

STUDI PENINGKATAN KAPASITAS PENGOLAHAN DI INSTALASI PDAM NGAGEL I SURABAYA

STUDY OF CAPACITIES UPRATING PDAM NGAGEL I SURABAYA WATER TREATMENT PLANT

Citra Dita Maharsi Suaidy dan Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

**Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
email: chiqhiey_2539@yahoo.co.id**

Abstrak

Salah satu sumber energi yang terpenting di dunia ini adalah air, konsekuensinya adalah ketersediaan air yang cukup secara kuantitas, kualitas, dan kontinuitas. Ketidakseimbangan terjadi ketika membandingkan jumlah penduduk dan prosen pelayanan PDAM. Jumlah penduduk Surabaya pada tahun 2008 adalah 2,902,507 jiwa, dengan tingkat pertumbuhan 1.6 % per tahun. Sedangkan wilayah cakupan layanan PDAM Kota Surabaya saat ini 389.000 Sambungan Rumah (SR), yaitu masih 71% daerah terlayani air bersih. 29 % penduduk yang tidak terlayani PDAM ini memanfaatkan air sumur atau sumber-sumber air bersih lain yang belum terjamin kualitas serta kuantitasnya. Berbagai kesulitan dan persoalan kesehatan dapat timbul karena keterbatasan ini.

Instalasi IPAM Ngagel I dibangun pada tahun 1922 menggunakan air baku dari Kali Surabaya dimana kapasitas saat ini adalah 1.750 l/dt. Evaluasi terhadap kinerja IPAM Ngagel I dilakukan untuk melihat kemungkinan peningkatan produksinya. Hasil evaluasi menunjukkan unit-unit proses Instalasi Ngagel I Surabaya untuk beberapa parameter kinerja belum memenuhi kriteria desain. Pengkajian peningkatan kapasitas tanpa membangun unit baru yaitu melalui perbaikan dan modifikasi, sehingga instalasi bisa optimum kinerjanya. Dari hasil pengkajian debit 2000 L/detik dapat ditambahkan pada instalasi PDAM Ngagel I Surabaya dengan menempuh beberapa modifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan mengganti tube settler dan menambah jumlah pipa diffuser pada clearator.

Kata kunci: air minum, kapasitas produksi, instalasi pengolahan air minum, clearator

Abstract

One of the important source in our life is water. Its consequences is enough availability of water in quantity, quality, and continuity. Ironic is happen when comparing between number of people with percentage of PDAM services. Number of people Surabaya was 2.902.507 in 2008, and rate of growth was 1,6 % per year. Total population of Surabaya in 2008 was 2,902,507 inhabitants, with a growth rate of 1.6% per year. While service coverage of PDAM Surabaya is currently 389 000 Residential Connection (SR), which is still 71% unserved areas of clean water. 29% of the population who do not utilize water taps served by wells or water sources of others that have not guaranteed the quality and quantity. Various difficulties and health problems can arise because of these limitations.

Installation IPAM Ngagel constructed in 1922 using raw water from the Kali Surabaya with a capacity of 1800 L / sec. With the increasing demand is needed to increase production capacity in PDAM Ngagel I. An evaluation of IPAM Ngagel need to do to see the possibility of increasing production. Result from the evaluation prove that the installation is not fulfill the range of design criteria yet. This Uprating means reparation the installation without build new WTP, and do the modification The modification is by changing tube settler and increase the number of diffuser pipe. By trial and modification, 2000 L/s is the optimum flowrate.

Key word: *drinking water, capacities uprating, water treatment plant, clearator.*

1. Pendahuluan

Salah satu sumber energi yang terpenting di dunia ini adalah air. Konsekuensi dari kebutuhan manusia akan air bersih untuk berbagai kegiatan yaitu ketersediaan air yang cukup secara kuantitas, kualitas, dan kontinuitas. Kondisi air baku yang tidak memenuhi persyaratan air bersih, memerlukan penanganan khusus sebelum dikonsumsi. Pembangunan instalasi pengolahan air mutlak diperlukan, disesuaikan dengan karakteristik air baku yang digunakan

PDAM Surabaya merupakan perusahaan jasa pemerintah penyedia layanan air bersih yang mempunyai sejumlah instalasi pengolahan air minum. Ketidakeimbangan terjadi ketika membandingkan jumlah penduduk dan prosen pelayanan PDAM. Jumlah penduduk Surabaya pada tahun 2008 adalah 2,902,507 jiwa, dengan tingkat pertumbuhan 1.6 % per tahun. (Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Surabaya, 2008). Sedangkan wilayah cakupan layanan PDAM Kota Surabaya saat ini 389.000 Sambungan Rumah (SR), yaitu masih 71% daerah terlayani air

bersih. 29 % penduduk yang tidak terlayani PDAM ini memanfaatkan air sumur atau sumber-sumber air bersih lain yang belum terjamin kualitas serta kuantitasnya. Instalasi IPAM Ngagel I dibangun pada tahun 1922 menggunakan air baku dari Kali Surabaya dengan kapasitas 60 L/detik. Selanjutnya kapasitas air produksi ditingkatkan secara bertahap dan pada tahun 1994 menjadi ± 1.800 L/detik. Kenaikan kebutuhan air minum dan terbatasnya lahan serta tingginya biaya untuk pembangunan instalasi pengolahan air minum yang baru, memerlukan peningkatan kapasitas pengolahan dari IPA yang telah ada.

Penelitian ini bertujuan:

- Mengevaluasi kondisi eksisting Instalasi PDAM Ngagel I pada setiap unit pengolahan dan membandingkannya sesuai kriteria desain yang ada.
- Mengkaji kemungkinan peningkatan kapasitas pengolahan Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya berdasarkan kondisi eksisting saat ini.

