dengan material lainnya (Garcia et al, 1996).

## 2. 7 Adsorpsi

### 2.7.1 Pengertian Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena perpindahan massa akibat interaksi berupa gaya tarik menarik atau interaksi kimia antara molekul gas ataupun cair dengan suatu permukaan padatan yang memiliki pori. Adsorpsi juga digambarkan dengan peningkatan suatu densitas partikel pada permukaan padatan. Adsorpsi terjadi karena adanya proses transfer massa yang diakibatkan oleh *driving force* berupa perbedaan konsentrasi pada bagian permukaan. Proses adsorpsi biasanya banyak digunakan di bidang industri pada proses pemisahan gas, pemurnian cairan dan pada proses pengolahan limbah (Jean et al., 2014).

Adsorbat adalah partikel yang berpindah pada proses adsorpsi, sedangkan zat penyerapnya adalah adsorben. Adsorpsi dapat terjadi karena konsentrasi adsorbat yang lebih tinggi pada fasa *bulk* dibandingkan dengan konsentrasi adsorbat pada permukaan padatan, hal ini menyebabkan terbentuknya *driving force* yang menyebabkan perpindahan massa adsorbat terjadi dari fasa *bulk* ke permukaan adsorben.

Proses adsorpsi berlangsung berdasarkan langkah langkah berikut:

1. Perpindahan adsorbat dari fasa cair ke lapisan terluar adsorben
2. Perpindahan adsorbat dari lapisan terluar adsorben ke bagian permukaan terluar dari lapisan adsorben, hal ini biasa disebut difusi film
3. Perpindahan adsorbat ke bagian dalam adsorben, hal ini biasa disebut difusi pori

### 2.7.2 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi adalah laju penyerapan adsorbat oleh adsorben pada waktu tertentu. Kinetika adsorpsi dapat dilihat dari perubahan konsentrasi zat yang teradsorpsi per satuan waktu. Berikut adalah model model yang menggambarkan kinetika adsorpsi:

#### 2.7.2.1 Model persamaan Pseudo Orde 1

Model persamaan pseudo orde 1 ini merupakan model kinetika adsorpsi yang menggambarkan laju adsorpsi berdasarkan kapasitas adsorpsi. Berikut adalah persamaan diferensial dari pseudo orde 1:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2.1)$$

dengan :

$q_e$  = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (kg/kg)

$q_t$  = kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  (kg/kg)

$k_1$  = konstanta laju adsorpsi pseudo orde 1 (L/s)

Persamaan 2.1 diintegrasikan pada kondisi batas  $t = 0$  dan  $q_t = 0$  sehingga diperoleh persamaan 2.2

$$\log\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = \frac{k_1}{2,303} t \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 diubah menjadi persamaan 2.3

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (2.3)$$

Nilai  $q_e$  dan  $k_1$  dapat diperoleh dengan cara mengalurkan  $\log(q_e - q_t)$  dengan  $t$  sehingga diperoleh slope yang bernilai  $\frac{k_1}{2,303}$  dan intercept berupa  $\log(q_e)$  (Ho,2002).

#### 2.7.2.2 Model persamaan Pseudo Orde 2

Selain persamaan pseudo orde 1, kinetika adsorpsi juga dapat dijelaskan dengan model persamaan pseudo orde 2. Persamaan diferensial pseudo orde 2 ditunjukkan oleh persamaan 2.4.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2.4)$$

dengan :

$q_e$  = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (kg/kg)

$q_t$  = kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  (kg/kg)

$k_2$  = konstanta laju adsorpsi orde 2 (kg/kg.s)

Persamaan diatas diintegrasikan pada kondisi batas  $q_t = 0$  dan  $t = 0$ , lalu disusun kembali sehingga terbentuk persamaan 2.5.

$$\left(\frac{t}{q_t}\right) = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} (t) \quad (2.5)$$

Jika kinetika orde 2 yang berlaku, maka pengaluran  $t \cdot q_t^{-1}$  terhadap  $t$  harus menunjukkan hubungan linier. Nilai  $k_2$  dan keseimbangan kapasitas adsorpsi  $q_e$  dihitung dari *intercept* dan *slope* pengaluran  $t \cdot q_t^{-1}$  terhadap  $t$  (Ho,2002).

### 2.7.2.3 Model Persamaan Elovich

Persamaan elovich merupakan salah satu persamaan yang menunjukan kinetika adsorpsi yang didasarkan kapasitas adsorpsi. Persamaan ini ditunjukkan oleh persamaan 2.6.

$$\frac{dq_t}{dt} = B_E \exp(-A_E q_t) \quad (2.6)$$

dengan :

$B_E$  = laju adsorpsi awal (kg/kg.s)

$A_E$  = konstanta desorpsi (kg/kg)

$q_t$  = kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  (kg/kg)

Persamaan 2.6 diintegrasikan pada kondisi batas  $q_t = 0$  pada  $t = 0$  dan  $q_t = q_t$  pada  $t = t$  sehingga diperoleh persamaan 2.7

$$q_t = \frac{1}{A_E} \ln(B_E A_E) + \frac{1}{A_E} \ln(t) \quad (2.7)$$

Jika adsorpsi sesuai dengan model Elovich, maka pengaluran  $q_t$  terhadap  $\ln(t)$  harus menghasilkan hubungan linear dengan *slope* yang menunjukkan nilai  $A_E^{-1}$  dan *intercept* yang merupakan nilai  $A_E^{-1} \cdot \ln(A_E B_E)$  (Ho,2002).

## 2.8 Model Persamaan Isotherm

Isotherm adsorpsi adalah suatu interaksi yang menunjukan distribusi suatu adsorben dengan fasa teradsorpsinya pada permukaan dan fasa curah adsorben saat kesetimbangan pada waktu tertentu. Ada beberapa model persamaan isotherm untuk adsorpsi yaitu : isotherm Langmuir , isotherm Freundlich dan isotherm BET (Perry, 2008):

### 2.8.1 Isotherm Langmuir

Model persamaan isotherm Langmuir menunjukan pembentukan *monolayer* adsorbat pada permukaan luar adsorben dan setelahnya proses adsorpsi tidak lagi berlangsung. Adsorpsi *monolayer* yang terjadi pada isotherm Langmuir terjadi pada



*homogeneous flat surface*. Karena *homogeneous surface layer* energy adsorpsi konstan pada semua tempat dan juga tidak ada interaksi antar adsorbat.

Pada Langmuir tingkat desorpsi dari permukaan berbanding lurus dengan permukaan fraksional coverage dan juga laju adsorpsi dan desorpsi pada saat kesetimbangan memiliki nilai yang sama. Pada isoterm Langmuir fraksi permukaan yang tertutup oleh molekul yang teradsorpsi adalah  $\theta$ , sedangkan fraksi lowongnya adalah  $(1-\theta)$  (Seader, 2006). Pada saat kesetimbangan persamaan isoterm Langmuir (Besedova et al., 2005) :

$$\theta = \frac{K p}{1+K p} = \frac{q}{q_m} \quad (2.8)$$

Dengan :

$\theta$  = fraksional *surface coverage* (Pa.m)

K = konstanta kesetimbangan adsorpsi (1/Pa)

$q_m$  = total yang teradsorpsi pada *monolayer* (mol/kg)

q = jumlah yang teradsorpsi (mol/kg)

p = tekanan adsorpsi (Pa)

Isoterm Langmuir ini dapat digunakan berdasarkan beberapa asumsi yaitu :

1. Adsorpsi merupakan proses yang *reversibel*;
2. Lapisan teradsorpsi merupakan lapisan *monolayer* (hanya dapat mengikat satu molekul)
3. Molekul yang teradsorpsi tidak bergerak pada permukaan adsorben. Namun ada kemungkinan terjadinya desorpsi;
4. Entalpi adsorpsi sama untuk semua molekul, terlepas dari berapa jumlah molekul yang teradsorpsi

Pada persamaan isoterm dapat digunakan tekanan ataupun konsentrasi. Persamaan 2.8 dapat direkonstruksi menjadi persamaan di bawah ini (Perry, 2008):

$$q_v = \frac{Q_0 K L C_e}{1 + K L C_e} \quad (2.9)$$

dengan :

$C_e$  = konsentrasi kesetimbangan ( $\text{kg/L}^{-1}$ )

$q_v$  = jumlah logam yang teradsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan ( $\text{mg/g}$ ).

$Q_0$  = kapasitas maksimum adsorpsi pada adsorben ( $\text{kg}_{\text{adsorbat}}/\text{kg}_{\text{adsorben}}$ )

KL = konstanta isoterm Langmuir ( $\text{L/kg}$ )

Persamaan 2.9 di atas dapat dilinearisasi untuk mendapatkan konstanta dari persamaan tersebut :

$$\frac{C_e}{q_v} = \frac{1}{Q_0 K_l} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (2.10)$$

### 2.8.2 Isoterm Freundlich

Isoterm freundlich dapat digunakan untuk penyerapan non ideal yang melibatkan penyerapan heterogen dengan *heterogeneous surface*. Persamaan umum isoterm Freundlich dapat dilihat di bawah ini :

$$\theta = K P^{\frac{1}{n}} \quad (2.11)$$

Isoterm freundlich berbeda dengan isotherm Langmuir karena freundlich tidak menunjukkan suatu batas adsorpsi ketika *coverage* cukup untuk mengisi *monolayer* ( $\theta=1$ ). Kekuatan interaksi antara partikel adsorben dengan adsorbat dapat dilihat dari nilai konstanta  $1/n$ .

Pada persamaan isoterm dapat digunakan tekanan ataupun konsentrasi. Model ini menggambarkan proses adsorpsi yang digunakan untuk penyerapan non-ideal dengan penyerapan heterogen. Persamaan 2.11 dapat direkonstruksi menjadi (Perry, 2008).

$$q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.12)$$

dengan :

$K_f$  = konstanta freundlich

$C_e$  = konsentrasi kesetimbangan ( $\text{kg/L}^{-1}$ )

$q_e$  = jumlah logam yang teradsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan ( $\text{mg/g}$ ).

$n$  = parameter dalam persamaan freundlich

Persamaan 2.12 di atas dapat dilinierisasi dalam bentuk logaritmik seperti persamaan 2.13

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.13)$$

### 2.8.3 Isoterm BET

Isoterm BET merupakan aturan untuk adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padatan dan berfungsi sebagai dasar untuk menganalisis pengukuran luas permukaan spesifik dari suatu material. Teori ini merupakan perluasan dari teori Langmuir yang

merupakan teori untuk adsorpsi molekul monolayer, sedangkan adsorpsi multilayer menggunakan hipotesis sebagai berikut (Perry, 2008):

1. Molekul-molekul gas menyerap secara fisik pada solid dalam lapisan tak terbatas
2. Tidak ada interaksi antara setiap lapisan adsorpsi
3. Teori Langmuir dapat diterapkan untuk setiap lapisan.

## 2.9 Pemodelan *Controlled-Released Fertilizer*

Pengujian model dilakukan agar ditemukan korelasi yang sesuai antara model dengan data percobaan. Pada penelitian ini akan memodelkan *controlled release fertilizer*, yaitu proses lepasnya pupuk secara berkala. Air akan masuk ke dalam polimer yang akan menyebabkan terjadinya pembengkakan pada *hydrogel* atau yang dinamakan *swelling* yang kemudian air akan melarutkan pupuk yang berada pada polimer tersebut yang kemudian akan berdifusi keluar. Dikarenakan proses *swelling* berlangsung dengan cepat maka dianggap tidak terjadi perubahan jari – jari. Perubahan jari-jari pada saat air mulai masuk dan menyebabkan pembengkakan sangat cepat sehingga pemodelan dilakukan pada saat jari-jari tersebut mulai konstan. Pada penelitian kali ini akan membandingkan parameter antara model *Homogeneous Surface Diffusion Model* dan isotherm Langmuir dengan model *Homogeneous Surface Diffusion Model* dan isotherm Freundlich dari berbagai variasi pembuatan *Controlled Release Fertilizer*.

### 2.9.1 *Homogeneous Diffusions Model with Fix Boundary*

Pada *Homogeneous Surface Diffusion Model* terjadi perpindahan massa dengan menganggap seluruh ukuran pori homogen. Secara umum persamaan *Homogeneous Diffusion Model* terbagi menjadi perpindahan massa internal dan eksternal.

Perpindahan massa internal adalah :

$$\frac{dq}{dt} = D \left( \frac{d^2q}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dq}{dr} \right) \quad (2.14)$$

Penurunan rumus ini didapatkan dari neraca fluks perpindahan massa.

$$\rho q \Delta V|_{t+\Delta t} - \rho q \Delta V|_t = J_{r,in} 4\pi r^2 \Delta t|_r - J_{r,out} 4\pi r^2 \Delta t|_{r+\Delta r} \quad (2.15)$$

Karena adsorben dianggap berbentuk bola maka

$$\Delta V = 4\pi r^2 \Delta r \quad (2.16)$$

Dengan persamaan fluks perpindahan massa

$$J_r = -\rho D \frac{dq}{dr} \quad (2.17)$$

Dengan mensubstitusikan  $J_r$  ke persamaan 2.14 maka didapatkan

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (2.18)$$

$$q = q_0 \quad \text{pada } t = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial q}{\partial r} = 0 \quad \text{pada } r = 0 \quad (2.20)$$

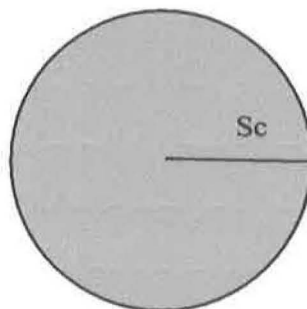
$$D_s A \rho \left( \frac{dq}{dt} \right)_{21} = k_f \frac{A}{V} (C - C_s) \quad \text{pada } r = S_c \quad (2.21)$$

Dimana  $D$  adalah koefisien difusivitas untuk *Homogeneous Surface Diffusion Model*.

