

PENINGKATAN TRANSFER OKSIGEN PADA CASCADE AERATOR DENGAN INOVASI BAK TERJUNAN

*OXYGEN TRANSFERS INCREASING IN CASCADE AERATOR WITH WATERFALL AERATION
BASIN INOVATIONS*

Indra Laksana¹, Mahmud² dan Nopi Stiyati Prihatini³

*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani
Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia*

E-mail: indrazeinlaksana@gmail.com

ASBTRAK

Aerasi adalah teknologi pengolahan air dengan cara mentransfer oksigen ke dalam air. Cascade aerasi telah terbukti memiliki kelebihan dalam hal sisi ekonomi dan pengoperasian. Pengembangan cascade aerator banyak dilakukan untuk meningkatkan penyisihan bahan pencemar maupun untuk meningkatkan transfer oksigen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan perubahan pada bak aerasi cascade aerator terhadap peningkatan kinerja cascade aerator pada proses aerasi dengan cascade aerator satu tingkat berbasis weir untuk mengetahui variasi yang terbaik. Proses aerasi dilakukan dengan mengalirkan air pada cascade aerator dengan debit 60 L/menit selama 4 menit dimana setiap 30 detik dilakukan pengukuran nilai DO, suhu dan tekanan udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa melakukan modifikasi pada bak terjunan mampu meningkatkan kinerja cascade aerator dimana variasi terbaik yaitu variasi 3 yaitu inovasi dengan menambahkan slooping spillway dengan chute blocks dengan rata-rata selisih peningkatan sebesar 3,08 mg/L, r sebesar 12,8, efisiensi sebesar 85% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 81%.

Kata Kunci: Aerasi, Cascade Aerasi, Inovasi Bak Terjunan, Efisiensi

ABSTRACT

Aeration is a water treatment technology by transferring oxygen into water. Cascade aeration has proven advantages in terms of economy and operation. The development of cascade aerators is mostly done to increase the elimination of pollutants and to increase oxygen transfer. This study aims to analyze the effect of treating changes in cascade aerator aeration tanks on improving the performance of cascade aerators in the aeration process with a weir-based one level cascade aerator to determine the best variation. The aeration process is carried out by flowing water into the cascade aerator with a discharge of 60 L/min for 4 minutes where every 30 seconds measurements are taken DO, temperature and air pressure. The results showed that making modifications to the waterfall basin can improve cascade aerator performance where the best variation is variation 3, namely innovation by adding slooping spillway with chute blocks with an average difference of increase of 3.08 mg/L, r of 12.8, efficiency by 85% and efficiency at 2 °C by 81%.

Keywords: Aeration, Cascade Aeration, Inovation on Waterfall Aeration Basin, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Aerasi atau disebut juga transfer gas pada proses transfer oksigen adalah penambahan oksigen ke dalam air. Aerasi biasa dimanfaatkan untuk mengolah air yang mengandung besi mangan. Aerasi memiliki keuntungan dalam hal ekonomi dan operasi yang mudah dan efektif. Selain itu, aerasi juga dipakai dalam proses penyisihan gas-gas seperti metana, karbon dioksida atau hydrogen sulfida, juga bau-bau dan rasa (Fair, 1968). Beberapa jenis aerator yang berkembang antara lain yaitu *gravity aerator*, *spray aerator*, *bubble aeration* dan *mechanical aerator* (Metcalf dan Eddy, 2003).

Cascade aerator adalah salah satu Teknik aerasi dengan mengandalkan tenaga gravitasi dengan mengalirkan air dari atas ke bawah sambil melewatkannya pada terjunan berupa anak tangga. Aerasi ini tidak memerlukan biaya yang lebih Proses aerasi yang terjadi pada *cascade aerator* yaitu proses reaerasi dan deaerasi. Reaerasi adalah proses bertambahnya gas ke dalam aliran air akibat tumbukan dalam hal ini adalah turbulensi air. Sedangkan deaerasi adalah proses berkurangnya atau menghilangnya gas-gas dari aliran air akibat terjadinya kontak permukaan air terhadap udara. Untuk meningkatkan kadar oksigen dalam air, maka dilakukan peningkatan derajat reaerasi.

Hal mendasar yang mempengaruhi efisiensi dari *cascade aerator* adalah turbulensi air. Semakin tinggi turbulensi air maka semakin tinggi pula derajat reaerasi yang menyatakan kenaikan derajat oksigen terlarut dalam air. Menurut Benefield (1980), keberhasilan proses aerasi tergantung pada berapa besarnya nilai suhu, kejenuhan oksigen, karakteristik air dan turbulensi air. Menurut Kindsvaler dalam ASCE (1991), ada beberapa proses fisik dasar dan hidrodinamik yang mengakibatkan transfer gas pada alat berbasis hidrolis yaitu pencampuran turbulen (*turbulent mixing*) pada permukaan air dengan badan air pada aliran, peningkatan transfer massa dari terbentuknya gelembung udara (*bubble*) dan akibat tekanan hidrostatik dari *tailwater*.

Cascade aerator menggunakan bak bendung memang lebih baik daripada tanpa menggunakan bak bendung karena bak bendung akan menghasilkan turbulensi air yang lebih baik dan menghasilkan gelembung udara yang lebih banyak. Selain itu, bak bendung dapat dimodifikasi untuk meningkatkan pencampuran turbulensi dan jumlah gelembung yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, ingin diketahui pengaruh penambahan pemecah aliran, *spillway* dan *chute blocks* pada bak terjunan terhadap kinerja *cascade aerator*.

