

Penerapan Model HP2S (Hidrodinamika Penyebaran Polutan di Sungai) Terhadap Pengendapan Flok Pada Pengendap Berbentuk Sirkular

Euis Nurul Hidayah

Program Studi Teknik Lingkungan
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim
e-mail: euisnh@yahoo.com

ABSTRAK

Bak pengendap sirkular memiliki beberapa keunggulan secara teknis jika dibandingkan dengan bak *rectangular*. Oleh karena aplikasinya yang masih digunakan di beberapa PDAM di Indonesia, maka penelitian ini juga menguji pola pengendapan flok dalam bak pengendap sirkular dengan menggunakan Model HP2S Model matematika yang berdasarkan pada persamaan kontinuitas dan momentum, yaitu salah satunya adalah Model HP2S dapat menjadi alternatif untuk mengamati pola pengendapan flok. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tingkat penerapan Model HP2S terhadap pengendapan flok pada bak pengendap berbentuk sirkular serta menganalisa pola pengendapan flok pada proses sedimentasi jika dianalisa dengan Model HP2S. Model matematika pengendapan flok dibentuk berdasarkan struktur Model HP2S dengan $y=0$ dan divisualisasi dalam bahasa Matlab dengan input data dari hasil running model fisik. Hasil running Model HP2S untuk bak sedimentasi sirkular menunjukkan pola yang sama pada setiap variasi debit dan variasi jenis koagulan. Pola yang didapatkan yaitu mulai dari inlet sampai menuju outlet, kecepatan aliran horisontal (u), NRe dan NFr semakin menurun, kecepatan pengendapan (w) semakin meningkat, konsentrasi kekeruhan (c) semakin menurun. Hal ini akibat pengaruh aliran yang laminar dan pengaruh massa lebih dominan dalam kondisi aliran laminar sehingga partikel cenderung untuk mengendap.

Kata kunci: Model HP2S, pengendap sirkular, pengendapan flok.

PENDAHULUAN

Infrastruktur instalasi pengolahan air minum konvensional sampai saat ini merupakan sistem yang paling banyak digunakan di Indonesia khususnya di PDAM. Instalasi pengolahan air minum konvensional hanya mampu mengolah air bersih antara 65%–70% dari sistem kapasitas desain, sebagai akibat debit dan kualitas air baku yang diperoleh dari air permukaan selalu fluktuatif. Hal ini terlihat dari tingkat kekeruhan dari hasil pengendapan di sedimentasi yang masih tinggi (Garsadi, 2008). Selain itu beberapa parameter kualitas air masih belum terolah secara maksimal sehingga belum memenuhi kriteria sebagai air bersih (Bramanti, 2007).

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi pengolahan air bersih khususnya pada pengolahan yang parameternya selalu fluktuatif. Misalnya parameter kekeruhan yang penurunannya tergantung pada kemampuan pengolahan di bak koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Penambahan bahan kimia ini biasanya dilakukan dengan uji jar tes atau uji penentuan dosis optimum dalam skala *batch process*. Namun dosis yang diberikan akan berbeda pada saat dosis tersebut diberikan pada aliran kontinu. Hal ini karena pengaruh hidrodinamika aliran yang tidak dapat diprediksi dalam kondisi *batch* (Nan *et.al.*, 2009). Oleh karena itu, faktor yang paling berperan dalam pengolahan air bersih adalah pengaruh

hidrodinamika aliran yang berinteraksi dengan parameter polutan yang akan diremoval. Pengaruh hidrodinamika tersebut antara lain pengaruh kecepatan aliran dan bentuk geometri bak (Razmi, dkk, 2009), konsentrasi dan karakteristik partikel tersuspensi (Sammarraee, dkk, 2009), turbulensi aliran (Guo, dkk, 2009), pengaturan inlet dan outlet (Ahmadi, dkk, 2007), pengaruh sekat dalam mengontrol aliran (Athanasia, dkk, 2008), waktu detensi (Stamou, dkk, 2000).

Beberapa permasalahan dalam perencanaan bangunan pengolahan air ada yang tidak dapat dipecahkan dengan rumus-rumus yang ada. Hal ini mengingat beberapa rumus yang ada diturunkan dari suatu kondisi tertentu yang belum tentu keadaannya sama dengan kondisi bangunan air yang akan direncanakan. Selain itu evaluasi secara langsung terhadap kinerja dan efisiensi bak pengolahan air membutuhkan biaya dan waktu yang tidak sedikit. Dalam keadaan seperti ini maka bantuan model matematika dalam menyelesaikan masalah adalah sangat bermanfaat (Armono, 2008). Model matematika dapat menjadi alternatif yang cukup baik untuk mengamati hidrodinamika dalam bak pengolahan air. Model matematika tersebut dibangun dari dua persamaan hidrodinamika, yaitu persamaan kontinuitas dan persamaan momentum (Van der Walt, 2008).