Sedangkan untuk perpindahan massa eksternal adalah :

$$V \frac{dC}{dt} = -k_f A (C - C_s) \quad (2.22)$$

$$C = C_0 \quad \text{pada } t = 0 \quad (2.23)$$



**Gambar 2.3** *Homogeneous Surface Diffusion Model*

Pada *Homogeneous Surface Diffusion Model* digunakan asumsi :

1. Perpindahan massa terjadi secara radial
2. Perpindahan massa internal (di dalam *controlled release fertilizer*) hanya dikendalikan oleh difusi permukaan
3. Perpindahan massa eksternal (di luar dari *controlled release fertilizer*) terjadi secara konvektif
4. Partikel adsorben berbentuk bola
5. Terjadi kesetimbangan konsentrasi adsorbat pada *interface*

### 2.9.2 Astarita dan Sarti (1978)

Model Astarita dan Sarti menggambarkan perubahan jari-jari polimer karena difusi *solvent*, model yang dipakai adalah model difusi pada slab. Model ini mengasumsikan terjadi proses pengecilan jari-jari polimer bagian dalam, sedangkan jari-jari polimer pada

bagian permukaan polimer dan *solvent* diasumsikan konstan. Berikut adalah kondisi batas yang digunakan :

$$\frac{\partial U}{\partial T} = D \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} \quad \text{pada } S_1(T) < X < S_2, \quad (2.24)$$

$$U = U_e \quad \text{pada } X = S_2 \quad (2.25)$$

$$U \frac{\partial S_1}{\partial T} = -D \frac{\partial U}{\partial X} \quad \text{pada } X = S_1(T) \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial S}{\partial T} = -k_1(U - U^*)^n \quad \text{pada } X = S_1(T) \quad (2.27)$$

$$S_1(0) = S_2 \quad \text{pada } T = 0 \quad (2.28)$$

Setelah itu Astarita dan Sarti menskala ulang kondisi batas yang mereka akan gunakan dengan cara mengubah persamaan menjadi variabel-variabel tak berdimensi. Berikut adalah variabel-variabel tak berdimensi yang digunakan :

$$u = \frac{U - U^*}{U_e - U^*} \quad (2.29)$$

$$x = \frac{X}{S_2} \quad (2.30)$$

$$s_1(t) = \frac{S_1(t)}{S_2} \quad (2.31)$$

$$t = \frac{TD}{S_2^2} \quad (2.32)$$

$$\lambda = \frac{U^*}{U_e - U^*} \quad (2.33)$$

$$\lambda = \frac{U^*}{U_e - U^*} \quad (2.34)$$

$$\mu = \frac{D}{k_1 S_2} - \frac{1}{[U_e - U^*]^n} \quad (2.35)$$

Persamaan 2.20-2.24 diskala ulang sehingga membentuk persamaan-persamaan berikut ini:

$$\frac{\partial u}{\partial T} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{pada } s_1(t) < x < 1, \quad (2.36)$$

$$u = 1 \quad \text{pada } x = 1 \quad (2.37)$$

$$(u + \lambda) \frac{\partial s_1}{\partial t} = -\frac{\partial u}{\partial x} \quad \text{pada } x = s_1(t) \quad (2.38)$$

$$u^n = -\mu \frac{\partial S}{\partial T} \quad \text{pada } x = s_1(t) \quad (2.39)$$

$$s_1(0) = 1 \quad \text{pada } t = 0 \quad (2.40)$$

Astartarita dan Sarti hanya menyelesaikan persamaan diatas secara analitik tidak secara numerik, berikut hasil yang didapatkan oleh Astartarita dan Sarti :

$$u = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1-x}{2\sqrt{t}}\right) / \operatorname{erf}(m) \quad (2.41)$$

$$s_1(t) = 1 - 2m\sqrt{t} \quad (2.42)$$

$$\text{dengan } \frac{1}{\lambda} = m\sqrt{\pi} \operatorname{erf}(m) e^{m^2}$$

### 2.9.3 Cohen dan Erneux (1988)

Cohen dan Erneux membuat model yang didasari oleh model Astarita dan Sarti tetapi Cohen dan Erneux merubah persamaan *moving boundary* pada jari-jari dalam polimer menjadifix *boundary*. Berikut adalah kondisi batas yang digunakan :

$$\frac{\partial U}{\partial T} = D \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} \quad \text{pada } S_1(T) < X < S_2, \quad (2.43)$$

$$U = U_e \quad \text{pada } X = S_2 \quad (2.44)$$

$$(U + K) \frac{\partial S}{\partial T} = -D \frac{\partial U}{\partial X} \quad \text{pada } X = S_1(T) \quad (2.45)$$

$$\frac{\partial S}{\partial T} = -k_1(U - U^*) \quad \text{pada } X = S_1(T) \quad (2.46)$$

$$S_1(0) = S_2 \quad \text{pada } T = 0 \quad (2.47)$$

Setelah itu Cohen dan Erneux menskala ulang persamaan-persamaan di atas dengan cara mengubahnya menjadi persamaan tak berdimensi menggunakan persamaan-persamaan 2.30 sampai 2.36, tetapi Cohen dan Erneux mengubah sedikit persamaan 2.45 menjadi persamaan beerikut ini:

$$\lambda = \frac{U^* + K}{U_e - U^*} \quad (2.48)$$

Selain menskala ulang persamaan-persamaan di atas Cohen dan Erneux juga mengubah persamaan diatas menjadi persamaan *fixed boundary* menggunakan persamaan di bawah ini :

$$y = \frac{x - s_1(t)}{1 - s_1(t)} \quad (2.49)$$

Persamaan 2.39 sampai 2.43 diubah menjadi persamaan-persamaan berikut:

$$\frac{(1-s_1(t))^2}{\lambda} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{(1-y)(1-s_1(t))}{\lambda} \frac{ds_1(t)}{dt} \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{pada } 0 < y < 1 \quad (2.50)$$

$$u = 1 \quad \text{pada } y = 1 \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{-1}{\lambda} (u + \lambda)(1 - s_1(t)) \frac{ds_1(t)}{dt} \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.52)$$

$$u = -\mu \frac{ds_1(t)}{dt} \quad \text{pada } y = 0 \quad (2.53)$$

$$s_1(0) = 1 \quad \text{pada } t = 0 \quad (2.54)$$

Cohen dan Erneux menyelesaikan persamaan diatas secara analitik dan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$u = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) (1 - x) + O((1 - s_1(t))^2) \quad (2.55)$$

$$s_1(t) = 1 - \frac{1}{\mu} t + \frac{\lambda}{\mu^2} \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) t^2 + O(t^3) \quad (2.56)$$

#### 2.9.4 Korsmeyer et al. (1986)

Korsmeyer et al. mengusulkan sebuah model *swelling* yang memiliki koefisien difusi bergantung dari konsentrasi solventnya. Model yang diusulkan tidak membedakan fasa *glassy* dan fasa *rubbery*, sehingga hanya jari-jari luar polimer saja yang berubah terhadap waktu (*swelling*). Berikut adalah model yang diusulkan Korsmeyer et al. :

$$\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial X} (D_s e^{-\beta s(1 - \frac{U}{U_e})} \frac{\partial U}{\partial X}) \quad \text{pada } 0 < X < S_2(T) \quad (2.57)$$

$$U = U_e \quad \text{pada } X = S_2(T) \quad (2.58)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} = 0 \quad \text{pada } X = 0 \quad (2.59)$$

$$U = 0 \quad \text{pada } T = 0 \quad (2.60)$$

dan

$$\frac{\partial V}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial X} (D_{ds} e^{-\beta d(1 - \frac{U}{U_e})} \frac{\partial V}{\partial X}) \quad \text{pada } 0 < X < S_2(T) \quad (2.61)$$

$$V = 0 \quad \text{pada } X = S_2(T) \quad (2.62)$$

$$\frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad \text{pada } X = 0 \quad (2.63)$$

$$V = V_i \quad \text{pada } T = 0 \quad (2.64)$$

Model Korsmeyer et al. menghubungkan nilai difusi akan bergantung dari konsentrasi *solvent*. Korsmeyer et al. menyelesaikan persamaan tersebut menggunakan *finite different method*.

Pada model Astartarita dan Sarti, Cohen dan Erneux serta Korsmeyer et al diasumsikan tidak terjadi proses adsorpsi pada permukaan polimer dengan *solvent*.

## 2.10 Metode Penyelesaian Model

Dalam menyelesaikan model yang digunakan diperlukan penyelesaian secara numerik karena persamaan pada model yang didapat adalah persamaan diferensial. Pada sub bab berikut akan dibahas mengenai *method of line* dan metode penghampiran.

### 2.10.1 Method of Lines

Metode numerik *method of lines* digunakan untuk memecahkan persamaan difrensial parsial berdasarkan diskretisasi secara bersamaan dan mengintegrasikannya ke semi diskrit. *Method of line* memiliki beberapa kegunaan, yaitu (Sadiku, 1990):

1. Komputasi yang efisien : dengan melakukan semi diskrit maka hasil yang didapat akan lebih akurat
2. Stabilitas numerik: hasil yang didapat akan stabil dan konvergen untuk berbagai masalah PDP
3. Mengurangi waktu komputasi: persamaan yang dihasilkan lebih sedikit

Untuk menerapkan *method of line* biasanya melibatkan lima langkah dasar sebagai berikut (Sadiku, 1990):

1. Membuat partisi dari persamaan yang digunakan.
2. Diskritisasi dari persamaan diferensial kedalam satu koordinat arah.
3. Ubah persamaan menjadi persamaan diferensial biasa.
4. Menentukan kondisi batas.
5. Solusi dari persamaan.

### 2.10.2 Metode Penghampiran

Metode penghampiran dilakukan dengan 3 macam pendekatan yaitu penghampiran maju, mundur dan terpusat. Pada data awal digunakan penghampiran maju sedangkan pada data akhir digunakan penghampiran mundur, pada data selebihnya biasanya digunakan



penghampiran terpusat karena penghampiran ini mendekati suatu nilai berdasarkan nilai yang di depan dan di belakangnya.

Metode penghampiran ini dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu penghampiran turunan pertama dan penghampiran turunan kedua. Persamaan turunan pertama dan kedua ditunjukkan oleh tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 Penghampiran Turunan Pertama (Chapra, 2012)

|        | Penghampira maju   | Penghampiran terpusat   | Penghampiran mundur   |
|--------|--|---|---|
| Orde 1 | $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{x=x_i} = \frac{y(i+1)-y(i)}{h}$           | -   | $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{x=x_i} = \frac{y(i)-y(i-1)}{h}$            |
| Orde 2 | $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{x=x_i} = \frac{-y(i+2)+4y(i+1)-3y(i)}{h}$ | $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{x=x_i} = \frac{y(i+1)-y(i-1)}{2h}$                   | $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{x=x_i} = \frac{-3y(i)-4y(i-1)+y(i-2)}{2h}$ |
| Orde 4 | -  | $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{x=x_i} = \frac{-y(i+2)+8y(i+1)-8y(i-1)+y(i-2)}{12h}$ | -   |

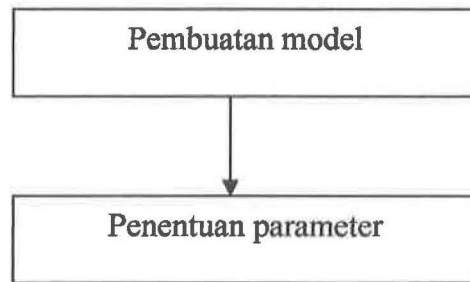
Tabel 2.2 Penghampiran Turunan Kedua (Chapra, 2012)

|        | Penghampira maju   | Penghampiran terpusat  | Penghampiran mundur  |
|--------|--|--|--|
| Orde 1 | $\left[\frac{d^2y}{dx^2}\right]_{x=x_i} = \frac{y(i+2)-2y(i+1)+y(i)}{h^2}$         | -  | $\left[\frac{d^2y}{dx^2}\right]_{x=x_i} = \frac{y(i)-2y(i-1)+y(i-2)}{h^2}$         |
| Orde 2 | $\left[\frac{d^2y}{dx^2}\right]_{x=x_i} = \frac{-y(i+3)+4y(i+2)-5y(i+1)+2y(i)}{h}$ | $\left[\frac{d^2y}{dx^2}\right]_{x=x_i} = \frac{y(i+1)-2y(i)+y(i-1)}{h^2}$                       | $\left[\frac{d^2y}{dx^2}\right]_{x=x_i} = \frac{2y(i)-5y(i-1)+4y(i-2)-y(i-3)}{2h}$ |
| Orde 4 | -  | $\left[\frac{d^2y}{dx^2}\right]_{x=x_i} = \frac{-y(i+2)+16y(i+1)-30y(i)+16y(i-1)-y(i-2)}{12h^2}$ | -  |



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh dari sistem *controlled-release fertilizer* dengan pupuk urea sebagai zat yang akan diserap. Pemodelan dilakukan untuk mengamati kinetika desorpsi pada sistem *controlled-release fertilizer*. Model dengan persamaan matematis akan diselesaikan dengan metode numerik. Tahapan-tahapan penentuan model secara umum dibagi menjadi 2 tahapan, yaitu pembuatan model yang kemudian dilanjutkan dengan penentuan parameter – parameter (estimasi parameter).



**Gambar 3.1** Flowchart Prosedur Pembuatan Model Matematika

#### 3.1 Pembuatan Model dengan *Homogeneous Surface Diffusion Model*

Persamaan *Homogeneous Surface Diffusion Model* yang digunakan adalah :

Perpindahan massa internal

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (3.1)$$

$$q = q_0 \quad \text{pada } t = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial r} = 0 \quad \text{pada } r = 0 \quad (3.3)$$

$$D_s A \rho \left( \frac{dq}{dt} \right)_{21} = k_f \frac{A}{V} (C - C_s) \quad \text{pada } r = S_c \quad (3.4)$$

