

PENENTUAN KONDISI OPTIMUM PENGADUKAN DALAM PROSES KOAGULASI

DETERMINATION OF OPTIMUM MIXING CONDITION IN COAGULATION PROCESS

Tantri Mayang Arum¹⁾ dan Hari Wiko Indaryanto¹⁾
¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya

Abstrak

Metode penelitian yang digunakan adalah metode jar test dengan nilai kekeruhan 160 NTU. Variasi penelitian adalah jenis *padle* dengan 2 *blade*, 4 *blade* dan 6 *blade*, diameter *padle* 55%, 65% dan 75% dari diameter tangki, kecepatan putaran sebesar 190 rpm, 200 rpm dan 210 rpm dengan jarak *padle* dari dasar tangki yaitu $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ dan 1 kali diameter *padle*. Hasil yang didapatkan adalah bahwa keempat faktor yang diteliti 90% mempengaruhi faktor fisik pengadukan. Kontribusi terbesar adalah faktor jumlah *blade* (46,7%) dan diikuti oleh faktor diameter *padle* (26,1%), kecepatan putaran pengadukan (17,4%) dan jarak *padle* (9,8%). Kondisi optimum yang dicapai adalah kondisi pengadukan dengan kombinasi jumlah *blade* 6 buah berdiameter 75% diameter tangki, kecepatan putaran 210 rpm dan jarak *padle* dari dasar tangki adalah $\frac{1}{2}$ diameter *padle*.

Kata kunci : diameter *paddle*, jumlah *blade*, kecepatan putaran, koagulasi

Abstract

This research was done at turbidity level of of 160 NTU. The research was done with jar test by varying the number of blade (2, 4 and 6 blades), diameter of the paddle (55%, 65% and 75% of tank diameter), rotation speed of 190 rpm, 200 rpm and 210 rpm and distance of the paddle to the tank base of $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ and 1 times of paddle diameter. This research concluded that those four factors influenced mixing physical factor equal to 90%. The main factor which affected turbidity removal were the number of the blade (46,7%) followed by the diameter of the paddle (26,1%), the speed of mixing rotation (17,4%) and the distance of paddle to the tank base (9,8%). Optimum condition reached by the condition of mixing using combination of 6 blades with paddle's diameter 75% to tank width, speed rotation of 210 rpm and distance of paddle to tank base of $\frac{1}{2}$ of the paddle diameter.

Keywords : paddle's diameter, number of blade, rotation speed, coagulation

1. PENDAHULUAN

Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu unit pengolahan yang dilakukan dalam pengolahan air. Ada beberapa pendapat tentang definisi dari koagulasi dan flokulasi antara lain. *Pertama*, menurut Reynolds dan Richards (1996) koagulasi merupakan proses penambahan koagulan dan pengadukan cepat yang menghasilkan destabilisasi partikel koloid dan merupakan awal dari penggabungan partikel-partikel koloid yang telah terdestabilisasikan. Sedangkan flokulasi merupakan proses pengadukan lambat untuk menggabungkan partikel-partikel yang telah terdestabilisasikan agar dapat mengendapkannya dengan cepat. *Kedua*, menurut Kawamura (1991) koagulasi didefinisikan sebagai suatu proses destabilisasi partikel koloid dan *suspended solid*, termasuk di dalamnya adalah bakteri dan virus dengan menggunakan koagulan. Koagulasi ini bertujuan untuk mempercepat dan menyeragamkan

penyebaran senyawa kimia yang ditambahkan (koagulan) dalam air. Flokulasi didefinisikan sebagai proses pengadukan lambat yang mengikuti proses koagulasi. Flokulasi ini bertujuan untuk mempercepat laju penggabungan antar partikel sehingga terbentuk suatu partikel yang lebih besar dengan yang dapat diendapkan.