Model HP2S (Hidrodinamika Penyebaran Polutan di Sungai) merupakan model kualitas air dua dimensi horisontal yang telah disusun berdasarkan hukum kekekalan massa dan kekekalan momentum dengan menggunakan matematika numerik beda hingga eksplisit Leap Frog serta di visualisasi dengan menggunakan program komputer (Karnaningroem, 2006). Penelitian ini menggunakan Model HP2S untuk menganalisa pola pengendapan flok, karena mekanisme transport yang terjadi dalam proses penyebaran flok sebelum mengendap dianalogkan dengan fenomena transport yang terjadi di dalam air sungai.

Penelitian ini bertujuan mengkaji tingkat penerapan Model HP2S terhadap pengendapan flok pada pengendapan berbentuk sirkular serta menganalisa pola pengendapan flok pada proses sedimentasi jika menggunakan Model HP2S.

TINJAUAN PUSTAKA

Model Matematika HP2S

Hidrodinamika aliran terhadap penyebaran polutan menunjukkan hubungan non linier antara kecepatan aliran dan perubahan konsentrasi polutan. Oleh karena itu diperlukan pendekatan numerik yang didasari oleh rumusan matematika diferensial parsial. Selain itu proses-proses yang dapat terjadi dalam aliran air di sungai, misalnya proses fisik, kimia dan biologis dapat dimodelkan dengan menerapkan hukum-hukum kekekalan massa dan kekekalan momentum. Struktur matematika didasari oleh persamaan kontinuitas yang diturunkan dari konservasi massa sedangkan persamaan gerak diturunkan dari konservasi momentum, sehingga penyelesaiannya menggunakan metode numerik beda hingga eksplisit Leap Frog (Karnaningroem, 2006). Berikut ini salah satu persamaan matematika yang merupakan Model HP2S untuk aliran lurus laminar dengan adanya limpasan debit. Persamaan 1 merupakan persamaan kontinuitas dengan adanya limpasan debit.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial w}{\partial z} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = q$$

.....(1)

dengan:

ρ = berat jenis

u = kecepatan rata-rata vertikal arah x

w = kecepatan rata-rata vertikal arah z

t = pias waktu

q = limpasan edit

Dengan aplikasi metode *Leap Frog* maka Persamaan 1 diubah menjadi Persamaan 2, yaitu

$$\begin{aligned} & \frac{\rho_{i,j}^{n+1} - \rho_{i,j}^{n-1}}{2\Delta t} + \rho_{i,j}^n \frac{u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n}{2\Delta x} + \\ & u_{i,j}^n \frac{\rho_{i+1,j}^n - \rho_{i-1,j}^n}{2\Delta x} + \rho_{i,j}^n \frac{v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n}{2\Delta y} + \\ & v_{i,j}^n \frac{\rho_{i,j+1}^n - \rho_{i,j-1}^n}{2\Delta y} = q_{i,j}^n \end{aligned} \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan 2 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 3, yaitu:

$$\begin{aligned} \rho_{i,j}^{n+1} &= q_{i,j}^n + \rho_{i,j}^{n-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \rho_{i,j}^n (u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n) - \\ & \frac{\Delta t}{\Delta x} u_{i,j}^n (\rho_{i+1,j}^n - \rho_{i-1,j}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta y} \rho_{i,j}^n (v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n) - \\ & \frac{\Delta t}{\Delta y} v_{i,j}^n (\rho_{i,j+1}^n - \rho_{i,j-1}^n) \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

Berdasarkan analisa kemandapan non linier (Maharani, 2006), maka Persamaan 3 diubah menjadi Persamaan 4 berikut ini:

$$\begin{aligned} \rho_{i,j}^{n+1} &= q_0 + \rho_{i,j}^{n-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \rho_0 (u_{i+1,j}^n - u_{i-1,j}^n) - \\ & \frac{\Delta t}{\Delta x} u_0 (\rho_{i+1,j}^n - \rho_{i-1,j}^n) - \frac{\Delta t}{\Delta y} \rho_0 (v_{i,j+1}^n - v_{i,j-1}^n) - \\ & \frac{\Delta t}{\Delta y} v_0 (\rho_{i,j+1}^n - \rho_{i,j-1}^n) \end{aligned} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan menggunakan metode *Leap Frog* maka disusun program (*source code*) dengan menggunakan bahasa program Matlab agar diperoleh visualisasi gambar. Metode eksplisit *Leap Frog* yang digunakan untuk membangun Model HP2S merupakan salah satu metode yang cenderung tidak stabil. Sehingga untuk menggunakan metode eksplisit perlu dilakukan uji stabilitas, uji konsistensi dan uji konvergensi. Dalam penyusunan program, uji konsistensi, konvergensi dan stabilisasi juga disertakan. Selain itu, batasan untuk kondisi aliran dengan memasukkan batasan Bilangan Reynold pada kondisi aliran laminar, transisi dan turbulen.

Teori Sedimentasi

Sedimentasi merupakan salah satu unit operasi yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air bersih, air limbah industri dan limbah domestik. Prinsip sedimentasi pada pengolahan air minum dan air limbah adalah sama demikian juga untuk

metode dan peralatannya. Pada pengolahan air minum, terapan sedimentasi khususnya untuk (Masduqi, 2005):

1. Pengendapan air permukaan, khususnya untuk pengolahan dengan filter pasir cepat
2. Pengendapan flok hasil koagulasi-flokulasi, khususnya sebelum disaring dengan filter pasir cepat
3. Pengendapan flok hasil penurunan kesadahan menggunakan soda-kapur
4. Pengendapan lumpur pada penyisihan besi dan mangan.