Perusahaan Daerah Air Minum Dati II Kotamadya Surabaya bertanggung jawab dalam menangani dan mengatur serta meningkatkan pelayanan umum dalam pengadaan air bersih. Jumlah penduduk kota Surabaya adalah 3 juta jiwa dengan jumlah rata-rata pemakaian air 180 Liter/jiwa/hari, sedangkan dari total jumlah penduduk tersebut diperkirakan sekitar 70 % yang memperoleh air bersih. (Anonim, 1996). Adapun landasan teori yang diperlukan adalah :

Unit Operasi Pengolahan Air Minum

Bangunan pendahuluan ini adalah bangunan prasedimentasi yang berfungsi sebagai tempat pengendapan partikel diskrit (pengendapan type I), seperti lempung, pasir dan zat padat lainnya yang bisa mengendap secara gravitasi (memiliki specific gravity $\geq 1,2$ dan berdiameter $\leq 0,05$ mm). Partikel diskrit adalah partikel yang selama proses pengendapannya tidak berubah ukuran, bentuk dan beratnya. Dalam pengoperasiannya, prasedimentasi dapat mengurangi zat padat sebesar 50 % - 70%.

Droste, (1997) menyebutkan sistem aerasi digunakan untuk meningkatkan turbulensi dan memecah komponen air menjadi volume yang lebih kecil, meningkatkan luas permukaan untuk transfer masa. Gaya gravitasi atau debit bertekanan mungkin digunakan. Cascade aerator merupakan jenis Aerator menggunakan gravitasi. Pada Cascade Aerator, melalui beberapa tahapan. Splashing pada air menimbulkan turbulensi dan pencampuran air, meskipun tidak seefisien metode aerasi lain. Teknik lainnya adalah discharge air ke dalam perforated plates. Plates mengandung media yang meningkatkan oksidasi besi dan mangan.

Bangunan pengaduk cepat (flash mix) digunakan untuk proses koagulasi yang merupakan awal untuk pengendapan partikel – partikel koloid yang terdapat dalam air baku. Partikel koloid sangat halus dan sulit untuk diendapkan tanpa proses pengolahan lain (plain sedimentation). Karena sifat partikel yang sangat halus, maka ukuran partikel koloid harus diperbesar dengan menggabungkan partikel – partikel koloid tersebut melalui proses koagulasi dan flokulasi sehingga mudah untuk mengendapkannya.

Bangunan pengaduk lambat merupakan tempat terjadinya flokulasi yaitu proses yang bertujuan untuk menggabungkan flok – flok kecil yang titik akhir pembentukannya terjadi di flash mix agar ukurannya menjadi lebih besar sehingga cukup besar untuk dapat mengendapkan secara gravitasi. Kecepatan pengadukan (G) berkisar < 100 per detik selama 10 sampai 60 menit (Masduki, 2002).

Tujuan proses sedimentasi secara umum pada pengolahan air konvensional untuk mengurangi padatan yang terbawa setelah proses koagulasi dan flokulasi. Aplikasi berikutnya adalah menghilangkan padatan berat yang terendapkan dari air baku sehingga menghilangkan kekeruhan dan mengurangi beban dalam proses pengolahan selanjutnya. (AWWA, 1990).

Menurut Reynolds (1996), Upflow clarifiers merupakan unit yang menggabungkan pengadukan, flokulasi, dan pengendapan ke dalam satu unit. Unit ini didesain untuk mengolah volume dengan kandungan padatan terflokulasi yang besar. Volume padatan pada contact zone

bervariasi dari 5 hingga 50 % volume, tergantung dari kegunaannya. Pada jenis sludge blanket filtration pengadukan dan flokulasi terjadi di center kompartemen. Air hasil proses flokulasi meninggalkan kompartemen dan dengan aliran naik melewati sludge blanket supaya flok terremoval karena terjadi kontak dengan padatan terflokulasi di blanket. Air kemudian mengalir upward melewati tempat klarifikasi dan kemudian menuju effluent.

Untuk meningkatkan efisiensi pengendapan seringkali digunakan plate settler. Plate settler merupakan peralatan pengendapan multi setter, sebagai pengembangan dari bak sedimentasi konvensional yang telah dibangun sebelumnya. Bila plate settler ditambahkan pada bak sedimentasi, maka dapat menambah kapasitas dan memperbaiki kualitas effluent. Kapasitas produksi akan meningkat sebesar 50-150 %. Plate settler dapat direncanakan dengan bahan yang mudah didapatkan sendiri. Tube settler didapatkan dari suatu fabrikasi sebelum disesuaikan dengan perencanaan unit. Plate settler direncanakan dari bahan yang tahan karat akibat larutan alum dan susah ditumbuhi alga, seperti bahan dari polyethylene atau bahan terlapisi plastic. Sudut kemiringan plate settler direncanakan agar lumpur jatuh dengan sendirinya dan tidak menempel pada plate (45° - 60°), namun biasanya direncanakan pada sudut 55° dari horizontal. (Schlutz, 1984)

Unit Proses Pengolahan Air Minum

Proses pengendapan terbagi dalam dua klasifikasi : grit chamber (pengendapan pendahuluan) dan bak sedimentasi (clarifiers). Grit didefinisikan sebagai kombinasi antara lumpur, pasir, kerikil, shells, dan material lain kasar lainnya. Grit Chamber merupakan pengendapan pertama yang menghilangkan grit menggunakan pengendapan secara gravitasi. Tujuan dari unit ini adalah melindungi peralatan mekanis bergerak (semisal pompa dan mixers) karena material kasar serta untuk mencegah akumulasi grit di instalasi air baku dan proses pre-treatment. 4 prinsip dasar sebagai pertimbangan mendesain unit Grit Chamber yaitu lokasi peletakkan unit, jumlah unit yang dibutuhkan, bentuk dari setiap unit, ukuran grit yang dihilangkan. (Kawamura, 1990).

