
STUDY MICROMIXING PADA TANGKI TERADUK SECARA KONTINYU

Ali Altway, Widiyastuti, M. Rachimoellah, Sugeng Winardi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS

Kampus ITS Keputih - Sukolilo Surabaya 60111

Telp. : 5924448, 5926240; Fax : 5999282, E-mail : mixing@chemeng.its.ac.id

Naskah diterima 19 Mei 2004, dinilai 20 Mei 2004, dan disetujui 12 Agustus 2004

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh micromixing pada distribusi produk untuk reaksi paralel dalam sistem tangki teraduk. Pemahaman tentang micromixing dalam suatu sistem diperlukan disamping macromixing untuk mendapatkan proses yang optimum. Pada penelitian ini reaksi paralel ini diwakili oleh reaksi netralisasi NaH_2BO_3 dan reaksi oksidasi-reduksi Iodide-Iodate yang menghasilkan Iodin. Reaktor beroperasi kontinyu pada suhu kamar (30°C) berupa tangki silinder berdasar datar berdiameter (T) = 0.2 m yang diaduk dengan fan turbin enam blade berdiameter (D_a) = $1/3T$ dan lebar impeller (W) = $1/4T$ yang dipasang $1/3H$ dari dasar. Tinggi cairan sama dengan diameter tangki ($H=T$). Pengaruh kecepatan putar impeller, waktu tinggal dan posisi umpan dianalisa. Bilangan segregasi dihitung untuk menentukan derajat micromixing dan menghitung yield pembentukan iodin untuk menentukan unjuk kerja reaktor. Kecepatan putar impeller divariasikan 100-300 rpm. Waktu tinggal divariasikan 6.01, 4.005 and 3.005 menit. Posisi umpan [$r'=r/D$, $z'=z/H$] yang merupakan koordinat silinder divariasikan [1.4, 180° , 0.23], [1.4, 180° , 0.33] and [2.4, 180° , 0.92] yang menyatakan masing-masing daerah bulk bawah, sapuan impeller dan dekat permukaan. Semakin tinggi kecepatan putar impeller dan semakin lama waktu tinggal, yield iodin yang dihasilkan semakin kecil. Yield iodin yang dihasilkan sebanding dengan bilangan segregasi. Bilangan segregasi menunjukkan tingkat micromixing dimana semakin besar tingkat micromixing semakin kecil yield iodin yang dihasilkan. Posisi umpan yang memberikan yield iodin yang terkecil adalah pada daerah sapuan impeller.

Kata Kunci : Micromixing, Yield, Bilangan Segregasi

Abstract

The aim of this work is to study the influence of micromixing on product distribution for parallel reaction systems in an agitated tank. The understanding of micromixing is needed besides macromixing to obtain the optimum process. The neutralization reaction of NaH_2BO_3 and oxidation-reduction reaction between Iodide-Iodate to generate Iodine are selected to perform parallel reaction systems. These reactions were conducted in a flat bottom cylindrical tank 0.2 m in diameter (T) at room temperature (30°C) agitated by six blades fan turbine having diameter (D_a) = $1/3T$ and impeller width (W) = $1/4T$. The impeller clearance was $1/3H$. The height of liquid in the tank is equal to its diameter ($H=T$). This tank was operated as continuous reactor type. The influences of impeller speed, residence time and feed position were analyzed. Segregation number and the yield of Iodine generation determine the micromixing degree and the performance of reactor respectively. The impeller rotation speed was varied 100-300 rpm. The residence time varied 6.01, 4.005 and 3.005 minutes. The feed position was varied on [$r'=r/D$, $z'=z/H$] cylindrical coordinate as follows [1.4, 180° , 0.23], [1.4, 180° , 0.33] and [2.4, 180° , 0.92] which represent bulk, swept impeller and near surface regions respectively. By increasing the impeller rotation speed and residence time, the iodine yield decrease. The iodine yield is proportional to segregation number. The segregation number leads to micromixing degree which higher micromixing degree corresponds to the iodine yield decreasing. The impeller swept position gives the smallest the iodine yield compared to others.