Dalam proses koagulasi-flokulasi, faktor kimia dianggap sebagai faktor penting yang berpengaruh terhadap penurunan kekeruhan. Untuk itu banyak dikembangkan penelitian-penelitian terhadap penentuan jenis koagulan yang tepat dalam koagulasi dan dosis optimum yang harus ditambahkan (Kustiono, 2002). Selain faktor kimia, faktor fisik terutama pengadukan (*mixing*) memiliki kontribusi dalam penurunan kekeruhan pada proses koagulasi dan flokulasi. *Rapid Mixing* (pengadukan cepat) akan membantu dispersi koagulan dalam air, sehingga proses koagulasi harus benar-benar diper-

hatikan agar dispersi koagulan dapat sempurna. Dengan adanya kombinasi faktor-faktor yang tepat, maka dapat dihasilkan kondisi pengadukan yang optimal.

Untuk dapat mengetahui sejauh mana pengaruh suatu faktor (dalam hal ini faktor fisik) terhadap suatu proses (dalam hal ini koagulasi), perlu dilakukan analisa statistik dengan menggunakan Analisis Varian (ANOVA) dengan *factorial design*. Sedangkan metode *Respon Surface* digunakan dalam penentuan kondisi optimum dari suatu kombinasi faktor.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jumlah *blade*, diameter *padle*, jarak *padle* dan kecepatan putaran dalam *rapid mix*; menentukan besarnya kontribusi yang diberikan oleh faktor jumlah *blade*, diameter *padle*, jarak *padle* dan kecepatan putaran terhadap removal kekeruhan dalam *rapid mix* serta menentukan kombinasi faktor yang optimal dalam *rapid mix*.

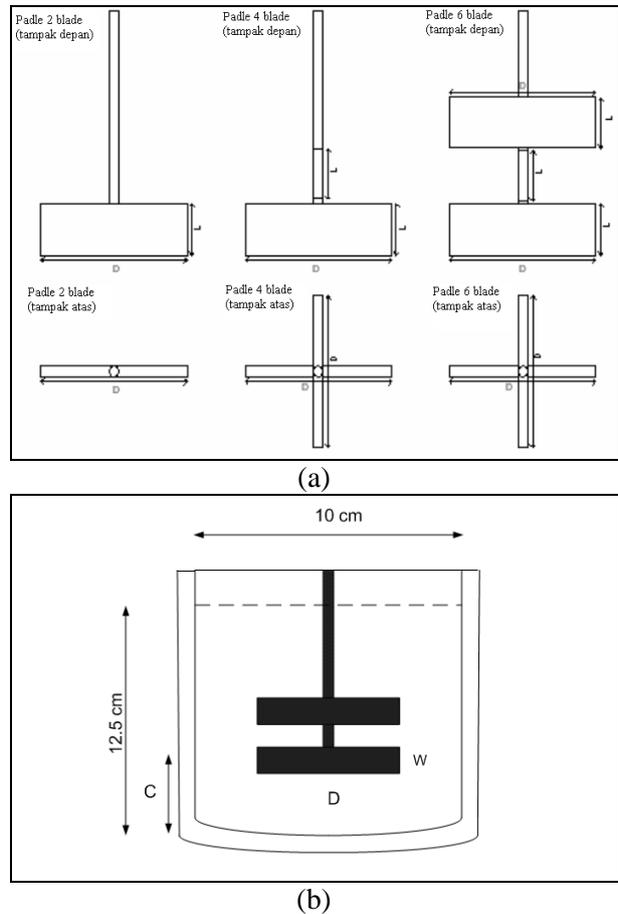
2. METODOLOGI

Dalam tahap pertama yaitu perancangan eksperimen ini dilakukan penentuan taraf dari masing-masing faktor yang akan dianalisa sebagai berikut. *Pertama*, jumlah *blade*. Jumlah *padle* yang digunakan adalah 2, 4 dan 6 *blade* dengan $D/W = 3$. *Padle* yang digunakan adalah *padle* dengan 2 *blade* dan dilakukan variasi jumlah *blade* pada proses pengadukan. *Kedua*, jarak *padle* yang digunakan merupakan jarak dari dasar tangki terhadap poros *padle*, yaitu $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ dan 1 kali diameter *padle*. *Ketiga*, kecepatan pengadukan. Variasi kecepatan dilakukan pada *rapid mix* yaitu 190 rpm, 200 rpm, 210 rpm yang diambil berdasarkan perhitungan nilai gradien kecepatan yang dihasilkan dengan range 300-1000/s (Reynolds dan Richards, 1996). *Keempat*, diameter *padle*. Variasi diameter *padle* yang digunakan adalah 55%, 65 % dan 75 % diameter tangki.

