

## Aplikasi *Packet Diffusion Model* untuk Menganalisis Pengaruh Fenomena *Micromixing* terhadap Jalannya Reaksi Kimia Paralel di dalam Reaktor Tangki Teraduk Kontinyu dengan Aliran Umpan Terpisah

Ali Altway, Sugeng Winardi, M.Rachimoellah

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri ITS, Surabaya 60111

### Abstract

*The effect of turbulent mixing on the course of two fast parallel competitive chemical reactions (neutralization of sodium baborate and iodide-iodate oxidation-reduction reactions) carried out in continuous stirred tank reactors have been studied theoretically, using Packet Diffusion Model, and experimentally to validate the theoretical predictions.*

*System studied consists of flat bottom cylindrical tank 0.2 m in diameter. The height of liquid in the tank is also 0.2 m. The tank was equipped with Fan Turbine with diameter equal to 1/3 tank diameter. Sulphuric acid solution (0.5 M) was fed into the tank through 2 mm-diameter pipe, and the aqueous solution containing 0.0909 M NaH<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>, 0.0909 M H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 0.0116667 M KI, and 0.0023333 M KIO<sub>3</sub> was fed into the tank through 10 mm-diameter pipe. The rate of acid solution was varied 0.045, 0.068, and 0.09 liter/minute, while the rate of the other solution was varied 1, 1.5, and 2 liter/minute (the rate variation correspond to the mean residence time variation of 6, 4, and 3 minutes). The impeller rotation speed was varied: 9, 12, and 15 rps. The iodine concentration in the tank influent was analyzed using spectrophotometer.*

*The simulation works conclude that the selectivity of iodine decrease with increasing impeller rotation speed for the mean residence time of 3 and 4 minutes, while for the mean residence time of 6 minutes, the iodine selectivity increase with increasing impeller rotation speed. Increasing the mean residence time from 3 to 4 minutes will decrease the iodine selectivity, while increasing the mean residence time further to 6 minutes will increase the selectivity. The theoretical prediction using Packet Diffusion Model agree fairly well with the experimental data. The experimental studies also showed that the feed position in the region of high turbulent intensity (impeller region) give lower iodine selectivity compaired to the selectivity in the region of lower turbulent intensity. The Packet Diffusion Model cannot simulate the effect of feed position on the iodine selectivity.*

**Keywords:** *Packet Diffusion Model, Micromixing, and Continuous Stirred Tank Reactor*

### 1. Pendahuluan

Tangki teraduk digunakan secara luas dalam banyak industri kimia, farmasi dan kilang minyak untuk pencampuran dan reaksi kimia, misal untuk menghasilkan specialty chemicals, obat-obat-an, polimer, untuk proses netralisasi, kristalisasi, dll. Proses-proses ini umumnya meliputi reaksi-reaksi ganda Untuk reaksi ganda, distribusi hasil reaksi merupakan indikator kinerja reaktor yang penting. Peranan pencampuran yang dibangkitkan impeller

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 antar 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. Dalam hal ini, fenomena micromixing mempengaruhi distribusi produk reaksi.

