

# PENGARUH SUHU SATURATOR TANK DAN FLOWRATE FEED TERHADAP KADAR IMPURITAS Fe DALAM PRODUK KRISTAL PADA PROSES KRISTALISASI ASAM SITRAT

Bi Sianli Lydia De Vega Surya (L2C607014) dan Winda Suryani Intifada (L2C607058)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

Pembimbing: Ir. Danny Soetrisnanto, M.Eng

## Abstrak

Asam sitrat -  $C_6H_8O_7$  merupakan senyawa organik yang secara luas dipergunakan sebagai bahan tambahan pada makanan dan minuman serta dalam industri farmasi. Pada industri, asam sitrat dapat dibuat dengan proses fermentasi dan dilanjutkan dengan proses pemisahan – pemurnian, sehingga produk yang dihasilkan berupa kristal yang seragam. Untuk kebutuhan farmasi, kualitas dari kristal asam sitrat merupakan aspek yang sangat penting, dan impuritas yang susah untuk dipisahkan adalah Fe.

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh laju alir umpan dan suhu pada tangki saturator terhadap impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat serta untuk mengetahui hubungan antara kecepatan produksi kristal dengan impuritas Fe pada produk kristal asam sitrat. Penelitian ini menggunakan kristalizer MSMR dengan volume 4 liter, operasi berjalan secara kontinyu, suhu pada tangki kristalizer dijaga  $20^{\circ}C$  dengan menggunakan sistem pendingin. Konsentrasi awal Fe dalam feed adalah 40 ppm. Dalam penelitian, laju alir umpan divariasikan (0,5;1;1,5;2;2,5;3)ml/dt. Selain itu, suhu pada tangki saturator juga divariasikan (30,40,50)  $^{\circ}C$ . Kadar Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer.

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju alir umpan, semakin banyak kadar impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat. Sedangkan semakin tinggi suhu tangki saturator, kadar impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat semakin kecil. Variabel optimum yang didapat dari hasil penelitian yaitu pada variabel laju alir umpan 0,5 ml/dt dan pada suhu tangki saturator  $50^{\circ}C$ . Berat kristal yang dihasilkan pada kondisi optimum adalah 101,62 gr dengan kadar impuritas Fe dalam produk kristal 0,3 ppm. Pada proses kristalisasi, kecepatan produksi kristal sangat mempengaruhi kadar impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat. Semakin besar kecepatan produksi kristal asam sitrat, semakin besar pula impuritas Fe dalam umpan yang terperangkap dalam produk kristal yang dihasilkan. Dari hasil analisa pengaruh kecepatan produksi kristal terhadap impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat, didapatkan persamaan  $y = 0,0834x + 0,338$  untuk suhu tangki saturator  $30^{\circ}C$ ,  $y = 0,074x + 0,2793$  untuk suhu tangki saturator  $40^{\circ}C$ , dan  $y = 0,0769x + 0,2227$  untuk suhu tangki saturator  $50^{\circ}C$ .

**Kata Kunci** : asam sitrat, impuritas Fe, laju alir

## Abstract

Citric acid -  $C_6H_8O_7$  is an organic compound which widely used as an additive in food and beverage as well as in pharmacy industries. In industries, Citric acid is produced by fermentation process and after separation-purification processes, the end product is in the form of crystals. For pharmacy purpose, the quality of citric acid crystals is very important aspect, and the impurity substance which difficult to separate is iron-Fe.

The purpose of this study was to determine the influence of flow rate feed and temperature of saturator tanks against impurity of Fe in the products of citric acid crystals and to know the relationship between the crystal product rates with impurity of Fe in the product citric acid crystal. This research has used 4 liters MSMR crystallizer, continuously operated, temperature of the crystallizer was keep constant at  $20^{\circ}C$  using refrigeration system. Concentration of Fe in the feed was 40 ppm. Feed flow rates was varied (0,5;1;1,5;2;2,5;3)ml/sec. Temperature of saturator tank was varied (30,40,50)  $^{\circ}C$ . Fe content in the citric acid crystal was analyzed using spectrophotometer.

*This research concludes that greater flow rate feed, the higher concentration of Fe impurity trapped in the product of citric acid crystal. Meanwhile, the higher the saturator temperature, concentration of Fe impurity in the product citric acid crystals became lower. The best condition was reached at flow rate feed 0.5 ml / sec and at a temperature of saturator tank 50°C. Weight of crystal produced in the best conditions is 101.62 g with impurity concentration of Fe 0.3 ppm. In addition, product rate of crystal influenced the level impurity of Fe contained in the citric acid crystals products. The greater product rates, the greater the impurity of Fe that were trapped in the citric acid crystals. The influence of crystal product rates to the concentration of Fe trapped in the products of citric acid crystals, can be expressed by equation  $y = 0.0834x + 0.338$  for saturator tank temperature of 30°C,  $y = 0.074x + 0.2793$  for saturator tank temperature of 40 ° C, and  $y = 0.0769x + 0.2227$  for saturator tank temperature of 50 ° C.*