Cascade aerator berkonsep *weir* adalah *cascade aerator* yang terinspirasi dari konsep aerasi pada bendungan (DAM). Pengukuran kinerja *cascade* ini dapat dilakukan dengan membandingkan antara konsentrasi awal dan akhir melalui persamaan:

$$\Delta C = C_d - C_u \quad (1)$$

Setelah berkembangnya metode *cascade* aerasi, Gameson (1957), mengemukakan metode pengukuran *cascade aerator weir* yang diukur dengan persamaan:

$$r = \frac{C_s - C_u}{C_s - C_d} \quad (2)$$

Kemudian Guliver dan Rindels (1993) mengekspresikan suatu persamaan untuk mengukur kinerja *cascade* aerasi berupa efisiensi yang juga sebelumnya pernah dikemukakan oleh Gameson (1957) dengan persamaan:

$$E = 1 - \frac{C_s - C_d}{C_s - C_u} = \frac{C_d - C_u}{C_s - C_u} \quad (3)$$

Guliver dan Rindels (1993) mengemukakan cara pengukuran untuk memperkirakan nilai suatu efisiensi *cascade* aerasi pada berbagai suhu pengukuran sehingga dapat dianggap memiliki suhu yang sama. Yaitu dengan mengkonversi nilai efisiensi melalui suatu pengubah, dan pengubah tersebut yaitu f dengan persamaan:

$$1 - E_{20} = (1 - E)^{1/f} \quad (4)$$

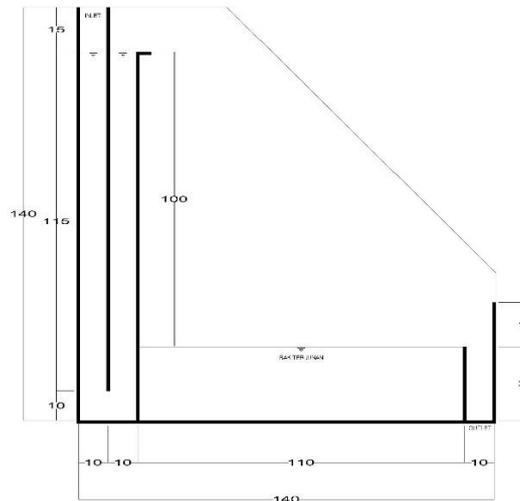
Dimana:

$$f = 1.0 + 0.02103 (T - 20) + 8.261 \times 10^{-5} (T - 20)^2 \quad (5)$$

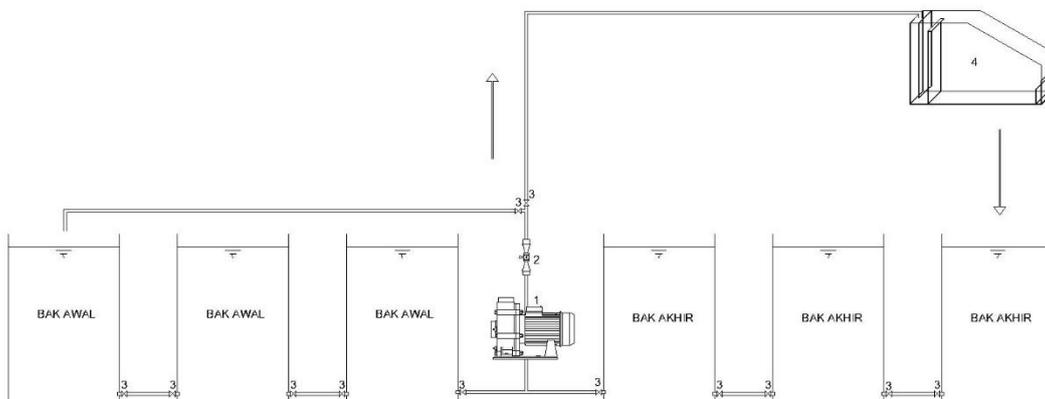
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium, dengan tujuan penelitian untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan pemecah aliran, *sloping spillways*, *chute blocks* dan *horizontal plate blocks* pada bak terjunan *cascade aerator* terhadap peningkatan kadar DO dan KLa serta efisiensi *cascade aerator*.

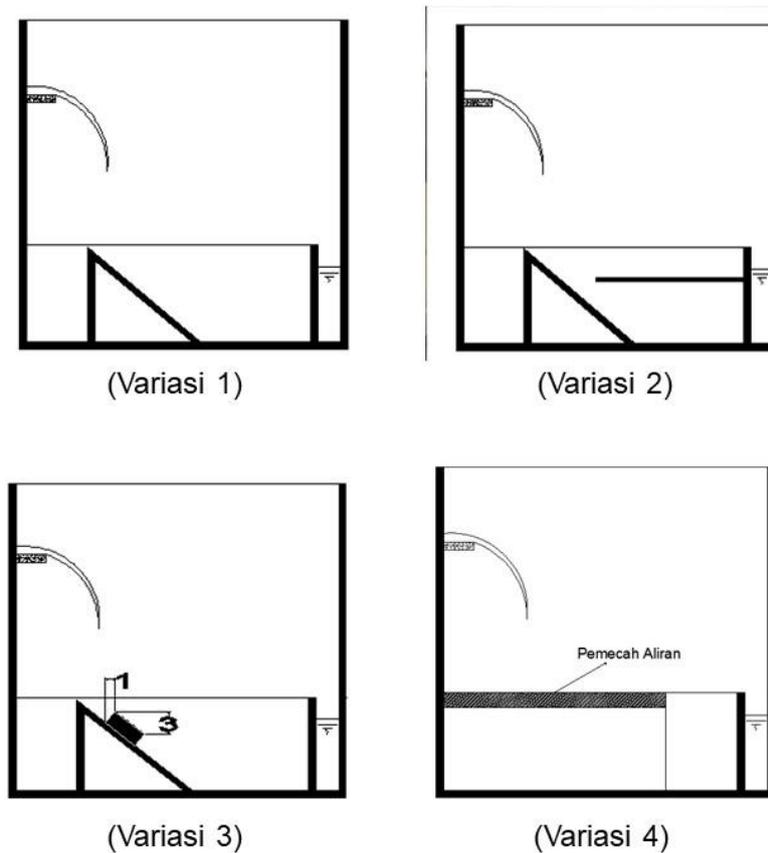
Penelitian diawali dengan pembuatan alat *cascade aerator*. Pembuatan alat diawali dengan membuat pondasi dengan bahan kayu, kemudian membuat *cascade* dengan bahan kaca tebal 10 mm. Tinggi jatuh air pada *cascade* dirancang setinggi 90 cm sebanyak 1 step dengan kedalaman bak sebesar 20 cm. *Cascade* ini menggunakan pompa sebagai pendorong air ke bak pelimpah yang diletakkan di bawah *cascade*. Selain *cascade*, juga dipersiapkan berbagai alat variabel seperti pemecah aliran, *sloping spillways*, *chute blocks* dan *horizontal plate blocks* yang terbuat dari bahan kaca. Desain alat dapat dilihat pada Gambar 1 hingga 3.



