

---

# SIMULASI PENGARUH PENCAMPURAN PADA REAKSI PARALLEL DALAM REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK

Ling Ling, Ali Altway, Sugeng Winardi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111  
Telp.: (031) 5946240, Fax : (031) 5999282, Email: [mixing@chemeng.its.ac.id](mailto:mixing@chemeng.its.ac.id)

Naskah diterima 19 Mei 2004, dinilai 20 Mei 2004, dan disetujui 18 Agustus 2004

## Abstrak

Kinerja reaktor kimia tangki berpengaduk dipengaruhi baik oleh fenomena macromixing maupun micromixing. Pengaruh fenomena micromixing menjadi sangat penting untuk reaksi-reaksi cepat yang terjadi di dalam reaktor. Belum banyak informasi yang tersedia mengenai pengaruh fenomena micromixing terhadap kinerja reaktor. Beberapa penelitian terdahulu telah menganalisa secara teoritis pengaruh fenomena ini terhadap kinerja reaktor tangki teraduk dengan menggunakan beberapa model. Model - model ini belum dapat melibatkan pengaruh beberapa aspek geometri, seperti posisi aliran umpan dan posisi aliran keluar, terhadap kinerja reaktor tangki teraduk yang dioperasikan secara kontinyu. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh geometri reaktor terhadap distribusi dan konversi produk dari reaksi parallel melalui teknik simulasi. Sistem yang digunakan adalah tangki silindris berdasar datar yang dilengkapi dengan 4 buah baffle dengan ukuran  $T$  (diameter tangki) = 0,3 m dan  $H$  (tinggi cairan) =  $T$ . Reaksi parallel kompetitif yang dipelajari adalah reaksi fase cair antara asam klorida dengan natrium hidroksida dan reaksi antara elit kloroasetat dengan natrium hidroksida. Reaksi pertama jauh lebih cepat dari reaksi kedua. Sedangkan variabel percobaan yang dipelajari meliputi kecepatan putar impeller, waktu tinggal, letak masukan reaktor, letak keluaran reaktor dan jenis impeller. Simulasi model fisik yang terlibat adalah model umum formula reaksi kimia dan model aliran turbulen  $k-\epsilon$  standar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa selektivitas reaksi dipengaruhi secara kompleks oleh beberapa faktor yaitu energi dissipasi, posisi masukan dan keluaran reaktor, pola aliran, luas daerah reaksi serta lamanya waktu tinggal.

**Kata Kunci :** Micromixing, Reaktor Alir Tangki Berpengaduk, CFD, dan Reaksi Parallel Kompetitif

## Abstract

The performance of continuous stirred tank reactor was affected by both macromixing and micromixing phenomena. The effect of micromixing becomes very important for fast chemical reactions occurring in the reactor. However, there is not enough information about the effect on the reactor performance. Previous workers have analyzed the effect of micromixing phenomena using several models. However these models can not simulate the effect of some geometries aspects of the continuous stirred tank reactor such as feed and outflow position. Therefore the aim of this work is to study theoretically the effect of reactor geometry on the course of two competitive fast parallel chemical reactions. The liquid height in the tank equal with the diameter. The reaction system investigated was the same as that studied by Baldyga (2001), neutralization of sodium hydroxide and hydrolysis of ethyl chloroacetate. This work studied the effect of impeller rotation speed, mean residence time, the position of inlet and outlet pipe, and the impeller type. The simulation was carried out using Generalized Finite Rate Formulation (GFRF) for reactive hydrodynamic system, .... Standard turbulent model Probability Density Function (PDF), and a mechanistic model, Packet Diffusion Model, and MRF approach to handle impeller problem. CFD commercial code FLUENT 6.0 has been used to do the simulation work. The simulation results showed that the reaction yield was affected in complicated manner by several factors such as : energy dissipation rate, pipe inlet and outlet, flow pattern, reaction zone and mean residence time.

**Keywords :** Micromixing, Continuous Stirred Tank Reactor, CFD, Competitive Parallel Reactions

### 1. Pendahuluan

Tangki berpengaduk mekanis digunakan secara luas dalam industri-industri kimia untuk macam-macam proses pencampuran, salah satunya adalah untuk pencampuran reaktan cair suatu reaksi kimia. Sebagai reaktor, distribusi dan *yield* produk reaksi akan tergantung pada laju pengadukan selain kinetika reaksinya. Dan pada reaksi paralel yang berlangsung cepat, reaksi hanya terjadi dalam volume reaktor. Oleh sebab itu perlu pemahaman yang baik tentang pencampuran pada skala molekuler (*micromixing*) disamping pencampuran turbulen dan reaksi kimia adalah sangat kompleks dan sukar diprediksi. Untuk itu perlu informasi mengenai fenomena yang terjadi di dalam sistem reaktor dengan melakukan pendekatan baik secara *experimental* maupun *computational*.