(Masduqi, Slamet, 2002), menyebutkan, pengadukan (mixing) merupakan suatu aktivitas operasi campuran dua atau lebih zat agar diperoleh hasil campuran yang homogen. Pada media fase cair, pengadukan ditujukan untuk memperoleh keadaan yang turbulen (bergolak). Aplikasi pada bidang teknologi lingkungan pengadukan digunakan untuk proses fisika seperti pelarutan bahan kimia dan proses pengentalan (thickening), proses kimiawi seperti koagulasi-flokulasi dan desinfeksi, proses biologis untuk mencampur bacteria air limbah. Koagulasi merupakan proses destabilisasi koloid dan partikel dalam air dengan menggunakan bahan kimia (disebut koagulan) yang menyebabkan pembentukan inti gumpalan (presipitat). Proses koagulasi hanya dapat berlangsung bila ada pengadukan. Flokulasi adalah proses penggabungan inti flok sehingga menjadi flok berukuran besar. Proses flokulasi hanya dapat berlangsung bila ada pengadukan. Pengadukan pada proses koagulasi flokulasi merupakan pemberian energy agar terjadi tumbukan antar partikel tersuspensi dan koloid agar terbentuk gumpalan (flok) sehingga dapat dipisahkan melalui proses pengendapan dan penyaringan.

Filtrasi adalah pemisahan padatan dan liquid dimana liquid melewati media berpori atau material berpori lain untuk meremoval sebanyak mungkin padatan tersuspensi. Ini digunakan pada pengolahan air untuk menyaring bahan kimia yang terkoagulasi dan terendapkan demi menghasilkan air produksi yang berkualitas tinggi. Rapid sand Filter digunakan pada pengolahan air minum biasanya pada tipe gravity dan biasanya menggunakan bak beton terbuka. Gambar 2.5 Menunjukkan potongan filter dengan media pasir di dalamnya, media penyangga/gravel, dan sistim underdrainnya. (Reynold, 1996)

2. Metodologi

Suatu studi yang mengkaji kemungkinan peningkatan kapasitas pengolahan air produksi di instalasi pengolahan air minum yang telah ada perlu ditempuh karena adanya perbedaan debit air minum yang dibutuhkan masyarakat Surabaya dan penyediaan air minum yang disediakan PDAM

Ngagel I, juga terbatasnya lahan serta tingginya biaya untuk pembangunan instalasi pengolahan air minum yang baru. Tahapan pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi masalah pada unit pengolahan air minum PDAM Ngagel I melalui observasi dan uji kualitas serta kuantitas. Setelah identifikasi dilakukan, langkah selanjutnya adalah study literatur mengenai : proses-proses pengolahan yang terjadi di Instalasi Pengolahan Air Minum, desain bangunan Instalasi Pengolahan Air Minum, standar baku mutu mengenai kualitas air baku dan air produksi. Studi literatur tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam pembahasan.

Data yang digunakan dalam pembahasan meliputi: data primer berupa kualitas air di inlet dan outlet tiap unit di Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya. Data sekunder berupa: kualitas air baku dan air produksi, data jumlah penduduk kota Surabaya 10 tahun terakhir, debit air produksi, dimensi tiap unit di Instalasi, kondisi eksisting Instalasi, denah tata letak Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya. Data-data tersebut diperlukan untuk evaluasi kinerja untuk kemudian bisa dilakukan pembahasan.

Pembahasan yang dilakukan meliputi: proyeksi jumlah penduduk dan proyeksi kebutuhan air untuk mengetahui debit air baku yang perlu diolah. Kemudian dilakukan evaluasi kinerja sistem pengolahan air minum yang ada saat ini dan bangunan pengolahan berdasarkan kriteria desain. Berikutnya dilakukan pengkajian kemungkinan peningkatan kapasitas produksi Instalasi berdasarkan kondisi eksisting saat ini. Dari pembahasan dapat diketahui kesimpulan apakah kapasitas air produksi dapat ditingkatkan pada Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya, sehingga bisa diberikan saran-saran.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Data

Analisa laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS, parameter yang dianalisa yaitu Zat Organik, pH, DO, Sisa Cl, dan kekeruhan. Sampling dilakukan pada tiap unit di

Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya. Hasil analisa Zat Organik, pH, DO, Sisa Cl, dan kekeruhan dari sampling dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 3.1 Kualitas Efluen tiap unit Instalasi PDAM Ngagel I

| unit | pH | DO(ppmO ₂) | Zat Organik (ppm KMnO ₄) | Kekeruhan (Ntu) |
|-----------|------|------------------------|---|--------------------|
| prased | 7.6 | 3.7 | 12.116592 | 28,63 |
| aerator | 7.33 | 4.7 | 15.628752 | 3 |
| clearator | 7.34 | 6.3 | 21.248208 | 2,7 |
| filter | 7.53 | 7.21 | 24.4442736 | 2,34 |

Analisa Kinerja

Prasedimentasi

Parameter kinerja yang dikaji untuk mengetahui efektifitas kinerja prasedimentasi adalah :

1. Waktu Detensi

Dimensi zona pengendapan unit prasedimentasi Ngagel I,

Panjang (L) = 106 m

Lebar (B) = 10.7 m

Kedalaman (H) = 2.4 m

Volume = 2700 m³

Debit (Q) = 1750 L/dt = 1.75 m³/dt

Jumlah unit = 8 buah

Q tiap unit = 1.75 m³/detik : 8 = 0.22 m³/dt

Waktu detensi (td)

$$\frac{\text{Volume}}{Q} = \frac{2700 \text{ m}^3}{0.22 \text{ m}^3/\text{detik}} = 12272 \text{ detik} = 3.3 \text{ jam.}$$

2. Beban Permukaan

Q tiap Unit = 0.22 m³/dt

As = LxB = 106 m x 10.7 m = 1.134,2 m²

$$\text{Beban Permukaan} = \frac{Q}{As} = \frac{0,22 \text{ m}^3/\text{detik}}{1134,2 \text{ m}^2} = 1,9 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{detik} = 16,75 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$$