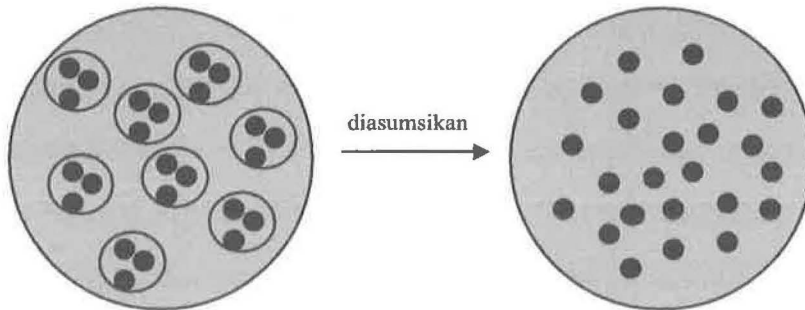
Perpindahan massa eksternal

$$V \frac{dC}{dt} = -k_f A (C - C_s) \quad (3.5)$$

$$C = C_0 \quad \text{pada } t = 0 \quad (3.6)$$

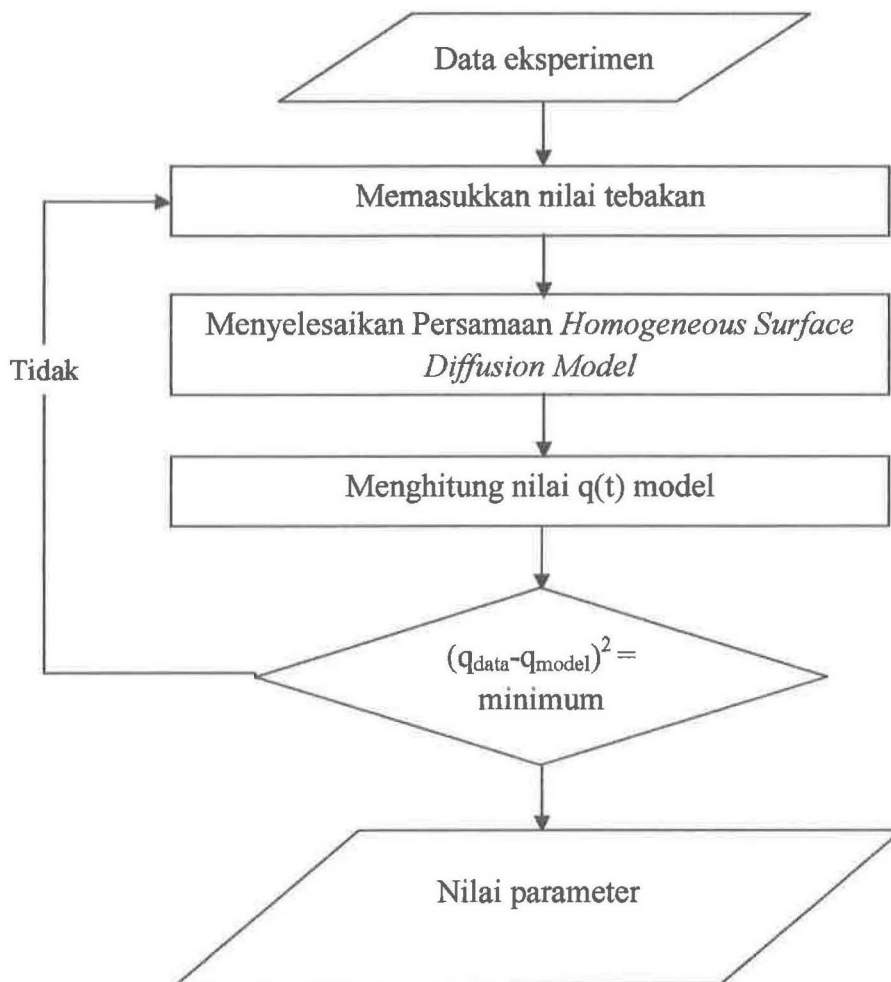
Asumsi yang digunakan adalah:

1. Tidak terjadi perubahan jari-jari karena swelling terjadi sangat cepat
2. Model yang digunakan dianggap homogen karena pupuk urea yang telah terenkapsulasi kemudian dilapisi oleh matriks kopolimer yang juga mengandung urea seperti terlihat gambar di bawah ini :



**Gambar 3.2** Fenomena dalam *Controlled Release Fertilizer*

Pada persamaan ini parameter yang akan dicari adalah  $D_s$ ,  $k_f$ ,  $Q_0$ , dan  $K_L$ . Penentuan Nilai dapat dilihat dari tahapan berikut ini :



**Gambar 3.3** Flowchart Penentuan Nilai Parameter

Langkah – langkah penentuan parameter dengan menggunakan *Homogeneous Surface Diffusion Model* dengan isoterm Langmuir adalah :

1. Mencari data-data fisik yang diperlukan
2. Memasukkan nilai tebakan awal  $D_s$ ,  $k_f$ ,  $Q_0$ , dan  $K_L$
3. Melakukan diskritisasi model tersebut

### 3.1 Model fasa liquid (i=1)

Isoterm Langmuir:

$$V \frac{dC}{dt} = -k_f A (C - C_s) \quad (3.7)$$

$$\frac{dY(1)}{dt} = -k_f \frac{A}{V} \left( Y(1) - \left( \frac{Y(21)}{Q_0 K_L - Y(21) K_L} \right) \right) \quad (3.8)$$

Dengan kondisi awal

$$Y(1)_{(t=0)} = C_0 \quad (3.9)$$

### 3.2 Model CRF (i= 2 – 21)

- a. Untuk di pusat adsorben (i=2)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (3.10)$$

Pada pusat adsorben berlaku

$$r = 0 \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial q}{\partial r} = 0 \quad (3.12)$$

Sehingga

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{0}{0} \right)$$

Untuk menghilangkan 0/0 maka digunakan L'hospital, maka persamaan

(3.10) akan menjadi

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{1} \frac{\partial^2 q}{\partial^2 r} \right) \quad (3.13)$$

Persamaan di atas diubah dengan menggunakan penghampiran maju turunan kedua sehingga menjadi :

$$\frac{dY(2)}{dt} = 3D_s \left( \frac{Y(4) - 2Y(3) + Y(2)}{\Delta r^2} \right) \quad (3.14)$$

*Initial condition* untuk persamaan di atas adalah

$$Y(2)_{(r,t=0)} = q_0 \quad (3.15)$$

b. Untuk  $i=3$  sampai  $i=20$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right) \quad (3.16)$$

Persamaan di atas diubah dengan menggunakan penghampiran terpusat untuk turunan pertama dan kedua, sehingga menjadi

$$\frac{dY(i)}{dt} = D_s \left( \frac{Y(i+1) - 2Y(i) + Y(i-1)}{\Delta r^2} + \frac{Y(i+1) - Y(i-1)}{r \Delta r} \right) \quad (3.17)$$

*Initial condition* yang digunakan

$$Y(i)_{(r,t=0)} = q_0 \quad (3.18)$$

c. Untuk bagian terluar ( $i=21$ )

$$\frac{dY(i)}{dt} = D_s \left( \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} + \frac{2}{r} \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} \right) \quad (3.19)$$

Pada bagian paling luar adsorben, fluks massa yang dilepas oleh adsorben sama dengan fluks massa yang diterima oleh fasa bulk, sehingga

$$D_s A \rho \left( \frac{\partial q}{\partial t} \right)_{21} = k_f \frac{A}{V} (C - C_s) \quad (3.20)$$

$$\left( \frac{\partial q}{\partial t} \right)_{21} = \frac{k_f}{\rho D_s} (C - C_s) \quad (3.21)$$

$$\left( \frac{\partial q}{\partial t} \right)_{21} = \frac{\left( \frac{\partial q}{\partial r} \right)_{21} - \left( \frac{\partial q}{\partial r} \right)_{20}}{\Delta r} \quad (3.22)$$

$$\left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} = \frac{\frac{k_f}{\rho D_s} (C - C_s) - \left( \frac{q_{20} - q_{19}}{\Delta r} \right)}{\Delta r} \quad (3.23)$$

$$\left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} = \frac{\frac{k_f \Delta r}{\rho D_s} (C - C_s) - q_{20} + q_{19}}{\Delta r^2} \quad (3.24)$$

$$\frac{dY(i)}{dt} =$$

$$D_s \left( \frac{\frac{k_f \Delta r}{\rho D_s} \left( Y(1) - \left( \frac{Y(21)}{Q_0 KL - Y(21) KL} \right) \right) - Y(20) + Y(19)}{\Delta r^2} + \frac{2}{r} \frac{k_f}{\rho D_s} \left( Y(1) - \left( \frac{Y(21)}{Q_0 KL - Y(21) KL} \right) \right) \right) \quad (3.25)$$

4. Menghitung nilai  $C_{\text{model}}$
5. Memeriksa akurasi data model terhadap estimasi
6. Nilai parameter  $D_s$ ,  $k_f$ ,  $Q_0$ , dan  $KL$  akan didapat

Langkah – langkah penentuan parameter dengan menggunakan *Homogeneous Surface Diffusion Model* dengan isoterm Freundlich adalah :

1. Mencari data-data fisik yang diperlukan
2. Memasukkan nilai tebakan awal  $k_a$ , dan  $n$
3. Melakukan diskritisasi model tersebut

### 3.1 Model fasa liquid ( $i=1$ )

Isoterm Freundlich:

$$V \frac{dC}{dt} = -k_f A (C - C_s) \quad (3.26)$$

$$\frac{dY(1)}{dt} = -k_f \frac{A}{V} \left( Y(1) - \left( \frac{Y(21)}{k_a} \right)^n \right) \quad (3.27)$$

Dengan kondisi awal

$$Y(1)_{(t=0)} = C_0 \quad (3.28)$$

### 3.2 Model CRF ( $i= 2 - 21$ )

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (3.29)$$

Pada pusat adsorben berlaku

$$r = 0 \quad (3.30)$$

$$\frac{\partial q}{\partial r} = 0 \quad (3.31)$$

Sehingga

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{0}{0} \right)$$

Untuk menghilangkan 0/0 maka digunakan L'hospital, maka persamaan

(3.29) akan menjadi

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{1} \frac{\partial^2 q}{\partial^2 r} \right) \quad (3.32)$$

Persamaan di atas diubah dengan menggunakan penghampiran maju turunan kedua sehingga menjadi :

$$\frac{dY(2)}{dt} = 3D_s \left( \frac{Y(4) - 2Y(3) + Y(2)}{\Delta r^2} \right) \quad (3.33)$$

*Initial condition* untuk persamaan di atas adalah

$$Y(2)_{(r,t=0)} = q_0 \quad (3.34)$$

#### a. Untuk $i=3$ sampai $i=20$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D_s \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial^2 q}{\partial^2 r} \right) \quad (3.35)$$

Persamaan di atas diubah dengan menggunakan penghampiran terpusat untuk turunan pertama dan kedua, sehingga menjadi

$$\frac{dY(i)}{dt} = D_s \left( \frac{Y(i+1) - 2Y(i) + Y(i-1)}{\Delta r^2} + \frac{Y(i+1) - Y(i-1)}{r \Delta r} \right) \quad (3.36)$$

*Initial condition* yang digunakan

$$Y(i)_{(r,t=0)} = q_0 \quad (3.37)$$

b. Untuk bagian terluar ( $i=21$ )

$$\frac{dY(i)}{dt} = D_s \left( \left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} + \frac{2}{r} \left( \frac{\partial^2 q}{\partial^2 r} \right)_{21} \right) \quad (3.38)$$

Pada bagian paling luar adsorben, fluks massa yang dilepas oleh adsorben sama dengan fluks massa yang diterima oleh fasa bulk, sehingga

$$D_s A \rho \left( \frac{\partial q}{\partial t} \right)_{21} = k_f \frac{A}{V} (C - C_s) \quad (3.39)$$

$$\left( \frac{\partial q}{\partial t} \right)_{21} = \frac{k_f}{\rho D_s} (C - C_s) \quad (3.40)$$

$$\left( \frac{\partial q}{\partial t} \right)_{21} = \frac{\left( \frac{\partial q}{\partial r} \right)_{21} - \left( \frac{\partial q}{\partial r} \right)_{20}}{\Delta r} \quad (3.41)$$

$$\left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} = \frac{\frac{k_f}{\rho D_s} (C - C_s) - \left( \frac{q_{20} - q_{19}}{\Delta r} \right)}{\Delta r} \quad (3.42)$$

$$\left( \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} \right)_{21} = \frac{\frac{k_f \Delta r}{\rho D_s} (C - C_s) - q_{20} + q_{19}}{\Delta r^2} \quad (3.43)$$

$$\frac{dY(i)}{dt} =$$

$$D_s \left( \frac{\frac{k_f \Delta r}{\rho D_s} \left( Y(1) - \left( \frac{Y(21)}{ka} \right)^n \right) - Y(20) + Y(19)}{\Delta r^2} + \frac{2}{r} \frac{k_f}{\rho D_s} \left( Y(1) - \left( \frac{Y(21)}{ka} \right)^n \right) \right) \quad (3.44)$$

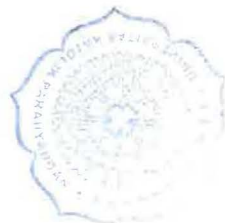
4. Menghitung nilai  $C_{\text{model}}$
5. Memeriksa akurasi data model terhadap estimasi
6. Nilai parameter  $K_a$ , dan  $n$  akan didapat

### 3.2 Jadwal Kerja

Penelitian dilakukan di Laboratorium komputasi yang berlokasi di gedung 8, fakultas teknologi industri, jurusan teknik kimia, Universitas Katolik Parahyangan, jalan Ciumbeleit no 94. Penelitian ini di lakukan kurang lebih berlangsung selama 5 bulan yang



dimulai pada bulan Januari 2016 sampai dengan Januari 2017. Tabel jadwal kerja penelitian disajikan pada Tabel 3.1.



**Tabel 3.1 Jadwal Kerja Penelitian**

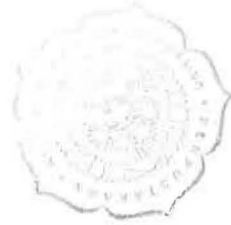
| No | Kegiatan                   | Januari |   |   |   | Februari |   |   |   | Maret |   |   |   | April |   |   |   | Mei |   |   |   |
|----|----------------------------|---------|---|---|---|----------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-----|---|---|---|
|    |                            | 1       | 2 | 3 | 4 | 1        | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1     | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 | 4 |
| 1  | Perancangan Model          |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |
| 2  | Estimasi Parameter         |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |
| 3  | Analisa Akurasi            |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |
| 4  | Pembahasan Hasil Laporan   |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |
| 5  | Penyelesaian Akhir Laporan |         |   |   |   |          |   |   |   |       |   |   |   |       |   |   |   |     |   |   |   |

**Tabel 3.1 Jadwal Kerja Penelitian**

| No | Kegiatan                      | Juni |   |   |   | Juli |   |   |   | Agustus |   |   |   | September |   |   |   | Oktober |   |   |   |
|----|-------------------------------|------|---|---|---|------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|---------|---|---|---|
|    |                               | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 | 1         | 2 | 3 | 4 | 1       | 2 | 3 | 4 |
| 1  | Perancangan Model             |      |   |   |   |      |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |         |   |   |   |
| 2  | Estimasi Parameter            |      |   |   |   |      |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |         |   |   |   |
| 3  | Analisa Akurasi               |      |   |   |   |      |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |         |   |   |   |
| 4  | Pembahasan Hasil<br>Laporan   |      |   |   |   |      |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |         |   |   |   |
| 5  | Penyelesaian Akhir<br>Laporan |      |   |   |   |      |   |   |   |         |   |   |   |           |   |   |   |         |   |   |   |