Key Words : Micromixing, Yield, Segregation Number

1. Pendahuluan

Pada saat ini tangki teraduk banyak digunakan dalam industri kimia untuk pencampuran dan reaksi kimia. Di dalam reaksi kimia, transformasi senyawa 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 mikro yang disebut *micromixing*. *Micromixing* menjadi penting terutama untuk reaksi ganda yang cepat. Dalam hal ini fenomena *micromixing* mempengaruhi distribusi produk reaksi.

Telah banyak dilakukan penelitian tentang pengaruh *micromixing* terhadap jalannya reaksi ganda di dalam tangki teraduk (Assirelli dkk, 2002; Baldyga dkk, 2001; Guichardon dkk, 2001; Fournier dkk, 1996; Bourne dan Yu, 1994; Kevin dkk, 1992 dan Villiermaux dkk, 1992). Villiermaux dkk (1992); Kevin dkk (1992), Bourne dan Yu (1994), Fournier dkk (1996) dan Guichardon dkk (2001) mempelajari uji kimia untuk mengetahui fenomena *micromixing* di dalam reaktor tangki teraduk. Baldyga dkk (2001) dan Assirelli dkk (2002) mempelajari pengaruh beberapa variabel operasi dan geometri terhadap jalannya reaksi paralel di dalam tangki teraduk dengan sistem reaksi yang berbeda. Penelitian-penelitian tersebut umumnya dilaksanakan secara *batch* atau semi kontinyu. Pada aplikasi di industri, reaktor tangki teraduk sering dioperasikan secara kontinyu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh letak atau posisi umpan masuk, kecepatan pengadukan dan waktu tinggal terhadap tingkat *micromixing* dan *yield* reaksi paralel di dalam tangki berpengaduk secara kontinyu.

2. Fundamental

Selain *macromixing*, fenomena pencampuran yang juga mempengaruhi jalannya reaksi kimia di dalam reaktor adalah *micromixing*. *Micromixing* menyatakan tingkat pencampuran lokal di dalam reaktor. Tingkat *micromixing* dapat ditentukan dari besarnya harga bilangan segregasi (S_g), dimana bilangan segregasi menunjukkan tingkat pengelompokan molekul-molekul di dalam sistem. Pengelompokan yang sempurna atau total segregasi berarti bilangan segregasinya besar dan hal ini menunjukkan tingkat *micromixing* yang rendah dan begitu pula sebaliknya apabila bilangan segregation kecil, berarti tingkat *micromixing*-nya tinggi, artinya pencampuran akan semakin efektif atau pengelompokan molekul yang terjadi kecil. Apabila $S_g < 0,1$ maka segregasi dapat diabaikan dan tidak menjadi begitu berarti bila $S_g > 1$.

Micromixing secara langsung dapat mempengaruhi jalannya reaksi kimia. Untuk mempelajari bagaimana *micromixing* dapat mempengaruhi distribusi produk maka jenis reaksi kimia yang digunakan adalah reaksi paralel, namun tidak menutup kemungkinan untuk reaksi tunggal selain orde satu karena pada reaksi tunggal orde satu, *micromixing* tidak mempunyai pengaruh. Pada reaktor non ideal yaitu dimana pencampuran tidak terjadi sempurna maka komposisi suatu komponen akan berbeda-beda pada setiap titik dalam reaktor. Selain itu laju reaksi dipengaruhi oleh kinetika reaksi dan laju pencampuran.

S_g dapat dihitung dengan persamaan berikut

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

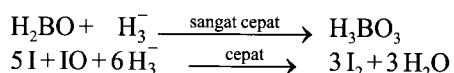
dimana D adalah difusivitas dari spesies, ε adalah energi disipasi yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{P/V}{\rho} \quad (2)$$

dan τ adalah waktu tinggal rata-rata.