**Key Words :** citric acid, Fe impurity, flowrate

## 1. Pendahuluan

Asam sitrat merupakan senyawa organik yang mempunyai rumus molekul  $C_6H_8O_7$ . Selain terdapat pada buah-buahan, asam sitrat juga terdapat secara bebas di alam yang terdapat pada siklus Krebs pada reaksi intermediet di mana karbohidrat dioksidasi oleh karbon dioksida. Asam sitrat juga dimanfaatkan dalam dunia farmasi dan makanan. Asam sitrat yang dimanfaatkan dalam dunia farmasi, makanan, dan teknis mempunyai spesifikasi impuritas Fe yang berbeda-beda di sesuaikan dengan kegunaannya. Asam sitrat yang di produksi di Indonesia sebagian besar hanya memenuhi standar teknis. Sedangkan kebutuhan akan asam sitrat sesuai standar food grade dan pharmacy grade begitu besar. Hal ini dapat dilihat dari data BPS bahwa kebutuhan ekspor asam sitrat ke luar negeri pada tahun 2008 adalah 2.127.428 ton/tahun, sedangkan kebutuhan impornya 10.203.260 ton/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa indonesia belum bisa memenuhi kebutuhan asam sitrat dalam negeri.

*Standar Mutu Asam Sitrat Teknis (SNI 19-0428-1989)*

No	Uraian	Persyaratan
1	Kadar asam sitrat, %	Min, 99,5
2	Sisa pemijaran, %	Max, 0,05
3	Logam berat, ppm	Max, 10
4	Zat yang mudah menngarang	Memenuhi syarat uji
5	Kalsium	Memenuhi syarat uji
6	Asam iso sitrat	Memenuhi syarat uji
7	Oksalat	Memenuhi syarat uji
8	Sulfat	Memenuhi syarat uji
9	Hidrokarbon aromatic polisiklik	Memenuhi syarat uji

Masalah yang timbul saat ini adalah belum diketahuinya hubungan antara kecepatan produksi kristal dengan konsentrasi impuritas Fe yang ikut terkristalkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui pengaruh laju alir feed (umpan) dan suhu saturator tank terhadap kadar impuritas Fe dalam produk kristal asam sitrat, serta mengetahui hubungan antara impuritas Fe yang terperangkap dalam kristal asam sitrat dengan kecepatan produksi kristal.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah Asam Sitrat teknis, aquadest, dan ferro ammonium sulfat. Selain itu dalam penelitian ini juga menggunakan HCl pekat, Ammonium asetat buffer, Hydroxylamine, dan Phenanthroline, sebagai bahan dalam analisa produk minyak yang dihasilkan.

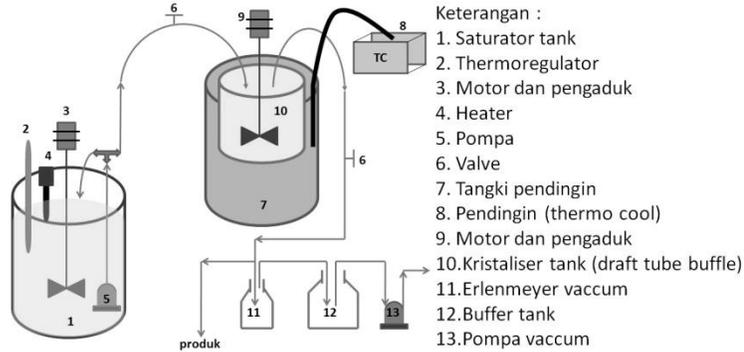
### Penetapan Variabel

Penelitian ini ditetapkan dengan variable berubah, yaitu suhu saturatr tank dan laju alir feed. Perubahan suhu saturator tank yaitu: 30°C, 40°C, dan 50°C. Variabel laju alir feed yang berubah yaitu: 0,5 ml/dt, 1 ml/dt, 1,5 ml/dt, 2 ml/dt, 2,5 ml/dt, 3 ml/dt. Selain itu dipergunakan variable tetap yaitu: volume kristalisator, volume pengambilan, operasi kristalisasi, suhu kristaliser, dan konsentrasi Ferro Ammonium Sulfat yang ditambahkan dalam feed.

### Prosedur Percobaan

Percobaan dimulai dengan membuat larutan jenuh asam sitrat pada suhu sesuai variasi, di tangki saturator. Mengaturan suhu dengan memakai thermoregulator. Menjalankan heater, pengaduk listrik, tambahkan kristal asam sitrat dan air secukupnya ke saturator tank, biarkan pemanasan berjalan beberapa waktu mengecek kondisi, apakah sudah jenuh atau belum dengan mengukur density larutan memakai picnometer. Bila berat picnometer+larutan sudah