Dalam dua puluh tahun terakhir ini telah dilakukan beberapa penelitian yang mempelajari pengaruh pencampuran terhadap reaksi kimia yang terjadi di dalam tangki berpengaduk (Middleton dkk, 1986; Bourne and Yu, 1994; Fournier dkk, 1996 dan Guichardon dkk, 2001). Middleton dkk (1986) mempelajari medan aliran turbulen di dalam tangki teraduk dan pengaruhnya terhadap *yield* reaksi kompleks yang terjadi di dalamnya. Bourne & Yu (1994) meneliti pengaruh *micromixing* terhadap distribusi produk dari reaksi paralel di dalam tangki berpengaduk yang beroperasi secara semi *batch*, hasil penelitian menyimpulkan bahwa geometri reaktor memberikan pengaruh yang besar terhadap selektivitas reaksi. Fournier dkk (1996) dan Guichardon dkk (2001) mempelajari cara kimia untuk menaksir tingkat *micromixing* di dalam tangki teraduk. Sebagian besar penelitian yang ada tersebut mempelajari sistem reaktor yang dioperasikan secara *batch* dan semi *batch*. Padahal seringkali operasi pencampuran yang terjadi di dalam industri kimia dilakukan secara kontinyu. Informasi mengenai fenomena pengaruh pencampuran terhadap reaksi paralel dalam reaktor tangki berpengaduk yang beroperasi secara kontinyu sangatlah diperlukan.

Baldyga dkk (2001) meneliti secara eksperimen dan simulasi mengenai pengaruh pencampuran dari dua reaksi paralel yang cepat dalam *continuous-flow stirred-tank reaktor* dengan menggunakan beberapa model pendekatan. Model PDF yang pendekatannya berbasis CFD menghasilkan perkiraan distribusi produk dan *yield* reaksi paralel yang lebih sesuai dengan hasil eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar *impeller* akan menaikkan energi dissipasi dalam reaktor dan menyebabkan turunnya harga

selektivitas reaksi dan semakin besar waktu tinggal semakin kecil harga selektivitas reaksi. Namun range kecepatan putar *impeller* yang diteliti hanya terbatas dari 106-214 rpm dan model PDF tidak menyelesaikan persamaan transport senyawa individu melainkan persamaan transport fraksi campuran. Konsentrasi komponen individu berasal dari perkiraan distribusi fraksi campuran. Sehingga diperlukan penelitian dengan pemodelan yang lebih menekankan persamaan transport senyawa yang bereaksi untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan dan geometri reaktor alir tangki berpengaduk terhadap distribusi dan *yield* dari reaksi paralel.

### 2. Fundamental

Didalam sistem reaktor tangki teraduk pencampuran ditimbulkan oleh putaran pengaduk mekanis. Peranan pencampuran yang dibangkitkan *impeller* ini adalah untuk menimbulkan medan aliran turbulen yang meminimalkan gradien suhu dan konsentrasi, dan meningkatkan kontak antar senyawa-senyawa yang bereaksi Transformasi bahan-bahan yang bereaksi terjadi pada skala molekuler, sehingga proses ini sangat bergantung pada kontak atau senyawa-senyawa yang bereaksi dan selanjutnya kontak ini dipengaruhi oleh fenomena pencampuran dalam skala molekuler yang disebut *micromixing*. *Micromixing* menjadi penting terutama untuk reaksi ganda yang relatif cepat dibanding kecepatan pencampuran. Salah satu pendekatan untuk menaksir pengaruh fenomena pencampuran ini terhadap jalannya reaksi kimia di dalam suatu reaktor adalah pendekatan *closure* berbasis CFD pendekatan *closure* menaksir pengaruh pencampuran terhadap jalannya reaksi kimia dengan cara memodelkan aliran yang disertai reaksi kimia yang meliputi persamaan kontinuitas untuk campuran, persamaan momentum untuk campuran dan persamaan - persamaan untuk model - model turbulensinya, dan juga persamaan transport untuk senyawa kimia yang dinyatakan dengan,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho m_i) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_i m_i) = - \frac{\partial}{\partial x_i} J_{i,i} + R_i + S_i \quad (1)$$

Persamaan dari bentuk ini dapat diselesaikan untuk senyawa N 1 dimana N adalah jumlah total senyawa kimia fase fluida yang ada di dalam sistem.  $J_{i,i}$  adalah fluks difusi dari senyawa 'i' yang meningkat akibat gradien konsentrasi. Untuk

larutan encer, fluks difusi untuk aliran turbulen dapat ditulis sebagai berikut :

$$J_{i,i} = -(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{S_{ct}}) \frac{\partial m_i}{\partial x_i} \quad (2)$$