Konsep proses sedimentasi sangat sederhana, tetapi penerapan proses sedimentasi sangat kompleks. Sedimentasi merupakan proses pemisahan padatan-cairan, dalam hal ini adalah suspensi flok di dalam air karena pengaruh gaya gravitasi atau gaya berat partikel. Partikel dengan densitas lebih besar daripada air akan keluar dari garis arus aliran fluida secara grafitasi dan mengendap di dasar bak sedimentasi. Pada saat yang bersamaan, partikel-partikel tersebut mengalami berbagai variasi proses fisik dan hidrodinamik akibat gaya geser dalam aliran air sehingga mempengaruhi proses pengendapan dan efisiensi penyisihan partikel (Athanasia, dkk, 2008a). Untuk partikel flokulan, penggumpalan flok tidak hanya terjadi karena pengadukan di flokulasi, namun masih terus berlangsung saat flok bergerak ke bawah untuk mengendap dalam bak sedimentasi. Pengendapan berlangsung dalam aliran kontinu dan kondisi aliran tenang.

Mengingat ukuran partikel bervariasi, maka tidak semua partikel dapat diendapkan. Artinya, partikel dengan kecepatan pengendapan lebih dari V_0 , maka 100% partikel akan mengendap dalam waktu yang sama. Jika partikel yang mempunyai kecepatan pengendapan kurang dari V_0 , maka tidak semua akan mengendap dalam waktu yang sama. Pada aliran horisontal, partikel dengan kecepatan pengendapan kurang dari V_0 juga akan mengendap 100% jika partikel memasuki zona pengendapan melalui kedalaman bak Z_p atau kurang dari

kedalaman Zo. Hal ini dengan meninjau diameter partikel dan massa jenis partikel. Meskipun diameternya lebih kecil, namun jika massa jenisnya lebih besar, maka partikel juga akan mengendap.

Sedimentasi tipe II adalah pengendapan partikel flokulen dalam suspensi encer, dimana selama pengendapan terjadi saling interaksi antar partikel. Selama dalam operasi pengendapan, ukuran partikel flokulen bertambah besar, sehingga kecepatan pengendapannya juga meningkat. Sebagai contoh sedimentasi tipe II antara lain pengendapan partikel hasil proses koagulasi-flokulasi pada pengolahan air minum maupun air limbah

Pengaruh Aliran Terhadap Pengendapan dalam Bak Sedimentasi

Bak sedimentasi dibagi menjadi dua kategori, berdasarkan jenis dan konsentrasi partikel yang akan diendapkan. Bak pengendap pertama mengandung konsentrasi partikel tersuspensi yang rendah, sehingga daerah aliran didalamnya tidak dipengaruhi oleh konsentrasi partikel dan pengaruh gaya apung dapat diabaikan. Namun, pada bak pengendap kedua atau bak pengendap akhir mengandung konsentrasi padatan tersuspensi yang tinggi. Menurut Van der Walt (2008), untuk mencapai pemodelan bak sedimentasi yang sesuai, maka kecepatan pengendapan efektif dan hidrodinamika sistem perlu dipertimbangkan dalam hal ini adalah pola aliran yang terjadi. Pengendapan partikel padatan beserta efisiensi penyisihannya tergantung pada pola aliran. Penelitian Tamayol dan Firoozabadi (2006) menunjukkan bahwa efisiensi pengendapan juga dipengaruhi oleh karakteristik padatan tersuspensi dan pola aliran.

Karakteristik pengendapan partikel flok adalah flok mempunyai kemampuan berinteraksi dengan flok lain disekelilingnya untuk menggumpal (Boyle, dkk, 2005). Partikel flok yang bertambah ukuran dan beratnya akibat penggumpalan, akan memiliki berat jenis lebih besar dari air sehingga dapat bergerak ke bawah. Selain itu akan terjadi perubahan kecepatan

pengendapan yang menjadi lebih cepat dari semula (Guo, dkk, 2009). Proses penggumpalan (*flocculation*) dalam bak sedimentasi dipengaruhi oleh laju pembebanan permukaan, kedalaman bak, gradien kecepatan yang menimbulkan turbulensi, konsentrasi partikel di dalam air dan ukuran diameter butir. Ukuran partikel akan membesar akibat adanya penggumpalan, sehingga daerah aliran didalamnya dipengaruhi oleh konsentrasi dan distribusi partikel (Razmi, dkk, 2009). Pola dan jalur aliran yang dilalui flok-flok dalam bak pengendap untuk saling berikatan sangat berhubungan erat dan berpengaruh terhadap kinerja sedimentasi. Pola aliran dalam bak sedimentasi terkait dengan dengan mekanisme transport yang terjadi, bentuk geometri dan pengaruh eksternal, misalnya pengaruh angin dan temperatur dapat menimbulkan arus pendek.

