

Pengaruh Pengganggu Pada Proses Disinfeksi Terhadap Penyisihan Bakteri *Escherichia coli* pada Air Pengolahan PDAM Gunung Pangilun

Puti Sri Komala, Feni Agustina

Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas
Kampus Limau Manis Padang, 25163
putisrikomala@ft.unand.ac.id

Abstrak

Disinfeksi merupakan proses pembasmian mikroorganisme patogen dalam air agar air aman dikonsumsi. Disinfektan kimia merupakan oksidan, sehingga adanya senyawa-senyawa lain dalam air seperti nitrat dan amonia dapat menurunkan kinerja disinfeksi. Dalam penelitian ini pengaruh senyawa-senyawa nitrat dan amonia pada proses disinfeksi serta parameter kinetik dalam penyisihan *Escherichia coli* akan dievaluasi. Sampel air yang diteliti berasal dari outlet unit filtrasi Instalasi Pengolahan Air (IPA) Gunung Pangilun Padang, dengan kadar *Escherichia coli* sebesar 920 sel/100 ml. Penentuan dosis dan waktu kontak optimum menggunakan larutan artifisial yang mengandung jumlah *Escherichia coli* sesuai sampel air outlet unit filtrasi telah dilakukan sebelumnya dan diperoleh dosis kaporit 0,5 mg/l dan waktu kontak 30 menit adalah kondisi optimum bagi proses disinfeksi. Variasi senyawa amonia antara 0,5-2,5 mg/l dan senyawa nitrat antara 10-90 mg/l ditambahkan dalam larutan artifisial dilakukan pada kondisi optimum. Adanya senyawa amonia dan nitrat dalam larutan dapat menurunkan kinerja penyisihan disinfeksi dari 100% menjadi 99,34 – 99,78% dengan sisa *Escherichia coli* 2-6,1 sel/100 ml. Demikian juga dengan laju kematian bakteri *Escherichia coli* turun menjadi 0,167-0,204/menit, sedangkan jumlah kematian bakteri pada setiap mg dosis kaporit yang diberikan turun menjadi 0,334 – 0,409/mg.menit setelah adanya amonium dan nitrat dalam larutan. Reaksi senyawa amonia dengan kaporit lebih merupakan reaksi kimia reduksi-oksidasi, sementara senyawa nitrat dalam larutan digunakan sebagai kebutuhan nutrisi bagi bakteri untuk pertumbuhan. Kehadiran senyawa ammonia dan nitrat serta senyawa-senyawa pengganggu lain dalam air dapat mengurangi efektifitas kinerja disinfektan kaporit, sehingga dosis kaporit perlu ditingkatkan agar diperoleh sisa klor yang diinginkan di jaringan distribusi.

Kata kunci: Amonia, Disinfektan kaporit, *Escherichia coli*, Nitrat, Unit Filtrasi

1 Pendahuluan

Mikroorganisme patogen dalam air dapat dihilangkan secara bertahap pada pengolahan air minum dan disempurnakan dengan proses disinfeksi (Tchobanoglous, 2003). Disinfeksi merupakan suatu proses pengolahan air untuk membunuh bakteri patogen menggunakan bahan disinfektan. Pembubuhan