3. Bilangan Reynold

$$V_s = \sqrt{3,3 g (S_s - 1) d}$$

$$= \sqrt{3,3 \times 9,8 \text{ m}^2/\text{detik}^2 (1,2 - 1) (0,05 \cdot 10^{-3} \text{ m})}$$

$$= 0,02 \text{ m/detik}$$

$$N_{Re} = \frac{V_s d}{\nu}$$

$$= \frac{0,02 \frac{\text{m}}{\text{detik}} \times 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,8774 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}}$$

$$= 1,14$$

Aerator

Parameter kinerja yang dikaji untuk mengetahui efektifitas kinerja aerator adalah

1. Kapasitas Oksigenasi

Spesifikasi Aerator PDAM Ngagel I sebagai berikut :

- Inlet : 1000 mm
- Diameter : 8,5 meter
- Tinggi (H) : 17,5 meter
- Panjang anak tangga (p) : 75 cm, 75 cm, 100 cm
- Kapasitas : 1500 L/detik
- Tingkatan (h) : 1,2 m ; 0,5 m ; 0,5 m
- Waktu tinggal : 60 detik

1. Kapasitas Oksigenasi

- Diketahui total panjang aerator adalah 250 cm (lihat Gambar 4. Sketsa Aerator).
- Dengan debit 1750 L/detik = 1,75 m³/detik dan kriteria Luas Area : 85-105 m²/m³/detik. (Qasim, 2000) maka dapat diketahui luas permukaan yang di butuhkan adalah :

$$A_p = 1,75 \text{ m}^3/\text{detik} \times 85 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{detik} \text{ (Kriteria Desain yang dipilih adalah } 85 \text{ m}^2/\text{m}^3/\text{detik})$$

$$= 148,75 \text{ m}^2 = 1.487.500 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 - A_T &= (1/4 \cdot \pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)) + (2\pi \cdot h) \\
 &= (1/4 \cdot 3,14 \cdot (8,5^2 - 3^2)) + (2 \cdot 3,14 \cdot 5,5) \\
 &= 49,65 \text{ m}^2 + 77,715 \text{ m}^2 \\
 &= 127,365 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga diketahui :

$$A_P \text{ (Luas Permukaan)} = 148,75 \text{ m}^2$$

$$A_T \text{ (Luas Total)} = 127,365 \text{ m}^2$$

Didapatkan suatu rumusan untuk menentukan kapasitas oksigenasi berdasarkan luas permukaan dan luas total :

$$O_c = 0,19676 A_P + 0,5180$$

$$O_c = 0,1123 A_T + 1,786$$

Sehingga didapatkan nilai kapasitas oksigenasi berdasarkan kedua variable tersebut sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 O_c(A_P) &= 0,19676 A_P + 0,5180 \\
 &= (0,19676 \times 148,75 \text{ m}^2) + 0,5180 \\
 &= 29,79 \text{ mg/Liter.det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 O_c(A_T) &= (0,1123 \times 127,36) + 1,786 \\
 &= 16,09 \text{ mg/Liter.det}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan penentuan kapasitas oksigenasi dengan menggunakan luas dapat disimpulkan bahwa perhitungan desain performansi aerator *cascade* dengan luas permukaan lebih baik dibandingkan dengan luas total maka area interfase yang tercipta antara air dengan udara akan lebih besar dibandingkan dengan menggunakan luas total.

Perhitungan kapasitas oksigenasi kemudian dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi oksigen terlarut. Konsentrasi oksigen terlarut ini ditentukan dengan mengalikan kapasitas oksigenasi yang merupakan kecepatan aerasi dengan waktu jatuh yang diperlukan.

$h = 75 \text{ cm} ; H = 225 \text{ cm} ; p = 250 \text{ cm} ; n = 3 \text{ buah}$

$O_c(A_p) = 29,79 \text{ mg/Liter.det}$

Dengan ketinggian total 225 cm, maka dapat diketahui waktu yang diperlukan untuk jatuh dengan jumlah anak tangga 3 buah dan waktu kontak seperti pada persamaan di bawah ini :

$$t_c = \sqrt{\frac{2hn}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0,75 \times 3}{9,81}} = 0,67 \text{ detik}$$

Sehingga oksigen yang ditransfer dalam waktu 0,67 detik adalah

$$= 29,79 \text{ mg/Liter.det} \times 0,67 \text{ detik}$$

$$= 20,17 \text{ mg/Liter}$$

3. Peningkatan Kadar DO

Dengan menggunakan aerator cascade untuk tiga trap (3 tangga) dengan tinggi masing-masing tangga 75 cm.

Data :

- DO min (DO awal) = 3,7 ppm O_2 (hasil penelitian)
 - DO jenuh (saturated) = 8,22 ppm pada suhu 26°C (C_s)
 - $K \cdot cs = 5$ (diambil dari Grafik Popel, 1974), beda tinggi antara trap 75 cm.
- $K = 5/8,22 = 0,61$ ($K_n = 0,61$)

(DO = 0,4 ppm = C_o)

a. Trap 1 $C_1 = C_o (1 - K_n) + 0,63 \times 7,92$

$$= 3,7 (1 - 0,61) + 0,61 \times 7,92 = 6,27$$

b. Trap 2 $C_2 = C_1 (1 - K_n) + K_n C_s$

$$= 6,27 \times 0,39 + 4,83 = 7,27$$

c. Trap 3 $C_3 = C_2 (1 - K_n) + K_n C_s$

$$= 7,27 \times 0,39 + 4,83 = 7,66 \text{ ppm}$$

3. Gradien Kecepatan

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot h}{v \cdot t \cdot d}} = \sqrt{\frac{(9,8 \frac{m}{detik^2} \cdot 3,2m)}{0,8774 \cdot 10^{-2} \frac{m^2}{detik} \cdot 60 detik}} = 771 /detik$$

Clearator

Parameter kinerja yang dikaji untuk mengetahui efektifitas kinerja aerator adalah