METODE

Penelitian ini menggunakan metoda seperti pada penelitian sebelumnya, yaitu meliputi tahapan analisa jar tes, pembuatan model fisik, seperti pada Gambar 1, identifikasi pola aliran, merumuskan model matematika yang dikembangkan dari Model HP2S (Karnaningroem dan Hidayah, 2010). Selanjutnya dengan menggunakan data sekunder jenis pengendap sirkular, penelitian ini akan menerapkan Model HP2S pada pengendap sirkular dengan bahasa program Matlab. Hasil dari penelitian ini berupa visualisasi pola pengendapan flok dan pola aliran pada pengendap berbentuk sirkular.

Model HP2S memerlukan input data yang terdiri atas dimensi bak sedimentasi, debit aliran, konsentrasi kekeruhan, kecepatan aliran horisontal, kecepatan aliran vertikal, debit injeksi koagulan, konsentrasi injeksi koagulan, tekanan 1 atm, jumlah pias waktu, jumlah grade dan densitas air.

Model HP2S menghasilkan keluaran (*output*) berupa Bilangan Reynold, koefisien dispersi longitudinal dan vertikal, Bilangan Courant, gambar pola kecepatan aliran, NRe, NFr, kecepatan pengendapan dan

konsentrasi pada arah sumbu x dan sumbu y (Karnaningroem, 2006).



Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian Berupa Model Fisik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bak pengendap sirkular memiliki beberapa keunggulan secara teknis jika dibandingkan dengan bak *rectangular*. Oleh karena aplikasinya yang masih digunakan di beberapa PDAM di Indonesia, maka penelitian ini juga menguji pola pengendapan flok dalam bak pengendap sirkular dengan menggunakan Model HP2S.

Tabel 1 merupakan data skunder bak pengendap berbentuk sirkular yang akan diuji dengan menggunakan Model HP2S. Bak pengendap sirkular yang digunakan adalah jenis *accelerator clarifier* dan *clearator*. *Accelerator clarifier* digunakan di PDAM Ngagel II, sedangkan *clearator* digunakan di PDAM Karang Pilang II.

Tabel 1. Data Bak Pengendap Sirkular

Parameter	<i>Accelerator Clarifier</i>	<i>Clearator</i>
Debit (m ³ /detik)	0,25	0,55
Diameter (m)	19	26
Kedalaman (m)	5,41	3
Kecepatan aliran (m/jam)	3,2	7
Kecept.pengendapan (cm/detik)	0,025	0,025
Waktu detensi (jam)	1,7	0,5
Kekeruhan (NTU)	97	11
Jenis koagulan	Tawas	Tawas
Dosis koagulan (ppm)	40	40

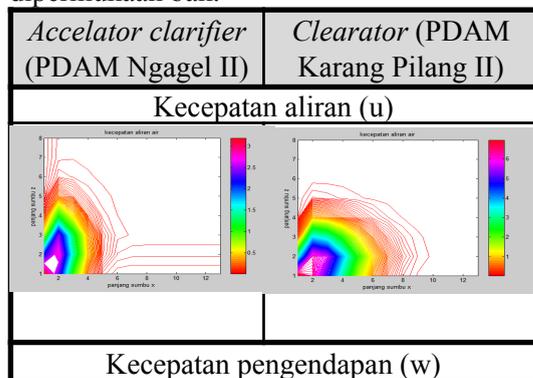
Injeksi koagulan (ml/detik)	22	10
Kecept. injeksi (cm/detik)	3	1,4

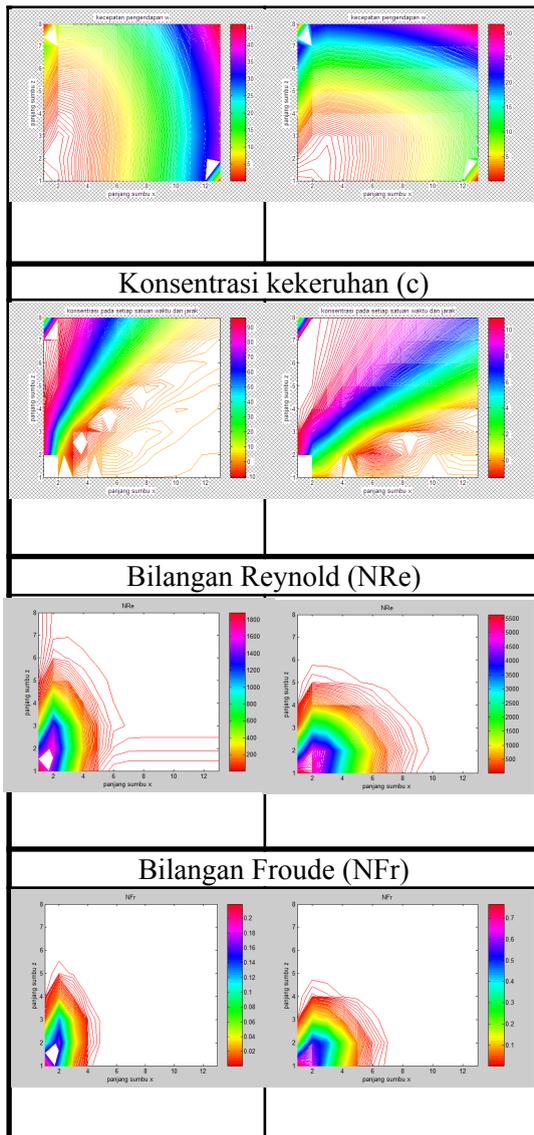
Sumber : Indriasari dan Rakhmania (2006), Jauhari dan Dwi (2006)

Pengujian model pada pengendap sirkular dengan mengasumsi bahwa tidak ada *settler*, dan mengabaikan *scraper*. Bak sirkular dimodelkan dengan menggunakan sumbu x sebagai arah radial dan sumbu z sebagai arah axial. Model juga mengasumsikan tidak adanya aliran teraduk dan pola aliran *axisymmetric* dengan pusat bak sirkular.