Percobaan pendahuluan dilakukan untuk menentukan dosis optimum koagulan dan td flokulasi-sedimentasi. Waktu detensi yang digunakan untuk koagulasi adalah selama 1 menit.

Bahan yang dipersiapkan antara lain alum sebagai koagulan dan kaolin untuk membuat kekeruhan buatan dan reaktor yang digunakan adalah jar test dengan menggunakan jenis *padle* dan reaktor

sesuai dengan rancangan eksperimen, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. (a) Jenis *Padle* (b) Ukuran reaktor

Pengolahan data menggunakan *design experiment* (ANOVA) dan *response surface* (Waluyo, 2001). Hipotesa yang digunakan dalam penelitian ini adalah prosentase removal kekeruhan dipengaruhi oleh faktor kedalaman pengadukan, kecepatan putaran, jenis *padle* dan diameter *padle* dengan perumusan sebagai berikut :

$H_0 : \sigma_a^2 = 0$; tidak terdapat perbedaan mengenai efek faktor di dalam penurunan kekeruhan. H_0 tersebut akan ditolak apabila nilai signifikan α lebih kecil dari nilai signifikan α standart (0.05), atau apabila nilai F hitung lebih besar dari F Tabel (Sudjana, 1994).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi dosis tawas yang ditambahkan ke dalam sampel air adalah 20 mg/l, 30 mg/l 40 mg/l dan 50 mg/l dan menghasilkan removal kekeruhan tertinggi pada dosis tawas 40 mg/l, sehingga dosis ini yang digunakan dalam penelitian selanjutnya.

Untuk menentukan kombinasi waktu detensi flokulasi dan sedimentasi yang optimum dalam menghasilkan prosentase removal kekeruhan akhir yang paling besar dilakukan percobaan yang menghasilkan waktu detensi yang menghasilkan penurunan kekeruhan tertinggi adalah waktu flokulasi selama 10 menit dan sedimentasi selama 15 menit.

Dari hasil analisa statistik, data penelitian memiliki nilai standard deviasi yang kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi data yang dihasilkan dalam penelitian sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa data-data yang dihasilkan tidak memiliki bias yang besar dan tidak terdapat data yang ekstrim. Selain itu, data yang ada merupakan data yang homogen sehingga dapat digunakan dalam analisa statistik lebih lanjut. Didapatkan nilai signifikan $\alpha = 0$ dimana nilai ini lebih kecil dari nilai α standart. Dengan demikian H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa data eksperimen yang dihasilkan memiliki homogenitas yang seragam.

Pada tahap ini akan dianalisa pengaruh faktor-faktor yang diidentifikasi sebagai sumber variansi pada prosentase removal kekeruhan (variabel respon). Pengujian statistik yang dilakukan menggunakan taraf nyata atau significant level (α) = 0.05 yang menyatakan bahwa tingkat kepercayaan atau *confidence level* terhadap data dan hasil pengolahan sebesar 95%.

Pada perencanaan awal telah ditentukan hipotesa awal yaitu $H_0 : \sigma_a^2 = 0$; tidak terdapat perbedaan mengenai efek interaksi semua faktor (jumlah *blade*, jarak *padle*, kecepatan pengadukan dan diameter *padle*) dalam penurunan kekeruhan dan $H_1 : \sigma_a^2 \neq 0$; terdapat perbedaan mengenai efek interaksi semua faktor dalam penurunan kekeruhan. Kebenaran dari hipotesa ini dapat ditentukan berdasarkan perhitungan F dalam perhitungan ANAVA.