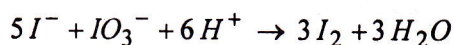
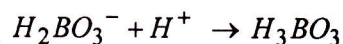
Penelitian-penelitian telah dilakukan untuk menyelidiki pengaruh pencampuran terhadap jalannya reaksi-reaksi ganda didalam reaktor tangki teraduk secara eksperimental (Bourne dkk,1992; Fournier dkk, 1996; Guichardon dkk, 2001; Baldyga, dkk.,2001; dan Assirelli dkk, 2002). Penelitian-penelitian ini mengembangkan uji kimia untuk menaksir tingkat *micromixing* didalam reaktor tangki teraduk dan mengaplikasikan uji kimia ini untuk mempelajari pengaruh variable-variabel process yang berhubungan dengan fenomena pencampuran terhadap kinerja reaktor. Penelitian experimental ini mempunyai kelemahan bahwa hasilnya tak dapat digunakan untuk geometri tangki yang lain. Suatu model pencampuran turbulen dibutuhkan untuk mengevaluasi pengaruh pencampuran terhadap kinerja reaksi didalam reaktor. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian teoritis, yang mengarah pada pemodelan fenomena micromixing, untuk menaksir pengaruh pencampuran turbulen terhadap jalannya reaksi kimia didalam reaktor tangki teraduk (Baldyga dan Bourne,1984; Villiermaux dkk,1992; Bourne & Yu,1994; Fournier dkk, 1996; dan Baldyga dkk.,2001). Sebagian besar penelitian-penelitian ini dilaksanakan secara batch dan semi batch. Pada prakteknya reaktor tangki teraduk yang dioperasikan secara kontinu banyak diaplikasikan didalam proses industri yang melibatkan suatu reaksi parallel cepat. Yield dan selektifitas dalam reaksi ini diperkirakan akan sangat dipengaruhi oleh efek pencampuran turbulen. Pengaruh micromixing terhadap jalannya reaksi kimia didalam reaktor yang beroperasi secara kontinu dapat dianalisa dengan dua pendekatan yaitu pendekatan Closure yang berbasis CFD (Computatioal Fluid Dynamic) dan pendekatan mekanistik. Pendekatan mekanistik adalah lebih sederhana dari pada pendekatan Closure. *Packet Diffusion Model* adalah merupakan salah satu dari pendekatan mekanistik. Namun pemakaian model ini umumnya terbatas pada aliran umpan reaktan yang tercampur. Penelitian

ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pencampuran turbulen terhadap selektifitas produk dari pada reaksi-reaksi parallel berkompetisi yang terjadi didalam reaktor alir tangki teraduk dengan aliran umpan reaktan yang terpisah dengan menggunakan *Packet Diffusion Model*.

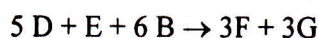
## 2. Fundamental

Penelitian dilaksanakan secara teoritis dengan mengembangkan *Packet Diffusion Model* untuk reaksi parallel cepat kompetitif yang terjadi didalam reaktor teraduk kontinu dengan aliran umpan terpisah.

Sistim yang dipelajari meliputi tangki silindris beralas datar dengan diameter 0.2 m, tinggi cairan dalam tangki juga 0.2 m. Tangki dilengkapi dengan Fan Turbine dengan diameter 1/3 diameter tangki. Sistim reaksi yang dipelajari adalah sebagai berikut,



Kedalam tangki dialirkan larutan asam sulfat 0.5 M melalui pipa dengan diameter 2 mm, dan larutan yang mengandung 0.0909 M  $NaH_2BO_3$ , 0.0909 M  $H_3BO_3$ , 0.0116667 M KI, dan 0.0023333 M  $KIO_3$  melalui pipa dengan diameter 10 mm. Laju alir larutan asam sulfat divariasi 0.045, 0.068, dan 0.09 liter/menit, sedang laju alir campuran Borat, Iodide, dan Iodate divariasi 1, 1.5, 2 liter/menit. Kecepatan putar impeler divariasi 1.67, 2.5, 3.33, 4.167, dan 5 rps. Sistim reaksi ini ditulis dalam bentuk symbol sebagai berikut,



Persamaan kecepatan reaksi untuk reaksi pertama dan kedua adalah,

$$-r_A = k_1 C_A C_B; \quad -r_E = k_2 C_B^2 C_D^2 C_E$$

Harga konstanta kecepatan reaksi untuk reaksi-reaksi ini pada suhu 30°C adalah,

$$k_2 = 2 \times 10^8 \frac{\text{lit}^4}{\text{mol}^4 \text{ det}}$$

Reaksi pertama jauh lebih cepat dari pada reaksi kedua (ditetapkan  $k_1=1000 k_2$ ). Selektifitas untuk F dari sistim reaksi ini ditaksir dengan menggunakan *Packet Diffusion Model*. Dalam hal ini terdapat dua paket, yaitu paket yang kaya akan B dan paket yang kaya akan A,D, dan E. *Packet Diffusion Model* untuk sistim ini dituliskan sebagai berikut,