disinfektannya biasanya dilakukan setelah unit filtrasi dan diperlukan sisakhlor sebesar 0,2-0,5 mg/l setelahnya untuk di jaringan distribusi (PP No. 82 Tahun 2001). Beberapa jenis disinfektan yang sering digunakan dalam proses penghilangan mikroorganisme, yaitu ozon, radiasi ultraviolet dan khlorinasi. Namun, disinfektan yang umum digunakan di Indonesia adalah kalsium hipoklorit [$\text{Ca}(\text{ClO})_2$] atau kaporit, karena harganya relatif murah, bersifat stabil dan dapat disimpan lebih lama (Said, 1999). Meskipun disinfeksi dengan khlorin efektif untuk membasmi mikroorganisme patogen, masih ada kekhawatiran akan efek samping akibat penggunaan kaporit yang disebut *Disinfection By Product* (DBP). DBP merupakan reaksi kaporit dengan senyawa organik yang terkandung dalam air baku, DBP dapat mengakibatkan kerusakan sel dan bersifat karsinogenik, sehingga diperlukan penentuan dosis disinfektan yang tepat agar air hasil disinfeksi terbebas dari DBP (Rice, 2009). Efektivitas disinfeksi dapat dipengaruhi oleh hadirnya senyawa lain, diantaranya ammonia, nitrit dan nitrat. Senyawa ini dapat menurunkan kinerja disinfektan kaporit karena disinfektan akan bereaksi terlebih dahulu dengan ammonia dan nitrat sebelum proses disinfeksi dengan bakteri (Metcalf dan Eddy, 2007).

Pada penelitian sebelumnya (Komala, 2013) telah dilakukan percobaan optimasi dosis kaporit dan waktu kontak yang efektif untuk menyisihkan *E. coli* pada outlet unit filtrasi pada instalasi pengolahan air Gunung Pangilun Padang. Dari variasi dosis kaporit dan waktu kontak yang digunakan, dosis 0,5 mg/L kaporit dan waktu kontak 30 menit menghasilkan penyisihan *E. coli* sebesar 99%. Dalam penelitian ini akan dievaluasi lebih jauh pengaruh senyawa pengganggu nitrat dan amonia terhadap kinerja disinfektan kaporit untuk menyisihkan *E. coli*. Selain itu juga akan dilihat parameter kinetika penyisihannya yaitu konstanta laju kematian (k) serta koefisien letal spesifik (\square).

2 Metodologi

2.1 Bahan

- Bahan-bahan kimia

Senyawa disinfektan yang digunakan adalah kaporit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ dengan kandungan khlor aktif 60%. Untuk pewarnaan gram Lugol, safranin, kristal violet, dan alkohol digunakan. Asam asetat glasial pekat (CH_3COOH), kalium iodida (KI), natrium thiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan amilum digunakan untuk mengukur sisa khlor. Senyawa amonia yang digunakan berasal dari larutan induk NH_4Cl dan nitrat yang berasal dari larutan induk KNO_3 .

- Biakan *Escherichia coli*

Biakan murni bakteri *Escherichia coli* diperoleh dari Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Universitas Andalas. Bakteri tersebut kemudian dibiakkan untuk digunakan selanjutnya dalam percobaan disinfeksi.

- Medium

Medium *Nutrient Agar* (NA) digunakan untuk pembiakan bakteri *E. coli*. Biakan ini kemudian diremajakan pada media miring *Nutrient Broth* (NB) dalam wadah berupa *test tube* dengan tujuan mendapatkan stok bakteri *E. coli* yang cukup. Koloni bakteri akan terlihat dengan jelas setelah 48-72 jam yang ditandai dengan adanya lendir pada permukaan media. Selanjutnya, koloni bakteri tersebut dikayakan pada media *Nutrient Broth* (NB) dalam *erlenmeyer* 200 ml. *Erlenmeyer* ditutup menggunakan kapas steril dan *dishaker* pada kecepatan 80 rpm selama 24 jam. *Lactose Broth* (LB) dan *Brilliant Green Lactose Broth* (BGLB) digunakan untuk uji MPN. Kultur yang tumbuh ditandai dengan kekeruhan dan siap untuk digunakan pada percobaan artifisial.

2.2 Sampel Air

Sampel air berasal dari *outlet* unit filtrasi IPA Gunung Pangilun Padang diambil secara *grab* menggunakan botol steril sebanyak 2 liter. Waktu pengambilan sampel dilakukan pada saat musim hujan, agar mendapatkan jumlah bakteri *Escherichia coli* yang maksimum.