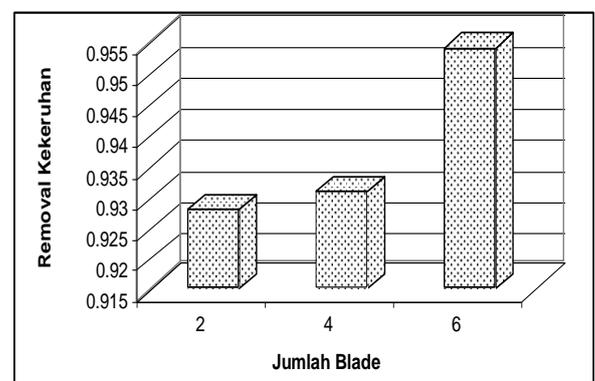
Berdasarkan perhitungan dengan ANAVA untuk sumber variabilitas *Corrected Model*, menggunakan $\alpha = 0.05$ didapatkan nilai $F_{hitung} = 13.995$ dan $\alpha_{hitung} = 0$. Dengan derajat kebebasan (degree of freedom, df) = 80 didapatkan nilai $F_{0.05 (80, 243)} = 1.023$ (Nilai F ini didapat dari hasil interpolasi pada nilai $F_{0.05 (60,60)}$, $F_{0.05 (60,120)}$, $F_{0.05 (120,60)}$ & $F_{0.05 (120,120)}$). Sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang berarti pada perubahan pada interaksi semua faktor dan juga menyatakan

bahwa interaksi perubahan semua faktor mempengaruhi variabilitas prosentase removal kekeruhan.

Pada perhitungan ANAVA dinyatakan bahwa terdapat korelasi 'R Squared = .822 (coefficient of determination)', sehingga dapat dinyatakan koefisien korelasi (R) sebesar $\sqrt{R_{squared}} = 0.9$. Hal ini menunjukkan bahwa faktor jarak *padle*, kecepatan putaran, jumlah *blade* dan diameter *padle* mampu menerangkan 90% dan keempat faktor yang diamati dalam eksperimen tersebut mempengaruhi prosentase removal kekeruhan dalam faktor fisik pengadukan sebesar 90%.

Berdasarkan perhitungan dengan ANAVA untuk sumber variabilitas Jumlah *Blade*, menggunakan $\alpha = 0.05$ didapatkan nilai $F_{hitung} = 120.346$ dan $\alpha_{hitung} = 0$. Dengan menggunakan parameter α , diketahui bahwa $\alpha_{hitung} = 0 < \alpha_{standard} = 0.05$, sehingga dapat disimpulkan H_0 ditolak. dan H_1 diterima, hal ini menyatakan bahwa terdapat perbedaan mengenai efek faktor jumlah *blade* di dalam penurunan kekeruhan dan juga menyatakan bahwa faktor jumlah *blade* mempengaruhi terjadinya variabilitas pada prosentase removal kekeruhan.

Gambar 2 menunjukkan bahwa jumlah *blade* mempengaruhi prosentase removal kekeruhan. Pengaruh ini disebabkan oleh adanya perbedaan jumlah penampang pengaduk yang dihasilkan dari masing-masing jumlah *blade*. Bertambahnya jumlah *blade* akan menambah jumlah penampang pengaduk yang akan berinteraksi dengan fluida, sehingga mempermudah proses dispersi koagulan dalam fluida.