1. Overflowrate

- Debit per unit clearator = 437,5 L/detik = 1575 m³/jam
- D₁ = Diameter Unit Clearator = 20,5 m ; D₂ = Diameter Ruang Flokulasi = ± 5 m
- Luas Permukaan bak (A_P) yang dipenuhi tube settler
- Spesifikasi Tube Settler : h = 1 m ; w = 0,076 m ; α = 60°
- A_P = $\frac{1}{4} \times \pi \times (D_1^2 - D_2^2) = \frac{1}{4} \times \pi \times (20,5^2 - 5^2) = 310,27 \text{ m}^2$
- So = $\frac{Q}{A_{eff}} \times \frac{w}{[h \times (\cos \alpha) + w (\cos^2 \alpha)]}$
 $= \frac{0,4375 \text{ m}^3/detik}{310,27 \text{ m}^2} \times \frac{0,076 \text{ m}}{[1 \text{ m} \times (\cos 60^\circ) + 0,076 \text{ m} (\cos^2 60^\circ)]}$
- So = 2,1 x 10⁻⁴ m³/m²/detik = 17,78 m³/m²/hari

2. Waktu Detensi

- Luas permukaan = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = 0,25 \times 3,14 \times 20,5^2 = 329,89 \text{ m}^2$
- Kedalaman efektif = 4 m (kedalaman bak sedimen
5m karena bentuknya lancip ke bawah maka kedalaman efektif diambil 4 m)
- Volume bak sedimentasi = 329,89 m² x 4 m = 1.319,58 m³
- Debit per unit clearator = 437,5 L/detik = 0,437 m³/detik
- Waktu detensi = $\frac{Volume}{Q} = \frac{1319,58 \text{ m}^3}{0,437 \text{ m}^3/detik} = 3.016,2 \text{ detik} = 50,27 \text{ menit}$

3. Gradien Kecepatan Pada Flokulator

$$A = 0,25 \times \pi \times d^2 = 0,25 \times 3,14 \times 0,25^2 = 0,049 \text{ m}^2$$

$$V_{inlet} = Q/A = 0,4375 \text{ m}^3/detik : 0,049 \text{ m}^2 = 8,93 \text{ m/detik}$$

$$H_f = k \cdot V^2 / 2g = 1(8,93)^2 / 2 \cdot 9,8 = 4,01 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kompartemen I} &= 0,25 \times 3,14 \times (\text{Datas}^2 + \text{Dbawah}^2) \times t \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (550^2 + 550^2) \times 100 \\ &= 47.492.500 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$T_d = \frac{\text{Volume}}{Q} = \frac{47.492.500 \text{ dm}^3}{437,5 \text{ dm}^3/\text{detik}} = 108,55 \text{ detik} = 1,8 \text{ menit (tidak sesuai dengan data PDAM)}$$

$$G = \sqrt{\frac{(g \cdot h_f)}{v \cdot t_d}} = \sqrt{\frac{(9,8 \frac{\text{m}}{\text{detik}^2} \times 4,01 \text{ m})}{0,8774 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{detik}} \times 108,55 \text{ detik}}} = 642,49 / \text{detik}$$

$$G = \sqrt{\frac{(g \cdot h_f)}{v \cdot t_d}} = \sqrt{\frac{(9,8 \frac{\text{m}}{\text{detik}^2} \times 4,5 \times 0,065 \text{ m})}{0,8774 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{detik}} \times 108,64 \text{ detik}}} = 81,75 / \text{detik}$$

$$G = \sqrt{\frac{(g \cdot h_f)}{v \cdot t_d}} = \sqrt{\frac{(9,8 \frac{\text{m}}{\text{detik}^2} \times 0,05 \text{ m})}{0,8774 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{detik}} \times 130,19 \text{ detik}}} = 65,49 / \text{detik}$$

$$G = \sqrt{\frac{(g \cdot h_f)}{v \cdot t_d}} = \sqrt{\frac{(9,8 \frac{\text{m}}{\text{detik}^2} \times 1,65 \times 10^{-3} \text{ m})}{0,8774 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{detik}} \times 178,28 \text{ detik}}} = 9,85 / \text{detik}$$

4. Bilangan Reynold

$$V_h = \frac{Q}{A_{\text{tube}} \times \sin 60^\circ} = \frac{0,4375 \text{ m}^3/\text{detik}}{310,27 \text{ m}^2 \times 0,87} = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ m/detik}$$

$$R = A/O = 0,12 \text{ m}$$

$$N_{Re} = \frac{V_h \times R}{\nu} = \frac{1,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{detik}} \times 0,12 \text{ m}}{0,8774 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}} = 218,83$$

5. Solid Loading Rate

$$\text{Sudut kemiringan tube settler} = 60^\circ$$

$$\text{Debit} = 437,5 \text{ L/detik}$$

$$\text{Luas permukaan (A)} = 329,89 \text{ m}^2$$

$$\text{Kedalaman (h) bak} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Kekeruhan} = 12 \text{ NTU}$$

$$\text{Loading rate } \left(\frac{L}{\text{m}^2} \right) = \frac{V_{\text{settler}}}{(Q/A)} = \frac{V_s}{(0,43750 \text{ m}^3/\text{detik})/329,89 \text{ m}^2}$$

$$V_{\text{settle}} = \frac{Q}{[A \times (\sin \alpha + \text{In} \cos \alpha)]} = \frac{0,4375 \text{ m}^3}{[323,89 \times (\sin 60 + \text{In} \cos 60)]} = 7,67 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\text{Loading rate} = \frac{7,67 \cdot 10^{-3}}{0,4375/329,89} = 5,78$$

Filter

1. Kecepatan Penyaringan
Rate Filtrasi (V_f)

$$Q \text{ tiap bak} = \frac{1,75 \text{ m}^3/\text{detik}}{192} = 0,009 \text{ m}^3/\text{detik} = 32,4 \text{ m}^3/\text{jam.}$$

$$\text{Rate Filtrasi} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{L \times B} = \frac{32,4 \text{ m}^3/\text{jam}}{2,4 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}} = 7,5 \text{ m/jam}$$

Rate Filtrasi dari hasil perhitungan **sesuai** dengan kriteria desain yaitu 5-10 m/jam

2. Sistem Backwash

Kapasitas Air Backwash

Diketahui ; $v_{\text{backwash}} = 30 \text{ m/jam} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m/det}$

Dimensi bak filter $\rightarrow p = 2,4 \text{ m}$ dan $l = 1,8 \text{ m}$

Periode pencucian 1 hari sekali setiap 24 jam.