2.3 Larutan artifisial

Percobaan optimasi proses disinfeksi (Komala dkk., 2013) serta pengaruh senyawa-senyawa pengganggu dalam proses disinfeksi dilakukan secara artifisial. Larutan artifisial terdiri dari *E. coli* dengan jumlah yang *E. coli* pada sampel air outlet unit filtrasi instalasi pengolahan air dengan medium NB (APHA, 1998).

2.4 Optimasi Proses Disinfeksi

Percobaan optimasi proses disinfeksi ini telah dilakukan sebelumnya oleh Komala, dkk. (2013) menggunakan dosis kaporit 0,1, 0,3 dan 0,5 mg/L. Dosis ini ditentukan berdasarkan uji daya penyergap khlor (DPC) yang dihitung berdasarkan persamaan 1.

$$DPC = \text{Khlortersedia} - \text{sisa khlor} \quad (1)$$

Selanjutnya masing-masing dosis kaporit dimasukkan ke dalam *erlenmeyer* 250 ml, kemudian *dishaker* dengan kecepatan 80 rpm selama waktu kontak 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Kondisi optimum ditentukan dengan tingkat kematian bakteri *Escherichia coli* tertinggi dan waktu kontak tersingkat. Dari percobaan ini diperoleh dosis kaporit optimum sebesar 0,5 mg/l dan waktu kontak 30 menit. Kondisi optimum ini kemudian digunakan untuk percobaan-percobaan selanjutnya.

2.5 Pengaruh Senyawa Amonia dan Nitrat terhadap Proses Khlorinasi

Variasi konsentrasi senyawa amonia dan nitrat yang digunakan berada pada kisaran konsentrasi sampel *outlet* filtrasi IPA Gunung Pangilun. Tiga jenis variasi konsentrasi amonia (NH_4Cl) dan nitrat (KNO_3) dimasukkan ke dalam larutan artifisial pada masing-masing *erlenmeyer*, kemudian dilakukan percobaan pada kondisi optimum, setelah itu jumlah *Escherichia coli* dukur.

2.6 Percobaan Sampel Air PDAM Gunung Pangilun

Percobaan yang sama dilakukan pada 100 ml sampel air *outlet* filtrasi PDAM Gunung Pangilun. Setelah itu konsentrasi bakteri *E. coli* dan sisa khlor pada sampel diukur.

2.7 Kinetika Disinfeksi

Efektivitas proses disinfeksi dapat dilihat dari nilai-nilai parameter konstanta laju kematian (k), koefisien letal spesifik (\square) dan nilai pelarutan. Konstanta laju kematian (k) bakteri *E. coli* diperoleh dengan menggunakan persamaan Chick (Tchobanoglous, 2003):

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -kt \quad (2)$$

Plot $\ln N_t/N_0$ terhadap t akan menghasilkan k sebagai gradien persamaan linier.

Dimana:

k = konstanta laju kematian (waktu^{-1})

N_t = jumlah mikroba pada waktu ke- t

N_0 = jumlah mikroba pada waktu ke-0

t = waktu

Koefisien letal spesifik (\square) bakteri *E. coli* dihitung dengan menggunakan persamaan Chick-Watson (Tchobanoglous, 2003):

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -\square_{CW} C^n t \quad (3)$$

Konstanta koefisien kelarutan (n) menunjukkan pentingnya konsentrasi disinfektan atau waktu kontak dalam proses inaktivasi mikroorganism. Nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Watson (Tchobanoglous, 2003):

$$k = \square C^n \quad (4)$$

Dimana:

k = konstanta laju kematian (waktu^{-1})

\square = Koefisien letal spesifik ($l/\text{mg.waktu}$)