3. Metodologi Penelitian

Reaksi yang ditinjau dalam penelitian untuk mempelajari pengaruh *micromixing* adalah reaksi paralel kompetitif, dimana reaksi pertama jauh lebih cepat dibandingkan reaksi kedua. Persamaan kedua reaksi tersebut adalah sebagai berikut:



Penelitian berlangsung pada suhu ruangan ($\pm 30^\circ\text{C}$). Reaktor yang digunakan berdiameter 0.2 m, menggunakan *impeller* fan turbin enam *blade*, dengan kedalaman $1/3 H$. Dimensi tangki secara lengkap ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Tangki

Spesifikasi	Ukuran
Diameter tangki (T)	0.2 m
Volume cairan (V)	0.00628 m ³
Tinggi Cairan (H)	0.2 m
Diameter <i>impeller</i> (Da)	0.06 m
Lebar <i>blade</i> (W)	0.012 m
Panjang <i>blade</i> (L)	0.015 m

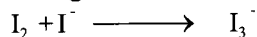
Penelitian dilakukan dengan membuat variasi putaran *impeller* yang memberikan energi disipasi yang berbeda untuk setiap putarannya. Umpun dimasukkan ke sistem melalui pipa berukuran 2 mm dan 1 cm masing-masing untuk umpun H_2SO_4 dan umpun campuran. Posisi umpun H_2SO_4 masuk divariasikan pada tiga posisi yang berbeda dan dinyatakan dengan bilangan tidak berdimensi. Secara lengkap posisi umpun H_2SO_4 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Posisi Umpun H_2SO_4

Posisi	Posisi [1]	Posisi [2]	Posisi [3]
z'	0.23	0.33	0.92
r'	1.4	1.4	2.4
Θ	180°	180°	180°

Sedangkan umpun campuran diletakan pada posisi tetap dengan arah radial $\Theta = 90^\circ$, jarak radial $1/3T$ pada dinding tangki. Pipa keluaran reaktor terletak pada bagian atas reaktor sehingga cairan keluar secara *overflow* melalui pipa ini. Susunan peralatan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Untuk reaksi paralel, reaksi pertama merupakan reaksi utama yang merupakan reaksi netralisasi NaH_2BO_3 , dimana konsumsi H^+ berlangsung lebih cepat dari pada reaksi kedua. Reaksi kedua merupakan reaksi oksidasi-reduksi antara *iodide* dan *iodate* terhadap H^+ yang menghasilkan Iodin sebagai by-produk. Iodin akan bereaksi dengan I^- membentuk *triiodide* dengan persamaan sebagai berikut :



Triiodide dapat diukur dengan alat instrumentasi spektrofotometer pada panjang gelombang 353 nm. Dengan menganalisa nilai *triiodide* maka *yield* dari iodin dapat diketahui dengan menghitung secara stokiometri. Adapun konsentrasi larutan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$[H_3BO_3]_0 = 0.1818 M$$