(Manual Operation & Maintenance Ngagel I Water Treatment Plant, 1996)

Sehingga dapat dihitung ;

- Debit air untuk backwash (Q_{bw}) = A bak filter $\times v_{bw}$

$$= (2,4 \times 1,8) \times 3,47 \cdot 10^{-4}$$

$$= 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det} \approx 129,52 \text{ m}^3/\text{hari.}$$

- Volume filtrasi dalam 1 hari (V_{bak}) = $Q_{\text{tiap bak}} \times t_d$

$$= 0,009 \text{ m}^3/\text{detik} \times 86400 \text{ det/hari} \times 1 \text{ hari}$$

$$= 777,6 \text{ m}^3$$

- Volume air backwash (V_{bw}) $\rightarrow 1 - 5 \%$ dari volume filtrasi

$$V_{bw} = 1 \% \times 777,6 \text{ m}^3$$

$$= 7,776 \text{ m}^3 \text{ per hari.}$$

$$V_{bw} = 5 \% \times 777,6 \text{ m}^3$$

= 38,88 m³ per hari.

Range volume air untuk backwash adalah 7,776–38,88 m³/hari

- Waktu operasi backwash (tbw)

$$tbw = \frac{V_{bw}}{Q_{bw}} = \frac{7,776}{129,52} = 0,06 \text{ det} = 3,6 \text{ menit}$$

$$tbw = \frac{V_{bw}}{Q_{bw}} = \frac{38,88}{129,52} = 0,3 \text{ det} = 18 \text{ menit}$$

Tabel 3.2 Hasil Evaluasi Kinerja Instalasi Eksisting

| No | Unit Bangunan | Parameter Kinerja | Hasil Perhitungan | Kriteria Desain | Sumber | KD PDAM | % Removal Kekeruhan | Keterangan |
|----|----------------|-----------------------------------|---|---|----------------|------------------------------------|---------------------|------------|
| 1 | Prasedimentasi | Waktu Detensi | 3.3 jam | 1,5-3 jam | Schulz 1984 | 3,5 jam | 66% | Memenuhi |
| | | Beban Permukaan | 17,4 m ³ /m ² /hari | 20-80 m/hari | Schulz 1984 | 21,8 m/hari | | Memenuhi |
| | | Bil.Reynold | 1,024 | <2.000 | Reynold 1996 | | | Memenuhi |
| 2 | Aerator | Peningkatan Kadar DO | 107% | | | | 89% | Memenuhi |
| | | Gradien kecepatan | 709/detik | 300-1600/detik | Kawamura 1991 | 1000/detik | | Memenuhi |
| 3 | Clearator | Overflowrate | 9,35 m ³ /m ² /hari | 24-550 m ³ /m ² /hari | (Droste, 1997) | - | 10% | Memenuhi |
| | | Waktu Detensi | 48,87 menit | 15- 45 menit | (Droste, 1997) | 57menit | | Memenuhi |
| | | Gradien Kecepatan pada Flokulator | 168,49 /detik, 87,77/detik, 35,18/detik, 10,57/detik | 10-100 /detik | (Droste, 1997) | 90/detik, 60/detik, 30/detik | | Memenuhi |
| | | Bil. Reynold | Nre = 229 | Nre = <2000 | Reynold 1996 | - | | Memenuhi |
| | | Solid Loading Rate | 5,89 m ³ /jam | 1,25 – 3,7 m ³ /jam | AWWA 1998 | | | Memenuhi |
| 4. | Filter | Jumlah Bak | 192 | minimal 17 | | | 13% | Memenuhi |
| | | Kecepatan Penyaringan | 7,8 m ³ /jam | 5-10 m ³ /jam | | 7.6 m ³ /jam | | Memenuhi |
| | | Sistem Backwash (Lama Pencucian) | 3,6 -18 menit | 3-20 menit | Reynold 1996 | | | Memenuhi |

Pembahasan Evaluasi Kinerja

1. Prasedimentasi

Untuk parameter kinerja waktu detensi, waktu detensi melebihi kriteria desain teoritis. Semakin tinggi nilai waktu tinggal air baku dalam prasedimentasi, semakin baik, karena proses pengendapan berlangsung semakin lama. Sedangkan untuk parameter kinerja beban permukaan, beban permukaan prasedimentasi lebih kecil dibandingkan range kriteria desain teoritis. Beban permukaan kecil mengindikasikan bak yang semakin luas. Luasnya bak pengendapan

memungkinkan efisiensi pemisahan kekeruhan makin tinggi. Dari data primer juga didapatkan bahwa unit prasedimentasi dapat meremoval kekeruhan sebesar 66 % (dari 81,8 NTU menjadi 28,63). Bilangan Reynold 1,14 menunjukkan bahwa aliran dalam bak laminar sehingga pengendapan dapat terjadi optimal.

2. Aerator

Kecepatan transfer gas proporsional dengan luas area paparan per unit volume. Suatu aerator yang ideal akan memaksimalkan area paparan antara air dengan udara. Pada aerator udara terdifusi, ukuran gelembung yang semakin kecil akan menciptakan area interfase yang lebih luas dibandingkan dengan gelembung yang lebih besar. Sedangkan pada aerator cascade, semakin panjang saluran maka semakin luas area interfase. Dan dalam aerator semprot, nozzle yang menghasilkan droplet yang halus akan memberikan luas area interfase yang besar. (Eckenfelder, 1991)

Desain sebuah instalasi untuk air stripping tergantung dari faktor-faktor di bawah ini :

- Suhu air baku dan udara sekelilingnya.
- Karakteristik fisik dan kimia kontaminan yang akan dihilangkan.
- Ratio antara udara dan air yang disediakan untuk proses pengolahan.
- Waktu kontak antara udara dan air.(AWWA,1990)

Kecepatan pengadukan (G) berkisar antara 100-1000 per detik selama 5 sampai 60 detik). Pengaduk cepat digunakan dalam proses koagulasi, karena :

- Untuk melarutkan koagulan dalam air.
- Untuk mendistribusikan koagulan secara merata dalam air.
- Untuk menghasilkan partikel – partikel halus sebagai inti koagulasi (coagulating agent) sebelum reaksi koagulan selesai.