Gambar 1 Rancangan Alat Cascade Aerator



Gambar 2 Skema Peralatan Tampak Samping



Gambar 3 Skema Rancang Alat Masing-masing Variasi

Sampel air artifisial sebagai sampel penelitian dibuat dari air akuades yang dihomogenkan pada wadah bak plastik. Pengukuran kandungan DO awal dilakukan untuk mengetahui kadar DO sebelum sampel melewati *cascade aerator*. Pengukuran DO dilakukan menggunakan DO meter yang telah dikalibrasi terlebih dahulu. Metode pengukuran dilakukan dengan memasukkan sensor pada DO meter pada air sampel sebelum sampel melewati *cascade aerator*, kemudian hasil dapat diketahui dengan melihat berapa nilai yang tertera pada layar digital DO meter. Selain nilai DO, juga diukur nilai suhu dan tekanan yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai oksigen jenuh.

Prosedur penelitian yang dilakukan yaitu, pertama memasukkan sampel air artifisial ke dalam bak penampung. Kemudian mendiamkan sampel agar suhu menjadi homogen dengan suhu ruangan. Setelah itu sampel dialirkan pada aerator dengan bantuan dua buah pompa dengan debit maksimal yaitu 60 L/menit. Pengaliran dilakukan selama 4 menit dan kemudian dilakukan pengukuran konsentrasi DO serta suhu dan tekanan barometrik di effluen menggunakan DO meter setiap 0,5 menit. Percobaan ini dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan. Dari percobaan ini didapatkan output berupa efisiensi *cascade aerator*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Kinerja Aerator Terhadap Peningkatan DO

Pengujian dilakukan sebelum dan setelah air sampel melewati *cascade aerator* untuk mengetahui perubahan kadar DO dalam air sampel. Hasil pengukuran pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Nilai DO Sebelum dan Sesudah Dilakukan Aerasi pada Setiap Variasi

Perlakuan	Percobaan	T (°C)	P (mmHg)	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	Selisih (mg/L)
Kontrol	1	27.70	753.40	4.48	7.05	2.57
	2	27.45	753.83	4.52	7.11	2.59
	3	28.43	751.59	4.23	7.26	3.03
	4	28.18	753.80	4.55	6.98	2.43
	5	28.08	752.88	3.82	6.90	3.08
Variasi 1	1	27.40	754.15	4.50	7.26	2.76
	2	27.30	754.28	4.47	7.26	2.79
	3	28.40	754.21	4.26	7.43	3.17
	4	28.20	752.96	4.60	7.25	2.65
	5	27.85	753.50	3.85	7.18	3.33
Variasi 2	1	27.10	754.90	4.52	7.25	2.73
	2	27.00	754.90	4.48	7.14	2.66
	3	28.30	754.15	4.21	7.32	3.11
	4	28.13	752.33	4.47	7.15	2.68
	5	27.60	752.33	3.89	7.11	3.22
Variasi 3	1	26.80	754.50	4.46	7.48	3.02
	2	26.70	754.44	4.48	7.43	2.95
	3	28.40	752.01	4.23	7.49	3.26
	4	28.14	754.53	4.54	7.31	2.77
	5	27.60	754.13	3.88	7.29	3.41
Variasi 4	1	26.50	754.30	4.48	7.37	2.89
	2	26.40	754.30	4.50	7.41	2.91
	3	28.40	753.20	4.25	7.34	3.09
	4	28.10	754.16	4.57	7.16	2.59
	5	28.20	752.66	3.80	7.07	3.27

Elevasi dan lokasi percobaan sangat mempengaruhi hasil pengukuran baik itu tekanan udara, suhu air maupun kelarutan Cs. Lokasi percobaan memiliki ketinggian 36 m di atas permukaan laut dengan tekanan yang lebih rendah dari pada tekanan udara normal (760 mmHg) yaitu antara 751,59 hingga 754,90 mmHg. Tekanan udara yang berada di bawah tekanan udara normal tersebut mempengaruhi suhu air pada percobaan yaitu sebesar 26,40 hingga 28,43°C.