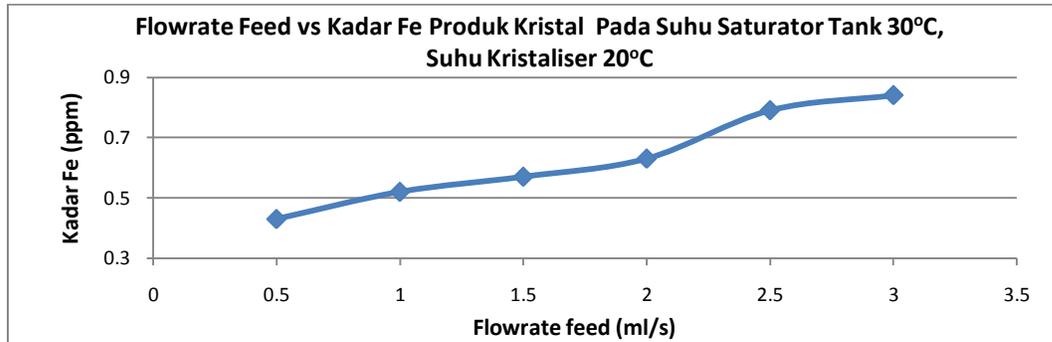
konstan, berarti sudah jenuh [ asam sitrat sudah tidak dapat melarut lagi]. Menjalankan sistem pendingin yaitu menggunakan thermo cooler. Tangki kristalisernya diberi tanda untuk volume 4 liter. Menjalankan pompa atur flowrate sesuai variasi menuju tangki kristaliser sesuai yang diinginkan dengan mengatur jepitan aliran recycle. Cek atau kalibrasi flowrate tersebut dengan memakai gelas ukur dan stopwatch. Menjalankan pengaduk tangki kristaliser, jaga permukaan larutan asam sitrat di dalam tangki kristaliser tetap pada tanda 4 liter secara kontinyu menghisap kelebihan larutannya memakai selang pengeluaran produk kristaliser. Menjalankan sistem kristalisasi ini sampai dicapai kondisi tunak [steady state], dengan perkiraan dari start awal selama 3 kali waktu tinggal cairan di dalam kristaliser. Menganalisa kadar Fe dalam kristal asam sitrat dengan metode spektrofotometri.



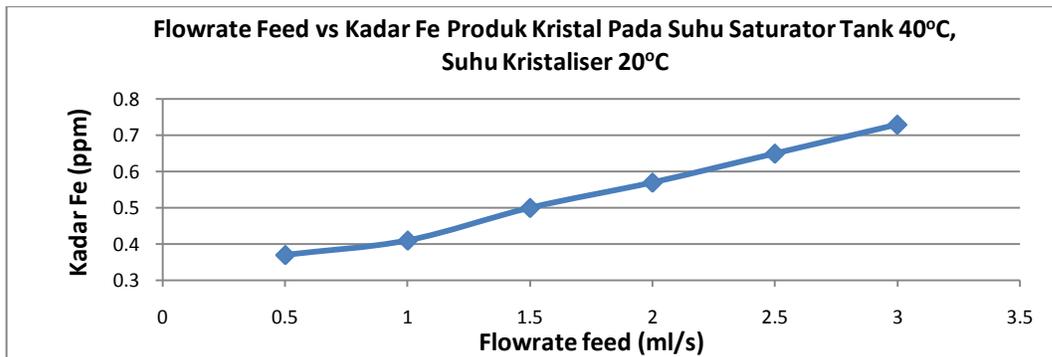
Gambar Rangkaian Alat Utama

### 3. Hasil dan Pembahasan

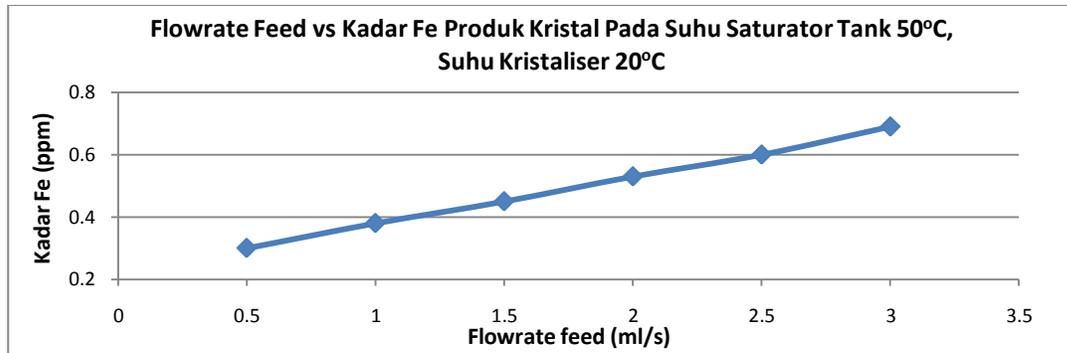
#### 1. Pengaruh Flowrate Feed Terhadap Kadar Impuritas Fe Pada Produk Kristal Asam Sitrat



Grafik 4.1 Flowrate Feed vs Kadar Fe dalam Produk Kristal Pada Suhu Saturator Tank 30°C dan Suhu Kristaliser 20°C ( $\Delta T = 10^\circ C$ )