$$\frac{\partial \overline{C}_A^n}{\partial \tau} = \frac{1}{\pi^2 Sg_A} \left[ \frac{\partial^2 \overline{C}_A^n}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2}{\bar{r}} \frac{\partial \overline{C}_A^n}{\partial \bar{r}} \right] - k_1 \bar{t} C_{A,In} \overline{C}_A^n \overline{C}_B^n \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial \overline{C}_B^n}{\partial \tau} = \frac{1}{\pi^2 Sg_B} \left[ \frac{\partial^2 \overline{C}_B^n}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2}{\bar{r}} \frac{\partial \overline{C}_B^n}{\partial \bar{r}} \right] - k_1 \bar{t} C_{A,In} \overline{C}_A^n \overline{C}_B^n - 6k_2 \bar{t} C_{A,In}^4 \overline{C}_D^n \overline{C}_B^n \overline{C}_E^n \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial \overline{C}_E^n}{\partial \tau} = \frac{1}{\pi^2 Sg_E} \left[ \frac{\partial^2 \overline{C}_E^n}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2}{\bar{r}} \frac{\partial \overline{C}_E^n}{\partial \bar{r}} \right] - k_2 \bar{t} C_{A,In}^4 \overline{C}_D^n \overline{C}_B^n \overline{C}_E^n \quad (3)$$

$$\frac{\partial \overline{C}_F^n}{\partial \tau} = \frac{1}{\pi^2 Sg_F} \left[ \frac{\partial^2 \overline{C}_F^n}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2}{\bar{r}} \frac{\partial \overline{C}_F^n}{\partial \bar{r}} \right] + 3k_2 \bar{t} C_{A,In}^4 \overline{C}_D^n \overline{C}_B^n \overline{C}_E^n \quad (4)$$

dimana indeks atas "n" menunjukkan nomor paket yaitu n= I dan II yang menyatakan paket I dan paket II. Selain itu,

$$\begin{aligned} \overline{C}_i^I &= C_i^I / C_{A,In} ; \\ \overline{C}_i^{II} &= C_i^{II} / C_{B,In} \quad (i=A,B,D,E,F); \\ \tau &= \frac{t}{\bar{t}} ; \bar{r} = \frac{r}{r_p} ; Sg_k = \frac{r_p^2}{\pi^2 D_k \bar{t}} \end{aligned} \quad (5)$$

dengan jari-jari paket,  $r_p$ , diperkirakan dengan anggapan bahwa ukuran paket adalah sama dengan ukuran *eddy* terkecil, yaitu  $r_p = \eta/2$  dimana,

$$\eta = \frac{\mu^{3/4}}{\rho^{3/4} \varepsilon^{1/4}} \quad (6)$$

Sehingga bilangan Segregasi ( $Sg_k$ ), yang menyatakan tingkat segregasi atau kebalikan dari tingkat micromixing, bisa dinyatakan dengan,

$$Sg_k = \frac{\mu^{3/2}}{4\pi^2 \rho^{3/2} \varepsilon^{1/2} D_k \bar{t}} \quad (7)$$

Kondisi awal dan kondisi batas untuk persamaan-persamaan differensial ini adalah:

$$\begin{aligned} \overline{C}_A^I(\bar{r},0) &= 1 ; \overline{C}_B^I(\bar{r},0) = 0 ; \overline{C}_E^I(\bar{r},0) \\ &= C_{E,In} / C_{A,In} ; \overline{C}_F^I(\bar{r},0) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\overline{C}_i^I(1,\tau) = C_{imm} / C_{A,In} \quad (i=A,B,E,F) \quad (9)$$

$$\frac{\partial \overline{C}_i^I(0,\tau)}{\partial \bar{r}} = 0 \quad (i=A,B,E,F) \quad (10)$$

Perlu diperhatikan bahwa pada kondisi-kondisi batas ini terdapat besaran-besaran  $C_{Amm}, C_{Bmm}, C_{Dmm}, C_{Emm}$  dan  $C_{Fmm}$  yang merupakan konsentrasi A,B,D, E dan F didalam reaktor *maximum mixedness*. Untuk tingkat macromixing berupa reaktor mixed flow, kondisi *maximum mixedness* adalah sama dengan *perfect mixer*. Dalam hal ini,  $C_{Amm}, C_{Bmm}, C_{Dmm}$ , dan  $C_{Emm}$  dihitung dari neraca massa tiap komponen dalam reaktor. Dengan menggunakan konsep *reaction progress*, persamaan neraca massa ini bisa ditulis sebagai berikut,