$$[NaOH]_0 = 0.0909 M$$

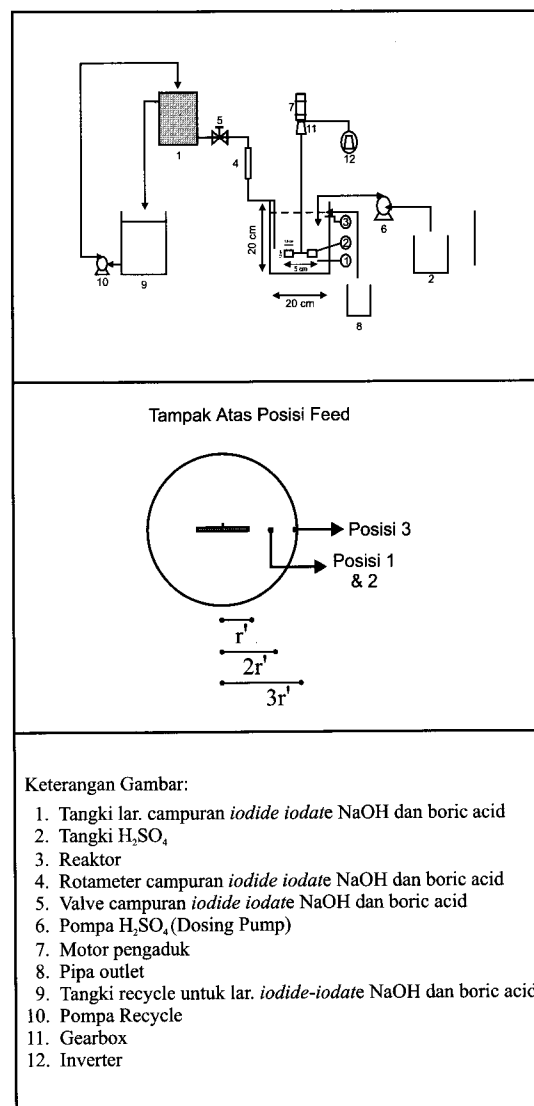
$$[H_2SO_4] = 0.5 M$$

$$[I_2]_{potensial} = 3 [IO_3^-]_0 = 3/5 [I^-]_0 = 7 \times 10^{-3} M$$

Selanjutnya dihitung bilangan segregasinya dengan menggunakan pers. 1 dan 2. Sedangkan *yield* I_2 terhadap H_2SO_4 adalah sebagai berikut :

$$\text{yield } I_2 \text{ terhadap } H_2SO_4 = \frac{[I_2]_{\text{produk}}}{[H_2SO_4]_{\text{awal}}} S_g \times 100\% \quad (3)$$

Energi *disipasi* ($\mathcal{E}$) diperhitungkan dari bilangan daya *Rushton Turbine* sebesar 5. Harga ini digunakan untuk perhitungan bilangan segregasi.



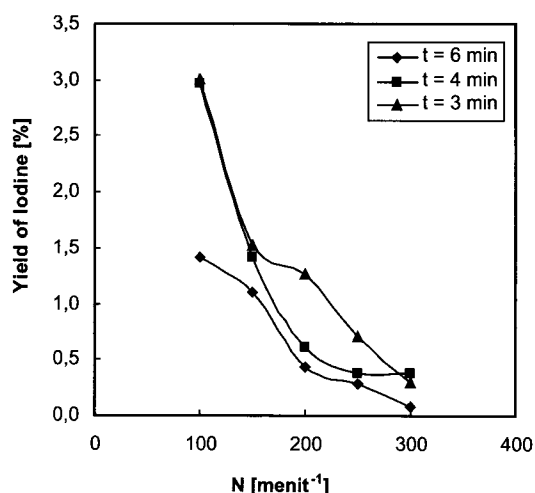
Gambar 1. Susunan Peralatan

4. Hasil dan Pembahasan

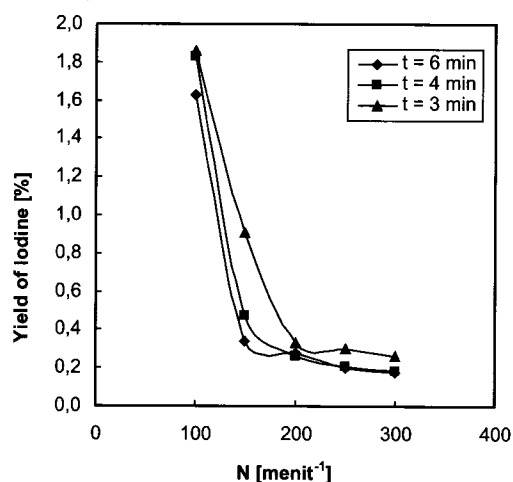
Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi jalannya reaksi paralel kompetitif yang dinyatakan dengan *yield* iodin. Faktor-faktor tersebut adalah waktu tinggal, kecepatan putar *impeller* dan posisi umpun.