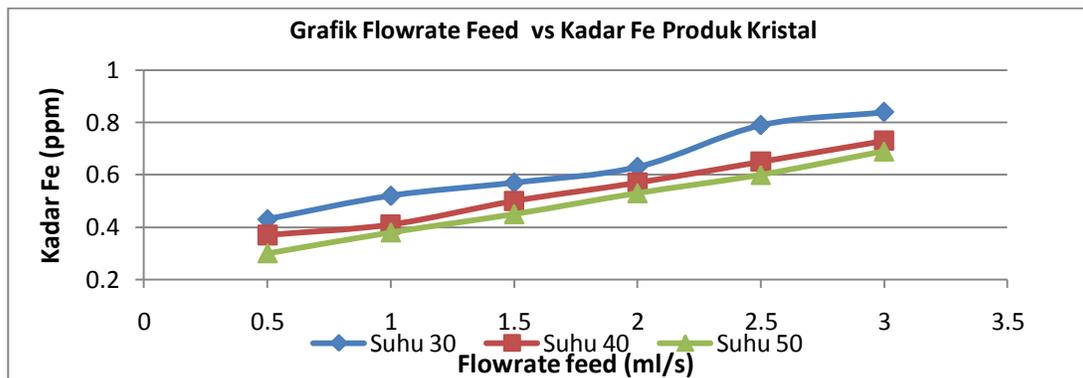
Grafik 4.2 Flowrate Feed vs Kadar Fe dalam Produk Kristal Pada Suhu Saturator Tank 40°C dan Suhu Kristaliser 20°C ( $\Delta T = 20^\circ C$ )



Grafik 4.3 Flowrate Feed vs Kadar Fe dalam Produk Kristal Pada Suhu Saturator Tank 50°C dan Suhu Kristaliser 20°C ( $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ )

Pada grafik terlihat bahwa kadar impuritas Fe dalam produk kristal asam sitrat semakin bertambah pada tiap pertambahan flowrate feed. Hal tersebut akan terus terjadi hingga batas kecepatan produksi kristal asam sitrat. Kecepatan pertumbuhan dari produk kristal asam sitrat itu sendiri adalah  $(1,1 - 3,7) \times 10^{-8} \text{ m/s}$  (Sikdar and Randolph, *AIChE J.* 33: 6 (1987) ; *Perry's Chemical Engineers Handbook*). Jadi jika penambahan flowrate feed terlalu besar, maka waktu tinggal dalam kristaliser terlalu singkat sehingga proses pembentukan produk kristal asam sitratpun tidak dapat berangsung. Karena proses pembentukan produk kristal asam sitrat tidak dapat belangsung, maka impuritaspun tidak dapat terperangkap dalam produk kristal asam sitrat. Maka jika penambahan flowrate feed terlalu besar maka grafik akan konstan mulai dari flowrate 7ml/dt dan seterusnya, karena jika dilihat dari range kecepatan pertumbuhan, flowrate feed maksimal yang dapat digunakan dalam proses kristalisasi asam sitrat adalah 7ml/dt.

## 2. Pengaruh Suhu Saturator Tank Terhadap Kadar Impuritas Fe Pada Produk Kristal Asam Sitrat



Grafik 4.4 Flowrate Feed vs Kadar Fe dalam Produk Kristal Pada Suhu Saturator Tank 30°C, 40°C, 50°C dan Suhu Kristaliser 20°C

Pada grafik di atas dapat disimpulkan bahwa suhu optimal feed dalam saturator tank pada operasi kristalisasi asam sitrat adalah pada suhu 50°C. Dimana pada kondisi optimum saturator tank (50°C) tersebut proses pembentukan kristal sangat baik, karena pada kristaliser suhu telah ditetapkan sebesar 20°C, sehingga  $\Delta T$  pada saturator tank dengan kristaliser adalah paling besar (30°C) dibanding  $\Delta T$  pada variable suhu saturator tank 40°C dan 30°C. Pada suhu 40°C  $\Delta T$  pada saturator tank dan kristaliser adalah 20°C dan pada suhu saturator tank 30°C  $\Delta T$  yang dicapai adalah 10°C. Karena  $\Delta T$  suhu saturator 50°C dan suhu kristaliser 20°C cukup besar (30°C) menyebabkan kecepatan terbentuknya inti kristal primer akan semakin cepat sehingga produk kristal asam sitrat yang dihasilkanpun semakin banyak.

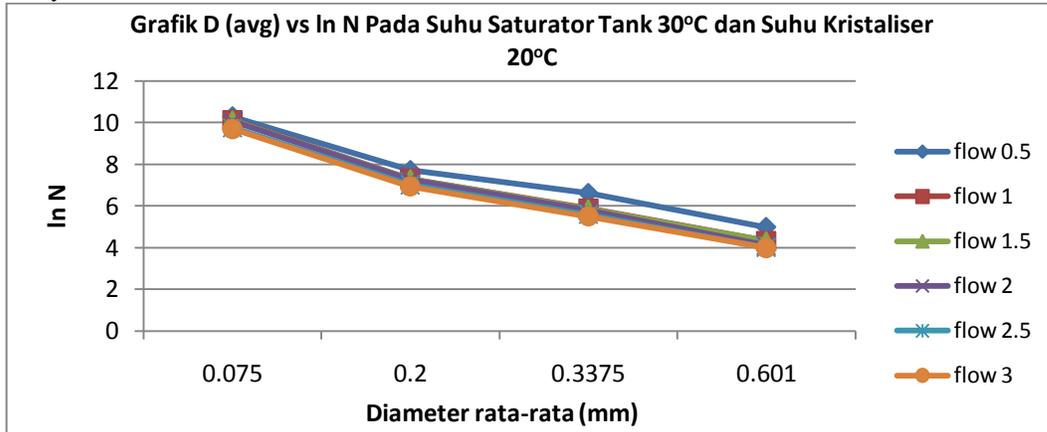
Pada pembahasan sebelumnya telah di jelaskan, bahwa flowrate feed yang semakin besar menyebabkan impuritas Fe yang ikut terperangkap ke dalam produk kristal asam sitrat juga semakin banyak, hal ini disebabkan karena nilai driving force yang semakin besar ( $\Delta c$ ). Hal ini jelas terlihat pada grafik di atas, namun ternyata pada grafik juga jelas terlihat bahwa kadar impuritas Fe dalam produk kristal asam sitrat paling kecil terdapat pada suhu saturator tank 50°C.