Struktur model lebih lengkap di bahas dalam penelitian sebelumnya (Karnaningroem dan Hidayah, 2010). Berdasarkan data pada Tabel 1, kemudian program dijalankan sehingga menghasilkan *output* program untuk pengendap *accelerator* dan *clearator* berupa kondisi aliran laminar atau turbulen, Bilangan Courant terhadap x dan y, Koefisien Dispersi pada arah sumbu x yaitu E_x dan arah sumbu y yaitu E_y . Selain itu program Matlab menghasilkan visualisasi gambar seperti pada Gambar 2 berikut ini.

Berdasarkan hasil running pada Gambar 2, diperoleh bahwa pola kecepatan aliran horisontal (u), pola kecepatan pengendapan (w) dan pola konsentrasi (c) memiliki pola yang sama dengan bak pengendap *rectangular*. Hasil running model HP2S menunjukkan pola kecepatan aliran horisontal (u) yaitu kecepatan aliran radial semakin menurun pada saat menuju outlet dan kecepatan aliran radial paling tinggi ada dipermukaan bak.





Gambar 2. Hasil *Running Model* HP2S dengan Bak Pengendap Jenis Sirkular

Sedangkan pola kecepatan pengendapan (w) menunjukkan bahwa kecepatan pengendapan semakin meningkat pada saat menuju outlet dan semakin meningkat pula seiring dengan kedalaman bak. Untuk pola konsentrasi kekeruhan (c) menunjukkan bahwa konsentrasi kekeruhan semakin menurun pada saat menuju outlet dan membentuk garis iso konsentrasi persen penyisihan kekeruhan.

Deining, dkk, (1998) menjelaskan bahwa aliran radial dalam bak pengendap sirkular memiliki pola radial, yaitu aliran dari inlet turun ke bawah menuju ke dasar

bak dan berbelok mengalir horisontal ke arah dinding bak (*forward flow*). Dari dinding bak, aliran berbalik menuju inlet dengan arah naik menuju permukaan bak (*backward flow*). Distribusi kecepatan aliran terbesar ada di inlet kemudian menurun dan saat aliran berbalik menuju inlet terjadi peningkatan kecepatan aliran. Oleh karena itu daerah inlet memiliki kecepatan aliran terbesar. Hal ini sesuai dengan gambar pola kecepatan aliran horisontal yang divisualkan pada Gambar 2.

Selain itu, dalam bak pengendap sirkular juga terjadi aliran vertikal. Aliran vertikal dimulai dari inlet dengan kecepatan terbesar kemudian aliran turun kebawah menuju dasar bak dan mengalami penurunan kecepatan. Pada daerah outlet, terjadi arus naik dengan kecepatan tinggi menuju outlet dan mengalami penurunan kecepatan saat air melimpah. Oleh karena itu kecepatan vertikal terbesar ada pada daerah inlet dan kecepatan vertikal terkecil ada pada daerah outlet (Deining, dkk, 1998).

Berdasarkan hasil *running*, aliran tersebar dimulai dari inlet dengan kecepatan terbesar ada pada inlet kemudian aliran menuju ke outlet dengan kecepatan semakin menurun dan kecepatan menuju dasar bak juga semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan terbesar ada pada daerah inlet dan kecepatan terkecil ada pada daerah outlet dan dasar bak. Fenomena ini memiliki kesesuaian dengan penelitian Deining, dkk, (1998), namun hasil *running* belum dapat membedakan pola aliran akibat kecepatan radial dan kecepatan vertikal. Selain itu, pada hasil *running* pola kecepatan aliran tidak ditemui adanya aliran pendek. Kemungkinan hal ini terjadi akibat pengaruh bentuk bak yang melingkar. Pada daerah inlet, aliran akan terdistribusi dengan merata akibat pengaruh aliran radial yang terjadi pada bak yang penampangnya membentuk lingkaran (Anonim, 2010b).

Sedangkan kecepatan pengendapan partikel semakin meningkat dan pola perubahan konsentrasi kekeruhan semakin menurun saat menuju outlet. Hal ini akibat interaksi antara flok di sepanjang bak dalam

arah radial dan axial. Sehingga flok menjadi lebih berat dan lebih besar untuk mengendap dengan kecepatan pengendapan yang lebih besar dari kecepatan aliran radial (Matko, dkk, 1997). Oleh karena itu pola perubahan konsentrasi menurun karena flok mengendap. Menurut Deininger, dkk, (1998), adanya arus disepanjang dasar bak yang mengalami pengurangan kecepatan tidak akan mempengaruhi kecepatan pengendapan partikel. Hal ini karena massa flok lebih besar daripada massa air sehingga kecepatan pengendapan lebih besar daripada arus vertikal naik menuju permukaan air.