Pengaruh Waktu Tinggal terhadap *Yield* Iodin

Gambar 2-4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu tinggal pada kecepatan putar yang sama, *yield* iodin makin kecil. Hal ini disebabkan karena pada waktu tinggal yang lama maka kontak yang terjadi antar molekuler pada reaksi pertama akan semakin lama sehingga kesempatan difusi molekuler pada daerah reaksi akan semakin baik.

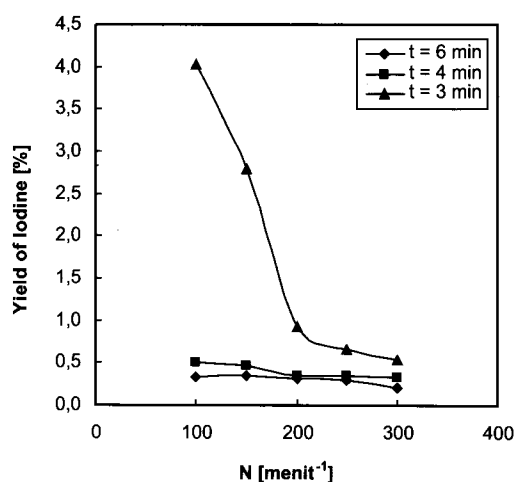


Gambar 2. Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Yield Iodin dengan Variasi Waktu Tinggal pada Posisi Inlet [1]



Gambar 3. Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Yield Iodin dengan Variasi Waktu Tinggal pada Posisi Inlet [2]

Selanjutnya laju kecepatan reaksi akan naik untuk reaksi pertama. Kenaikan laju reaksi ini mempengaruhi pembentukan produk atau asam borat dan menurunkan kecepatan reaksi pembentukan iodin karena reaksi bersifat kompetitif dan sangat dipengaruhi oleh waktu tinggal dalam reaktor. Ion H^+ yang akan bereaksi dengan KI dan KIO_3 membentuk I_2 dan I_3^- semakin sedikit karena telah dikonsumsi oleh reaksi pertama membentuk asam borat. Dengan sistem reaksi yang berbeda, Baldyga dkk (2001) juga menunjukkan kecenderungan yang sama.



Gambar 4. Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Yield Iodin dengan Variasi Waktu Tinggal pada posisi Inlet [3]

Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Yield Iodin

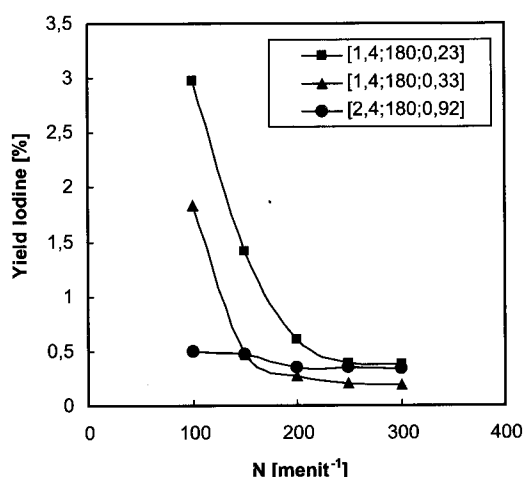
Kecepatan pengadukan akan mempengaruhi turbulensi, semakin tinggi tingkat pengadukan maka turbulensi pun akan meningkat. Turbulensi akan membantu molekul-molekul senyawa kimia dalam hal ini molekul-molekul reaktan untuk meningkatkan kontak antara molekul-molekul tersebut. Dengan meningkatnya kontak antara molekul-molekul maka laju difusi molekuler pada daerah reaksi akan semakin meningkat. Peningkatan laju difusi ini akan mengakibatkan meningkatnya jumlah reaktan yang bereaksi. Namun untuk reaksi paralel kompetitif seperti ini yang dipelajari adalah kecenderungan yang terjadi terhadap yield iodin apabila turbulensi dinaikan atau diturunkan karena jumlah asam sulfat yang dimasukkan ke dalam reaktor jumlahnya terbatas.