Pada Pers. (1)  $R_{i'}$  adalah suku generasi yang disebabkan oleh adanya reaksi kimia, sedang  $S_{i'}$  adalah suku generasi yang disebabkan oleh sumber-sumber lain  $R_{i'}$  adalah dapat diprediksi dengan memperhitungkan pengaruh fenomena pencampuran terhadap reaksi kimia. Ada beberapa model yang ada di literatur, antara lain adalah *Generalized Finite Rate formulation* yang tersedia pada FLUENT 5.5. Dengan model ini laju molar pembentukan/pengurangan senyawa  $i'$  Dalam reaksi  $k$  diberikan oleh persamaan berikut :

$$R_{i',k} = \Gamma (v_{i',k}^{i'} - v_{i',k}^{i',k}) \left( k_{f,k} \prod_{j=1}^N [C_{j'}]^{\eta_{j',k}} - k_{b,k} \prod_{j=1}^N [C_{j'}]^{\eta_{j',k}} \right) \quad (3)$$

Dan pengaruh turbulensi pada laju reaksi dihitung dengan model Magnussen dan Hjertager. Dalam model ini laju reaksi  $R_{i',k}$  diberikan oleh nilai yang lebih kecil (nilai batas) dari dua persamaan berikut :

$$R_{i',k} = v_{i',k}^{i'} M_{i'} AB \rho \frac{\epsilon}{k} \frac{m_R}{v_{R,k} M_R} \quad (4)$$

$$R_{i',k} = v_{i',k}^{i'} M_{i'} AB \rho \frac{\epsilon}{k} \frac{\sum_P m_P}{\sum_{j'} v_{j',k}^{i'} M_{j'}} \quad (5)$$

Suku generasi karena adanya reaksi kimia pada pers. (7.1) diperoleh sebagai berikut:

$$R_{i'} = \sum_k R_{i',k} \quad (6)$$

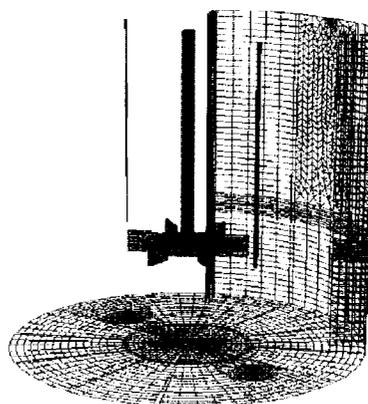
Dimana  $R_{i',k}$  didapat dari harga terkecil dari yang diprediksi dari Pers. (3) dan dari model Magnussen dan Hjertager.

### 3. Metodologi

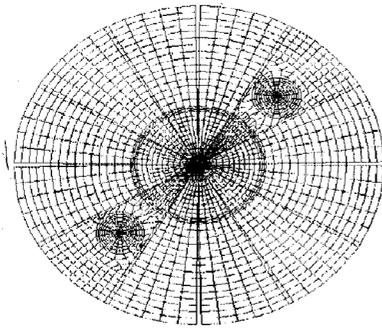
Sistem geometri yang dipelajari adalah tangki silindris berdasar datar dengan diameter  $T = 0,3$  m dan tinggi cairan  $H = T$  dengan 4 buah *baffle*

. *Impeller* yang digunakan tipe Rushton 6 *blade disk turbine* dengan diameter  $D = 0,33$  T. Jarak impeller dari dasar tangki adalah 1/3 diameter tangki. Larutan 1 M natrium hidroksida dimasukkan dalam tangki melalui pipa masukan yang berdiameter 0,0001 m dan larutan 0,02 M campuran asam klorida dan etil kloroasetat dimasukkan kedalam tangki melalui pipa masukan yang berdiameter 0,003 m. Kedua pipa masukan terpisah 180 0 satu sama lain dengan jarak 0,09 m dari aksis dan letak masuka sejajar dengan *disk* dari *impller* . *Flow rate* natrium hidroksida divariasikan antara 0,021 0,046 liter/menit dan untuk campuran larutan asam klorida dan etil kloroasetat antara 1,039 n2,309 liter/menit. Keluaran dengan diameter 0,02 m diletakkan dalam *bottom* (pusat dasar tangki)

Langkah pertama penelitian ini adalah pembuatan geometri tangki berpengaduk yang akan dipelajari dengan system tiga dimensi oleh pembentukan grid yang merupakan domain perhitungan dilakukan dengan menggunakan software gambit 2.0.4 yang terdapat dalam paket kode komersial CFD FLUENT 6.0. Persoalan impeller diatasi dengan menggunakan Multi Reference Frame (MRF). Pemodelan aliran fluida yang disertai reaksi kimia menggtunakan *Generalized Finite Rate Formulation* dan turbulensi aliran dimodelkan dengan model ... standard. Jumlah grid yang digunakan sekitar 200.000 sel komputasi