C = konsentrasi disinfektan (mg/l)

n = koefisien pelarutan

2.8 Analisis Pengukuran Parameter

Analisis pengukuran parameter pada penelitian ini mengacu kepada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Sampel air *dishaker* dengan *shaker* Wiseshake SHO-2D. Metode yang digunakan untuk mengetahui jumlah bakteri *Escherichia coli* adalah metoda MPN (*Most Probable Number*) atau JPT (Jumlah Perkiraan Terdekat) menggunakan *test tube* yang berisi tabung durham dan diinkubasi dalam incubator QL Model 12-140E. Semua alat yang digunakan disterilisasi dengan menggunakan oven Memmert dan media ditimbang dengan neraca analitik AND 12329241. Sisa khlor diukur dengan metoda iodometri menggunakan standar natrium thiosulfat.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Sampel Air PDAM Gunung Pangilun

Dari hasil pemeriksaan sampel air outlet unit filtrasi PDAM Gunung Pangilun Padang (Komala dkk., 2013) diperoleh parameter yang melewati baku mutu adalah kadmium dan timbal dengan konsentrasi masing-masing 0,044 mg/l dan 0,038 mg/l. Selain itu juga jumlah bakteri *E. coli* yang seharusnya tidak ada, telah jauh terlampaui yaitu sebesar 920 sel/100 ml. Parameter-parameter kimia dan fisika lain yang ada di dalam sampel air seperti BOD, COD, nitrat, nitrit, amonium, besi dan mangan, kekeruhan serta total zat padat terlarut masih berada di bawah baku mutu. Namun meskipun jumlahnya kecil, parameter-parameter tersebut diperkirakan dapat menjadi pengganggu dalam proses disinfeksi. Khusus untuk parameter *E. coli* masih diperlukan proses lanjutan terhadap air agar bakteri dapat dimusnahkan.

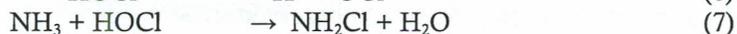
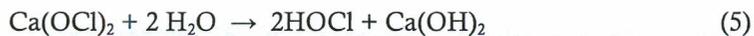
3.2 Pengaruh Senyawa Amonia dan Nitrat terhadap Disinfeksi

Penyisihan bakteri *E. coli* pada larutan artifisial yang mengandung senyawa ammonia dan nitrat dapat dilihat pada Tabel1. Adanya ammonia sebesar 0,5 mg/l, 1,5 mg/l, dan 2,5 mg/l dalam larutan, menyisakan bakteri *E. coli* berturut-turut sebesar 3,6 sel/100 ml, 3,7 sel/100 ml, dan 5,6 sel/100 ml setelah proses disinfeksi. Pada larutan artifisial yang mengandung nitrat sebesar 10 mg/l, 50 mg/l, dan 90 mg/l, meninggalkan jumlah bakteri *E. coli* berturut-turut sebesar 2 sel/100 ml, 4 sel/100 ml, dan 6,1 sel/100 ml setelah proses khlorinasi.

Tabel1. Pengaruh Amonia dan Nitrat dalam Proses Khlorinasi

Penambahan Senyawa dalam larutan artifisial	C (mg/l)	Jumlah Bakteri <i>Esherichica coli</i> (sel/100 ml)		Efisiensi (%)
		Awal	Akhir	
Amonia	0,5	920	3,6	99,61
	1,5		3,7	99,60
	2,5		5,6	99,39
Nitrat	10		2	99,78
	50		4	99,57
	90		6,1	99,34

Jika dibandingkan dengan penelitian Komala (2013) sebelumnya pada percobaan artifisial tanpa adanya senyawa amonia dan nitrat, diperoleh penyisihan *E. coli* hampir mencapai 100%, namun pada penelitian ini kinerja disinfeksi sedikit mengalami pengurangan, yaitu 99,34 – 99,78%. Hal ini juga ditegaskan oleh Black dan Veatch(eds) (2010), bahwa adanya senyawa seperti ammonia dalam air akan menyebabkan terbentuknya khloramin sehingga dapat menyebabkan daya kaporit sebagai disinfektan akan berkurang. Adanya ammonia mempengaruhi proses khlorinasi karena asam hipoklorit yang terbentuk di dalam air (persamaan reaksi 5 dan 6) bersifat oksidanyang sangat aktif. Asam hipoklorit bereaksi terlebih dahulu dengan ammonia sebelum bekerja sebagai disinfektan untuk menyisihkan bakteri *E. coli*. Reaksi antara ammonia dan asam hipoklorit akan membentuk monokloramin seperti yang diperlihatkan pada persamaan reaksi (7).