## BAB IV PEMBAHASAN



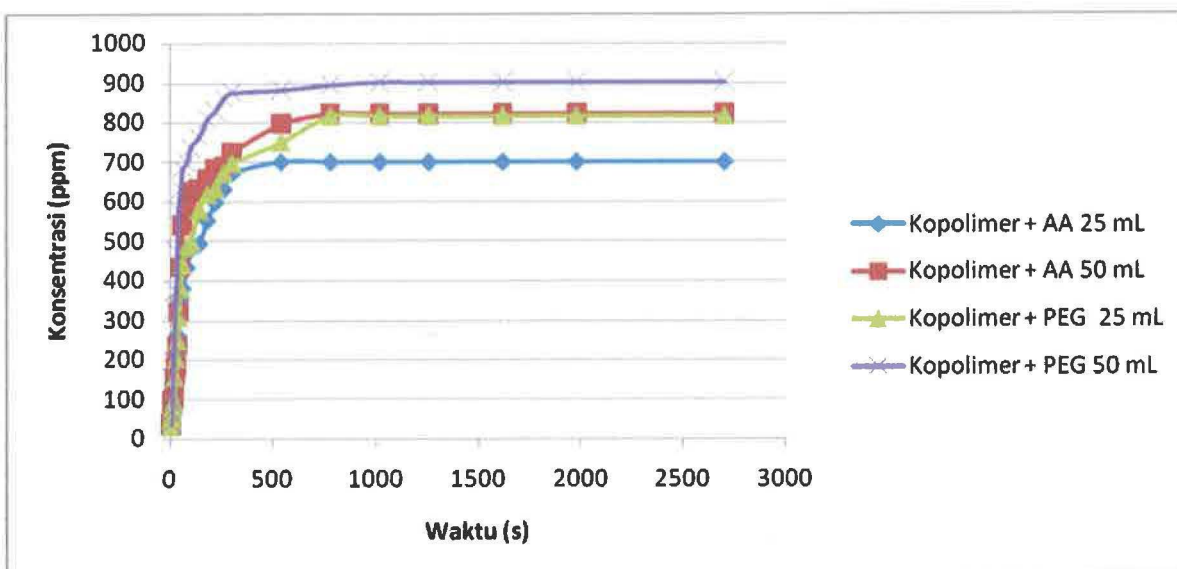
### 4.1 Data Eksperimen

Pada penelitian ini digunakan data eksperimen dari penelitian pembuatan *controlled release fertilizer* yang berjudul *Sintesa Controlled Release Fertilizer Melalui Metode Enkapsulasi dengan Polietilen Glikol, Ahidrida Asetat, dan Kopolimer Pati Ganyong* oleh Cindy dan Stella Hardja. Pada penelitian tersebut Controlled Release Fertilizer dibuat dengan metode enkapsulasi. Pada proses enkapsulasi tersebut dilakukan 2 tahapan yaitu yang pertama dilakukan pelapisan pupuk dengan menggunakan pati-polietilen glikol dan pati-anhidrida asetat. Yang kedua dilakukan pelapisan pupuk menggunakan kopolimer pati yang telah *digrafting*. Pada pelapisan pertama dilakukan dengan variasi volume pelapisan dengan 25 mL dan 50 mL. Sedangkan pada pelapisan kedua dilakukan variasi teknik pembuatan maktriks kopolimernya yaitu dengan metode ekstruksi dan dispersi. Berikut data yang dihasilkan dari penelitian tersebut

**Tabel 4.1** Data Eksperimen Variasi Dispersi

| t<br>(menit) | Kopolimer +<br>AA 25 ml | Kopolimer +<br>AA 50 ml | Kopolimer +<br>PEG 25 ml | Kopolimer +<br>PEG 50 ml |
|--------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|              | C urea (ppm)            | C urea (ppm)            | C urea (ppm)             | C urea (ppm)             |
| 2            | 32.6310                 | 35.2652                 | 32.6310                  | 38.5580                  |
| 4            | 37.2405                 | 41.1922                 | 49.7533                  | 66.8756                  |
| 6            | 55.6785                 | 61.6072                 | 58.3145                  | 91.9005                  |
| 8            | 72.7995                 | 87.2907                 | 69.5098                  | 105.0715                 |
| 10           | 81.3600                 | 96.5104                 | 81.3637                  | 157.7555                 |
| 14           | 87.2865                 | 98.4860                 | 87.2907                  | 197.2685                 |
| 18           | 92.5545                 | 131.4135                | 97.8275                  | 236.7815                 |
| 22           | 118.2360                | 157.7555                | 157.7555                 | 330.2956                 |
| 28           | 217.0110                | 184.0975                | 203.8540                 | 375.0770                 |
| 34           | 263.1060                | 236.7815                | 249.9525                 | 473.8595                 |
| 40           | 309.2010                | 322.3930                | 309.2220                 | 579.2275                 |

|      |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 50   | 355.2960 | 434.3465 | 381.6625 | 631.9115 |
| 60   | 381.6360 | 539.7145 | 440.9320 | 684.5955 |
| 80   | 434.3160 | 579.2275 | 487.0305 | 697.7665 |
| 100  | 480.4110 | 625.3260 | 500.2015 | 737.2795 |
| 140  | 493.5810 | 631.9115 | 579.2275 | 763.6215 |
| 180  | 552.8460 | 658.2535 | 618.7405 | 809.7200 |
| 220  | 598.9410 | 684.5955 | 631.9115 | 829.4765 |
| 260  | 631.8660 | 691.1810 | 671.4245 | 862.4040 |
| 300  | 671.3760 | 724.1085 | 697.7665 | 875.5750 |
| 540  | 700.5660 | 796.5490 | 750.4505 | 882.1605 |
| 780  | 700.5660 | 822.8910 | 816.3055 | 895.3315 |
| 1020 | 700.5660 | 822.8910 | 816.3055 | 902.2547 |
| 1260 | 700.5660 | 822.8910 | 816.3055 | 902.2547 |
| 1620 | 700.5660 | 822.8910 | 816.3055 | 902.2547 |
| 1980 | 700.5660 | 822.8910 | 816.3055 | 902.2547 |
| 2700 | 700.5660 | 822.8910 | 816.3055 | 902.2547 |

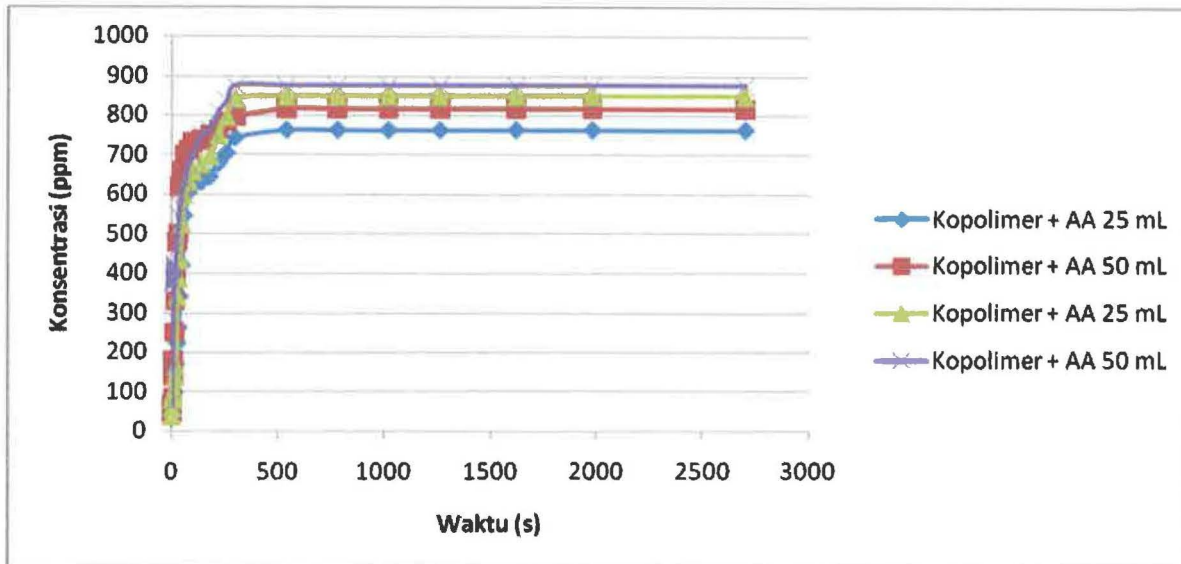


**Gambar 4.1** Grafik Waktu vs Konsentrasi (C) Metode Dispersi

**Tabel 4.2** Data Eksperimen Variasi Ekstruksi

| t(menit) | Kopolimer +<br>AA 25 ml | Kopolimer +<br>AA 50 ml | Kopolimer +<br>PEG 25 ml | Kopolimer +<br>PEG 50 ml |
|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|          | C urea (ppm)            | C urea (ppm)            | C urea (ppm)             | C urea (ppm)             |
| 2        | 32.6310                 | 47.1191                 | 38.5580                  | 65.5585                  |
| 4        | 38.5575                 | 64.2414                 | 61.6072                  | 157.7555                 |
| 6        | 53.0445                 | 84.6565                 | 81.3637                  | 170.9265                 |
| 8        | 90.5790                 | 137.9990                | 90.5834                  | 282.8800                 |
| 10       | 93.2130                 | 177.5120                | 95.1933                  | 335.5640                 |
| 14       | 98.4810                 | 249.9525                | 105.0715                 | 375.0770                 |
| 18       | 124.8210                | 328.9785                | 137.9990                 | 421.1755                 |
| 22       | 170.9160                | 401.4190                | 164.3410                 | 460.6885                 |
| 28       | 223.5960                | 480.4450                | 342.1495                 | 500.2015                 |
| 34       | 263.1060                | 500.2015                | 388.2480                 | 546.3000                 |
| 40       | 342.1260                | 618.7405                | 434.3465                 | 572.6420                 |
| 50       | 421.1460                | 658.2535                | 526.5435                 | 612.1550                 |
| 60       | 546.2610                | 697.7665                | 598.9840                 | 631.9115                 |
| 80       | 605.5260                | 710.9375                | 631.9115                 | 678.0100                 |
| 100      | 618.6960                | 730.6940                | 658.2535                 | 697.7665                 |
| 140      | 631.8660                | 737.2795                | 678.0100                 | 750.4505                 |
| 180      | 645.0360                | 750.4505                | 697.7665                 | 763.6215                 |
| 220      | 677.9610                | 763.6215                | 750.4505                 | 809.7200                 |
| 260      | 704.3010                | 783.3780                | 796.5490                 | 836.0620                 |
| 300      | 743.8110                | 796.5490                | 842.6475                 | 875.5750                 |
| 540      | 763.5660                | 816.7200                | 849.2330                 | 875.5750                 |
| 780      | 763.5660                | 816.7200                | 849.2330                 | 875.5750                 |
| 1020     | 763.5660                | 816.7200                | 849.2330                 | 875.5750                 |
| 1260     | 763.5660                | 816.7200                | 849.2330                 | 875.5750                 |
| 1620     | 763.5660                | 816.7200                | 849.2330                 | 875.5750                 |

|      |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1980 | 763.5660 | 816.7200 | 849.2330 | 875.5750 |
| 2700 | 763.5660 | 816.7200 | 849.2330 | 875.5750 |



**Gambar 4.2** Grafik Waktu vs Konsentrasi (C) Metode Dispersi

Berdasarkan data penelitian diatas didapatkan beberapa hasil, yaitu saat konsentrasi pelapis lebih besar pupuk yang lepas lebih banyak, polietilen glikol dapat melepas pupuk lebih banyak, dan metode dispersi memberikan laju pelepasan pupuk yang lebih lambat.

#### 4.2 Penentuan Model Persamaan

Model yang digunakan dibagi menjadi 2 yaitu model untuk perpindahan massa internal (dalam pupuk) dan model untuk perpindahan massa eksternal (pada fasa bulk). Untuk perpindahan massa yang terjadi di padatan digunakan model sebagai berikut :

$$\frac{dq}{dr} = D_s \left( \frac{d^2q}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dq}{dr} \right) \quad (4.1)$$

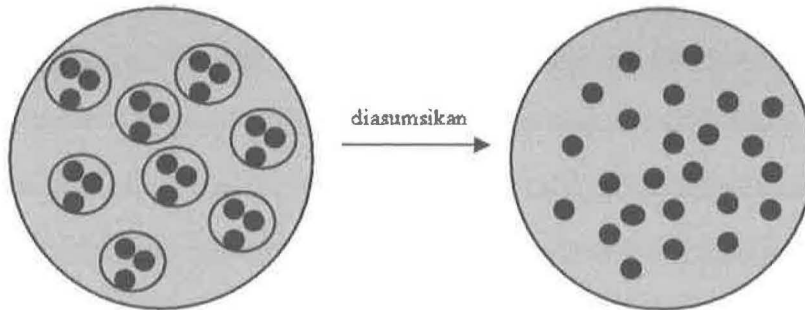
Untuk perpindahan massa di fassa bulk digunakan model sebagai berikut :

$$V \frac{dc}{dt} = -k_f A (C - C_s) \quad (4.2)$$

Pada pemodelan ini digunakan asumsi bahwa pupuk tersebar merata disemua bagian *controlled release fertilizer*. Penelitian dilakukan dengan asumsi tidak terjadi swelling, dikarenakan waktu swelling yang cepat sehingga swelling dapat diabaikan.



Selain itu digunakan asumsi pada loading maksimum dari controlled released fertilizer sebesar 1,2 kali lebih besar daripada konsentrasi saat kesetimbangan. Asumsi dilakukan karena tidak adanya data loading maksimum pada percobaan. Sedangkan asumsi sebesar 1,2 lebih besar dari konsentrasi kesetimbangan diambil berdasarkan data penelitian yang berjudul *Model Kinetika Pelepasan Pupuk Urea dari Controlled Released Fertilizer Berbasis Pati* oleh Kennedy.



**Gambar 4.3** Fenomena dalam *Controlled Release Fertilizer*

#### 4.3 Persamaan Isoterm Langmuir

Parameter parameter penting dalam penyusunan model difusi menggunakan persamaan isotherm Langmuir adalah  $D_s$ ,  $k_f$ ,  $Q_0$  dan  $K_l$ .

$D_s$  merupakan koefisien difusivitas pupuk urea dalam pori kopolimer yang menggambarkan perpindahan massa dari bagian dalam kopolimer menuju bagian terluar kopolimer. Besar koefisien difusivitas ini dapat tergantung dari beberapa faktor yaitu difusivitas zat dalam media air, porositas kopolimer, constrictivity dan tortuosity. Hubungan koefisien difusivitas dan faktor faktor diatas dihubungkan oleh persamaan 4.3

$$D_s = \frac{D \cdot \epsilon \cdot \delta}{\tau}$$

Dimana nilai  $D$  merupakan koefisien difusi fluida dalam pori. Untuk jenis fluida yang berbeda nilai  $D$  akan bervariasi. Semakin besar nilai  $D$  maka perpindahan massa yang terjadi akan semakin besar. Porosity ( $\epsilon$ ) adalah suatu bilangan tak berdimensi yang menunjukkan ruang kosong yang terdapat dalam matriks. Semakin banyak pori pada suatu matriks adsorben maka nilai porositynya juga akan semakin besar. Constrictivity atau  $\delta$  adalah perbandingan antara diameter partikel yang berdifusi terhadap diameter pori. Semakin besar nilai constrictivity maka ukuran diameter partikel akan semakin besar atau diameter porinya semakin kecil. Nilai constrictivity dinilai dari keseluruhan pori yang terdapat dalam suatu matriks. Tortuosity atau  $\tau$  adalah susunan pori dalam adsorben. Nilai

tortuosity merupakan perbandingan antara panjang suatu lekukan pori terhadap jarak antara kedua ujung lekukan, semakin besar nilai tortuosity maka akan semakin rumit bentuk pori dalam matriks (Kennedy, 2015).