Nilai DO sebelum dilakukan aerasi (Cu) berkisar dari 3,80 hingga 4,60 mg/L, nilai ini lebih rendah dibandingkan pengukuran yang dilakukan oleh Abuzar (2012) dan Kim (2001) dimana rentang DO awal pada sampel sebelum aerasi pada Abuzar (2012) yaitu 5,97 mg/L hingga 6,1 mg/L dan pada Kim (2001) yaitu 7,7 mg/l hingga 9,1 mg/L. Hal ini dikarenakan perbedaan lokasi penelitian sehingga mempengaruhi suhu air pada saat diteliti, dimana penelitian dilakukan oleh Abuzar (2012) memiliki suhu berkisar 22,9 hingga 23,3°C dan Kim (2001) berkisar di suhu 15 hingga 18,6°C. Suhu yang rendah menyebabkan naiknya nilai konsentrasi oksigen terlarut jenuh sehingga air pada suhu air yang lebih rendah memiliki nilai DO yang lebih baik daripada air dengan suhu yang memiliki suhu lebih tinggi seperti yang dikatakan oleh Bennfield (1980). Kemudian bila dibandingkan nilai Cu dengan penelitian yang dilakukan oleh Yatie (2012), nilai ini termasuk besar karena pada penelitian Yaite nilai DO sebelum dilakukan aerasi berkisar antara 0,54 mg/L hingga 1,05 mg/L. Perbedaan ini terjadi karena pada Yatie (2012) dilakukan pelepasan gas sehingga mampu menurunkan kadar DO mendekati habis sedangkan pada penelitian ini tidak dilakukan pelepasan gas.

Setelah dilakukan aerasi nilai DO setelah aerasi (Cd) berkisar dari 6,90 hingga 7,49 mg/L. Sedangkan selisih peningkatan DO sebelum dan sesudah berkisar antara 2,43 mg/L hingga 3,41 mg/L. Pada penelitian Kim (2001) yang melakukan teknis aerasi yang sama yaitu *cascade aerator* berbasis *weir*, selisih yang didapatkan lebih tinggi dimana Kim (2001) mendapat selisih tertinggi yaitu 2,9 mg/L. hal ini karena Kim (2001) menggunakan *cascade aerator* yang ukurannya lebih besar tetapi debitnya lebih kecil sehingga dalam hal tekanan permukaan lebih kecil dibandingkan dengan *cascade aerator* yang dipakai pada penelitian ini.

Berdasarkan Tabel 1, variasi 3 (*sloping spillways* dengan *chute blocks*) mampu meningkatkan kadar DO dalam air sangat baik dibandingkan dengan variasi yang lain dimana menaikkan kadar Cu dengan selisih kenaikan tertinggi yaitu 3,41 mg/L dengan DO maksimal yaitu sebesar 7,49 mg/L. Kemudian rata-rata kinerja peningkatan DO *cascade aerasi* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata Kenaikan Nilai DO Sebelum dan Sesudah Dilakukan Aerasi pada Setiap Variasi

Perlakuan	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	Selisih (mg/L)
Kontrol	4.32	7.06	2.74
Variasi 1	4.34	7.27	2.94
Variasi 2	4.31	7.19	2.88
Variasi 3	4.32	7.40	3.08
Variasi 4	4.32	7.27	2.95

Berdasarkan **Tabel 2**, secara rata-rata kinerja variasi 3 juga terbaik dengan rata-rata selisih 3,08 mg/L dan rata-rata Cd mencapai 7,40 mg/L dari Cu 4.32 mg/L. Hasil yang didapat juga jauh lebih baik dibandingkan dengan kontrol yang hanya memiliki rata-rata kenaikan sebesar 2,74 mg/L.

Tingkat Efisiensi Kinerja Cascade Aerator

Kinerja *cascade aerator* berbentuk *weir* dapat digambarkan dengan defisit rasio (r), efisiensi (E) dan efisiensi pada suhu 20°C yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Nilai Defisit Rasio (r), Efisiensi (E) dan Efisiensi pada Suhu 20°C (E₂₀) pada Setiap Variasi

Perlakuan	Percobaan	Cs (mg/L)	r	E	f	E ₂₀
Kontrol	1	7.89	4.06	0.75	1.17	0.70
	2	7.94	4.13	0.76	1.16	0.71
	3	7.77	7.01	0.86	1.18	0.81
	4	7.83	3.86	0.74	1.18	0.68
	5	7.83	4.29	0.77	1.18	0.71
Variasi 1	1	7.95	5.00	0.80	1.16	0.75
	2	7.96	4.97	0.80	1.16	0.75
	3	7.80	9.62	0.90	1.18	0.85
	4	7.81	5.71	0.82	1.18	0.77
	5	7.87	5.78	0.83	1.17	0.78
Variasi 2	1	8.00	4.66	0.79	1.15	0.74
	2	8.01	4.02	0.75	1.15	0.70
	3	7.81	7.34	0.86	1.18	0.82
	4	7.82	4.98	0.80	1.18	0.74

Perlakuan	Percobaan	Cs (mg/L)	r	E	f	E ₂₀
Variasi 3	5	7.90	5.12	0.80	1.16	0.75
	1	8.04	6.43	0.84	1.15	0.80
	2	8.05	5.69	0.82	1.14	0.78
	3	7.77	12.58	0.92	1.18	0.88
	4	7.84	6.24	0.84	1.18	0.79
	5	7.92	6.46	0.85	1.16	0.80
Variasi 4	1	8.08	5.09	0.80	1.14	0.76
	2	8.10	5.24	0.81	1.14	0.77
	3	7.79	7.85	0.87	1.18	0.82
	4	7.84	4.78	0.79	1.18	0.74
	5	7.81	5.43	0.82	1.18	0.76

Pada percobaan yang dilakukan konsentrasi jenuh oksigen yang terhitung berkisar antara 7,77 mg/L sampai 8,10 mg/L. Defisit rasio (r) adalah perbandingan antara selisih nilai DO sebelum dan setelah dilakukan aerasi (Cd-Cu) terhadap selisih antara nilai DO sebelum aerasi dan kandungan aerasi jenuh (Cs-Cu). Defisit rasio ini dapat menggambarkan seberapa banyak kenaikan (selisih) dari sebelum hingga sesudah dilakukan aerasi, semakin tinggi nilai r maka semakin tinggi pula kenaikan DO pada saat aerasi dilakukan yang dapat dipakai sebagai kadar pengukuran kinerja suatu *cascade aerator*. Berdasarkan **Tabel 3**, defisit rasio yang dihasilkan dari aerasi dengan *cascade aerator* ini berkisar antara 3,86 hingga 12,58. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya yaitu 1,12 hingga 1,91 pada penelitian oleh Kim (2001).