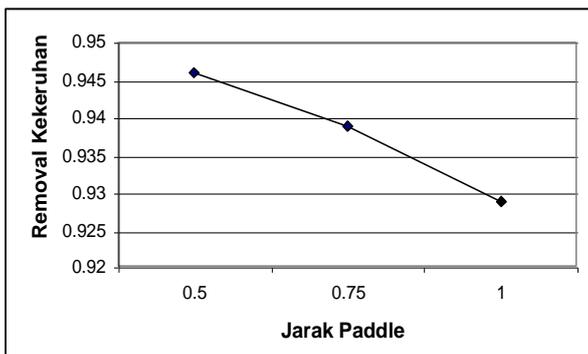
Gambar 2. Pengaruh Faktor Jumlah *Blade* Terhadap Removal Kekeruhan

Selain itu, besarnya gradient kecepatan juga mempengaruhi proses dispersi koagulan tersebut. Sama-

kin besar gradient kecepatan maka semakin besar pula turbulensi dalam fluida sehingga koagulan lebih mudah terdispersi. Penambahan jumlah *blade* ini juga memperbesar nilai gradient kecepatan yang dihasilkan.

Kemudian, berdasarkan perhitungan dengan ANAVA untuk sumber variabilitas jarak, menggunakan $\alpha = 0.05$ didapatkan nilai $F_{hitung} = 43.375$ dan $\alpha_{hitung} = 0$. Sehingga dapat disimpulkan H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menyatakan bahwa terdapat perbedaan mengenai efek faktor jarak *padle* di dalam penurunan kekeruhan dan juga menyatakan bahwa faktor jarak *padle* mempengaruhi terjadinya variabilitas pada prosentase removal kekeruhan.

Jarak *padle* ikut berperan dalam proses dispersi koagulan di dalam fluida, hal ini ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.

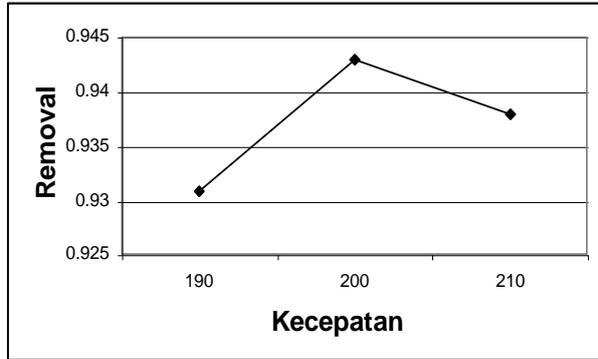


Gambar 3. Pengaruh Faktor Jarak *Padle*

Removal kekeruhan semakin menurun dari kedalaman $\frac{1}{2}$ diameter *padle* hingga mencapai jarak 1 diameter *padle*. Jarak *padle* yang mendekati dasar tangki akan memperkecil kemungkinan adanya *dead zone*, yaitu suatu kondisi dimana tidak terjadi pengadukan di daerah tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin besar jarak antara pengaduk dengan dasar tangki akan menurunkan prosentase removal kekeruhan.

Berdasarkan perhitungan dengan ANAVA untuk sumber variabilitas *Speed*, menggunakan $\alpha = 0.05$ didapatkan nilai $F_{hitung} = 25.546$ dan $\alpha_{hitung} = 0$. Sehingga dapat disimpulkan H_0 ditolak. Dan H_1 diterima, hal ini menyatakan bahwa terdapat perbedaan mengenai efek faktor kecepatan pengadukan di dalam penurunan kekeruhan dan juga menyatakan bahwa faktor kecepatan pengadukan mempengaruhi adanya perbedaan pada prosentase removal kekeruhan.

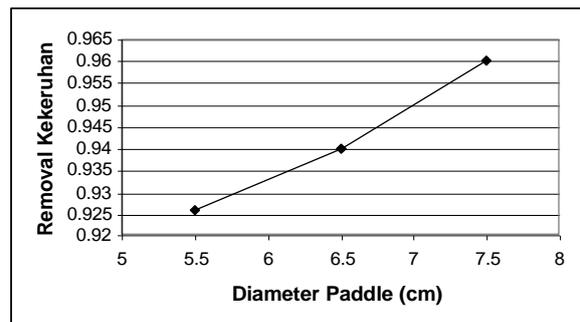
Kurangnya kecepatan putaran akan menyebabkan koagulan tidak dapat terdispersi dengan baik, tetapi apabila kecepatan putaran terlalu tinggi, flok akan terpecah kembali sehingga terjadi pengendapan tidak sempurna. Gambar 4 berikut menunjukkan bahwa perubahan kecepatan putaran mempengaruhi besarnya removal kekeruhan yang dihasilkan.