Pada percobaan ini fluida yang digunakan adalah larutan urea sehingga nilai  $D$  akan menjadi konstan. Sedangkan nilai porosity ( $\epsilon$ ), conductivity ( $\delta$ ) dan tortuosity ( $\tau$ ) akan berbeda karena terdapat variasi jenis coating dan konsentrasi coating.

$K_f$  merupakan konstanta perpindahan massa atau difusivitas pada lapisan film. Perpindahan massa pupuk urea terjadi dari bagian luar kopolimer menuju fasa bulk/cair.

$Q_0$  dan  $K_L$  merupakan konstanta pada persamaan isotherm Langmuir.  $Q_0$  merupakan kapasitas maksimum adsorbat (pupuk urea) dan  $K_L$  merupakan konstanta Langmuir. Kedua parameter ini dapat diperoleh dari persamaan isotherm adsorpsi Langmuir, namun untuk mempermudah hitungan maka penentuan nilai parameter tersebut dilakukan bersamaan dengan parameter lainnya. Untuk kedua parameter isotherm Langmuir ini memiliki nilai yang tetap pada suatu adsorben yang tetap.

#### 4.3.1 Pengaruh Variasi Jenis Coating dan Konsentrasi Coating Serta Teknik Pembuatan pada Parameter $D_s$ , $K_f$ , $Q_0$ dan $K_L$

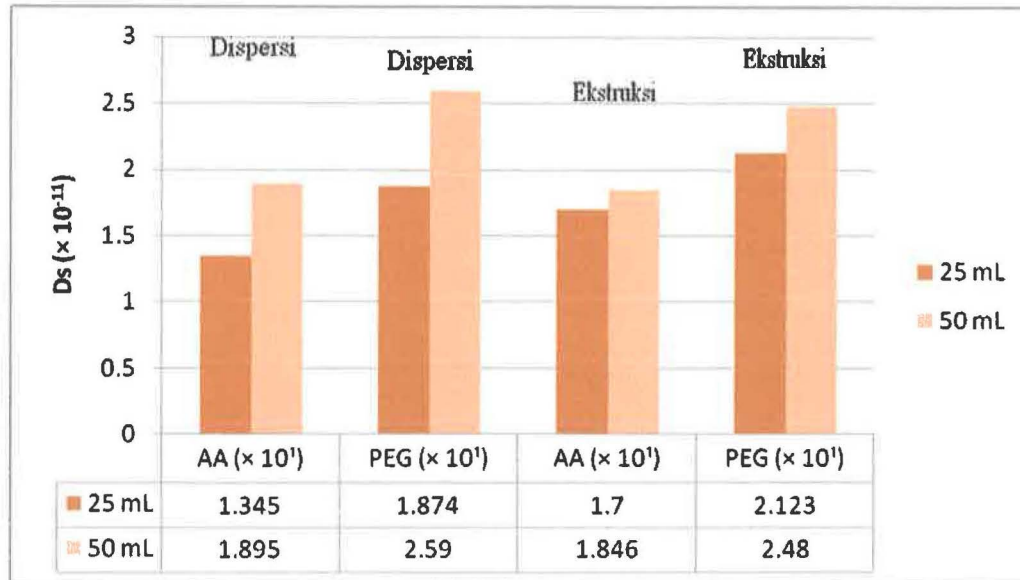
Pada penelitian *Sintesa controlled release fertilizer melalui metode enkapsulasi dengan polietilen glikol, anhidrida asetat dan kopolimer pati ganyong* dilakukan variasi jenis coating yaitu anhidrida asetat dan polietilen glikol dengan konsentrasi masing masing sebesar 25 mL dan 50 mL.

**Tabel 4.3** Hasil nilai parameter isotherm Langmuir

| Nilai Parameter |     |       | $D_s$<br>( $\times 10^{-11}$ ) | $k_f$<br>( $\times 10^{-6}$ ) | $Q_0$<br>( $\times 10^3$ ) | $K_L$<br>( $\times 10^{-4}$ ) | $R^2$<br>( $\times 10^{-1}$ ) |
|-----------------|-----|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Dispersi        | AA  | 25 mL | 8.799                          | 7.957                         | 3.466                      | 4.758                         | 9.887                         |
|                 |     | 50 mL | 9.012                          | 8.599                         | 5.972                      | 2.506                         | 9.841                         |
|                 | PEG | 25 mL | 6.889                          | 6.468                         | 3.507                      | 5.308                         | 9.839                         |
|                 |     | 50 mL | 7.246                          | 13.81                         | 3.921                      | 4.173                         | 9.888                         |
| Ekstruksi       | AA  | 25 mL | 4.124                          | 9.863                         | 1.789                      | 14.76                         | 9.849                         |

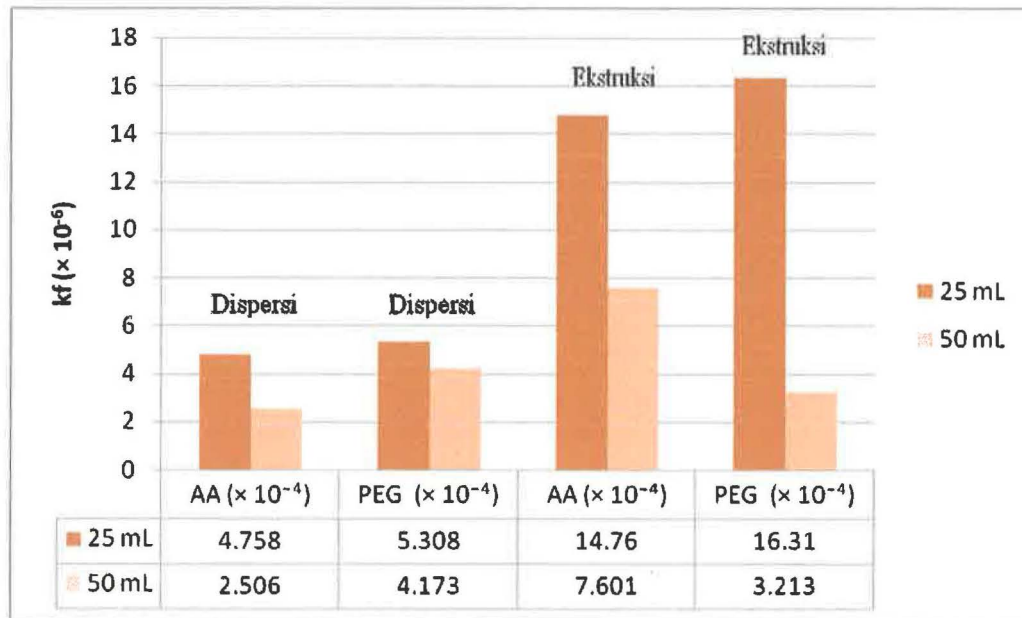
|  |     |       |       |       |       |       |       |
|--|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  |     | 50 mL | 7.825 | 19.45 | 2.577 | 7.601 | 9.889 |
|  | PEG | 25 mL | 5.589 | 10.39 | 1.822 | 16.31 | 9.803 |
|  |     | 50 mL | 6.915 | 20.08 | 4.827 | 3.213 | 9.505 |

#### 4.3.2 Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Terhadap Nilai $D_s$ , $k_f$ , $Q_0$ , dan $KL$



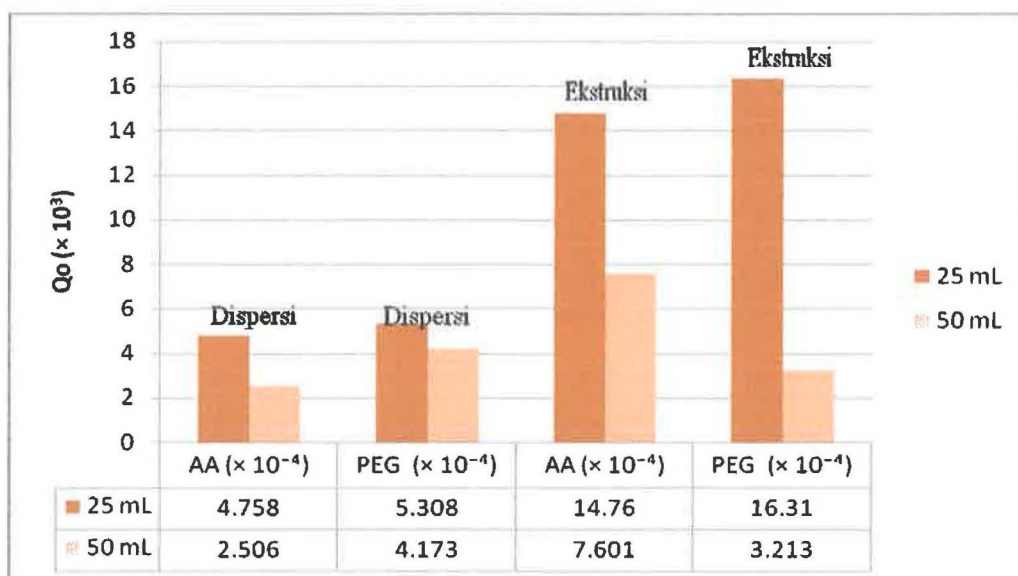
**Gambar 4.4** Grafik  $D_s$  isotherm Langmuir

Dari data di atas terlihat bahwa semakin besar konsentrasi pelapis maka nilai  $D_s$  semakin besar, hal tersebut menunjukkan bahwa pelepasan pupuk pada pelapis dengan konsentrasi 50 mL lebih cepat. Hal tersebut tidak sesuai dengan teori yang seharusnya semakin besar pelapis akan membuat pupuk yang dilepaskan lebih lama. Ketidaksesuaian hal tersebut dikarenakan polietilen glikol maupun anhidrida asetat memiliki kemampuan menyerap air. Semakin banyak air yang terserap maka semakin banyak pupuk yang dilarutkan dan dilepaskan sehingga pelepasan pupuk pada konsentrasi pelapis 50 mL lebih cepat.



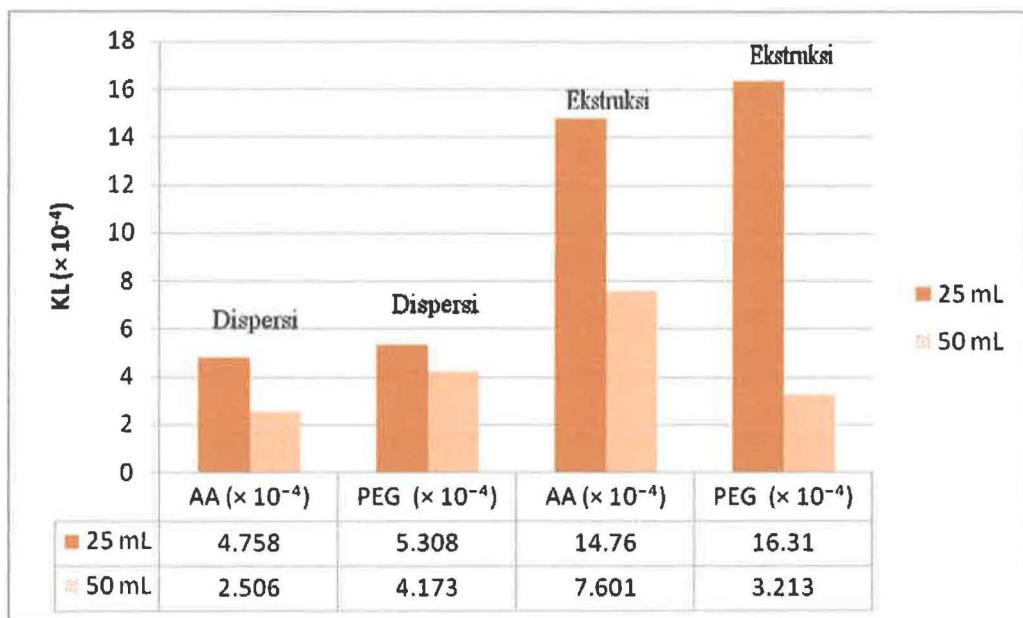
**Gambar 4.5** Grafik kf isoterm Langmuir

Dari data di atas terlihat bahwa semakin besar konsentrasi pelapis maka nilai kf semakin besar, hal tersebut juga sama dengan nilai  $D_s$  tidak sesuai dengan teori. Seharusnya konsentrasi pelapis yang semakin besar akan semakin menghambat keluarnya pupuk urea. Pelapis yang seharusnya menghambat keluarnya pupuk urea, disini justru menyerap air sehingga semakin besar konsentrasi pelapis justru semakin besar penyerapan airnya. Penyerapan air yang lebih banyak menyebabkan semakin banyak pupuk yang larut sehingga banyak pupuk yang terbawa keluar.



**Gambar 4.6** Grafik  $Q_o$  isoterm Langmuir

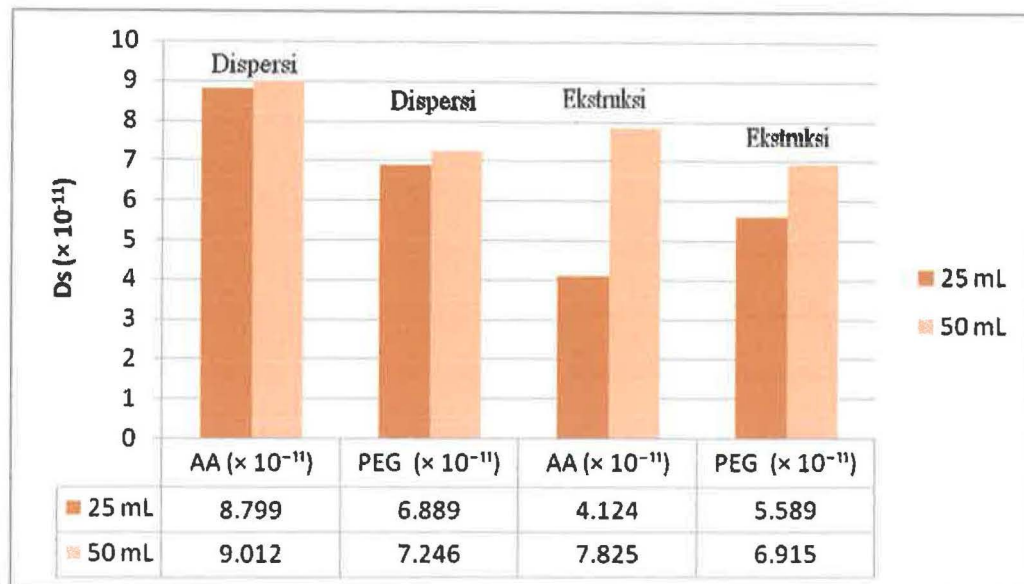
Dari data eksperimen tersebut terlihat bahwa nilai  $Q_0$  lebih besar pada konsentrasi pelapis 50 mL. Nilai  $Q_0$  yang lebih besar tersebut menunjukkan bahwa pada pelapis dengan konsentrasi 50 mL memiliki kapasitas yang lebih besar. Seharusnya kapasitas pupuk tetap sama karena yang dilakukan penambahan hanya pelapisnya saja. Hal tersebut dikarenakan jumlah pupuk urea dalam granul dapat berbeda-beda karena jumlah pupuk urea pada saat proses pelapisan dengan teknik dispersi ataupun ekstruksi tidak dapat ditentukan berapa banyak urea yang terlapisi.