Variasi diameter bak menunjukkan bahwa pola kecepatan aliran, pola kecepatan pengendapan dan pola perubahan konsentrasi mengikuti diameter bak. Artinya semakin besar diameter bak pengendap, maka akan menghasilkan pola yang memanjang seperti halnya dengan pola yang dihasilkan pada variasi panjang bak *rectangular*. Hal ini akibat luas penampang yang semakin besar akan menghasilkan penyebaran energi kinetik terbesar pada permukaan bak. Energi kinetik akan menurun mengindikasikan terjadinya pengurangan kecepatan aliran menuju outlet. Jika kecepatan aliran sangat kecil diawal zona pengendapan atau di zona inlet maka dispersitas flok akan berkurang, sehingga pembentukan flok untuk menjadi lebih besar dan berat akan semakin lama, yang berakibat juga terhadap kecepatan pengendapan flok (Anonim, 2010a).

Oleh karena itu semakin besar diameter bak sedimentasi, maka nilai kecepatan pengendapan yang sama akan terjadi pada jarak yang lebih jauh dari inlet. Berdasarkan hal tersebut, maka pola pengendapan flok yang ditunjukkan dalam pola konsentrasi kekeruhan (c) menunjukkan konsentrasi kekeruhan yang semakin menurun saat mendekati permukaan bak dan menuju outlet.

Penerapan Model HP2S pada pengendap sirkular juga membuktikan adanya hubungan linier antara Bilangan Reynold (NRe) dan kecepatan aliran horisontal, hubungan nonlinier antara

Bilangan Froude (NFr) dan kecepatan aliran horisontal serta hubungan nonlinier antara Bilangan Froude (NFr) dan Bilangan Reynold (NRe). Pada pengendap *accelerator clarifier* menunjukkan $NRe < 2000$ dan $NFr > 10^{-5}$, pada pengendap *clearator* menunjukkan $NRe > 2000$ dan $NFr > 10^{-5}$. Namun kedua jenis pengendap menghasilkan penurunan kekeruhan mencapai 100%. Hal ini kemungkinan karena pada pengendap *clearator* menggunakan Model HP2S untuk aliran laminar, padahal aliran yang terjadi turbulen. Sehingga untuk pengendap *clearator* perlu dirumuskan kembali Model HP2S untuk pengendapan flok jenis aliran turbulen.

Model HP2S dikembangkan untuk mengetahui hidrodinamika penyebaran polutan di sungai dengan sifat polutannya non konservatif (COD) dan konservatif (Cl), dimana Model HP2S tidak memodelkan kecepatan pengendapan. Sedangkan pada pola pengendapan flok, polutan atau obyeknya berupa partikel flokulan yang pengendapannya sangat dipengaruhi oleh karakteristik flok.

Flok-flok terdispersi akibat interaksi antara difusi turbulen dengan gradien kecepatan, akibatnya flok dapat bertumbukan membentuk flok yang ukurannya lebih besar dan berat. Flok dapat mengendap akibat pengaruh massanya, oleh karena itu kecepatan pengendapan flok juga dipengaruhi oleh karakteristik flok. Pada dasarnya kecepatan pengendapan partikel merupakan fungsi konsentrasi padatan tersuspensi, dimana nilai kecepatan pengendapan tersebut tidak konstan dan tergantung pada karakteristik flok.

Kecepatan pengendapan dalam model HP2S tidak memasukkan faktor karakteristik flok, yaitu ukuran butir, bentuk flok, muatan elektrik partikel. Selain itu model HP2S dalam pengendapan flok ini mengasumsi tidak ada perbedaan temperatur dan densitas konstan.

Oleh karena itu menurut Van der Walt (2008), interaksi antara fase cair dan padatan, dalam hal ini adalah interaksi antara fluida dan flok dimodelkan melalui :