(a)



(b)

**Gambar 1. (a) Struktur Grid yang dibentuk (b) Struktur Grid tampak dari atas**

Gambar 1 menunjukkan struktur grid yang dibentuk pada penelitian ini. Pada tahap komputasi mula-mula diselesaikan persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan-persamaan untuk model turbulensinya menggunakan metode finite volume dengan *upwind differencing scheme*, sedang untuk menangani masalah *pressure-velocity coupling* digunakan model SIMPLE. Perhitungan ini menghasilkan medan kecepatan aliran turbulen dan distribusi property turbulen di dalam tangki. Kemudian perhitungan dilanjutkan dengan menyelesaikan persamaan transport untuk species dimana suku generasi karena reaksi diprediksi menggunakan model GFRF. Persamaan ini diselesaikan juga menggunakan metode *finite volume* dengan *upwind differencing scheme* dimana variable kecepatan dan properti turbulen didapat dari perhitungan sebelumnya. Konvergensi komputasi dianggap tercapai apabila jumlah residual lebih kecil dari pada  $10^{-5}$

Pengaruh pengadukan dipelajari dengan bervariasi kecepatan putar *impeller* dari 60, 106, 174, 214, 300, 500 rpm dengan waktu tinggal rata-rata 9, 12, dan 20 menit. Pengaruh geometri tangki seperti bentuk *impeller* dapat kita pelajari dengan menggunakan jenis *impeller pitched blade turbine* sebagai pembandingan, sedang pengaruh letak masukan dipelajari dengan mengubah jarak antara kedua pipa masukan. Dipelajari pula pengaruh letak keluaran bila diletakkan di dasar dan dilakukan *overflow* terhadap distribusi dan *yield* dari reaksi.

Dari hasil simulasi yang berupa data konsentrasi molar natrium kloro asetat dihitung harga selektivitas

$$X_Q = \frac{C_{COUT} - C_{CIN}}{C_{A0}} \quad (7)$$

*Segregation number* dihitung guna mengetahui tingkat *micromixing* yang terjadi,  $sg$

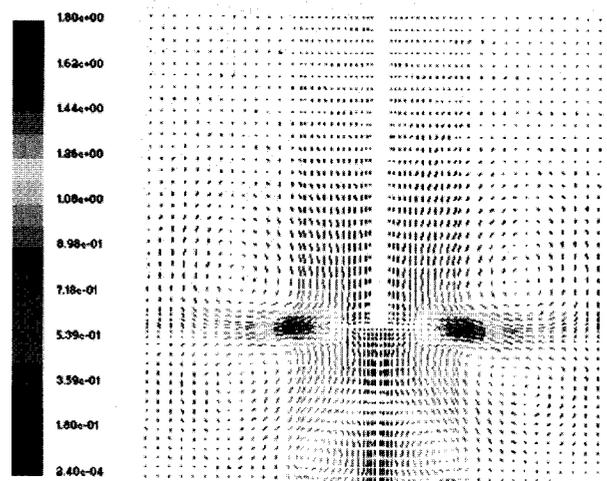
$$sg = \frac{\mu^{3/2}}{4\pi^2 \rho^{3/2} \epsilon^{1/2} D\tau} \quad (8)$$

#### 4. Hasil dan Pembahasan

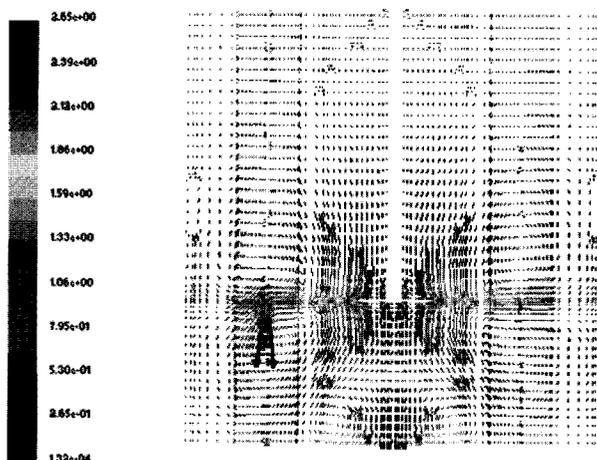
Hasil prediksi simulasi disajikan dalam bentuk medanj kecepatan, kontur laju energi dissipasi dan konsentrasi species. Selain itu dibahas pengaruh dari kecepatan putar *impeller*, waktu tinggal rata-rata, posisi umpan, posisi aliran keluar, dan tipe *impeller* terhadap selektivitas reaksi.