$$E_1 - \kappa_1 [1 - E_1][MB - E_1 - 6E_2] = 0 \quad (11)$$

$$E_2 - 25\kappa_2 [ME - E_2]^3 [MB - E_1 - 6E_2]^2 = 0 \quad (12)$$

$$C_{Amm} = C_{A,In} [1 - E_1] \quad (13)$$

$$C_{Bmm} = C_{A,In} [MB - E_1 - 6E_2] \quad (14)$$

$$C_{Dmm} = C_{A,In} [MD - 5E_2] \quad (15)$$

$$C_{Emm} = C_{A,In} [ME - E_2] \quad (16)$$

$$C_{Fmm} = 3C_{A,In} E_2 \quad (17)$$

### 3. Metodologi

Pemodelan yang telah dikembangkan ini menghasilkan sistem persamaan-persamaan diferensial parsial yang diselesaikan dengan kombinasi metoda Runge-Kutta dan Beda Hingga dengan inkremen waktu  $\Delta\tau=0.0000005$  dan inkremen jarak radial  $\Delta\bar{r}=0.05$ . Dari hasil penyelesaian ini diperoleh konsentrasi senyawa-senyawa didalam paket I dan paket II sebagai fungsi jarak radial dan waktu. Konsentrasi rata-rata senyawa-senyawa dalam paket I dan II sebagai fungsi waktu diperoleh sebagai berikut,

$$\overline{C_k^I}(\tau) = \int_0^1 \overline{C_k^I}(\tau, \bar{r}) 4\pi \bar{r}^{-2} d\bar{r} \quad (18)$$

$$\overline{C_k^{II}}(\tau) = \int_0^1 \overline{C_k^{II}}(\tau, \bar{r}) 4\pi \bar{r}^{-2} d\bar{r} \quad (19)$$

dan konsentrasi senyawa-senyawa didalam paket I dan II pada saat keluar reaktor ditentukan dari Persamaan (20) dan Persamaan (21).

$$C_{k,OUT}^I = C_{A,IN} \int_0^{\infty} \overline{C_k^I}(\tau) f(\tau) d\tau \quad (20)$$

$$C_{k,OUT}^{II} = C_{B,IN} \int_0^{\infty} \overline{C_k^{II}}(\tau) f(\tau) d\tau \quad (21)$$

dimana  $f(\tau)$  adalah fungsi distribusi waktu tinggal yang bergantung pada kondisi *macromixing* reaktor. Untuk kondisi *macromixing* yang berupa *well mixed reactor*,  $f(\tau) = \exp(-\tau)$ .

Integrasi pada Persamaan (18) sampai dengan Persamaan (21) diselesaikan secara numerik dengan pendekatan Quadrature. Konsentrasi senyawa-senyawa pada aliran keluar reaktor diperoleh sebagai berikut,

$$C_{k,OUT} = \frac{q_I}{q_I + q_{II}} C_{k,OUT}^I + \frac{q_{II}}{q_I + q_{II}} C_{k,OUT}^{II} \quad (22)$$

Dan akhirnya selektifitas produk reaksi kedua diperoleh dari Persamaan (23).

$$X_S = \frac{2 C_{F,OUT}}{C_{B,IN}^M - C_{B,OUT}^M} \quad (23)$$

Pada penelitian ini ditaksir power untuk pengadukan dengan menggunakan hubungan yang ada di literatur bahwa bilangan daya untuk *Fan Turbine* adalah 3. Power ini diperlukan untuk menghitung laju energy dissipasi rata-rata,  $\epsilon$ , dan selanjutnya laju energy dissipasi ini digunakan untuk menaksir bilangan segregasi untuk tiap senyawa.

Selain penelitian simulasi dilakukan juga penelitian eksperimental untuk validasi hasil prediksi simulasi. Pada penelitian eksperimental, konsentrasi iodine pada aliran keluar reaktor dianalisa dengan spectrophotometer setelah keadaan *steady state* tercapai (tujuh kali waktu tinggal rata-rata). Selektifitas Iodine dihitung dengan Persamaan (23) dimana konsentrasi komponen-komponen dihitung sebagai konsentrasi rata-rata berdasar laju alir total aliran reaktan.