1. Model kecepatan pengendapan, ini menunjukkan interaksi flok dalam fluida (*floc-in-fluid*). Kecepatan pengendapan berupaya untuk menghubungkan antara perilaku pengendapan flok dengan konsentrasi flok yang terdispersi dalam fluida. Kecepatan pengendapan partikel tidak konstan, tetapi tergantung pada temperatur air, ukuran flok, densitas flok dan konsentrasi flok. Artinya kecepatan pengendapan merupakan fungsi dari konsentrasi padatan.
2. Penyebaran flok mempengaruhi fluida, ini menunjukkan interaksi flok terhadap fluida (*floc-on-fluid*). Adanya perbedaan densitas antara flok yang terdispersi dan air akan mempengaruhi pola aliran fluida, yaitu timbulnya arus pendek dan *density current* yang dapat menimbulkan daerah mati (*dead zone*). Kondisi ini dapat mempengaruhi kinerja bak sedimentasi.
3. Model persamaan transport turbulen dan difusi, ini menunjukkan interaksi fluida terhadap flok (*fluid-on-floc*). Turbulensi merupakan suatu fenomena yang tidak linier, tiga dimensi dan berubah terhadap waktu. Pada aliran turbulen secara kontinue terbentuk pusaran-pusaran besar yang kemudian terpecah menjadi pusaran-pusaran yang lebih kecil dan akhirnya menghilang (Hendricks, 2008). Pusaran – pusaran kecil tidak cukup kuat untuk menimbulkan tumbukan antar partikel. Selain itu, difusi turbulen pada flok halus sangat kecil karena energi kinetik turbulennya juga kecil. Oleh karena itu flok-flok yang halus akan sulit mengendap namun cepat terdispersi di sepanjang bak. Hal ini menjelaskan bahwa jika flok - flok yang terdispersi diharapkan akan mengendap tetapi gerakannya lebih lambat daripada gerakan fluida, maka flok tidak akan mengendap.
4. Model flokulasi, ini menunjukkan interaksi flok terhadap flok (*floc-on-floc*). Teori DLVO yang menyatakan bahwa kestabilan partikel tergantung pada fungsi total energi potensialnya, yaitu energi potensial untuk pemisahan partikel dan energi potensial untuk berinteraksi antar partikel. Tetapi pada penerapannya, ternyata gaya mekanis partikel berperan penting untuk mengontrol penyebaran dan pencampuran partikel.

Selain itu penggunaan parameter tak berdimensi, yaitu NRe dan NFr dapat digunakan untuk mengamati perilaku hidrodinamika secara umum dalam bak sedimentasi tetapi tidak detail, karena perumusan Bilangan Reynold mengabaikan bentuk geometri bak. Perumusan NRe menyatakan hubungan antara gaya momentum yaitu kecepatan aliran dan gaya viskositas, sehingga NRe dibatasi untuk fluida dengan viskositas tertentu dan bukan kecepatan aliran rata-rata. Perumusan NFr menyatakan hubungan antara gaya momentum yaitu kecepatan aliran dan gaya grafitasi, namun gaya grafitasi tersebut tidak mencirikan antara pengaruh grafitasi pada fluida dan padatan tersuspensi atau flok. Ini ditunjukkan dalam perumusan NFr yang tidak memasukkan densitas karena densitas dianggap konstan.

Berdasarkan hal tersebut, maka penerapan model HP2S terhadap pola pengendapan flok dapat digunakan untuk menganalisa pola kecepatan aliran (u), pola kecepatan pengendapan (w), pola konsentrasi (c), Bilangan Reynold (NRe) dan Bilangan Froude (NFr) namun secara parsial, artinya interaksi antara kelima parameter tersebut kurang dapat dianalisa bersama-sama.

Pola kecepatan aliran (u) dalam bak sedimentasi dapat dianalisa dengan menggunakan Model HP2S dengan mengasumsi pengaruh densitas campuran antara air dan flok konstan serta tidak dipengaruhi konsentrasi padatan. Dengan asumsi tersebut, maka NRe dan kecepatan aliran dapat dianalisa bersama karena menunjukkan hubungan linier.

Pola kecepatan pengendapan (w) dapat dianalisa dengan menggunakan Model HP2S dengan mengabaikan karakteristik flok dan kecepatan aliran konstan. Oleh karena itu dianggap tumbukan antar partikel akan menghasilkan flok dengan ukuran dan berat massa yang meningkat beraturan. Sehingga diperoleh kecepatan pengendapan partikel yang meningkat secara konstan pula.

Pola konsentrasi (c) dapat dianalisa dengan menggunakan Model HP2S dengan mengasumsi kecepatan aliran dan kecepatan pengendapan konstan. Sedangkan NFr terhadap kecepatan aliran dapat dianalisa bersama karena menunjukkan hubungan nonlinier akibat pengaruh perumusan gravitasi yang tidak mencirikan karakteristik flok.

Interaksi antara kelima parameter tersebut dapat dianalisa bersama-sama dengan memadukan model flokulasi, model hidrodinamika dan model pengendapan. Model flokulasi akan menggambarkan interaksi antar flok dengan memperhatikan karakteristik flok termasuk jenis dan dosis koagulan yang digunakan. Model hidrodinamika akan menggambarkan pola aliran horisontal dengan memperhatikan konfigurasi bak khususnya di inlet dan parameter operasional serta pola kecepatan pengendapan.

Sedangkan model pengendapan akan menggambarkan perilaku partikel akibat pengaruh kecepatan aliran horisontal dan kecepatan pengendapan berdasarkan model flokulasi. Namun masih ada pengaruh lain atau pengaruh eksternal yang diabaikan, misalnya angin dan perubahan temperatur yang tidak signifikan.

KESIMPULAN

Penerapan Model HP2S terhadap pengendapan flok pada pengendap berbentuk sirkular:

1. Model HP2S dapat diterapkan dengan parameter pola kecepatan aliran, pola kecepatan pengendapan dan pola konsentrasi kekeruhan, Bilangan

Reynold (NRe) dan Bilangan Froude (NFr) secara parsial.