Besar kecilnya turbulensi dapat ditunjukkan dengan tingkat *micromixing* yang terjadi. Bila turbulensi tinggi maka tingkat *micromixing* juga tinggi karena secara molekuler reaktan-reaktan sudah sangat terdispersi begitu juga sebaliknya bila turbulensi rendah maka tingkat *micromixing* yang terjadi juga rendah akibat masih tersegregasinya molekul-molekul reaktan.

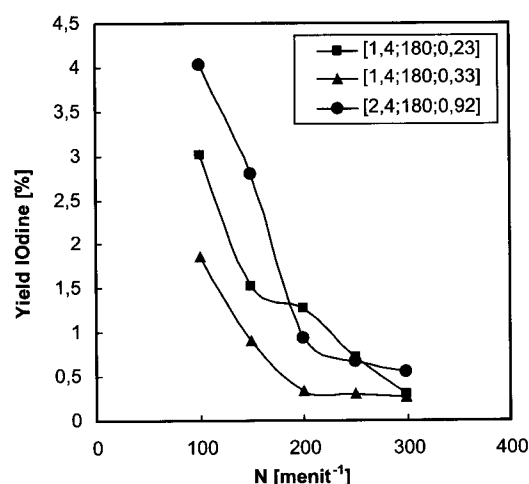
Pada sistem dimana tidak ada pengaruh turbulensi, dalam hal ini tidak terjadi proses pencampuran, reaksi pertama yang jauh lebih cepat dari reaksi kedua akan menghasilkan *yield* H_3BO_3 yang tinggi sedangkan *yield* iodin akan sangat rendah karena reaksi hanya dipengaruhi oleh kinetika reaksinya saja. Namun pada sistem reaksi dimana terjadi pencampuran maka laju

pencampuran ikut mengendalikan laju reaksi yang terjadi, sehingga *yield* produk untuk kedua reaksi akan berubah sesuai dengan besar-kecilnya turbulensi yang dihasilkan oleh proses pencampuran. Hal yang sangat mempengaruhi besar-kecilnya turbulensi diantaranya adalah kecepatan putar *impeller*.

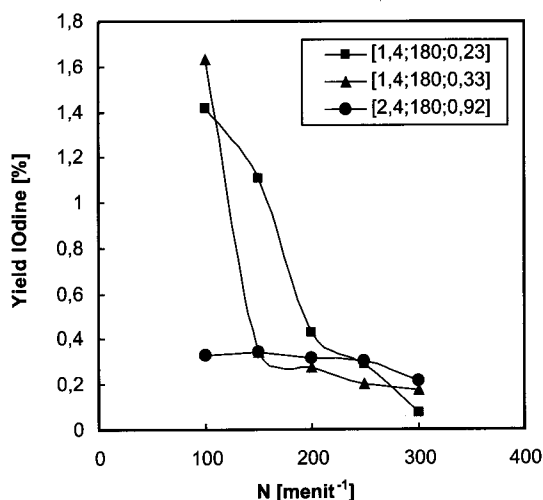
Gambar 2-4 juga menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putar yaitu pada 300 rpm atau 5 rps terlihat untuk kedua posisi umpan masuk menunjukkan kecenderungan *yield* iodin yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan putar *impeller* maka tingkat *micromixing*nya semakin besar sehingga *yield* iodin yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 5. Pengaruh Kecepatan Putar *Impeller* terhadap *Yield* Iodin pada Posisi *Inlet* berbeda dengan Waktu Tinggal 3 menit