Efisiensi (E) adalah seberapa banyak DO yang dapat dinaikan oleh suatu *cascade aerator* dari sebelum (Cu) hingga setelah (Cd) dilakukan aerasi dimana kadar maksimum kenaikan aerasi yang dipakai yaitu kandungan oksigen jenuh (Cs), sedangkan E₂₀ menyatakan efisiensi pada suhu 20°C. Pada percobaan ini efisiensi berkisar antara 74-92% dan E₂₀ berkisar antara 68-88%. Pada pengukuran lapangan yang dilakukan oleh Gulliver dan Rinderls (1993) pada beberapa DAM dengan struktur spillway, didapatkan bahwa rentang efisiensi suatu terjunan dalam mengaerasi yaitu berkisar antara 28 hingga 93%, hanya saja pengukuran ditempat yang memiliki suhu berbeda. Setelah disetarakan menjadi E₂₀ rentang berubah antara 41 hingga 99%. Hal ini menyatakan bahwa *cascade aerator* yang dipakai pada penelitian ini memiliki kinerja yang stabil karena memiliki efisiensi E₂₀ cukup tinggi yaitu diatas 70% pada bak yang divariasikan. Kemudian rata-rata nilai defisit rasio, efisiensi dan efisiensi pada suhu 20°C disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Rata-rata Hasil Perhitungan Nilai Defisit Rasio (r), Efisiensi (E) dan Efisiensi pada Suhu 20°C (E₂₀) pada Setiap Variasi

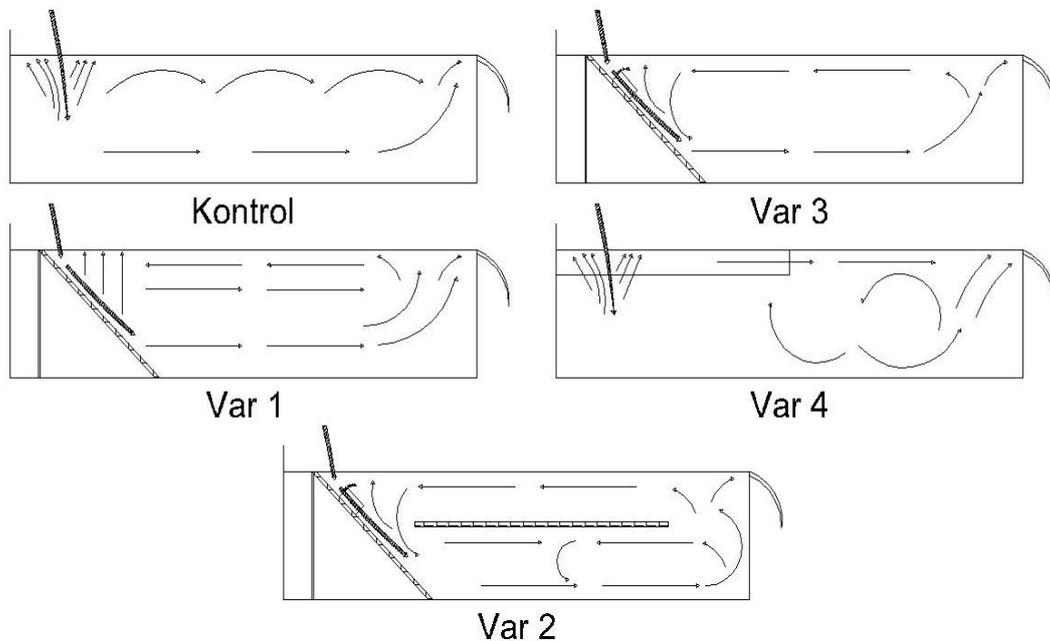
Perlakuan	r	E	E ₂₀
Kontrol	4.67	0.78	0.72
Variasi 1	6.22	0.83	0.78
Variasi 2	5.22	0.80	0.75
Variasi 3	7.48	0.85	0.81
Variasi 4	5.68	0.82	0.77

Berdasarkan **Tabel 3**, variasi 3 (*sloping spillways* dengan *chute blocks*) memiliki kinerja tertinggi baik dari defisit rasio maupun efisiensi. Variasi 3 memiliki nilai r tertinggi yaitu 12,8 dengan efisiensi maksimal E sebesar 92% dan E₂₀ sebesar 88%. Kemudian berdasarkan **Tabel 4**, secara rata-rata kinerja

variasi 3 juga terbaik dengan rata-rata nilai r yaitu 7,48 dengan efisiensi E sebesar 85% dan E_{20} sebesar 81%.

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa variasi terbaik adalah variasi 3 yaitu invasi bak terjunan dengan adanya penambahan spillway yang dilengkapi dengan chute blocks. Menurut penelitian, melakukan inovasi pada bak terjunan juga mampu meningkatkan kinerja cascade aerator berbasis weir yang memiliki bak terjunan. Hal ini dapat dilihat bahwa semua variasi menunjukkan peningkatan kinerja apabila dibandingkan dengan kontrol.