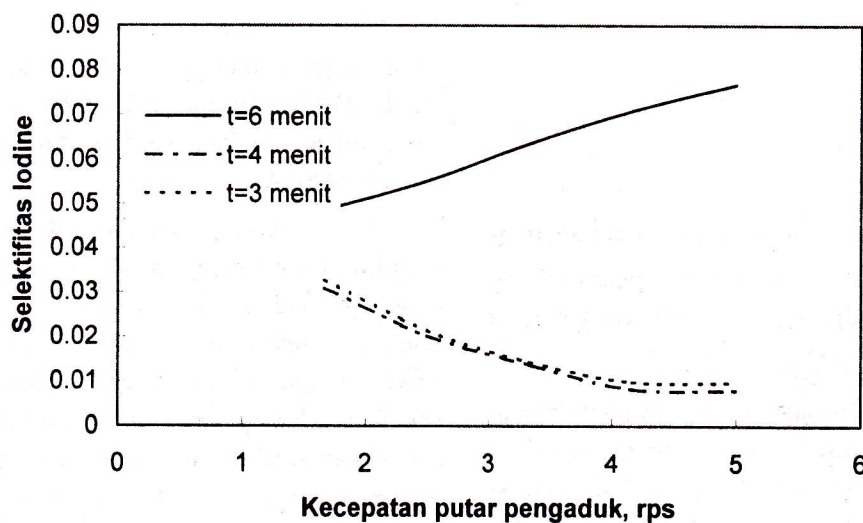
### 4. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, selektifitas reaksi diprediksi dengan menggunakan pendekatan Mekanistik (*Packet Diffusion Model*) dengan program yang dikembangkan sendiri dan ditulis dalam bahasa PASCAL.

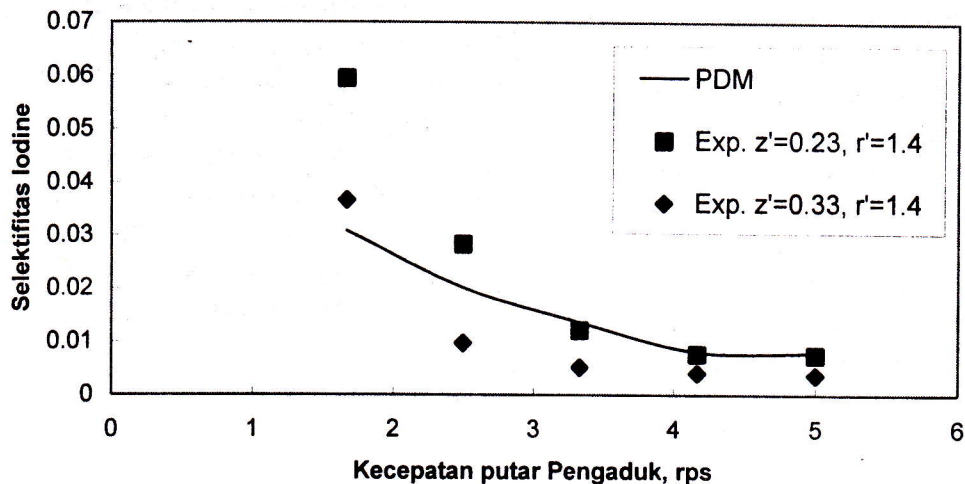
Hasil prediksi simulasi ditunjukkan pada **Gambar 1** yang menunjukkan pengaruh kecepatan putar pengaduk dan waktu tinggal rata-rata terhadap selektifitas Iodine. Terlihat bahwa untuk waktu tinggal rata-rata yang tinggi (6 menit), kenaikan kecepatan putar pengaduk dapat menaikkan selektifitas Iodine, sedang untuk waktu tinggal 4 dan 3 menit, kenaikan kecepatan putar pengaduk dapat menurunkan selektifitas Iodine. Peneliti-peneliti terdahulu (Bourne dkk, 1994; Baldyga dkk, 2001; dan Assirelli, 2002) menyatakan bahwa kenaikan tingkat micromixing akan memperkecil selektifitas produk untuk reaksi yang lebih lambat. Sehingga seharusnya selektifitas iodine menurun dengan kenaikan kecepatan putar pengadukan. Ternyata pada penelitian kali ini, kecenderungan ini tidak terjadi untuk waktu tinggal rata-rata yang tinggi yaitu 6 menit. **Gambar 1** juga