Hal ini dijelaskan dengan persamaan arhenius :

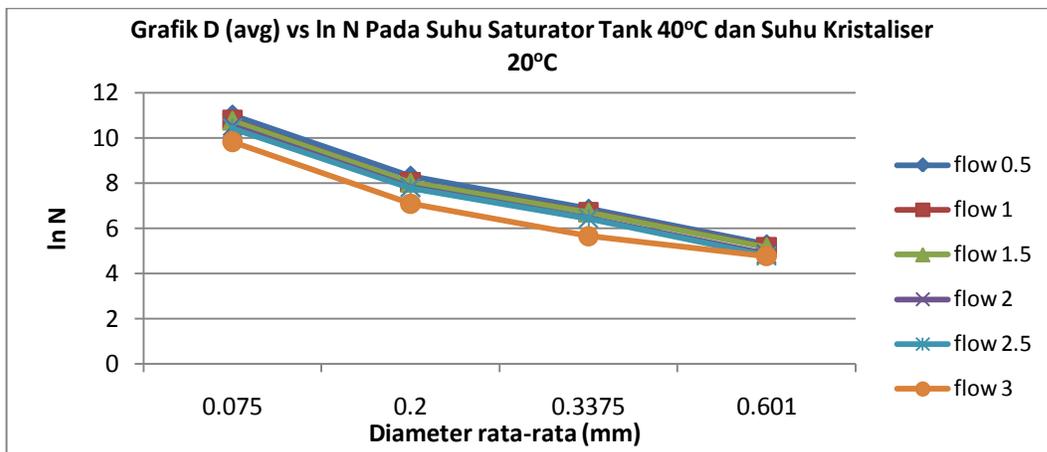
$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2}$$

Sebagai kecepatan integrasi kenaikan kecepatan dengan suhu kemudian kecepatan difusi, kecepatan produksi kristal dijaga, difusi di control pada suhu tinggi dan integrasi di control pada suhu rendah. Sebagai contoh, sukrosa di beritahukan, difusi di control sekitar 40°C (Smythe, 1967) dan NaCl sekitar 50°C (Rumford and Bain, 1960). Diatas range tengah yang sangat berarti pada suhu, proses keduanya dapat saling mempengaruhi, dan sesuai dengan Arrhenius mengplotkan data pertumbuhan kristal yang diberikan agak melengkung dari garis lurus, ini mengindikasikan bahwa jelas energi aktivasi pada keseluruhan proses produksi kristal adalah bergantung pada suhu.

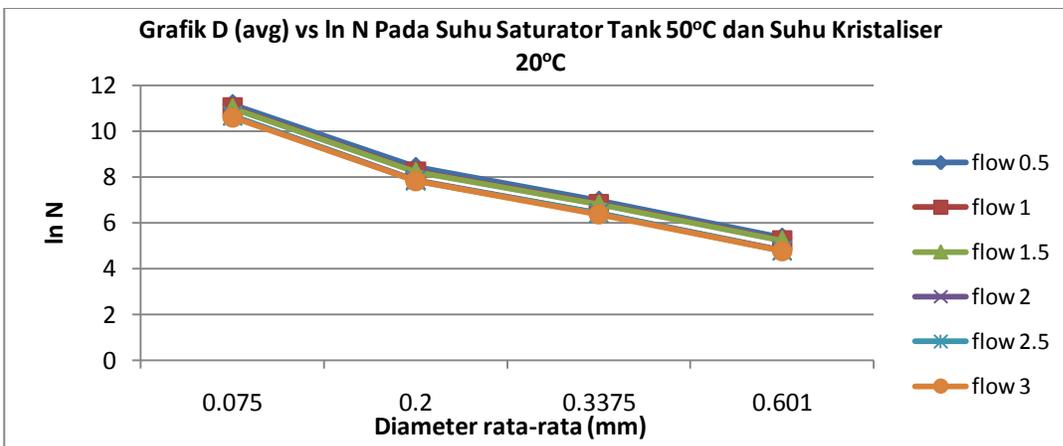
3. Crystal Size Distribution



Grafik 4.5 D average vs ln N Pada Suhu Saturator Tank 30°C dan Suhu Krisaliser 20°C



Grafik 4.6 D average vs ln N Pada Suhu Saturator Tank 40°C dan Suhu Krisaliser 20°C



Grafik 4.7 D average vs ln N Pada Suhu Saturator Tank 50°C dan Suhu Krisaliser 20°C

Pada penelitian ini, produk kristal yang dihasilkan mempunyai ukuran yang beragam pada tiap suhu saturator tank dan flowrate feed. Dari grafik di atas dapat di amati, bahwa pada diameter yang sama nilai  $\ln N$  yang didapat semakin besar untuk flowrate feed yang semakin kecil. Hal ini cenderung sama untuk tiap suhu saturator tank (30, 40, 50)°C.