Ini disebabkan karena dengan mengubah bak terjunan maka akan berubah pula pola sirkulasi air, bentuk jatuh serta gelembung yang dihasilkan yang mempengaruhi pengikatan oksigen dan air. Perubahan pola aliran ini juga mempengaruhi turbulensi air seperti yang dijelaskan oleh Kindsvaler dalam ASCE (1991), ada beberapa proses fisik dasar dan hidrodinamik yang mengakibatkan transfer gas pada alat berbasis hidrolis yaitu pencampuran turbulen (*turbulent mixing*) pada permukaan air dengan badan air pada aliran, peningkatan transfer massa dari terbentuknya gelembung udara (*bubble*) dan akibat tekanan hidrostatik dari *tailwater*. Pola sirkulasi air di dalam bak aerator dapat digambarkan oleh **Gambar 4**.



Gambar 4 Pola Sirkulasi Aliran di dalam Bak Aerator menurut Bentuk Variasi Bak

Berdasarkan pola sirkulasi yang terlihat, variasi 3 memiliki pola sirkulasi aliran yang paling sedikit kehilangan energi kinetik aliran dan dengan pola memutar tunggal dibandingkan dengan variasi lainnya. Hal itu menyebabkan variasi ini memiliki hambatan terkecil sehingga dengan lancarnya aliran air, kontak oksigen dengan air semakin baik (Haryanto, 2005). Pola yang seperti ini dapat ditemukan pada basin yang memiliki tenaga dorong yang tinggi dan pada hal ini dapat dilakukan dengan penambahan *sloping spillway* yang akan meningkatkan arus bawah sehingga memutar balik arus yang alin. Arus memutar balik ini menghalangi arus atas sehingga arus atas yang harusnya kedepan merubah arah putaran mengikuti pola putaran arus bawah sehingga tercipta aliran memutar seperti yang terlihat pada variasi 1, 2 dan 3. Hanya saja pada variasi 1 dan 2, kecepatan aliran tidak terlalu kuat. Pada variasi 3 ada tambahan dorongan akibat air yang meloncat pada *chute block* yang tidak dimiliki oleh variasi 1. Sedangkan variasi 2 pola berubah akibat adanya *horizontal plate block* yang meningkatkan gaya gesek air dan bahan *block* sehingga menurunkan kekuatan arus serta merubah pola sirkulasi aliran.

Untuk membandingkan penyebab kinerja aerator, juga dilakukan pengamatan pada residensi gelembung dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengamatan Langsung pada Proses Aerasi Setiap Variasi

Variasi	Panjang Tailwater (cm)	Panjang Aerasi (cm)	Tenaga Awal	Pusaran Sirkulasi	Hambatan	Kecepatan Sirkulasi	Residensi Gelembung	E
Kontrol	14	16	Sedang	0	Kecil	Kecil	Pendek	0.78
Var 1	28	25	Besar	2	Kecil	Sedang	Sedang	0.83
Var 2	20	12	Besar	2	Besar	Sedang	Sedang	0.80
Var 3	27	28	Besar	1	Kecil	Besar	Panjang	0.85
Var 4	12	36	Sedang	2	Besar	Sedang	Sedang	0.82

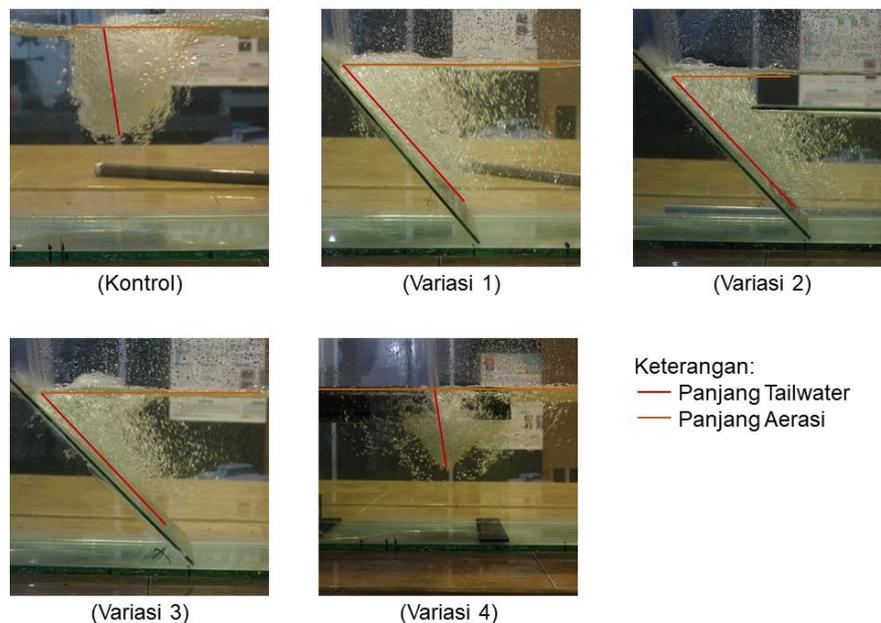
Berdasarkan **Tabel 5**, ada hubungan antara panjang *tailwater*, tenaga awal, pola sirkulasi, besar hambatan, kecepatan dan residensi gelembung terhadap kinerja *cascade aerator*. Panjang *tailwater* yang didapat dari pengukuran *tailwater* menggambarkan seberapa besar tenaga awal yang mampu dihasilkan oleh *cascade aerator* akibat adanya variasi pada bak terjunan. Panjang *tailwater* ini kemudian direntangkan menjadi rentang tenaga awal, dimana panjang *tailwater* dibawah 10 cm mengindikasikan tenaga awal rendah, panjang *tailwater* antara 10 hingga 20 cm sebagai tenaga awal sedang dan panjang *tailwater* diatas 20 cm sebagai tenaga awal besar. Jumlah pusaran/sirkulasi menggambarkan seberapa banyak pusaran yang terjadi yang didapat dari **Gambar 4**. Hambatan menggambarkan seberapa banyak penghambat aliran yang berupa hambatan friksi yang terjadi antara air dan struktur pada bak aerasi. Kemudian kecepatan sirkulasi merupakan hasil interaksi antara tenaga awal, pola sirkulasi dan hambatan yang menggambarkan seberapa cepat aliran sirkulasi yang terjadi. Semakin besar tenaga aliran semakin baik kecepatan sirkulasi, semakin sedikit pusaran juga semakin baik karena awal kecepatan tidak akan terbagi ke beberapa pusaran sertasemakin kecil hambatan maka semakin baik pula kecepatan sirkulasi karena tidak adanya factor yang menciptakan *headloss* pada kecepatan sirkulasi. Sedangkan waktu residensi didapat dari interaksi antara pola sirkulasi yang terjadi dengan kecepatan sirkulasi serta sifat gelembung yang dihasilkan.