Namun, hal yang sebaliknya terjadi pada larutan artifisial dengan kandungan nitrat, penambahan nitrat yang semakin besar justru menurunkan kinerja disinfeksi. Pada konsentrasi 10 mg/L kinerja disinfeksi sebesar 99,78%, namun pada konsentrasi yang lebih besar kinerja disinfeksi turun menjadi 99,34% dengan kandungan *E. coli* 6,1 sel/100 ml. Nitrogen dalam bentuk nitrat merupakan sumber nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroorganisme (Dewanti, 2010). Semakin tingginya kadar nitrat menjadi pendukung yang baik bagi pertumbuhan bakteri, sementara kadar kaporit yang diberikan konstan yaitu 0,5 mg/l. Akibatnya efektifitas disinfektan berkurang, yang diperlihatkan dengan naiknya kandungan *E. coli* dalam air. Berbeda dengan senyawa nitrit yang dapat dioksidasi menjadi nitrat oleh disinfektan, nitrat tidak dapat dioksidasi lebih lanjut oleh kaporit.

Berdasarkan besarnya konsentrasi, ammonia memiliki pengaruh yang lebih besar dari pada nitrat karena ammonia dengan konsentrasi pada kisaran 0,5-2,5 mg/l yang jauh lebih rendah dibandingkan nitrat dengan konsentrasi yang jauh lebih tinggi yaitu 10-90 mg/l telah dapat menurunkan kinerja disinfektan dengan nilai efisiensi yang tidak jauh berbeda.

Percobaan pada kondisi optimum terhadap sampel air outlet unit filtrasi PDAM oleh Komala (2013) memperlihatkan penurunan penyisihan bakteri *E. coli* sebesar 99,61%. Menurut Komala, turunnya efisiensi penyisihan bakteri *E. coli* ini disebabkan oleh adanya parameter-parameter lain yang terdapat pada sampel air yang dapat menurunkan efektifitas disinfektan kaporit. Berdasarkan hasil ini Komala telah menaikkan dosis kaporit menjadi 1,5 mg/l agar diperoleh sisa khlor yang diperlukan dalam sistem distribusi.

3.3 Kinetika Disinfeksi pada Percobaan Artifisial

Hasil perhitungan parameter kinetika disinfeksi, seperti laju kematian, koefisien letal spesifik dan koefisien pelarutan menggunakan persamaan 2, 3 dan 4 dijelaskan pada uraian berikut.

- Laju Kematian, Koefisien Letal spesifik dan Koefisien Pelarutan pada Proses Disinfeksi

Laju kematian (k), koefisien letal spesifik (\square cw) dan koefisien pelarutan (n) pada percobaan artifisial tanpa dan dengan penambahan senyawa ammonia dan nitrat dipresentasikan pada Tabel 2. Pada percobaan artifisial tanpa adanya ammonia dan nitrat pada dosis kaporit optimum 0,5 mg/l (Komala, 2013) diperoleh nilai konstanta laju kematian (k) yang berkisar antara 0,169 – 0,277/menit, sedangkan dengan adanya ammonia dan nitrat pada larutan nilainya menjadi lebih kecil yaitu antara 0,167 – 0,204/menit. Hal ini menegaskan bahwa adanya senyawa-senyawa tersebut dapat mengganggu proses disinfeksi. Amonia menjadi pengganggu karena asam hipoklorit yang terbentuk dari reaksi kaporit di dalam air akan bereaksi terlebih

dahulu dengan amonia, sementara nitrat dengan kadar yang tinggi dapat menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan bakteri.