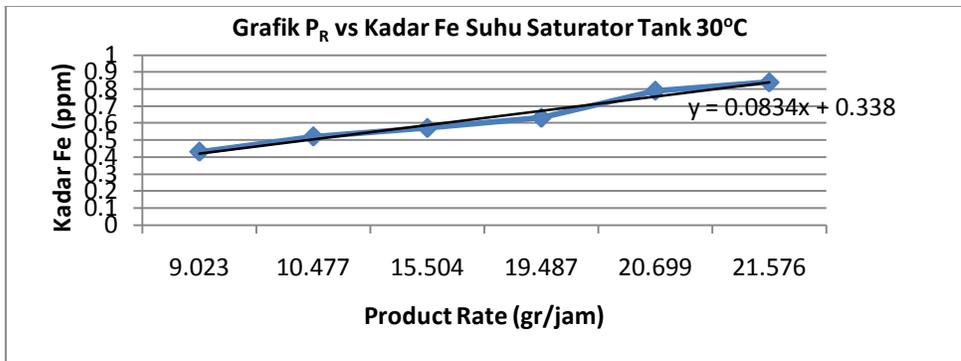
Pada teori McCabe (1929) menganalisa masalah tentang crystal size distribution (CSD) dan mengembangkan hukum  $\Delta L$ , membuat beberapa asumsi : (a) semua kristal mempunyai potongan yang sama; (b) pertumbuhannya invariant, dengan kata lain kecepatan produksi adalah berbeda-beda tiap ukuran kristal; (c) supersaturasi konstan di sepanjang kristalizer; (d) tidak ada nukleasi yang terjadi; (e) tidak ada klasifikasi ukuran pada kristalizer; (f) kecepatan relative diantara kristal dan cairan konstan.

Berat suatu kristal karakteristik ukuran (L) diberi oleh  $\alpha\rho_c L^3$ , dimana  $\alpha$  adalah volum dari shape factor dan  $\rho_c$  adalah densitas kristal. Jumlah kristal,  $dN$ , pada ukuran L dalam massa  $dM$  adalah  $dN = dM / \alpha\rho_c L^3$ .

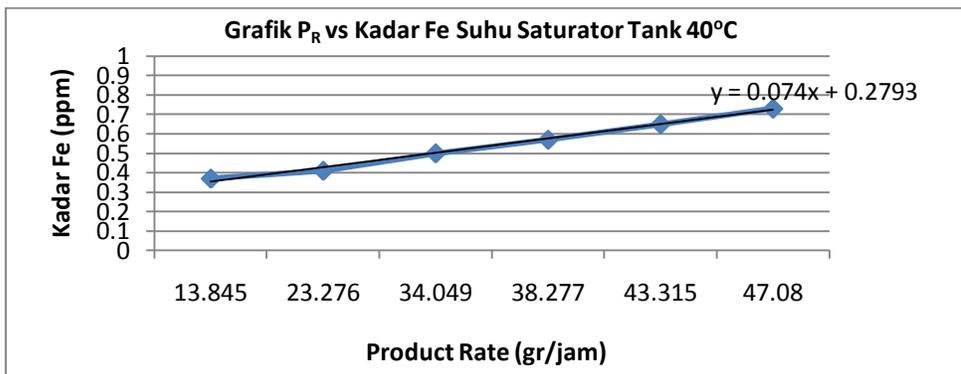
Dari persamaan tersebut menjelaskan bahwa nilai  $\ln N$  berbanding terbalik dengan L (D/2), maka semakin kecil diameter rata-rata, jumlah produk kristal yang dihasilkanpun semakin banyak. Karena diameter yang semakin kecil, maka ukuran partikel akan semakin halus. Selain itu proses pembentukan produk kristal diawali dengan pembentukan inti kristal kecil yang dilanjutkan dengan pertumbuhan struktur kristal menjadi lebih besar, sehingga jumlah kristal lebih banyak terbentuk untuk ukuran kristal yang lebih kecil.

Pada grafik terlihat bahwa nilai  $\ln N$  semakin turun untuk diameter produk kristal asam sitrat yang semakin besar. Hal tersebut akan terus terjadi hingga batas kecepatan pertumbuhan dari kristal asam sitrat. Kecepatan produksi kristal asam sitrat itu sendiri adalah  $(1,1 - 3,7) \times 10^{-8} \text{ m/s}$  (Sikdar and Randolph, *AIChE J.* 33: 6 (1987) ; *Perry's Chemical Engineers Handbook*). Jika dilihat dari range kecepatan pertumbuhan kristal tersebut, grafik diatas akan cenderung turun hingga ukuran  $\pm 0,8658 \text{ mm}$ .