Kecepatan sirkulasi, variasi 3 memiliki kecepatan sirkulasi yang baik dan stabil. Variasi 1, 2 dan 3 memang memiliki tenaga awal yang paling besar, hal ini dapat dilihat dari panjang *tailwater* yang dihasilkan. Pada kontrol dan variasi 4 tenaga awal rendah terlihat pada panjang *tailwater* yang termasuk rentang sedang. Kemudian karena pada variasi 3 hanya terdapat 1 pola sirkulasi, sedangkan pada variasi lain terdapat banyak arus yang keluar dari pola sirkulasi dan juga pola sirkulasi yang terjadi lebih dari satu, sehingga akan mempengaruhi kecepatan sirkulasi dimana kecepatan sirkulasi akan menurun dibandingkan dengan variasi 3. Semakin banyak pola sirkulasi maka kecepatan aliran akan berkurang. Pada variasi 2 dan 4 juga mengalami banyak hambatan yang berasal dari struktur alat yang menyebabkan kenaikan *headloss* akibat friksi yang mengurangi kecepatan sirkulasi. Pada kontrol tidak ada kecepatan sirkulasi hanya ada kecepatan aliran yang kekuatannya sedang karena kecilnya hambatan, tetapi kecepatan aliran tidak besar juga karena tenaga awal yang rendah. Pada kontrol juga tidak bisa disebut kecepatan sirkulasi karena tidak adanya sirkulasi sempurna yang terjadi.

Setelah menghubungkan antara pola sirkulasi yang terjadi pada **Gambar 4** dengan hasil pengamatan kecepatan sirkulasi pada **Tabel 5**, penyebab utama tingginya kinerja variasi 3 terjadi akibat waktu residensi gelembung yang panjang. Hal ini karena secara derajat turbulensi variasi 3 unggul dengan tenaga awal yang besar, hambatan kecil dan kecepatan sirkulasi yang tinggi serta pola sirkulasi yang

sedikit dalam hal kehilangan energi dan stabil sehingga gelembung terus berputar beberapa kali mengikuti pola aliran sebelum keluar mengikuti arus menuju outlet. Pada variasi 1, 2 dan 4 sebenarnya juga terjadi hal seperti ini, tetapi akibat pola pusaran yang banyak kehilangan energi dan berkurangnya kecepatan, banyak gelembung yang akan keluar mengikuti arus ke outlet karena arus ke outlet lebih kuat dibandingkan arus sirkulasi dan mengurangi waktu residensi gelembung. Terlebih pada variasi 2, ada gelembung yang tertahan pada *block* yang dimaksudkan memang untuk memperpanjang waktu residensi. Tetapi gelembung tersebut malah gagal berresidensi dan malah bergabung dengan gelembung yang lain menjadi gelembung besar yang tidak bisa terikat dengan air dan menempel di *block*. Sedangkan pada kontrol, residensi gelembung sangat pendek karena tidak ada sirkulasi air yang terjadi pada bak sehingga gelembung langsung keluar dari bak mengikuti arus ke outlet dan tidak sempat terikat dengan air. Panjang waktu residensi gelembung sangat berpengaruh terhadap pengikatan oksigen dan air, dimana semakin lama gelembung berada dalam air maka semakin baik pula tranfer oksigen yang terjadi (Kossay, 2016).

Ukuran butiran dan jumlah gelembung juga berpengaruh terhadap transfer oksigen (Wijayanti, 2015), tetapi hasil pengamatan pada gelembung yang didapatkan sangat sulit untuk dicari perbedaannya. Hasil pengukuran gelembung dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Bentuk *Tailwater* dan Gelembung

Berdasarkan **Gambar 5**, gelembung yang dihasilkan oleh variasi 1, 2 dan 3 memiliki ukuran yang lebih kecil, sedangkan variasi 4 sedikit besar dan variasi 1 gelembung terbesar. Hal ini karena pada variasi 1, 2 dan 3 terjadi hampasan antara aliran air datang dan *sloping spillway* yang lebih padat. Terlebih pada variasi 3, terdapat *chute block* yang menghempaskan lebih kuat dan memecah air menjadi gelembung yang lebih kecil. Pada variasi 4, tumbukan terjadi tetapi tidak terlalu besar karena bidang hampasan yang lebih kecil. Sedangkan pada kontrol, ukuran gelembung besar karena tumbukan antara air yang datang dan air di bak tidak lebih kuat dibandingkan dengan tumbukan terhadap benda padat. Ukuran gelembung mempengaruhi pengikatan air dan oksigen, dimana gelembung dengan ukuran yang lebih kecil memiliki pengikatan yang lebih baik (Sinaga, 2018). Ukuran gelembung juga mempengaruhi laju naik gelembung, gelembung yang berukuran besar memiliki laju naik yang tinggi (Wijayanti, 2015) sehingga memiliki waktu residensi yang rendah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan, kesimpulan pada penelitian ini antara lain:

1. Bentuk bak terjunan berpengaruh terhadap kinerja *cascade* aerasi yang ditunjukkan dengan nilai peningkatan DO, defisit rasio dan efisiensi. Variasi 1 *sloping spillway* mampu menaikkan kinerja *cascade aerator* dengan rata-rata selisih DO sebesar 2,94 mg/L, defisit rasio sebesar 6,22, efisiensi sebesar 83% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 78%. Variasi 2 *sloping spillway* dengan *horizontal plate block* memiliki rata-rata selisih nilai DO 2,88 mg/L, defisit rasio sebesar 5,22, efisiensi sebesar 88% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 75%. Variasi 3 *sloping spillway* dengan *chute blocks* memiliki kinerja dengan rata-rata selisih nilai DO 3,08 mg/L, 2 defisit rasio sebesar 7,48, efisiensi sebesar 85% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 81%. Variasi 4 pemecah aliran memiliki kinerja dengan selisih nilai DO sebesar 2,95 mg/L, defisit rasio sebesar 5,68, efisiensi sebesar 82% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 77%. Sedangkan kontrol memiliki kinerja dengan selisih nilai DO sebesar 2,74 mg/L, defisit rasio sebesar 4,67, efisiensi sebesar 78% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 72%
2. Bentuk bak terjunan terbaik terdapat pada variasi 3 yaitu *sloping spillway* dengan *chute block* dengan rata-rata peningkatan DO sebesar 3,08 mg/L, defisit rasio sebesar 7,48, efisiensi sebesar 85% dan efisiensi pada suhu 20°C sebesar 81%.

Saran

Pelaksanaan penelitian sebaiknya tidak menggunakan pompa, karena pompa menghasilkan sedikit gelembung akibat adanya gelembung yang terperangkap pada pipa sehingga ditakutkan dapat mempengaruhi kadar DO awal. Alternatif penghasil aliran dapat menggunakan tangki atas sehingga aerasi mendekati keadaan alaminya yaitu menggunakan tenaga gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuzar, S.S., Putra, Y.D., dan R.E. Emargi. 2012. Koefisien Transfer Gas (KLa) pada Proses Aerasi menggunakan Tray Aerator Bertingkat 5 (Lima). *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND* 9(2), 155-163.
- Alfana, M.A.F., Cahyadi, A., Budiani, S.R., Darda., dan A.K. Wati. 2016. *Pengembangan Sistem Aerasi untuk Penurunan Kandungan Besi dalam Air Tanah*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Bennefield, L.D., Randall, C.W. 1980. *Biological Process Design for Wastewater Treatment*. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ 07632.
- Fair, G.M., Geyer, J.C., dan D.A. Okun. 1968. *Water and Wastewater Engineering*. Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal. Jhon Wiley & sons Inc: New York.
- Gameson, A.L.H. 1957. Weirs and Aerations of River. *J. Ins. Of Water Engrg* 11(5), 477-490.
- Guliver, J.S., dan A.J. Rindels. 1993. Measurment of Air-Water Oxigen Transfer at Hydraulic Structures. *Journal of Hydraulic Engineering* 199(3), 327.
- Kossay, A. 2006. Analysis of Oxygen Transfer Performance on Sub-surface Aeration Systems. *International Journal of Environment Research and Public Health* 3(8), 301.

- Hartini, Eko. 2012. *Cascade Aerator dan Bubble Aerator dalam Menurunkan Kadar Mangan Air Sumur Gali. Jurnal Kesehatan Masyarakat 8(1), 44-52.*
- Haryanto, E. 2005. Pengaruh Bentuk Difuser Terhadap Transfer Oksigen. *Jurnal Rekayasa Perencanaan 2(1), 33-46.*
- Kim, J., dan R.W. Walters. 2001. Oxygen Transfer at Low Drop Weirs. *J. Environ. Eng 127(1), 604-610.*
- Kindsvaler., C.E. 1991. The Hydraulic-Jump in Slooping Channels. *ASCE 109(1), 1107-1944.*
- Mays, L.W. 2019. *Water Resources Engineering*. Arizona: Arizona State University.
- Metcalf, E. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Mc.Graw Hill: New York.
- Peterka, A.J. 2005. *Hydraulic Design of Spillways and Energy Dissipators*, U.S. Bureau of Reclamation 1964. University Press of The Pacific: Washington D.C.
- Said, N. 2003. *Metode Praktis Penghilangan Zat Besi dan Mangan di Dalam Air Minum*. Jakarta: Kelair BPPT.
- Scott, M.L., Nesheim, M.C. dan R.J. Young. 1982. *Nutrition of Chicken*. Newyork: Ithaca Publisher.
- Sulaksono, F. Pengaruh Tinggi Step pada Metode Aerasi Cascade Terhadap Penurunan Kadar Besi Terlarut dalam Air Sumur Gali. Universitas Indonesia: Depok.
- U.S. Bureau of Reclamation. 1987. *Design of Small Dams*, Edisi Ke-3. U.S Government Printing Office: Washington D.C.
- Yatie, A.E. 2012. *Transfer Oksigen pada Cascade Aerator [SKRIPSI]*. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Wijayanti, Y. 2015. Pengaruh Debit Terhadap Dinamika Gelembung Udara dalam Kolom Aerator. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.