Dari hasil pengukuran kadar DO terlarut dalam air baku sebesar 3,7 mg/l. Setelah melalui cascade aerator kadar O₂ terlarut meningkat menjadi 4,7 mg/l. Hasil perhitungan dengan dimensi

aerator eksisting kadar O₂ setelah melalui cascade adalah 7,6 mg/l. Penurunan kelarutan oksigen dapat disebabkan oleh meningkatnya ketebalan lapisan air sehingga lebih sedikit luasan area yang terpapar dengan udara per unit volume air. Hal ini dimungkinkan dapat diatasi dengan menambah tinggi trap pada cascade sehingga memperluas area interfase.

Proses pengadukan cepat terjadi di cascade aerator. Pengadukan yang terjadi di cascade merupakan pengadukan hidrolis. Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengadukan. Gradien kecepatan merupakan fungsi dari tenaga yang disediakan untuk proses pengadukan. Nilai Gradien kecepatan cascade hasil perhitungan adalah 640/s dengan waktu tinggal 60 detik. Nilai ini telah memenuhi kriteria desain teoritis.

3. Clearator

Flokulasi

Pada unit Clearator terjadi pengadukan lambat. Jenis pengadukan lambat pada Clearator adalah jenis pengadukan hidrolis memanfaatkan plate berlubang. Plate berlubang berfungsi memecah aliran untuk menciptakan efek pengadukan. Pada pengadukan lambat, energy hidrolik yang diharapkan cukup kecil dengan tujuan menghasilkan gerakan air yang mendorong kontak antar partikel tanpa menyebabkan pecahnya gabungan flok yang telah terbentuk. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada gradient kecepatan. Hasil perhitungan menunjukkan nilai gradient kecepatan menurun menuju tempat sedimentasi yang mengalir secara upflow. Nilai G yang semakin kecil memungkinkan flok yang telah terbentuk dan membesar tidak terpecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk flok yang lebih besar. Pada kompartemen I, nilai $G > 100$, dikarenakan terjadi aliran transisi yang terjadi dari pengadukan cepat menuju pengadukan lambat. Secara keseluruhan nilai G tiap kompartemen sudah memenuhi perencanaan PDAM maupun kriteria desain teoritis.

Sedimentasi

Teori bak pengendapan ideal memberikan pendekatan paling rasional untuk mendesain dan menjabarkan bahwa parameter desain terpenting dalam bak pengendapan adalah overflowrate atau desain kecepatan pengendapan, waktu detensi, dan luas permukaan.(Reynold, 1996)

Hasil perhitungan menunjukkan nilai overflowrate relative kecil, sesuai rumusan $OFR = Q/A$, berarti bak makin luas, efisiensi pemisahan kekeruhan makin tinggi. Data primer menunjukkan effluent aerator mempunyai kekeruhan 2,7 NTU, yaitu memenuhi tingkat kekeruhan terendah sesuai Kepmenkes (<5NTU). Clearator memenuhi parameter kinerja overflowrate.

Waktu detensi hasil perhitungan adalah 3,3 jam. Nilai ini melebihi kriteria desain teoritis. Semakin tinggi nilai waktu tinggal air baku dalam clearator, semakin baik, karena proses pengendapan flok berlangsung lebih lama. Sehingga dapat disimpulkan clearator memenuhi parameter kinerja waktu detensi.

Nilai bilangan reynold 222,68 mengindikasikan aliran dalam clearator adalah aliran laminar, sehingga pengendapan dapat terjadi optimal.

Dari Grafik performance $n = 0$, untuk loading rate = 5,78 didapatkan % R = 99,6%. Dari data primer didapatkan clearator kekeruhan efluen clearator adalah <5 NTU, yaitu 2,7 NTU, ini menunjukkan untuk parameter kinerja solid loading rate, clearator telah berfungsi dengan baik.

4. Filter.

Untuk parameter kinerja kecepatan penyaringan dan system backwash, filter telah memenuhi kriteria desain dan perencanaan PDAM. Nilai kekeruhan efluen filter yang didapatkan dari data sekunder bernilai 2,34 NTU. Nilai ini telah memenuhi ketentuan kepmenkes yang bernilai <5NTU.

Rekomendasi Pemecahan Masalah dan Peningkatan Kapasitas

Pendekatan yang digunakan untuk memecahkan masalah adalah melalui perhitungan kembali. Perhitungan dan analisa ini adalah mengenai debit yang seharusnya digunakan supaya

semua parameter kinerja memenuhi kriteria desain. Perhitungan yang akan dilakukan disesuaikan dengan kriteria desain yang ada. Peningkatan kapasitas pengolahan adalah melalui modifikasi unit-unit bermasalah, tanpa penambahan unit baru, juga tanpa perubahan dimensi.