**Gambar 4.7** Grafik KL isoterm Langmuir

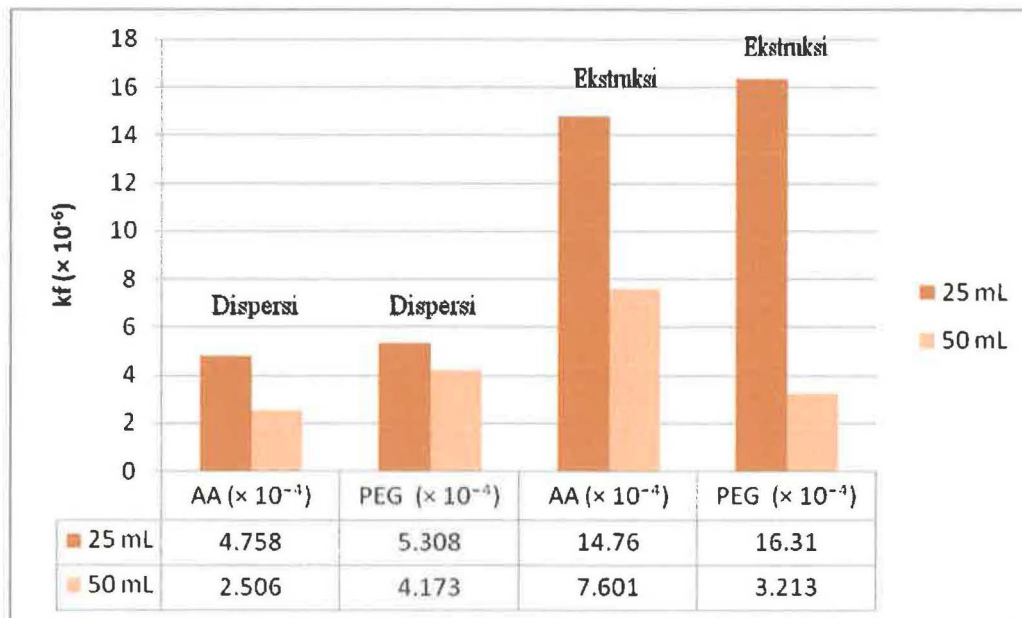
Dari grafik tersebut dapat terlihat semakin kecil konsentrasi pelapis maka nilai KL nya semakin besar. Dan semakin besar konsentrasi pelapisnya maka semakin kecil nilai KL nya.

### 4.3.3 Pengaruh Jenis *Coating* Terhadap Nilai $D_s$ , $k_f$ , $Q_0$ , dan $KL$



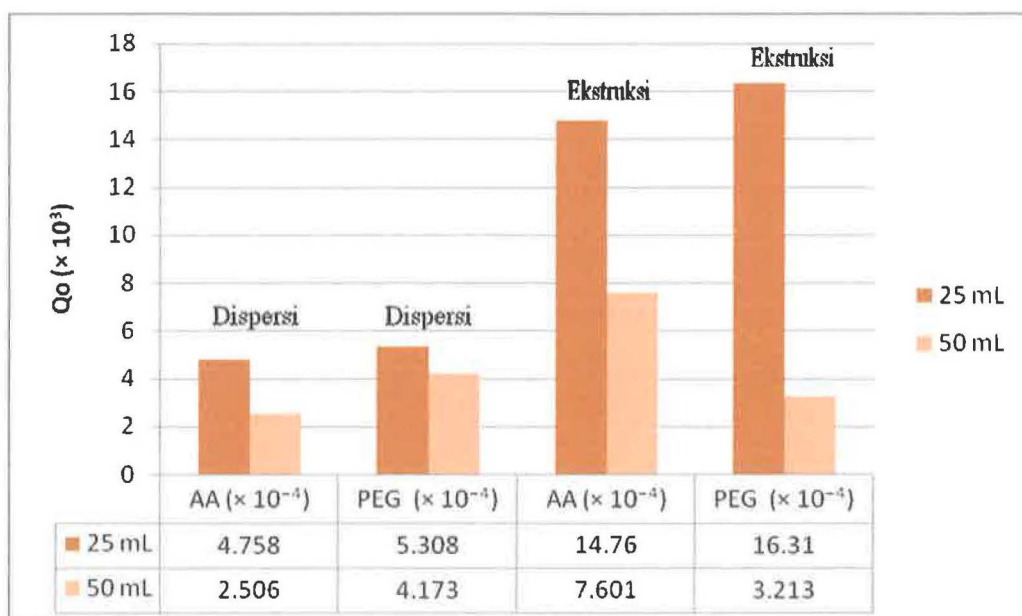
**Gambar 4.8** Grafik  $D_s$  isotherm Langmuir

Dari grafik di atas terlihat bahwa tidak ada kecenderungan dikarenakan anhidrida asetat dan polietilen glikol dengan pelapis konsentrasi 25 mL dan 50 mL dengan dispersi memiliki nilai  $D_s$  yang lebih besar pada anhidrida asetat sedangkan anhidrida asetat dan polietilen glikol dengan pelapis konsentrasi 25 mL dan 50 mL dengan ekstruksi memiliki nilai yang berbeda, pada konsentrasi 25 mL polietilen glikol lebih besar dan pada konsentrasi 50 mL anhidrida asetat lebih besar. Seharusnya nilai  $D_s$  lebih besar pada polietilen glikol dikarenakan pada polietilen glikol memiliki gugus OH sehingga dapat menyerap air lebih banyak. Hal tersebut dapat berbeda karena pada teknik dispersi maupun ekstruksi pelapisan matriksnya kurang sempurna sehingga menyebabkan pelepasan pupuknya juga berbeda.



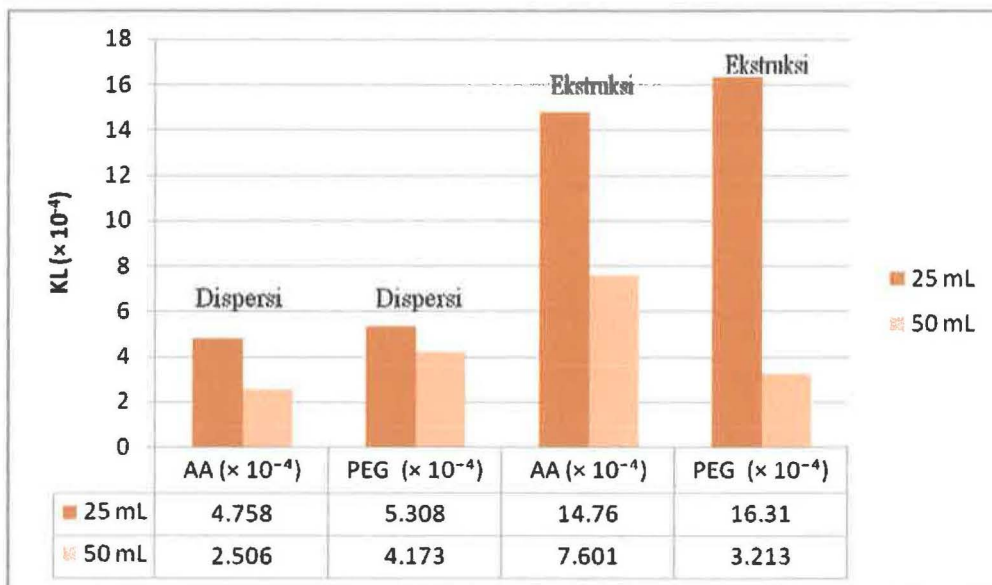
**Gambar 4.9** Grafik  $k_f$  isoterm Langmuir

Dari grafik di atas terlihat nilai  $k_f$  antara anhidrida asetat dan polietilen glikol pada konsentrasi pelapis 25 mL dan 50 mL dengan metode dispersi lebih besar pada polietilen glikol. Hal tersebut juga sama pada anhidrida asetat 25 mL dengan polietilen glikol 25 mL pada metode ekstruksi terlihat nilai  $k_f$  lebih besar untuk polietilen glikol. Sedangkan pada anhidrida asetat 50 mL dengan polietilen glikol 50 mL nilai  $k_f$  lebih besar untuk anhidrida asetat. Secara keseluruhan sesuai teori yaitu polietilen glikol lebih cepat melepas pupuk.



**Gambar 4.10** Grafik  $Q_o$  isoterm Langmuir

Dari data eksperimen tersebut secara keseluruhan dapat terlihat nilai  $Q_0$  lebih besar pada polietilen glikol. Sedangkan nilai  $Q_0$  untuk anhidrida asetat lebih kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa polietilen glikol memiliki kapasitas yang lebih besar. Seharusnya kapasitas pupuk tetap sama karena yang dilakukan penambahan hanya pelapisnya saja. Hal tersebut dikarenakan jumlah pupuk urea dalam granul dapat berbeda-beda karena jumlah pupuk urea pada saat proses pelapisan dengan teknik dispersi ataupun ekstruksi tidak dapat ditentukan berapa banyak urea yang terlapsi.

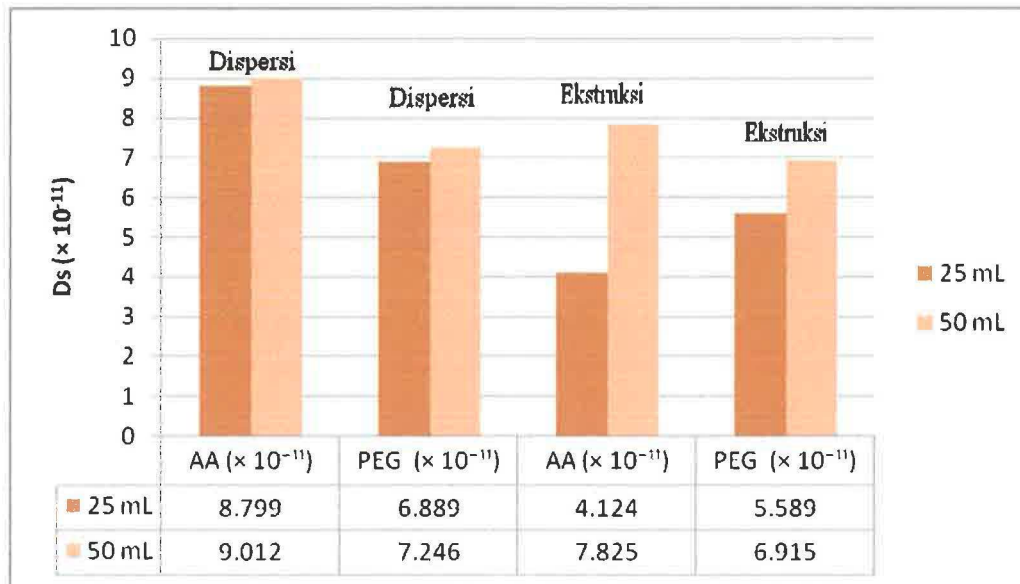


**Gambar 4.11** Grafik KL isoterm Langmuir

Dari grafik tersebut dapat terlihat secara keseluruhan nilai KL lebih besar pada polietilen glikol. Sedangkan pada anhidrida asetat nilai KL nya lebih kecil.

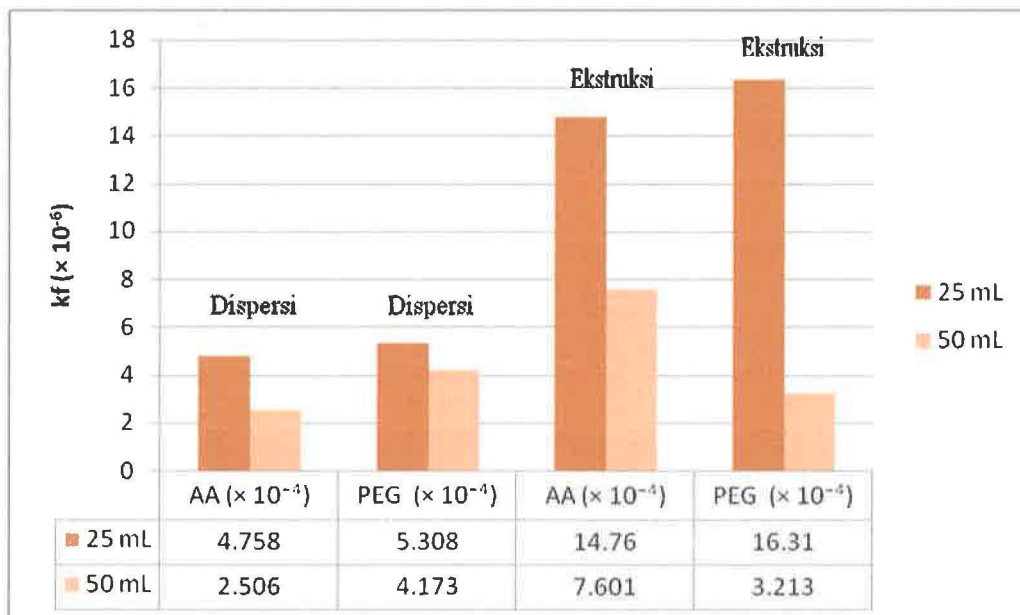


#### 4.3.4 Pengaruh Metode Pembuatan Terhadap Nilai $D_s$ , $k_f$ , $Q_0$ , dan $KL$



**Gambar 4.12** Grafik  $D_s$  isoterm Langmuir

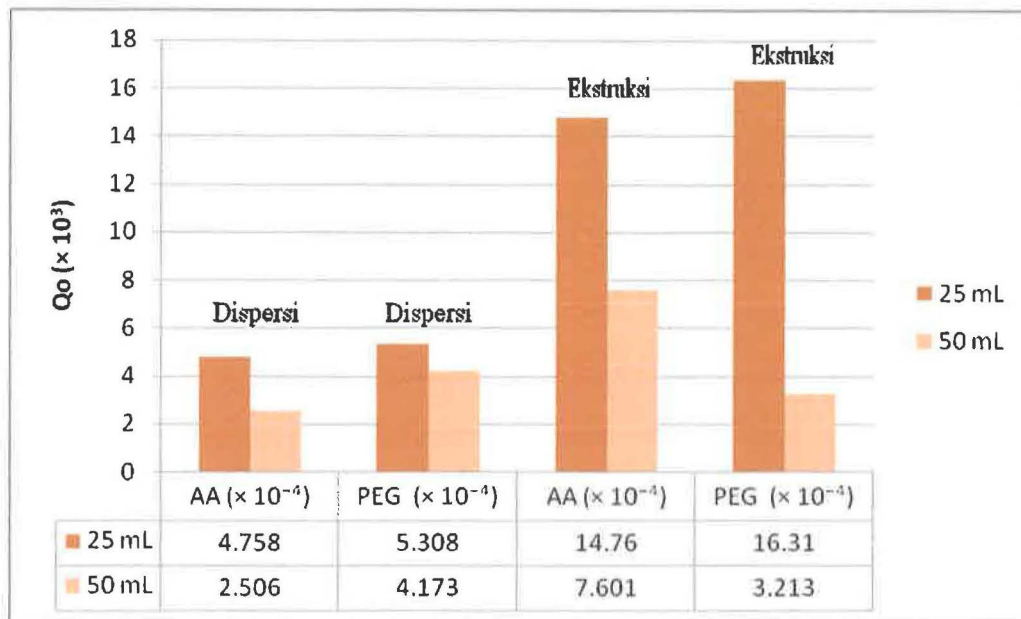
Dari grafik di atas terlihat bahwa metode dispersi memiliki nilai  $D_s$  yang lebih besar dibandingkan dengan metode ekstruksi. Hal tersebut dikarenakan pada metode dispersi pelapisan matriks lebih seragam dibandingkan dengan ekstruksi. Dan lebih banyak granular yang pecah pada teknik ekstruksi.