Gambar 4. Pengaruh Faktor Kecepatan Putaran

Untuk pengaruh faktor diameter *padle*, berdasarkan perhitungan dengan ANAVA untuk sumber variabilitas *Dia*, menggunakan $\alpha = 0.05$ didapatkan nilai $F_{hitung} = 66.278$ dan $\alpha_{hitung} = 0$. Sehingga dapat disimpulkan H_0 ditolak. Dan H_1 diterima. Hal ini menyatakan bahwa terdapat perbedaan mengenai efek faktor diameter *padle* di dalam penurunan kekeruhan dan juga menyatakan bahwa faktor diameter *padle* mempengaruhi adanya perbedaan pada prosentase removal kekeruhan.

Besarnya diameter *padle* sangat berhubungan dengan luas penampang yang dihasilkan serta besarnya kecepatan relatif *padle* terhadap fluida. Dengan bertambahnya kecepatan relatif pengadukan, maka nilai gradient kecepatan di dalam fluida akan semakin besar, sehingga mempermudah proses dispersi koagulan di dalam fluida untuk menghasilkan pembentukan flok yang sempurna. Hubungan antara diameter *padle* dengan prosentase removal ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Faktor Diameter *Padle*

Dengan mengacu pada Tabel ANAVA dapat diketahui nilai *Sum of Squares*, *Mean Square* dan *Degree of Freedom* (df) untuk semua faktor dan perhitungan % contribution.

Tabel 1. *Sum of Squares, Mean Square dan Degree of Freedom Tiap Faktor*

Faktor	Sum of Squares	dF	Mean Square	SS	Contribution
Jarak Padle Diameter	0,016	2	0,008	0,016	17,4%
jumlah blade	0,024	2	0,012	0,024	26,1%
Kecepatan pengadukan	0,043	2	0,022	0,043	46,7%
Error	0,009	2	0,005	0,009	9,8%
	0,044	243	0	0,092	100%

Dari Tabel 1 tersebut dapat dinyatakan bahwa faktor jumlah *blade* memiliki kontribusi yang paling besar terhadap prosentase removal kekeruhan yaitu sebesar 46.7% dari ke-4 faktor yang digunakan dalam eksperimen. Hal ini disebabkan adanya ketergantungan faktor lain terhadap jumlah *blade*. Apabila jumlah *blade* yang digunakan adalah lebih banyak, maka untuk menghasilkan turbulensi yang sama diperlukan kecepatan putaran yang lebih kecil, dengan jarak *padle* yang sama akan dihasilkan prosentase removal yang lebih tinggi dan diameter *padle* yang dibutuhkan semakin kecil.

Pada analisa titik optimal akan ditentukan level-level optimum dari faktor-faktor yang digunakan dalam eksperimen agar variabel respon (prosentase removal kekeruhan) mencapai nilai terbaik (optimum). Metode *response surface* digunakan dalam menganalisa titik optimum dengan menggunakan *Central Composite Design* dengan type *Face Centered* (CCF). Tabel 3 akan menjabarkan level-level yang digunakan dalam rancangan design dari CCF.