Tabel 3.3 Hasil Evaluasi Kinerja Menggunakan Debit 2000 L/detik

| No | Unit Bangunan | Parameter Kinerja | HasilPerhitungan | Kriteria Desain | Sumber | KD PDAM | Efisiensi |
|----|----------------|-----------------------------------|--|---|----------------|------------------------------------|-----------|
| 1 | Prasedimentasi | Waktu Detensi | 3 jam | 1,5-3 jam | Schulz 1984 | 3,5 jam | |
| | | Beban Permukaan | 19,04 m ³ /m ² /hari | 20-80 m/hari | Schulz 1984 | 21,8 m/hari | |
| | | Bil.Reynold | 1,024 | <2.000 | Reynold 1996 | | |
| 2 | Aerator | Peningkatan Kadar DO | 107% | | | | |
| | | Gradien kecepatan | 738/detik | 300-1600/detik | Kawamura 1991 | 1000/detik | |
| 3 | Clearator | Overflowrate | 20,34 m ³ /m ² /hari | 24-550 m ³ /m ² /hari | (Droste, 1997) | - | 83-99 % |
| | | Waktu Detensi | 43,98 menit | 15- 45 menit | (Droste, 1997) | 57menit | |
| | | Gradien Kecepatan pada Flokulator | 197,34 /detik, 102,79/detik, 43,33/detik, 12,38/detik | 10-100 /detik | (Droste, 1997) | 90/detik, 60/detik, 30/detik | |
| | | Bil. reynold & Bil.Froud | Nre = 254,49 | Nre = < 2000 | Reynold 1996 | - | |
| | | Solid Loading Rate | 5,78 m/jam | 1,25 – 3,7 m/jam | AWWA 1998 | | |
| 4. | Filter | Jumlah Bak | 192 | minimal 17 | | | |
| | | Kecepatan Penyaringan | 8,68 m/jam | 5-10 m/jam | | 7.6 | |
| | | Sistem Backwash (Lama Pencucian) | 4 -20 menit | 3-20 menit | Reynold 1996 | | |

4. Kesimpulan

1. Hasil evaluasi desain dan kinerja instalasi, menghasilkan evaluasi sebagai berikut:
 - a. PDAM Surabaya saat ini melayani 389.000 SR, yaitu berkisar 71 % dari kebutuhan air bersih seluruh masyarakat Surabaya.
 - b. Untuk memenuhi MDGs, pada tahun 2015, PDAM Surabaya memerlukan peningkatan kapasitas sebesar 4681,15 L/detik.
 - c. Kondisi eksisting PDAM Ngagel I saat ini merupakan kondisi yang berbeda dengan yang direncanakan, dimana debit air baku yang diolah lebih kecil (1750 L/detik) dibandingkan debit perencanaan (1800 L/detik).

d. Pada unit Prasedimentasi waktu detensi dan beban permukaannya belum memenuhi kriteria desain. Bilangan Froud terhitung berada di atas kriteria desain. Bilangan Reynold memenuhi kriteria desain.

e. Unit Aerator dan proses koagulasinya sudah memenuhi kriteria yang diinginkan, yaitu terjadi kenaikan DO sebesar 27,66 %. Gradien kecepatan 771/detik yang terjadi pun memungkinkan terjadinya pengadukan cepat pembentukan flok-flok.

f. Pada unit clearator gradien kecepatan kompartemen flokulasi belum memenuhi kriteria desain, gradien kecepatan pada kompartemen 1 sebesar 575,13 L/detik, gradien kecepatan sebesar ini merupakan pengadukan cepat bukan pengadukan lambat. Waktu detensi belum memenuhi kriteria desain, begitupun solid loading ratenya. Parameter kinerja OFR, OFR sudah memenuhi kriteria desain.

g. Pada Filter diperoleh kecepatan filtrasi yang sesuai dengan kriteria desain. Hasil perhitungan juga menunjukkan lama pencucian filter dan volume yang digunakan telah berada pada range kriteria desain.

2. Pengkajian peningkatan kapasitas tanpa membangun unit baru yaitu melalui perbaikan yang dilakukan meliputi perbaikan ringan pada unit-unit, perbaikan ditempuh supaya instalasi bisa optimum kinerjanya sehingga memungkinkan untuk penambahan kapasitas. Adapun perbaikan dan modifikasi yang dapat ditempuh yaitu :

a. Prasedimentasi

Peningkatan kapasitas menghasilkan parameter kinerja yang sesuai dengan kriteria desain.

b. Clearator

Penambahan luas penampang pada clearator sehingga meningkatkan volume yang dapat ditambahkan. Penambahan luas penampang adalah melalui penambahan jumlah pipa diffuser.

Penambahan tube settler untuk meningkatkan kapasitas produksi. Pengkajian penurunan

headloss untuk menurunkan angka gradien kecepatan dan menambah frekuensi pembersihan tube settler untuk memperkecil terjadinya clogging.

c. Aerator

Alternatif yang diusulkan untuk tujuan peningkatan kapasitas adalah pemberian atap untuk menurunkan suhu. Penurunan suhu seiring dengan peningkatan DO. Peningkatan DO dapat megakomodir penambahan kapasitas

d. Dari hasil trial dan modifikasi unit didapatkan debit optimum, yaitu debit dimana semua parameter kinerja berada pada range kriteria desain adalah 2000 L/detik.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian kualitas air produksi setelah adanya peningkatan kapasitas.

5. Daftar Pustaka

Anonim.2001.Peraturan Pemerintah no. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas air dan Pengendalian Pencemaran air.

Anonim.2002.Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia no.907/MENKES/SK/VII/2002 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air minum

AWWA & ASCE.1969. **Water Treatment Plant Design**. Denver : American Water Work Association inc

Degremont.1979. **Water Treatment Plant Handbook sixth edition**. France : Lavoisier Publishing.

Droste RL, 1997. **Theory And Practice Of Water And Wastewater Treatment**. John Wiley & Sons, Inc. New York USA

Fair, Geyer, Yc Okun DA. 1971. **Water and Wastewater Engineering, Vol. II**. John Wiley and Sons

Kawamura, S. (1991) **Integrated Design of Water Treatment Facilities**. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Masduki, A. dan Slamet, A. 2002. **Satuan Operasi**. Teknik Lingkungan. FTSP-ITS. Surabaya.

Schultz, Christopher R & Daniel A Okun.1984. **Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries**. New York, USA : John Willey & Sons Inc.

Reynolds, Tom D & Paul A Richards.1995. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. Boston, USA : International Thomson Publishing.

Sawyer, C.N. and Mc Carty, P.L. (1978). **Chemistry for Environmental Engineering, 3rd edition**.
Mc Graw Hill. New York