2. Pola pengendapan flok dipengaruhi oleh debit aliran, kecepatan aliran, geometri bak (ukuran panjang dan bentuk bak), dengan mengasumsi densitas fluida konstan dan mengabaikan karakteristik flok.
3. Perumusan Model HP2S untuk pengendapan flok jenis aliran turbulen perlu dikembangkan kembali

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, G., Tamayol, A., B., Firoozabadi, B., (2007), *Effect of Inlet Position and Baffle Configuration on the Hydraulic Performance of Primary Settling Tanks*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 133 (6), p.649-667.
- Anonim, (2010a), *Modelling of Rectangular Sedimentation Tanks* 998/1/04, <http://www.fwr.org/wrcsa>, diakses pada 26 Januari 2010.
- Anonim, (2010b), *A New Concept for Circular Sedimentation Basins*, <http://www.uni-leipzig.de>, diakses pada 26 Januari 2010.
- Armono, Haryo. D., (2008), *Teori Model Analisa dan Dimensi*, Bahan Kuliah Teknik Kelautan ITS Surabaya.
- Athanasia, M. G., Margaritis, K., Thodiris, D. K., Anastasios, I. Z., (2008), *The Effect of Influent Temperature variations in a Sedimentation Tank for Potable Water Treatment-A Computational Fluid Dynamics Study*, Water Research Vol. 42, p. 3405-3414.
- Boyle, J. F., Ice Manas, Feke, Donald, L., (2005), *Hydrodynamic Analysis of the Mechanisms of Agglomerate Dispersion*, Powder Technology Vol. 153, Issue 2, p. 127-133.
- Bramanti, G. W., (2007), *Analisa Resiko Kesehatan Kualitas Air Minum PDAM Kota Surabaya*, Tugas Akhir, Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Deininger, A., Holthausen, E., Wilderer, P. A., (1998), *Velocity and Solids Distribution in Circular Secondary Clarifiers: Full Scale measurements and Numerical Modelling*, Water Research Vol. 32, No. 10. p. 2951–2958.
- Garsadi, R., (2008), *Gradien Velocity Pada Sistem Micro Hydraulic Flocculation Dikaji Melalui Model Pilot Water Treatment Plant dan Model Computer Fluid Dynamic (CFD) Menggunakan Air Baku Canal TU Delft*, PhD Disertasi, ITB.
- Guo, L., Zhang, D., Xu, D., Chen, Y., (2009), *An Experimental Study of Low Concentration Sludge Settling Velocity Under Turbulent Condition*, Water Research 43, p. 2383–2390.
- Hendricks, David, (2008), *Water Treatment Unit Operations and Processes*, John Willey and Sons Inc.
- Indriasari, A., Rakhmania, A., (2006), *Analisa Unit Pengolahan Air Minum PDAM Ngagel II Surabaya*, Laporan Kerja Praktek, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Jauhari, A., Dwi, E. A., (2006), *Kajian Sistem Operasional dan Pemeliharaan di IPAM Karang Pilang II PDAM Surabaya*, Laporan Kerja Praktek, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Karnaningroem, Nieke, (2006), *Model Matematika Hidrodinamika Penyebaran Polutan di Sungai*, Disertasi Program Pasca Sarjana ITS, Surabaya.
- Karnaningroem, Nieke dan Euis Nurul Hidayah., (2010), *Model of Hydrodynamics for Settling Flocs in Rectangular Sedimentation Basin*, Journal of Mathematics and Technology 3/2010, IJAR.
- Maharani, A., (2006), *Aplikasi Metode Leap Frog pada Model Aliran Air di Sungai pada Kondisi Tidak Tunak Dalam Dua Dimensi*, Tugas Akhir, Jurusan Matematika–FMIPA ITS Surabaya.
- Masduqi, Ali, (2005), *Satuan Operasi*, Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Matko, T. N., Fawcett, N., Sharp, A., Stephenson, T., (1997), *Recent Progress in the Numerical Modelling of Wastewater Sedimentation Tanks*, Process Safety and Environmental Protection 74 (B4), p. 245–258.
- Nan. J., He, W., Song, X., Li, G., (2009), *Impact of Dynamic Distribution of Floc Particles on Flocculation Effect*, Journal of Environmental Sciences 21, p. 1059–1065.
- Razmi, A., Firoozabadi, B., Ahmadi, G., (2009), *Experimental and Numerical Approach to Enlargement of Performance of Primary Settling Tanks*, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol.2, No.1, pp. 1-12.
- Sammarraee, M. A., Chan, A., Salim, S. M., Mahabaleswar, U. S., (2009), *Large-Eddy Simulations of Particle Sedimentation in a Longitudinal Sedimentation Basin of a Water Treatment Plant. Part I: Particle Settling Performance*, Chemical Engineering Journal, 152, p. 307–314.
- Stamou, A. I., Latsa, M., Assimacopoulos, D., (2000), *Design of Two-Storey Final Settling Tanks Using Mathematical Models*, Journal of Hydroinformatics Vol.02, No.4, p. 235-245.
- Tamayol, A., Firoozabadi, B., (2006), *Effects of Turbulent Model and Baffle Position on the Hydrodynamics of Settling Tanks*, Scientia Iranica, Vol. 13, No. 3, p.255-260.
- Van der Walt, J. J., (2008), *The Modelling of Water Treatment Process Tanks*, Dissertation, University of Johannesburg.