Tabel 2. *Level Design*

Level Design	Jarak <i>padle</i> (X ₁)	Dia <i>Padle</i> (X ₂)	Jumlah <i>blade</i> (X ₃)	Kecepatan Putaran (X ₄)
High (1)	1 dia	75 %	6 blade	210
Central (0)	¾ dia	65 %	4 blade	200
Low (-1)	½ dia	55 %	2 blade	190

Dengan menggunakan software Minitab 13.2 dihasilkan analisa *fitting model* yang sesuai dengan kecenderungan pola data eksperimen. Dari hasil perhitungan diketahui nilai $\alpha_{hitung} = 0.002$, sehingga dapat dinyatakan α_{hitung} lebih kecil dari $\alpha_{standard}$. Berarti $H_0 : \sigma = 0$ ditolak maka disimpulkan bahwa dalam penelitian ini terdapat jumlah variansi yang berarti dalam respon (Y) yang disebabkan atau diterangkan oleh variabel-variabel bebas dan fungsi

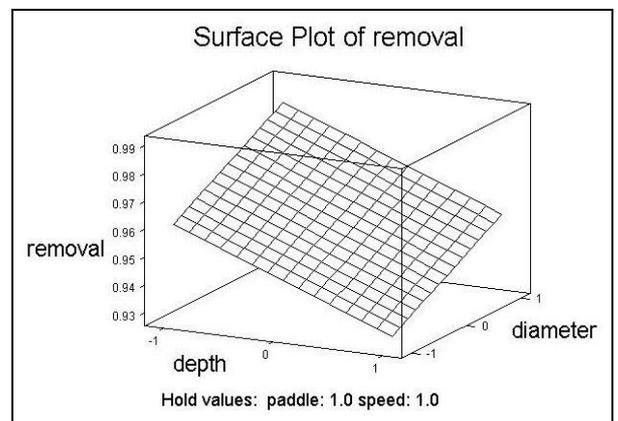
yang terbentuk merupakan fungsi linear. Adapun persamaan regresi linear yang terbentuk adalah :

$$Y = 0.93197 - 0.01517 X_1 + 0.01206 X_2 + 0.01433 X_3 + 0.01144 X_4 \dots\dots\dots(1)$$

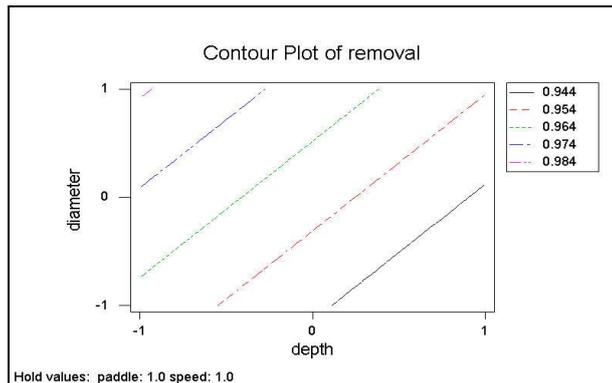
Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa koefisien regresi dari persamaan tersebut adalah kecil (< 0), analisa dapat dikatakan telah berada di daerah puncak. Sedangkan dengan *fitting model Quadratic*, data eksperimen menghasilkan nilai $\alpha_{hitung} = 0.588$ lebih besar dibandingkan $\alpha_{standard}$ (0.05), sehingga dapat disimpulkan data eksperimen tidak memiliki pola *quadratic* (orde 2).

Dengan demikian, titik optimum yang dihasilkan nantinya merupakan titik optimum pada kondisi removal kekeruhan yang maksimum. Dari regresi linier yang didapatkan, dapat dikatakan bahwa bertambahnya jarak *padle* terhadap dasar tangki (X₁) akan menurunkan removal kekeruhan yang dihasilkan (Y).

Demikian halnya dengan faktor jumlah blade (X₃) dan kecepatan putaran (X₄), koefisien regresi yang dihasilkan bernilai positif, yaitu + 0.01433 X₃ dan + 0.01144 X₄, hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah blade dan kecepatan putaran pengaduk akan menghasilkan removal kekeruhan (Y) yang lebih besar. Persamaan linier yang dihasilkan berlaku apabila. *Pertama*, nilai variabel bebas (X₁, X₂, X₃, X₄) lebih besar dari nol, *Kedua*, tidak terdapat pengurangan atau penambahan variabel bebas (Waluyo, 2001). Selanjutnya dengan menggunakan Minitab 13.2, dilakukan analisa grafik untuk mengetahui respon yang optimal. Gambar 6 dan Gambar 7 merupakan salah satu contoh grafik yang menunjukkan kondisi optimal dengan % removal yang dihasilkan sebesar 0.984.