menunjukkan bahwa dengan menaikkan waktu tinggal rata-rata dari 3 menit menjadi 4 menit, selektifitas pembentukan iodine sedikit menurun, namun dengan kenaikan waktu tinggal dari 4 menit menjadi 6 menit terjadi kenaikan selektifitas yang cukup besar. Penelitian Baldyga (2001) menyatakan bahwa kenaikan waktu tinggal rata-rata dapat memperkecil selektifitas produk reaksi yang lebih lambat. Ternyata kecenderungan ini tidak selalu terjadi pada penelitian kali ini. Kenaikan waktu tinggal dari 4 menit menjadi 6 menit justru menaikkan selektifitas produk untuk reaksi yang lebih lambat yaitu selektifitas iodine. Waktu tinggal rata-rata dapat memberikan dua pengaruh yang berlawanan terhadap selektifitas iodine. Kenaikan waktu tinggal rata-rata dapat menurunkan bilangan segregasi atau menaikkan tingkat micromixing yang selanjutnya dapat menurunkan selektifitas iodine. Namun, kenaikan waktu tinggal rata-rata berarti memberikan kesempatan lebih lama bagi senyawa-senyawa untuk bereaksi, sehingga selektifitas iodine naik sebagaimana fakta yang diamati.

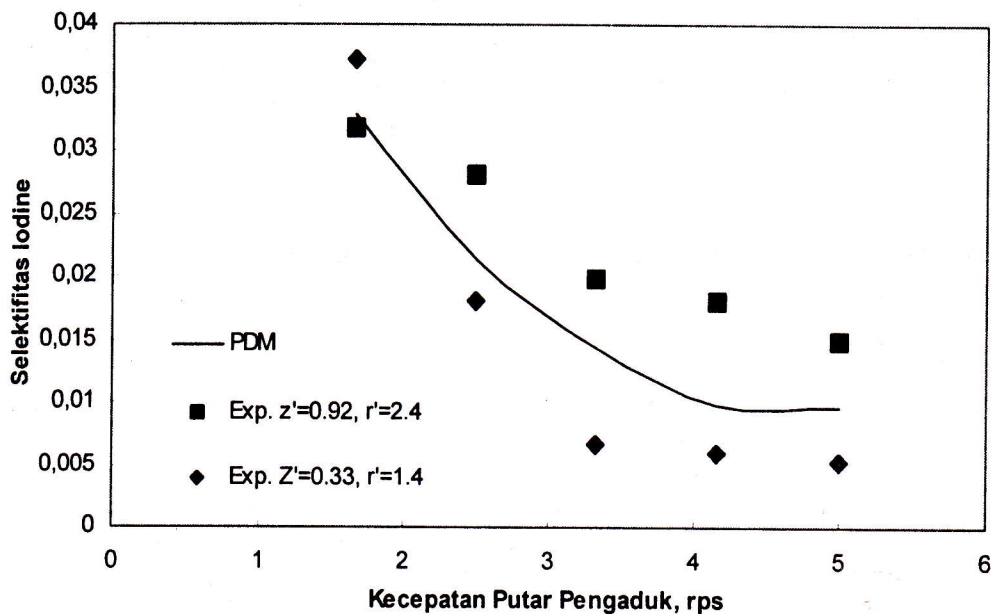
Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan validasi hasil prediksi simulasi dengan data percobaan. Terlihat bahwa baik untuk waktu tinggal rata-rata 4 maupun 3 menit, hasil prediksi simulasi dengan model PDM tak menyimpang jauh dengan data percobaan. Data percobaan diambil untuk tiga posisi umpan aliran asam sulfat, yaitu daerah dekat ujung impeller ( $z'=0.33$ ,  $r'=1.4$ ), daerah antara impeller dan dasar tangki ( $z'=0.23$ ,  $r'=1.4$ ), dan daerah dekat permukaan cairan ( $z'=0.92$ ,  $r'=2.4$ ). Terlihat bahwa untuk waktu tinggal 4 menit maupun 3 menit, posisi umpan dekat ujung impeller, dimana laju energy dissipasi nya tinggi, memberikan selektifitas pembentukan iodine lebih rendah dari pada posisi umpan lain nya yang jauh dari daerah impeller dengan laju energy dissipasi lebih rendah. Model PDM tidak dapat mensimulasikan pengaruh letak umpan terhadap selektifitas iodine karena bilangan segregasi didalam model ini adalah bilangan segregasi global atau rata-rata diseluruh bagian tangki, bukan bilangan segregasi lokal.