Gambar 6. Pengaruh Kecepatan Putar *Impeller* terhadap *Yield* Iodin pada Posisi *Inlet* berbeda dengan Waktu Tinggal 4 menit



Gambar 7. Pengaruh Kecepatan Putar *Impeller* terhadap *Yield* Iodin pada Posisi *Inlet* berbeda dengan waktu tinggal 6 menit

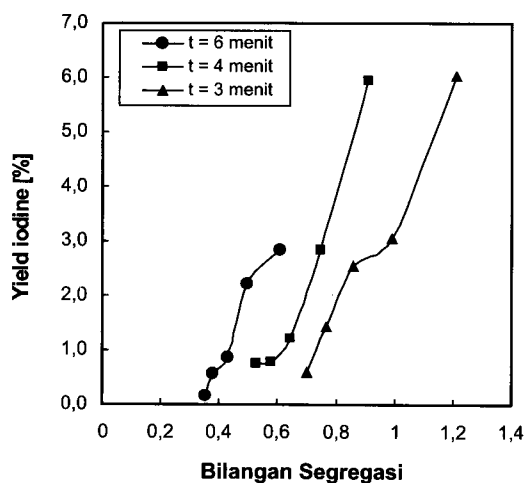
Pengaruh Posisi Umpan

Pengaruh posisi umpan terhadap *yield* pada berbagai kecepatan putar ditunjukkan oleh Gambar 5-7 pada waktu tinggal 3, 4, dan 6 menit. Tampak bahwa posisi yang memberikan nilai *yield* iodin terkecil adalah pada daerah sapuan *impeller*. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut memiliki turbulensi yang cukup besar sehingga mampu memberikan energi disipasi yang cukup besar untuk pengadukan. Selain itu posisi ini memiliki daerah reaksi (*reaction plum*) yang cukup lebar sehingga laju reaksi Arrhenius untuk reaksi pertama lebih besar dibandingkan reaksi kedua sehingga produksi produk samping atau *yield* iodin dapat ditekan.

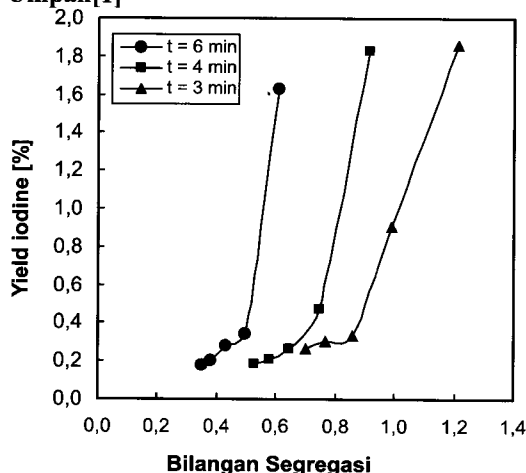
Hubungan Bilangan Segregasi dan *Yield* Iodin

Hubungan bilangan segregasi dan *yield* iodin ditunjukkan pada gambar 8-10 dengan waktu tinggal 3, 4, dan 6 menit, masing-masing menunjukkan posisi umpan yang berbeda.

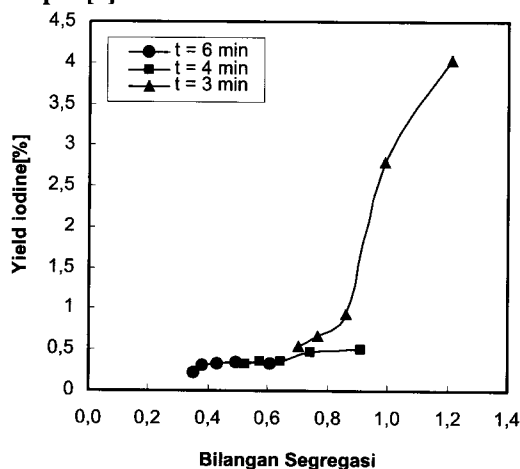
Tampak bahwa bilangan segregasi dan *yield* iodin yang terbentuk adalah berbanding lurus. Semakin besar bilangan segregasi yang terbentuk maka semakin besar pula *yield* iodin yang dihasilkan begitu pula sebaliknya. Semakin besar bilangan segregasi maka tingkat *micromixing* akan semakin kecil begitu pula sebaliknya. Sehingga dapat dihubungkan antara tingkatan *micromixing* dengan *yield* iodin yang dihasilkan. Semakin besar tingkat *micromixing*, maka semakin kecil *yield* iodin yang dihasilkan.