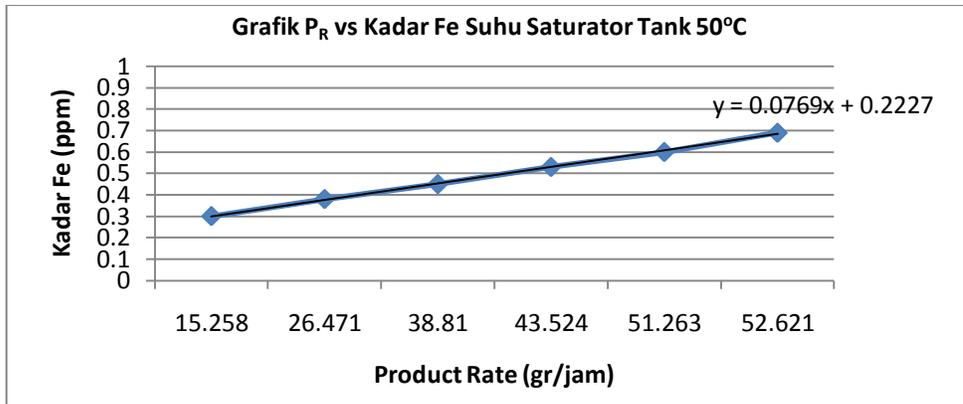
#### 4. Pengaruh Kecepatan Produksi Kristal Terhadap Kadar Impuritas Fe Yang Terkandung Dalam Produk Kristal Asam Sitrat



Grafik 4.8 Product Rate vs Kadar Fe Produk Pada Suhu Saturator Tank 30°C



Grafik 4.9 Product Rate vs Kadar Fe Produk Pada Suhu Saturator Tank 40°C



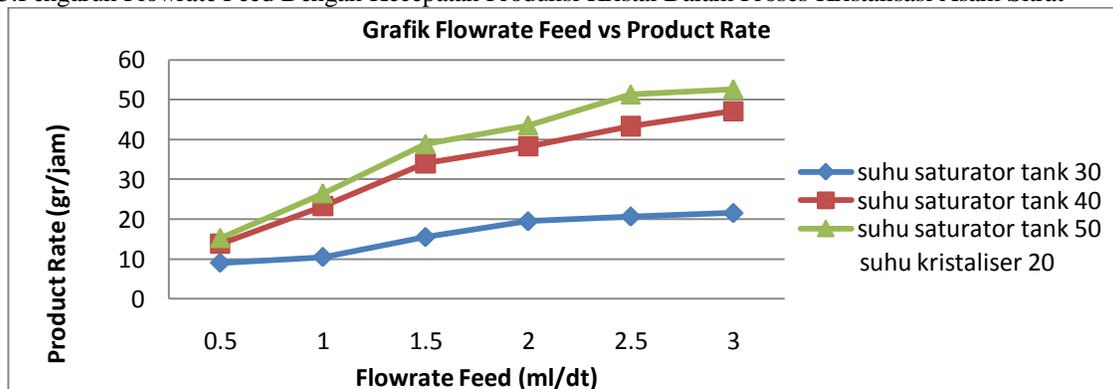
Grafik 4.10 Product Rate vs Kadar Fe Produk Pada Suhu Saturator Tank 50°C

Pada grafik di atas menunjukkan adanya hubungan antara kecepatan produksi kristal (product rate) asam sitrat dengan kadar impuritas Fe yang di hasilkan dalam proses kristalisasi asam sitrat. Kecepatan produksi sangat berpengaruh terhadap komposisi produk kristal asam sitrat yang dihasilkan, terutama impuritas yang terkandung dalam kristal. Semakin besar kecepatan produksi kristal asam sitrat, semakin besar pula impuritas Fe dalam feed yang terperangkap dalam kristal asam sitrat. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya kecepatan produksi kristal asam sitrat yang dihasilkan maka proses difusi solute dari larutan ke permukaan kristal semakin cepat, sehingga kristal dapat tumbuh dengan cepat. Dengan kecepatan produksi kristal asam sitrat, impuritas yang terkandung dalam solutepun ikut terperangkap dalam produk kristal, karena proses difusi solute dari larutan ke permukaan terlalu cepat, hal ini menyebabkan impuritas dalam solute masuk dalam kisi-kisi kristal, sehingga kemurnian produk kristal asam sitrat menjadi berkurang.

Dalam penelitian ini, kadar impuritas Fe dalam feed yang terperangkap dalam produk kristal asam sitrat akan cenderung bertambah seiring dengan semakin besarnya kecepatan produksi kristal dalam proses kristalisasi asam sitrat. Hal ini dikarenakan semakin besarnya kecepatan produksi kristal, maka proses difusi solute dari larutan ke permukaan kristal semakin besar sehingga impuritas yang terkandung dalam solutepun ikut terperangkap dalam kristal yang terbentuk. Tetapi kenaikan kadar impuritas Fe yang terperangkap dalam kristal yang dihasilkan dalam proses kristalisasi asam sitrat tidak akan lebih besar dari kadar Fe yang terkandung dalam solute (feed), yaitu 40 ppm. Karena dalam penelitian ini Fe yang digunakan sebagai feed awal adalah 40 ppm.

Pada penelitian, kami menggunakan flowrate yang sesuai untuk proses kristalisasi asam sitrat, yaitu 0.5 ml/dt hingga 3 ml/dt. Dari literature didapatkan data kecepatan pertumbuhan kristal asam sitrat itu sendiri adalah  $(1,1 - 3,7) \times 10^{-8} \text{ m/s}$  (Sikdar and Randolph, *AICHE J.* 33: 6 (1987) ; *Perry's Chemical Engineers Handbook*). Dari sinilah dapat ditentukan flowrate feed optimal yang dapat digunakan dalam proses kristalisasi untuk mengoptimalkan produk kristal dengan kadar impuritas yang lebih rendah.