Gambar 1 Pengaruh kecepatan putar pengaduk dan waktu tinggal rata-rata terhadap selektifitas Iodine.



Gambar 2 Perbandingan hasil prediksi selektifitas Iodine dengan data eksperimen untuk waktu tinggal rata-rata 4 menit



Gambar 3 Perbandingan hasil prediksi selektifitas Iodine dengan data eksperimen untuk waktu tinggal rata-rata 3 menit

## 5. Kesimpulan

Telah diprediksi pengaruh dua variable proses yaitu kecepatan putaran pengaduk dan waktu tinggal rata-rata terhadap distribusi produk reaksi paralel didalam reaktor alir tangki teraduk dengan menggunakan *Packet Diffusion Model* dengan program yang dikembangkan sendiri dalam PASCAL. Sistem reaksi yang dipelajari adalah

sistem reaksi paralel yang meliputi reaksi netralisasi  $\text{NaH}_2\text{BO}_3$  dan reaksi oksidasi-reduksi iodide-iodate yang menghasilkan iodine. Penelitian ini menyimpulkan bahwa, makin tinggi kecepatan putar pengaduk selektifitas iodine menurun untuk waktu tinggal rata-rata 3 dan 4 menit, dan meningkat untuk waktu tinggal rata-rata 6 menit. Meningkatkan waktu tinggal rata-rata dari 3 menit menjadi 4 menit akan menurunkan

selektifitas iodine, namun menaikkan waktu tinggal lebih lanjut menjadi 6 menit akan menaikkan selektifitas iodine. Dilakukan penelitian eksperimental untuk validasi hasil prediksi simulasi. Ternyata, hasil prediksi dengan model PDM cukup dekat dengan data eksperimen. Penelitian eksperimental juga dilakukan untuk mempelajari pengaruh posisi umpan asam sulfat terhadap selektifitas iodine. Dari penelitian eksperimen dapat disimpulkan bahwa posisi umpan didaerah dengan intensitas turbulensi tinggi (didaerah aliran impeler) menghasilkan selektifitas iodine lebih rendah dari pada posisi umpan didaerah dengan intensitas turbulensi lebih rendah.

### Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi yang memberikan dukungan dana penelitian melalui proyek URGE Batch IV dan proyek QUE Batch III jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada seluruh anggota Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran terutama kepada sdr.Ekawati dan sdr.Sophia Dian K. yang membantu kami dalam pelaksanaan penelitian ini.

### Daftar Notasi

$C_{k,IN}$	Konsentrasi senyawa k dalam aliran masuk reaktor	[kmole/m <sup>3</sup> ]
$C_{k,mm}$	Konsentrasi senyawa k dalam maximum mixedness reaktor	[kmole/m <sup>3</sup> ]
$C_k^I$	Konsentrasi senyawa k dalam paket I	[kmole/m <sup>3</sup> ]
$C_k^{II}$	Konsentrasi senyawa k dalam paket II	[kmole/m <sup>3</sup> ]
$\overline{C_k^I}$	Konsentrasi senyawa k tak berdimensi dalam paket I yang didefinisikan dengan $\overline{C_k^I} = C_k^I / C_{A,In}$	[kmole/m <sup>3</sup> ]
$\overline{C_k^{II}}$	Konsentrasi senyawa k tak berdimensi dalam paket II yang didefinisikan dengan $\overline{C_k^{II}} = C_k^{II} / C_{B,In}$	[kmole/m <sup>3</sup> ]
D	Diameter impeler	[m]
$D_k$	Koefisien difusi senyawa k didalam paket difusi	[m <sup>2</sup> /detik]
$E_i$	Didefinisikan sebagai $E_i = \varepsilon_i / (q C_{A,In})$ dengan i=1 dan 2	[-]
f(t)	Fungsi ditribusi waktu tinggal	[-]
H	Tinggi cairan dalam tangki	[m]
$k_1$	Konstanta kecepatan reaksi untuk reaksi pertama	[m <sup>3</sup> kmol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ]
$k_2$	Konstanta kecepatan reaksi untuk reaksi kedua	[m <sup>12</sup> kmol <sup>-4</sup> s <sup>-1</sup> ]
MB	Didefinisikan $MB = C_{B,In} / C_{A,In}$	[-]
MD	Didefinisikan $MD = C_{D,In} / C_{A,In}$	[-]
ME	Didefinisikan $ME = C_{E,In} / C_{A,In}$	[-]
MF	Didefinisikan $MF = C_{F,In} / C_{A,In}$	[-]
N	Kecepatan putar pengaduk	[s <sup>-1</sup> ]
$q^I$	Laju volumetric aliran umpan ke-I	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$q^{II}$	Laju volumetric aliran umpan ke-II	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
r	Posisi radial didalam reaktor atau posisi radial didalam paket difusi	[m]
$r^*$	Didenisikan $r^* = r / D$	[-]
$\overline{r}$	Didefinisikan $\overline{r} = r / r_p$	[-]
$Sg_k$	Bilangan Segregasi senyawa k yang didefinisikan $Sg_k = \frac{\mu^{3/2}}{4\pi^2 \rho^{3/2} \varepsilon^{1/2} D t}$	[-]