##### Medan Kecepatan

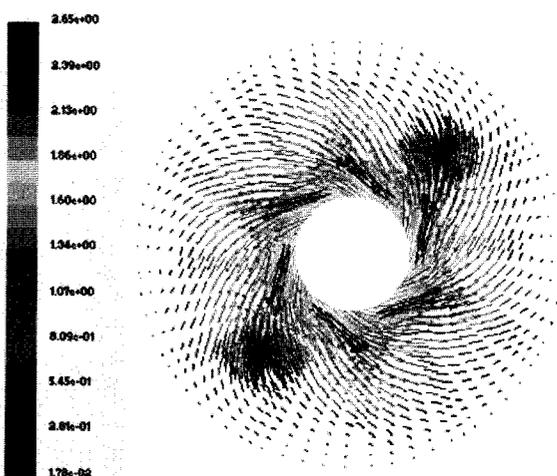
Dari plot vector medan kecepatan pada Gambar 2 terlihat bahwa pada bidang  $r-z$  dengan  $\theta = 45^\circ$  aliran cairan meninggalkan *impeller* dalam arah radial dan tangensial. Pada saat mendekati dinding aliran tersebut terpecah menjadi dua yaitu kearah aksial positif (ke atas) dan kearah aksial negative (ke bawah). Pada bagian atas dan bawah *impeller* terbentuk vorteks saat aliran tersirkulasi menuju *impeller* dalam arah radial menuju pusat tangki dan kemudian kearah aksial pada pusat tangki. Sedang pada bidang  $r-z$  dengan  $\theta = 135^\circ$  dapat kita amati bahwa adanya pipa masukan menyebabkan perubahan terhadap pola alir cairan. Penurunan kecepatan radial-tangensial dari *impeller* stream setelah melewati pipa masukan tampak dengan jelas pada bidang  $r-\theta$  dengan  $z=0,2$  m.



(a)

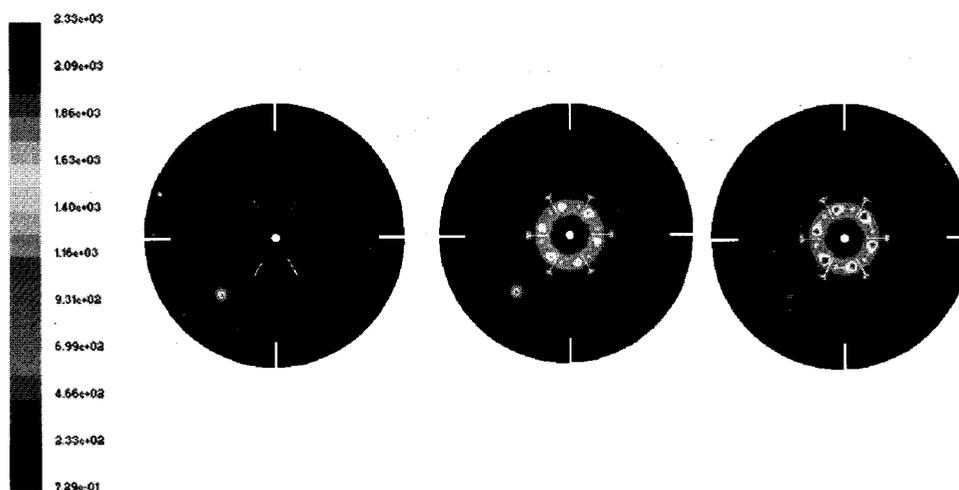


(b)



(c)

Gambar 2. Plot Vektor Medan Kecepatan Aliran Fluida (*Rushton Disk Turbine*),  $\tau = 20$  menit dan  $N = 500$  rpm pada (a) bidang  $r - z$ ,  $\theta = 45^\circ$ , (b) bidang  $r - z$ ,  $\theta = 135^\circ$ , (c) bidang  $r - \theta$ ,  $z = 0.2\text{m}$



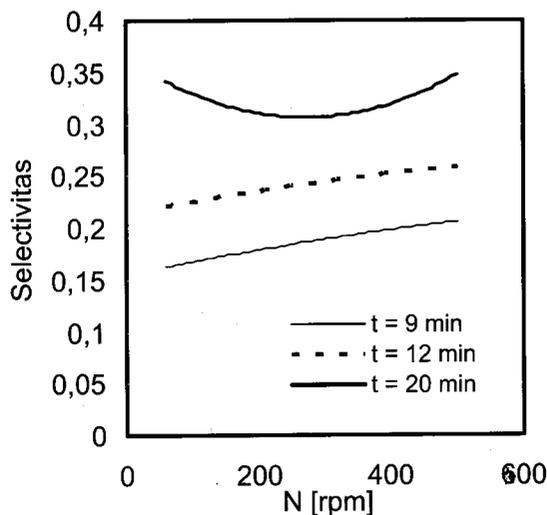
Gambar 3. Kontur Laju Energi Dissipasi pada  $\tau = 20$  menit,  $N = 60, 300, 500$  rpm

**Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Selektivitas**

Secara teoritis meningkatnya kecepatan putar *impeller* akan menyebabkan bertambah besarnya energi dissipasi ( $\epsilon$ ) yang dihasilkan dari *impeller* sehingga tingkat *micromixing* dalam reactor semakin tinggi. Hal ini mengakibatkan yield dari reaksi kedua, Atau dapat dikatakan bahwa selektivitas terhadap reaksi kedua akan menurun seiring kenaikan kecepatan putar *impeller* sebagaimana disimpulkan oleh Baldyga dkk (2001).

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada waktu tinggal 9 dan 12 menit dengan kecepatan putar *impeller* 60 – 500 rpm, harga selektivitas justru meningkat seiring bertambah besarnya kecepatan putar *impeller*. Sedang untuk waktu tinggal 20 menit, kenaikan kecepatan putar pengaduk dari 60 sampai 300 rpm menyebabkan penurunan selektifitas, namun kenaikan kecepatan putar pengaduk lebih lanjut justru menaikkan selektifitas. Hal ini nampaknya bertentangan dengan dasar teori di muka, Namun bila kita lihat Gambar 3, laju energi dissipasi pada zona reaksi menurun dengan kenaikan kecepatan putar pengaduk dari 300 rpm sampai dengan 500 rpm. Hal ini menjelaskan meningkatnya selektifitas dengan kenaikan kecepatan putar pengaduk. Meningkatnya harga selektivitas ini juga disebabkan karena distribusi reaktan NaOH yang berbeda dan spesifik untuk tiap kecepatan putar *impeller* dan bertambah luasnya daerah reaksi untuk reaksi kedua di sekitar pipa aliran masuk seperti yang terlihat pada Gambar 5 dan 6

sehingga kesempatan bereaksi untuk reaksi kedua meningkat dan selektivitas terhadap reaksi kedua bertambah besar.



Gambar 4. Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Selektivitas

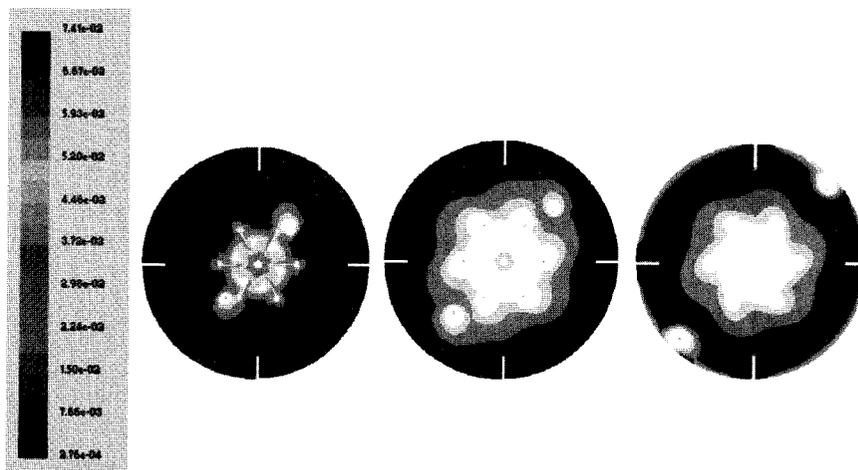
### Pengaruh Posisi Masukan terhadap Selektivitas

Gambar 7 menunjukkan pengaruh posisi aliran masukan terhadap selektivitas reaksi. Terlihat bahwa pada waktu tinggal 9 menit dan kecepatan putar *impeller Rushton disk turbine* 60 500 rpm, posisi masukan yang diletakkan di daerah sapuan *impeller* dengan jarak yang sangat dekat *impeller* yaitu 6 cm dari aksis memiliki harga selektivitas yang terkecil dibanding posisi masukan yang lainnya. Pada waktu tinggal 20 menit pengaruh posisi masukan terhadap selektivitas hampir menyerupai dengan waktu tinggal 9 menit namun pada kecepatan 500 rpm, harga selektivitas dari posisi masukan yang diletakkan dekat dengan dinding tangki adalah terkecil dibandingkan harga selektivitas dari posisi masukan dekat *impeller*. Hal ini dapat dijelaskan dari Gambar 8 bahwa pada 500 rpm dan waktu

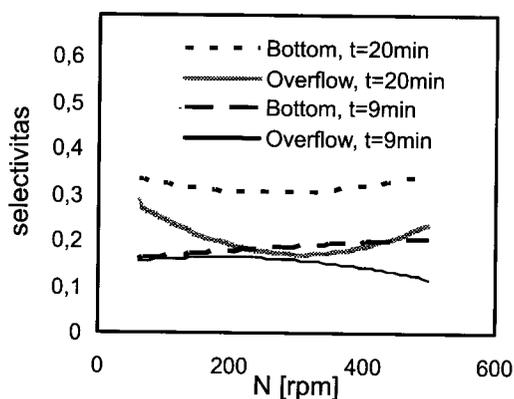
tinggal 20, harga laju turbulen reaksi kedua pada posisi masukan dekat dinding adalah lebih kecil dari pada harga laju turbulen reaksi kedua pada posisi masukan dekat *impeller*.