Gambar 6. *Surface Plot Removal*



Gambar 7. Kontur Removal

Pada Gambar 6 dan Gambar 7, titik optimum adalah pada jumlah *blade* terbesar, kecepatan terbesar, diameter terbesar dan jarak terkecil. Sehingga disimpulkan dari kedua analisa titik optimal tersebut level – level optimal dari tiap faktor pada penelitian kali adalah sebagai berikut. *Pertama*, jarak *padle* sama dengan $\frac{1}{2}$ x diameter *padle*. *Kedua*, diameter *padle* sama dengan 75% dia-meter tangki. *Ketiga*, jumlah *blade* sama dengan 6 *blade*. *Keempat*, kecepatan pengadukan sama dengan 210 rpm

Kondisi optimum yang terjadi dalam penelitian kali ini merupakan hasil interaksi keseluruhan faktor dimana perubahan tiap faktor akan mempengaruhi perubahan pada faktor yang lain. Jarak *padle* $\frac{1}{2}$ diameter *padle* merupakan kedalaman optimum. Pada jarak tersebut, pengadukan dilakukan di dasar tangki sehingga dead zone tidak terjadi pada dasar tangki dan pengadukan dipermukaan dibantu oleh sistem vorteksi yang terjadi saat pengadukan. Sehingga pengadukan dapat merata di seluruh bagian tangki. Titik optimum diameter *padle*, jumlah *blade* dan kecepatan putaran pengadukan berada pada kondisi yang terbesar. Hal ini disebabkan karena ketiga faktor tersebut mempengaruhi turbulensi yang terjadi dalam fluida yang terukur pada besarnya gradient kecepatan. Semakin besar diameter *padle*, jumlah *blade* dan kecepatan putaran menyebabkan turbulensi dalam fluida semakin besar sehingga mempermudah proses dispersi koagulan yang dapat menghasilkan pembentukan flok yang optimum. Dengan demikian dihasilkan removal kekeruhan yang tertinggi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jumlah *blade*, diameter *padle*, kecepatan putaran pengadukan dan jarak *padle* merupakan faktor fisik yang memberikan pengaruh terhadap prosentase removal kekeruhan dalam proses koagulasi. Keempat faktor tersebut memiliki korelasi sebesar 90% dari pengaruh faktor fisik terhadap prosentase removal dalam koagulasi. Jumlah *blade* memberikan kontribusi terbesar sebagai faktor fisik terhadap prosentase removal kekeruhan dalam koagulasi, yaitu sebesar 46,7%. Kontribusi diameter *padle* sebesar 26,1%, kecepatan putaran pengadukan sebesar 17,4% dan kontribusi terkecil adalah jarak *padle* yaitu sebesar 9,8%. Kombinasi faktor yang paling optimum dari penelitian ini adalah kombinasi pada penggunaan *padle* 6 *blade* dengan diameter 75 % diameter tangki, kecepatan putaran 210 rpm dan dengan jarak *padle* dari dasar tangki sebesar $\frac{1}{2}$ diameter *padle*.

DAFTAR PUSTAKA

- Kawamura, S. (1991). **Integrated Design of Water Treatment Facilities**. John Wiley and Sons. New York.
- Kustiono, H. (2002). **Studi Literatur Alum dan Pengaruh Koagulasinya Terhadap Partikel Koloid dan Bahan Organik Alam (NOM)**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.
- Reynolds, T.D. dan Richards, P.A. (1996). **Unit Operation and Processes in Environmental Engineering**. PWS Publishing Company. New York.
- Sudjana (1994). **Desain dan Analisis Eksperimen**. Tarsito. Bandung.
- Waluyo, S.D. (2001). **Statistika Untuk Pengambilan Keputusan**. Ghalia Indonesia. Jakarta.