#### 5. Pengaruh Flowrate Feed Dengan Kecepatan Produksi Kristal Dalam Proses Kristalisasi Asam Sitrat



Grafik 4.11 Flowrate Feed vs Product Rate

Pada grafik di atas menunjukkan adanya hubungan antara flowrate feed dengan kecepatan produksi kristal dalam proses kristalisasi asam sitrat. Grafik diatas menunjukkan bahwa kecepatan produksi kristal semakin besar seiring dengan flowrate feed yang semakin besar pula. Tetapi pada dasarnya flowrate feed yang terlalu kecil tidak

sesuai untuk proses produksi kristal, karena dengan flowrate feed yang sangat kecil menyebabkan tidak adanya driving force sehingga proses difusi solute dari larutan ke permukaan kristal tidak dapat terjadi karena terlalu lambat prosesnya dan menyebabkan wash out. Sedangkan jika flowrate feed terlalu besar maka proses difusi solute dari larutan ke permukaan kristal terjadi terlalu cepat, sehingga feed hanya lewat dan tidak sempat terdifusi ke permukaan kristal dan menyebabkan tidak dapat terbentuknya produk kristal yang diinginkan.

Pada penelitian ini menggunakan flowrate feed yang sesuai untuk proses kristalisasi asam sitrat, yaitu 0.5 ml/dt hingga 3 ml/dt. Dari literature didapatkan data kecepatan pertumbuhan kristal asam sitrat itu sendiri adalah  $(1,1 - 3,7) \times 10^{-8} \text{ m/s}$  (Sikdar and Randolph, *AIChE J.* 33: 6 (1987) ; *Perry's Chemical Engineers Handbook*). Dari sinilah dapat ditentukan flowrate feed optimal yang dapat digunakan dalam proses kristalisasi untuk mengoptimalkan kecepatan produksi kristal asam sitrat.

#### 4. Kesimpulan

1. Flowrate feed dan suhu saturator tank sangat berpengaruh pada kadar impuritas Fe dalam produk kristal asam sitrat. Semakin besar flowrate feed, semakin banyak kadar impuritas yang terperangkap dalam produk kristal asam sitrat yang dihasilkan. Sedangkan semakin tinggi suhu saturator tank, kadar impuritas Fe dalam produk kristal asam sitrat semakin kecil. Variabel optimum yang didapatkan dari hasil penelitian yaitu pada variable flowrate feed 0,5 ml/dt dan pada suhu saturator tank 50°C. Berat kristal yang dihasilkan pada kondisi optimum ini adalah 101,62 gr dengan kadar impuritas Fe dalam produk kristal 0,3 ppm.
2. Kecepatan produksi kristal sangat mempengaruhi kadar impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat yang dihasilkan pada proses kristalisasi. Semakin besar kecepatan produksi kristal asam sitrat, semakin besar pula impuritas Fe dalam feed yang terperangkap dalam produk kristal asam sitrat. Tetapi kenaikan kadar impuritas Fe yang terperangkap dalam kristal yang dihasilkan dalam proses kristalisasi asam sitrat tidak akan lebih besar dari kadar Fe yang terkandung dalam solute (feed), yaitu 40 ppm. Dari hasil analisa pengaruh kecepatan produksi kristal terhadap impuritas Fe yang terkandung dalam produk kristal asam sitrat, didapatkan persamaan  $y = 0,083x + 0,338$  untuk suhu saturator tank 30°C,  $y = 0,074x + 0,2793$  untuk suhu saturator tank 40°C, dan  $y = 0,0769x + 0,2227$  untuk suhu saturator tank 50°C.

#### Ucapan Terima Kasih

1. Bapak Ir. Danny Soetrisnanto, M.Eng selaku dosen pembimbing penelitian atas segala bimbingannya.
2. Bapak Sunarto, dan Bapak Rujiyanto selaku laboran di Laboratorium OTK yang telah membantu terlaksananya penelitian.
3. Orangtua, keluarga penyusun dan teman-teman yang telah memberikan doa, support, dan materi.

#### Daftar Pustaka

- Bu'Lock, B, Kristiansen, B, "Basic Biotechnology", Academic Press Ltd., 1987.  
Bulletin Penelitian, No. 12, 1988/1989.  
Mersmann, A., "Crystallization Technology Handbook", 2<sup>nd</sup> ed, All Rights Reserved, 2001.  
Mullin, J. W., "Crystallization", 4<sup>th</sup> ed, Butterworths, London, 2001.  
Murray, M. Y., "Comprehensive Biotechnology", Vol.3, Pergamon Press Ltd., 1985.  
Jones, Alan G., "Crystallization Process Systems", 1<sup>st</sup> ed, Butterworth, London, 2002.  
Perry, R. H. and Chillon, "Chemical Engineering Handbook" 6<sup>th</sup> ed, Mc Graw Hill Book Co. Inc., New York, 1985.  
Underwood, A. L. and Day, R. A., "Analisa Kimia Kualitatif" edisi ke-4, Erlangga, Jakarta, 1983.  
Warren, L., "Unit Operation of Chemical Engineering" 4<sup>th</sup> ed, Mc Graw Hill Book Company, 1985.