### Pengaruh Posisi Keluaran terhadap Selektivitas

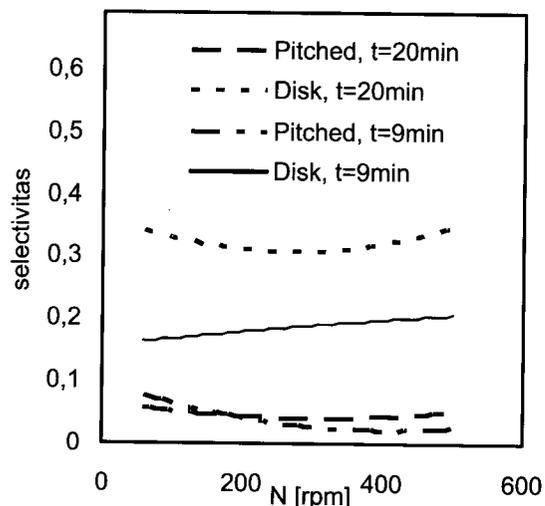
Pada Gambar 9 terlihat bahwa pada kondisi kecepatan putar *impeller* dan waktu tinggal yang sama, harga selektivitas untuk keluaran yang terletak pada posisi *overflow* adalah lebih kecil dari pada keluaran yang terletak pada bottom. Dan pada waktu tinggal 20 menit dengan keluaran yang terletak di *overflow*, pengaruh kecepatan putar *impeller* terhadap selektivitas adalah lebih signifikan dari pada *keluaran* di bottom. Pengaruh posisi keluaran terhadap selektivitas reaksi ini sebagian besar disebabkan oleh tingkat *macromixing* yang tak sama.



Gambar 8. Laju Turbulen Reaksi Kedua pada Bidang  $r-\theta, z = 0,2$  m,  $T = 20$  min,  $N = 500$  rpm, pada Posisi Masukan (a) 6 cm dari aksis, (b) 9 cm dari aksis dan (c) 13,5 cm dari Aksis



Gambar 9. Pengaruh Posisi Keluaran terhadap Selektivitas



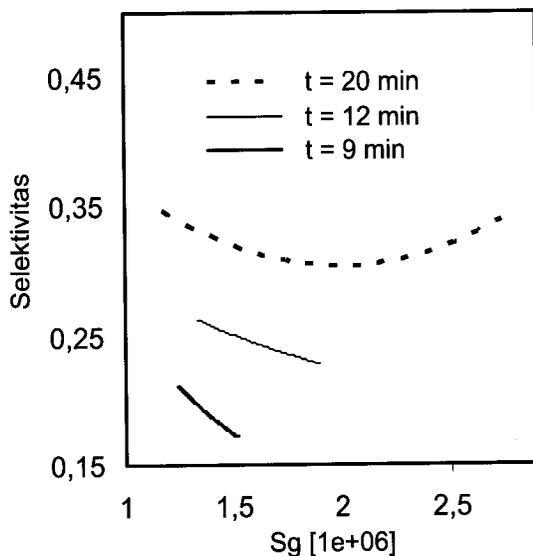
Gambar 10. Pengaruh Jenis *Impeller* terhadap Selektivitas

**Pengaruh Jenis Impeller terhadap Selektivitas**

Jenis aksial *flow impeller* yang kami gunakan dalam simulasi ini adalah *Pitched blade turbine*. Dari Gambar 10 terlihat bahwa pada waktu tinggal dan kecepatan putar *impeller* yang sama harga selektivitas yang dihasilkan dengan menggunakan *impeller Pitched blade turbine* adalah lebih kecil dari pada menggunakan *Rushton 6 balde turbine* uang kecil ini disebabkan karena pola alir *pumping-up* yang dihasilkan dari *impeller* aksial menyebabkan laju turbulen untuk reaksi pertama yang meningkat sehingga *yield* reaksi pertama meningkat dan menekan *yield* dari reaksi kedua.

**Hubungan Segregation Number dengan Selektivitas**

Dari Gambar 11 terlihat bahwa pada  $\tau = 9$  dan 12 menit dengan  $N = 60 - 500$  rpm pada  $\tau = 20$  menit dan  $N = 300 - 500$  rpm, selektivitas meningkat dengan bertambah kecilnya harga *segregation number*.