**Gambar 4.13** Grafik  $k_f$  isoterm Langmuir

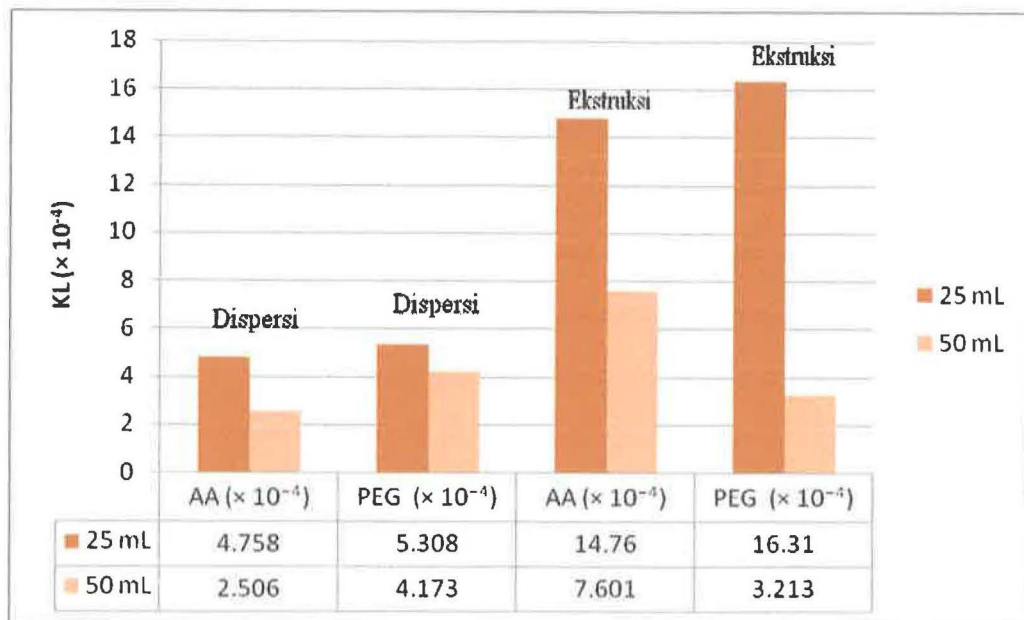
Dari grafik di atas terlihat nilai  $k_f$  pada metode ekstruksi lebih besar nilai  $k_f$  nya dari pada metode dispersi. Hal tersebut berbeda dengan teori yang seharusnya pada metode

ekstruksi lebih kecil pelepasan pupuknya (kecil nilai  $k_f$ nya). Pada ekstruksi pelapisan pupuknya tidak seragam. Perbedaan dengan teori disebabkan karena pada dispersi juga dapat terjadi pelapisan pupuk yang kurang sempurna.



**Gambar 4.14** Grafik  $Q_0$  isotherm Langmuir

Dari data eksperimen tersebut secara keseluruhan dapat terlihat nilai  $Q_0$  lebih besar pada metode ekstruksi. Sedangkan nilai  $Q_0$  untuk metode dispersi lebih kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada metode ekstruksi menghasilkan kapasitas yang lebih besar. Seharusnya kapasitas pupuk tetap sama karena yang dilakukan penambahan hanya pelapisnya saja. Hal tersebut dikarenakan jumlah pupuk urea dalam granul dapat berbeda-beda karena jumlah pupuk urea pada saat proses pelapisan dengan teknik dispersi ataupun ekstruksi tidak dapat ditentukan berapa banyak urea yang terlapisi.



**Gambar 4.15** Grafik KL isotherm Langmuir

Dari grafik tersebut dapat terlihat secara keseluruhan nilai KL lebih besar pada metode ekstruksi. Sedangkan pada metode dispersi nilai KL nya lebih kecil.

#### 4.4 Persamaan Isotherm Freundlich

##### 4.4.1 Penentuan Parameter

Parameter penyusun pada isotherm freundlich adalah  $k_a$ , dan  $n$ . Nilai – nilai tersebut ingin diketahui untuk membandingkan beberapa percobaan dengan berbagai variasi. Untuk mengetahui nilai parameter tersebut maka dilakukan penentuan parameter hingga mendapatkan  $R^2$  yang mendekati 1 yang menunjukkan bahwa parameter tersebut sesuai dengan percobaan.

$$q_e = k_a \cdot C_e^{\frac{1}{n}}$$

$k_a$  pada isotherm freundlich menunjukkan besarnya kapasitas adsorpsi. Semakin besar nilai  $k_a$  maka maksimum kapasitas adsorpsinya lebih besar.

Sedangkan  $1/n$  menunjukkan intensitas adsorpsi. Semakin besar nilai  $1/n$  maka adsorpsi lebih bagus, sehingga apabila nilai  $n$  semakin kecil maka adsorpsi semakin baik.

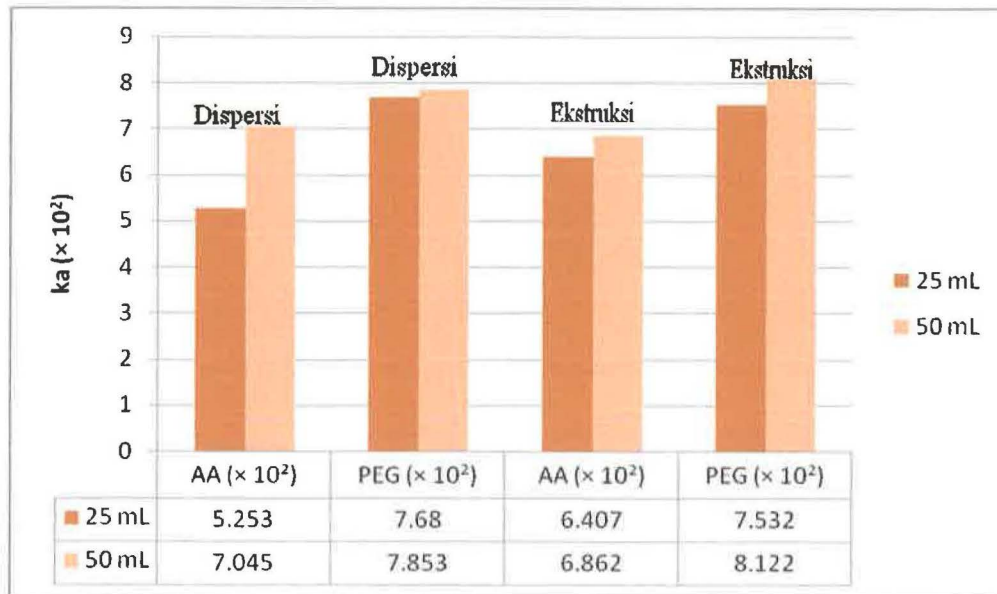
#### 4.4.2 Pengaruh Variasi Jenis Coating dan Konsentrasi Coating Serta Teknik Pembuatan pada Parameter $k_a$ dan $n$

Pada penelitian *Sintesa controlled release fertilizer melalui metode enkapsulasi dengan polietilen glikol, anhidrida asetat dan kopolimer pati ganyong* dilakukan variasi jenis coating yaitu anhidrida asetat dan polietilen glikol dengan konsentrasi masing masing sebesar 25 mL dan 50 mL. Berikut adalah tabel nilai parameter parameter pada berbagai variasi.

**Tabel 4.4** Hasil nilai parameter isoterm Freundlich

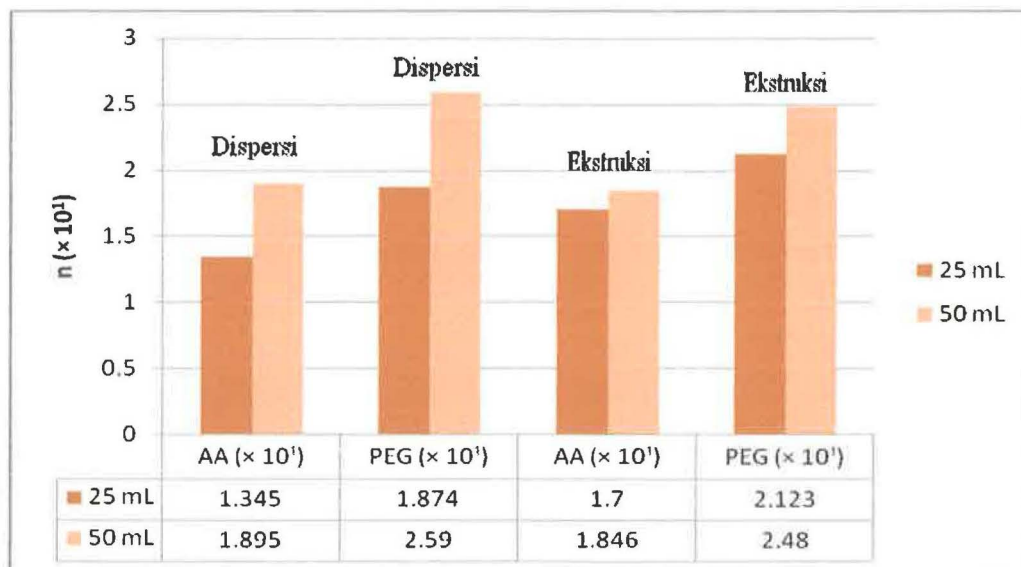
| Nilai Parameter |     |       | Ds<br>( $\times 10^{-11}$ ) | kf<br>( $\times 10^{-6}$ ) | $k_a$<br>( $\times 10^2$ ) | n<br>( $\times 10^1$ ) | $R^2$<br>( $\times 10^{-1}$ ) |
|-----------------|-----|-------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Dispersi        | AA  | 25 mL | 8.799                       | 7.957                      | 5.253                      | 1.345                  | 9.897                         |
|                 |     | 50 mL | 9.012                       | 8.599                      | 7.045                      | 1.895                  | 9.852                         |
|                 | PEG | 25 mL | 6.889                       | 6.468                      | 7.68                       | 1.874                  | 9.864                         |
|                 |     | 50 mL | 7.246                       | 13.81                      | 7.853                      | 2.59                   | 9.907                         |
| Ekstruksi       | AA  | 25 mL | 4.124                       | 9.863                      | 6.407                      | 1.7                    | 9.856                         |
|                 |     | 50 mL | 7.825                       | 19.45                      | 6.862                      | 1.846                  | 9.906                         |
|                 | PEG | 25 mL | 5.589                       | 10.39                      | 7.532                      | 2.123                  | 9.82                          |
|                 |     | 50 mL | 6.915                       | 20.08                      | 8.122                      | 2.48                   | 9.594                         |

#### 4.4.3 Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Terhadap Nilai $k_a$ , dan $n$



**Gambar 4.16** Grafik  $k_a$  isoterm Freundlich

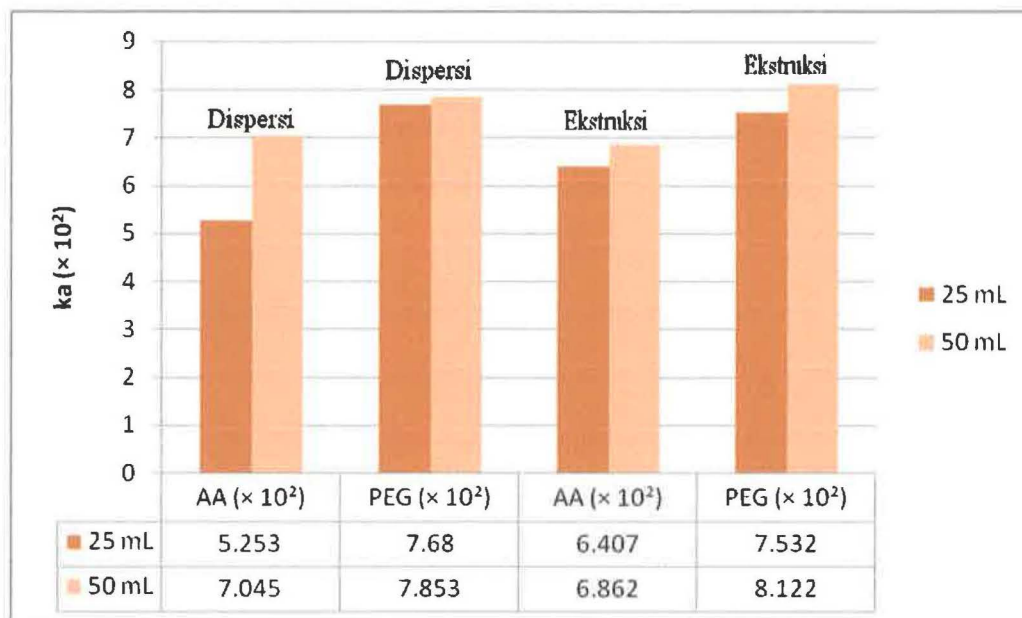
Dari data eksperimen tersebut terlihat bahwa nilai  $k_a$  lebih besar pada konsentrasi pelapis 50 mL. Nilai  $k_a$  yang lebih besar tersebut menunjukkan bahwa pada pelapis dengan konsentrasi 50 mL memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar. Seharusnya kapasitas pupuk tetap sama karena yang dilakukan penambahan hanya pelapisnya saja. Hal tersebut dikarenakan jumlah pupuk urea dalam granul dapat berbeda-beda karena jumlah pupuk urea pada saat proses pelapisan dengan teknik dispersi ataupun ekstruksi tidak dapat ditentukan berapa banyak urea yang terlapisi.