Gambar 8. Hubungan Bilangan Segregasi terhadap Yield Iodin pada Posisi Inlet Umpan[1]



Gambar 9. Hubungan Bilangan Segregasi terhadap Yield Iodin pada Posisi Inlet Umpan[2]



Gambar 10. Hubungan Bilangan Segregasi terhadap Yield Iodin pada Posisi Inlet Umpan [3]

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah tingkat *micromixing* yang tinggi, yang dihasilkan dengan kecepatan putar *impeller* yang tinggi dan letak umpan di daerah sapuan *impeller*, membuat *yield* produk reaksi yang lebih lambat (iodin) menjadi kecil. Selain itu, waktu tinggal di dalam reaktor juga mempengaruhi *yield* iodin yaitu makin lama waktu tinggal di dalam reaktor, *yield* iodin makin kecil.

Daftar Notasi

- Sg = Bilangan segregasi
 μ = Viskositas air, Pa.s
 X_s = Yield Iodin, %
 τ = Waktu tinggal, detik
 ε = Energi dissipasi, Kw/kg
 N = Kecepatan putar *impeller*, menit⁻¹
 T = Diameter tangki, m
 P = Daya dissipasi, Kw
 H = Tinggi liquid, m
 V = Volume reaktor, m³
 D_a = Diameter *Impeller*, m
 ρ = Densitas air, kg/m³
 D = Difusivitas, m²/s

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Ekawati dan Shopia Dian K dalam membantu pengerjaan eksperimen. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Project QUE Batch III Jurusan Teknik Kimia ITS atas bantuan dana penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Assirelli M., Bujalski, W., Nienow, A.W. dan Eaglesham, A., (2002), "Study of *Micromixing* in Stirred Tank Using a Rushton Turbine: Comparison of Feed Position and Other Mixing Devices", *Proc. CHISA 2002*.
- [2] Baldyga, J., Henczka, M. dan Makowski, L., (2001), "Effects of Mixing on Parallel Chemical Reactions in a Continuous-Flow Stirred-Tank Reactor", *Trans.IChemE*, 79, Part A, hal. 895-900.
- [3] Bourne, J.R. dan Yu, S., (1994), "Investigation of *Micromixing* in Stirred Tank Reactors Using Parallel Reactions", *Ind.Eng. Chem. Res.*, 33, hal.41-55
- [4] Fournier M.C., Falk, L. dan Villermux, J., (1996), "A New Parallel competing Reaction System for Assessing Micromixing Efficiency-Experimental Approach" *Chem. Eng. Sci.*, 51(23), hal.50-53.
- [5] Guichardon, P., Falk, L. dan Anddrieu, M., (2001), "Experimental Comparison of the *Iodide-Iodate* and the *Diazo Coupling*

Micromixing Test Reactions in Stirred Reactors", *Trans. IChemE*, 79, Part A, hal. 906-914.

- [6] Kevin, S.W., Dunlop, E.H. dan MacGilp, I.D., (1992), "Investigation of the Chemistry of a Diazo Micromixing est reaction", *AIChE J.*, 38 (7), hal.1105-1114.
- [7] Villermaux, J., Falk, L. dan Fournier, M.C., (1992), "Use of Parallel Competing Réactions to Characterize Micromixing Efficiency", *AIChE Symp. Ser.*, 286 (88), hal.6-10.