**Gambar 11. Hubungan Selektivitas dengan Bilangan Segregasi pada T = 9, 12, 20 Menit Dengan Impeller Rushton Disk Turbine**

**5. Kesimpulan**

Penelitian ini menunjukkan bahwa model GFRF dapat mengases pengaruh berbagai variable operasi (kecepatan putar pengaduk dan waktu tinggal rata - rata) dan geometri ( tipe *impeller* dan posisi masukan dan keluaran) terhadap selektivitas system reaksi paralel kompetitif di dalam reactor tangki teraduk kontinyu. Dapat disimpulkan bahwa selektivitas reaksi dipengaruhi secara kompleks oleh laju energi dissipasi, geometri tangki berpengaduk yang meliputi posisi masukan

dan keluaran dari reaktor, pola aliran yang terjadi dalam reaktor akibat jenis *impeller* yang digunakan dan luasnya daerah reaksi serta lamanya waktu tinggal yang memperbesar kesempatan reaktan bereaksi.

**NOTASI**

- A,B = Konstanta pada Persamaan (4) dan (5)
- C = Tinggi *clearance*, m
- C<sub>A0</sub> = konsentrasi NaOH masuk reaktor, kmol/m<sup>3</sup>
- C<sub>Cin</sub> = Konsentrasi etil kloroasetat masuk reaktor, kmol/m<sup>3</sup>
- C<sub>Cout</sub> = Konsentrasi etil kloroasetat keluar reaktor kmol/m<sup>3</sup>
- C<sub>j</sub> = Konsentrasi spesies j', kmol/m<sup>3</sup>
- D = Diameter *impeller*, kmol/m<sup>3</sup>
- D = Difusivitas, m<sup>2</sup>/s
- d<sub>s</sub> = Diameter *disk impeller*, m
- H = Tinggi cairan dalam tangki, m
- J<sub>i,j</sub> = Fluksi difusi spesies i' dalam arah j, kmol/m<sup>2</sup>s
- k = Energi kinetik turbulen, m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>
- k<sub>t,k</sub> = Konstanta kecepatan reaksi kekanan untuk reaksi k, m<sup>3</sup>/ kmol.s
- k<sub>b,k</sub> = Konstanta kecepatan reaksi kekanan untuk reaksi k, M<sup>3</sup>/ kmol.s
- m<sub>i'</sub> = Fraksi massa spesies i'
- M<sub>i'</sub> = Berat molekul spesies i', kg/kmol
- R<sub>i'</sub> = Laju generasi spesies i' oleh reaksi kmol/m<sup>3</sup>s
- S<sub>i'</sub> = Laju generasi spesies i' oleh sumber lain Kmol/m<sup>3</sup>s
- S<sub>g</sub> = *Segregation number*
- u<sub>j</sub> = Kecepatan kearah sumbu j, m/s
- x<sub>j</sub> = Koordinat arah sumbu j, m
- X<sub>Q</sub> = Selektivitas
- ε = laju dissipasi energi kinetik turbulen, m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>
- η', η'' = Faktor pangkat
- μ = viskositas cairan, kg/m.s
- v'<sub>i,k</sub> = Koefisien stoikiometri reaktan
- v''<sub>i,k</sub> = Koefisien stoikiometri produk
- ρ = Densitas, kg/m<sup>3</sup>
- τ = waktu tinggal, s

### Daftar Pustaka

- [1] Baldyga, J., Henczka, M. dan Makowski, L., (2001), " Effect of Mixing on Paralel Chemical Reactions in a Continuous Flow Stirred-Tank Reactor ", Trans. Ichem E, Vol. 79, Part A, hal. 895-900.
- [2] Bourne, J.R. dan Yu, S.Y. (1994), " investigation of Micromixing in Stirred Tank Reactonrs Using Paralel Reactions ", Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 33, hal. 41 -55.
- [3] Fournier M.C., Falk L., Villermaux J. (1996), " A New Paralel Competiting Reaction System for Assessing Micromixing Efficiency Experimental Approsch ", Chem. Eng. Sci., Vol. 51, No. 23, hal. 50-53.
- [4] Guichardon, P., Falk, L. Dan andrieu M. (2001), " Experimental Comparison of The Iodite-Iodate and The Reaction in Stirred Reactiors", International Symposium on Mixing in Industrial Processes, Toulouse.
- [5] Middleton, J. C., Pierce, F. Dan Lync, P.M. (1986), " Computation of Flow Fields and Complex Reaction Yield in Turbulent Stirred Reactors, and Comparison with Experimental Data", Chem. Eng. Res. Des., Vol. 64, hal. 18 -22.