**Gambar 4.17** Grafik  $n$  isoterm Freundlich

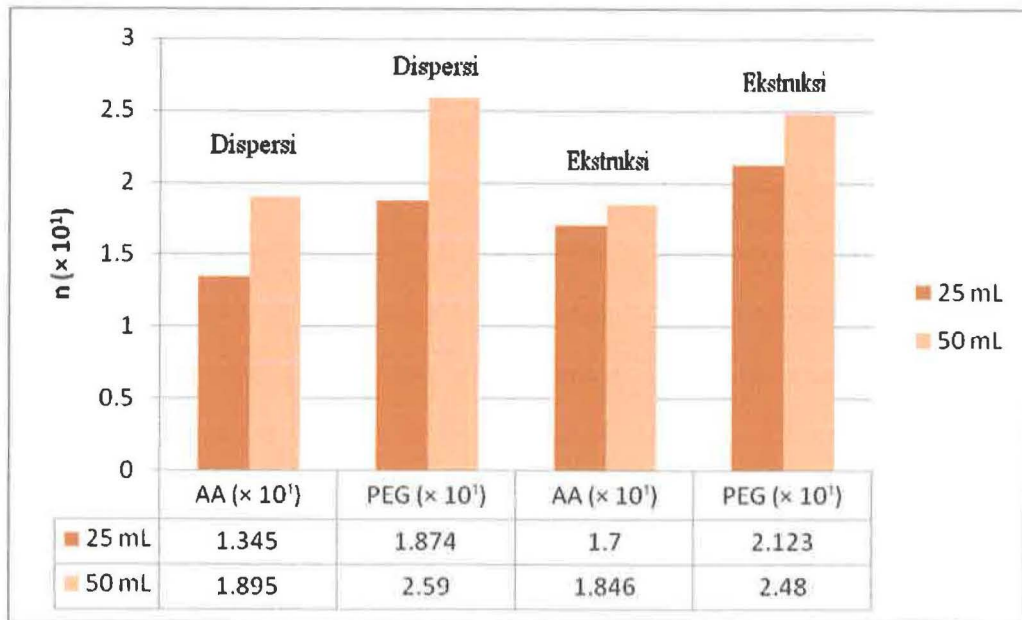
Dari grafik tersebut terlihat pada konsentrasi pelapis yang lebih tinggi memiliki nilai  $n$  yang lebih besar. Hal tersebut sesuai teori, nilai  $n$  yang semakin besar menandakan proses adsorpsi kurang baik, yang artinya juga pelepasan pupuk lebih lambat. Konsentrasi pelapis yang lebih besar akan membuat tahanan yang lebih besar pada pupuk untuk keluar sehingga apabila nilai  $n$  lebih besar pada konsentrasi pelapis yang lebih besar, hal tersebut sesuai teori.

#### 4.4.4 Pengaruh Perbedaan Jenis *Coating* Terhadap Nilai $k_a$ , dan $n$



**Gambar 4.18** Grafik  $k_a$  isotherm Freundlich

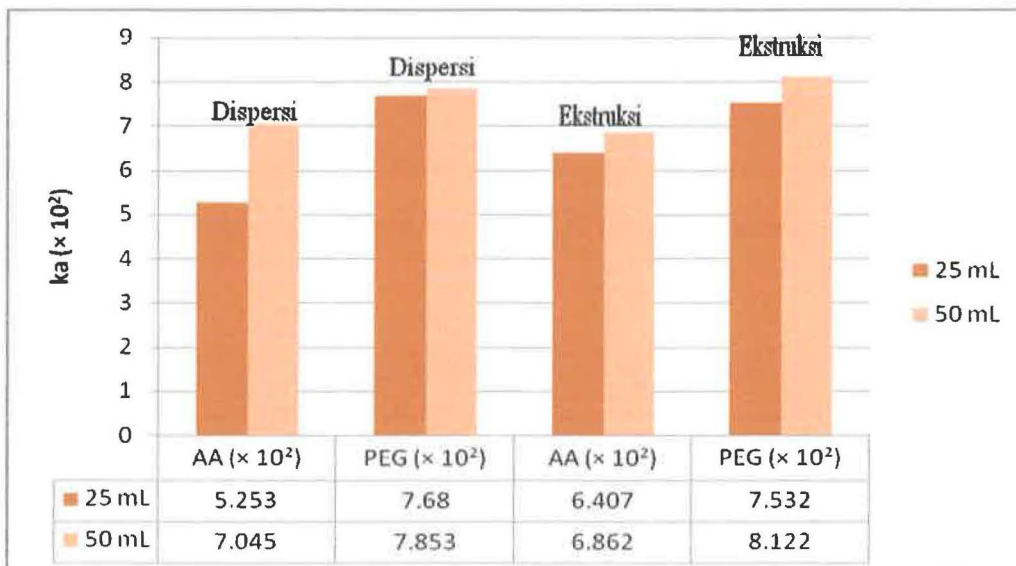
Dari data eksperimen tersebut terlihat bahwa nilai  $k_a$  lebih besar pada pelapis polietilen glikol. Nilai  $k_a$  yang lebih besar tersebut menunjukkan bahwa pada pelapis polietilen glikol memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar. Seharusnya kapasitas pupuk tetap sama karena yang dilakukan penambahan hanya pelapisnya saja. Hal tersebut dikarenakan jumlah pupuk urea dalam granul dapat berbeda-beda karena jumlah pupuk urea pada saat proses pelapisan dengan teknik dispersi ataupun ekstruksi tidak dapat ditentukan berapa banyak urea yang terlapis.



**Gambar 4.19** Grafik n isotherm Freundlich

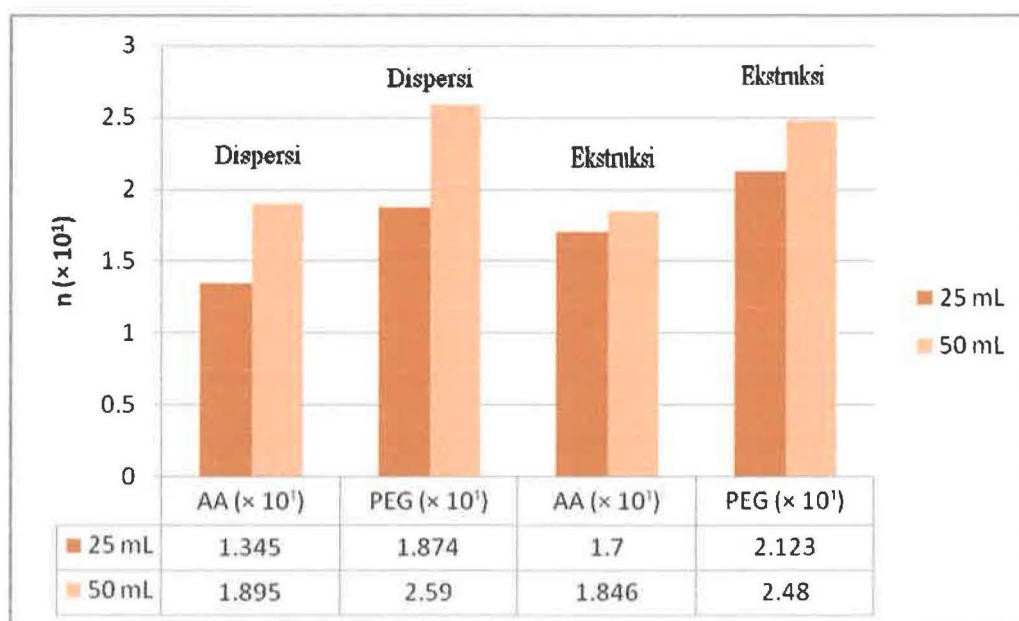
Dari grafik tersebut terlihat pada pelapis polietilen glikol memiliki nilai  $n$  yang lebih besar. Nilai  $n$  yang semakin besar menandakan proses adsorpsi kurang baik, yang artinya juga pelepasan pupuk lebih lambat. Polietilen glikol memiliki gugus OH yang seharusnya dapat menyerap air lebih banyak sehingga dapat melarutkan pupuk lebih cepat dan membawa pupuk keluar lebih cepat. Hal tersebut dikarenakan pada proses pelapisan menggunakan metode dispersi atau ekstruksi tidak seragam, ada yang tidak terlapis sempurna.

#### 4.4.5 Pengaruh Metode Pembuatan Terhadap Nilai $D_s$ , $k_f$ , $k_a$ , dan $n$



**Gambar 4.20** Grafik  $k_a$  isotherm Freundlich

Dari data eksperimen tersebut nilai  $n$  tidak memiliki kecenderungan karena pada metode dispersi dengan pelapis anhidrida asetat 25 mL dibandingkan dengan metode ekstruksi dengan pelapis anhidrida asetat 25 mL lebih tinggi pada metode ekstruksi. Sedangkan pada metode dispersi dengan pelapis anhidrida asetat 50 mL dibandingkan dengan metode ekstruksi dengan pelapis anhidrida asetat 50 mL lebih tinggi pada metode dispersi. Dari data tersebut memiliki kecenderungan yang berbeda. Seharusnya kapasitas pupuk tetap sama karena yang dilakukan penambahan hanya pelapisnya saja. Hal tersebut dikarenakan jumlah pupuk urea dalam granul dapat berbeda-beda karena jumlah pupuk urea pada saat proses pelapisan dengan teknik dispersi ataupun ekstruksi tidak dapat ditentukan berapa banyak urea yang terlapis.



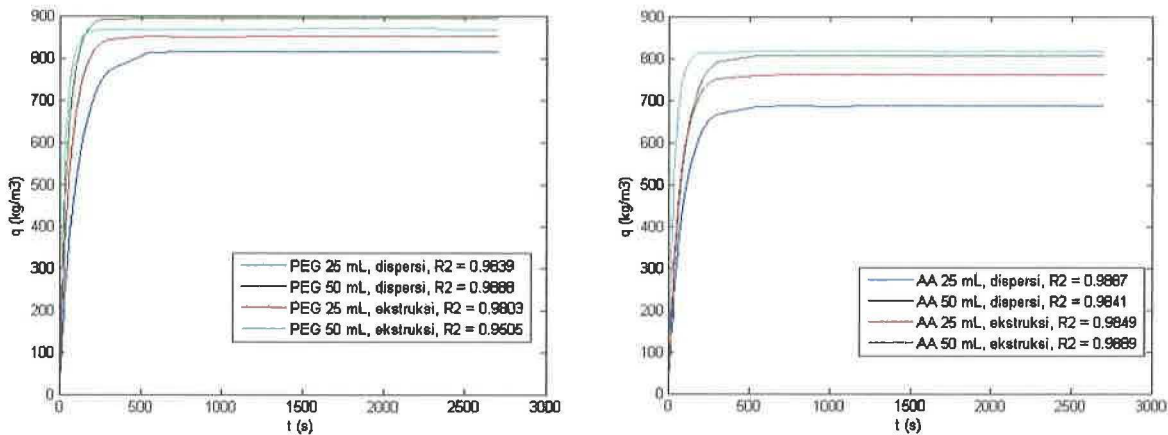
**Gambar 4.21** Grafik  $n$  isoterm Freundlich

Dari data eksperimen tersebut tidak memiliki kecenderungan karena pada metode dispersi dengan pelapis anhidrida asetat 25 mL dibandingkan dengan metode ekstruksi dengan pelapis anhidrida asetat 25 mL nilai  $n$  lebih tinggi pada metode ekstruksi. Sedangkan pada metode dispersi dengan pelapis anhidrida asetat 50 mL dibandingkan dengan metode ekstruksi dengan pelapis anhidrida asetat 50 mL nilai  $n$  lebih tinggi pada metode dispersi. Dari data tersebut memiliki kecenderungan yang berbeda. Nilai  $n$  yang semakin besar menandakan proses adsorpsi kurang baik, yang artinya juga pelepasan pupuk lebih lambat. Seharusnya pada metode dispersi memiliki nilai  $n$  yang lebih kecil karena pada metode dispersi pelapisan matriksnya lebih seragam.

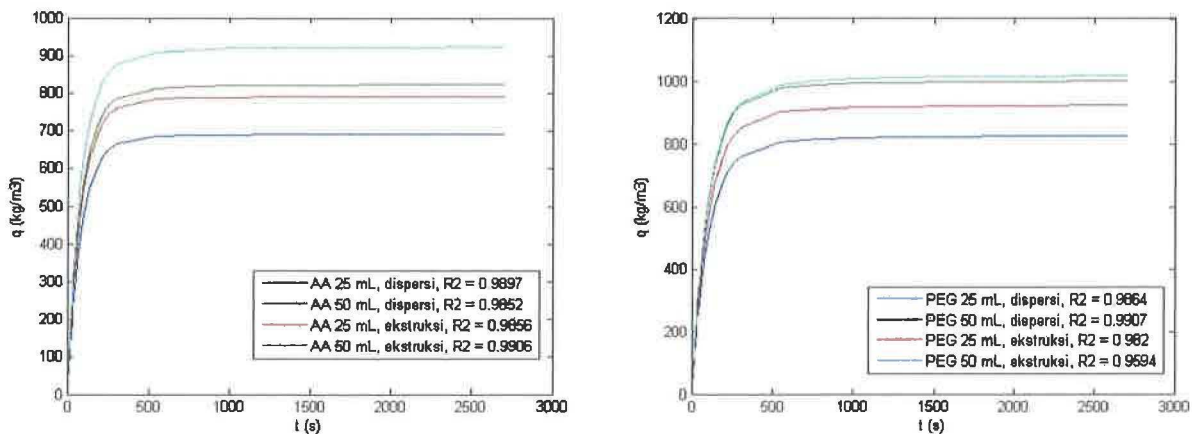


#### 4.5 Penentuan Model Isotherm Langmuir dan Isotherm Freundlich

Penentuan model isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich dilihat dengan metode grafis ataupun dengan membandingkan nilai  $R^2$  yang didapatkan. Berdasarkan hasil penelitian grafik dengan model isotherm Freundlich akan memberikan hasil yang lebih baik daripada grafik dengan model isotherm Langmuir.



Gambar 4.22 Grafik model isotherm Langmuir



Gambar 4.23 Grafik model isotherm Freundlich