t	Waktu	[s]
$\bar{t}$	Waktu tinggal rata-rata	[s]
$X_s$	Selektifitas	
z	Posisi aksial didalam tangki	[m]
z'	Posisi aksial tak berdimensi yang didefinisikan $z'=z/H$	[-]

**Huruf latin:**

$\varepsilon$	Laju energy dissipasi	[Watt kg <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon_1$	Kemajuan reaksi (reaction progress) untuk reaksi pertama	[koml]
$\varepsilon_2$	Kemajuan reaksi (reaction progress) untuk reaksi kedua	[koml s <sup>-1</sup> ]
$\eta$	Ukuran eddy terkecil	[m]
$K_1$	Didefinisikan $K_1 = k_1 \bar{t} C_{A,In}$	[-]
$K_2$	Didefinisikan $K_2 = k_2 \bar{t} C_{A,In}^4$	[-]
$\mu$	Viskositas	[kgm <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ]
$\rho$	Densitas	
$\tau$	Waktu tak berdimensi didefinisikan $\tau = t / \bar{t}$	[-]

**Daftar Pustaka**

- Assirelli, M., W. Bujalski, W. Nienow and A. Eagleshaw (2002), *Study of Micromixing in Stirred Tank Using a Rushton Turbine: Comparison of Feed Position and Other Mixing Devices*, CHISA
- Baldyga, J. and J. R. Bourne (1984), A Fluid Mechanical Approach to Turbulent Mixing and Chemical Reaction. Part I-III, *Chem. Eng. Commun.*, Vol. 28, pp. 231-281
- Baldyga, J. (1994), A Closure Model for Homogeneous Chemical Reactions, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 49, NO. 21, pp. 1985-2003
- Baldyga, J., M. Henczka and L. Makowski (2001), Effects of Mixing on Parallel Chemical Reactions in a Continuous-Flow Stirred -Tank Reaktor, *Trans. IChemE*, Vol.79, Part A, pp. 895-900
- Bourne, J. R. and S. Yu (1994), Investigation of Micromixing in Stirred Tank Reactors Using Parallel Reactions, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol.33, pp. 41-55.
- Bourne, J.R., O.M.Kut, and J. Lenzner (1992), An Improved Reaction System to Investigate Micromixing in High-intensity Mixers, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 32, No. 3, pp. 949-958
- Fournier, M.C., L. Falk, J. Villiermaux (1996), A New Parallel Competing Reactions System For Assesing Micromixing Efficiency. Determination of Micromixing time by A simple mixing model, *ChemEngSc*, Vol. 51, No. 23, pp. 5187-5192
- Guichardon, P, L. Falk, M. Anddrieu (2001), Experimental Comparison of the Iodide-Iodate and The Diazo Coupling Micromixing Test Reactions in Stirred Reactors, *Trans IChemE*, Vol. 79, Part A, pp. 906-914.
- Nauman, E.B. (1975), Droplets Diffusion Model for Micromixing, *Chem Eng Sci*, Vol. 30, pp. 1135-1140.
- Villiermaux, J., L. Falk and M.C. Fournier (1992), Use of Parallel Competing Reactions to Characterize Micromixing Efficiency, *AIChE Symp. Ser.*, Vol. 286, No. 88, pp. 6-10.