Fenomena yang sama juga diperlihatkan pada nilai koefisien letal spesifik (\square_{cw}) dengan kisaran 0,554 – 1,694/mg.menit pada percobaan artificial tanpa kandungan amonia dan nitrat lebih besar dibandingkan dengan percobaan artificial dengan adanya ammonia dan nitrat yaitu 0,34 – 0,37/mg.menit dan 0,334 – 0,409/mg.menit.

Tabel 2. Nilai Laju Kematian (k), Koefisien Letal spesifik (\square_{cw}) dan Koefisien Pelarutan (n) pada Percobaan Artificial Tanpa dan Dengan Penambahan Ammonia dan Nitrat

Penambahan Senyawa dalam larutan artificial	C _{kaporit} (mg/l)	C (mg/l)	k (1/menit)	\square_{cw} (1/mg.menit)	n
Tanpa*	0,1	-	0,169	1,694	1
	0,3	-	0,180	0,600	1
	0,5	-	0,277	0,554	1
Amonia	0,5	0,5	0,185	0,370	1
		1,5	0,184	0,368	1
		2,5	0,170	0,340	1
Nitrat	0,5	10	0,204	0,409	1
		50	0,181	0,363	1
		90	0,167	0,334	1

Keterangan: * Komala (2013)

Jumlah *E. coli* yang disihkan lebih besar jika senyawa-senyawa pengganggu tersebut tidak ada dalam air dibandingkan dengan adanya senyawa-senyawa tersebut ada dalam air. Nilai koefisien pelarutan (n) pada percobaan artificial baik ada maupun tidak ada senyawa ammonia dan nitrat memiliki nilai yang sama, yaitu n = 1. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi ammonia dan nitrat relatif tidak mempengaruhi nilai koefisien pelarutan, dimana konsentrasi dan waktu kontak sama-sama berperan penting terhadap proses kematian bakteri. Meskipun demikian, kandungan ammonia relatif lebih berpengaruh pada proses disinfeksi dibandingkan dengan kandungan nitrat, karena asam hipoklorit yang terbentuk dari kaporit dapat bereaksi dengan cepat dengan ammonia sehingga sebagian asam hipoklorit yang akan digunakan untuk proses disinfeksi digunakan untuk mengoksidasi ammonia yang mengakibatkan turunnya kinerja disinfektan kaporit dalam menyisihkan bakteri *E. coli*.

4 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pada kondisi dosis kaporit dan waktu kontak optimum yaitu 0,5 mg/l dan 30 menit adanya senyawa amonia dan nitrat dapat menurunkan kinerja penyisihan disinfeksi dari 100% menjadi 99,34 – 99,78% dengan sisa *E. coli* 2-6,1 sel/100 ml. Demikian juga dengan laju kematian bakteri *E. coli* turun menjadi 0,167-0,204/menit, sedangkan jumlah kematian bakteri pada setiap mg dosis kaporit yang diberikan turun menjadi 0,334 – 0,409/mg.menit setelah adanya amonium dan nitrat dalam larutan. Reaksi senyawa amonia dengan

kaporit lebih merupakan reaksi kimia reduksi-oksidasi, sementara senyawa nitrat digunakan sebagai kebutuhan nutrisi bagi bakteri untuk pertumbuhan.

5 Daftar Pustaka

- American Public Health Association. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. A.D. Eaton, L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, (Eds.), 20th ed., Washington D.C.
- Black dan Veatch Corporation. (eds). 2010. White's Handbook Of Chlorination and Alternative Disinfectants, Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Dewanti, B.S.D. 2010. Industrial wastewater treatment by aerobic and anoxic membrane bioreactor (MBR), Department of Chemical Engineering, Faculty of Industrial Engineering ITS, Surabaya, Indonesia.
- Khatimah, H. 2006. Perubahan Konsentrasi Timbal dan Kadmium Akibat Perlakuan Pupuk Organik dalam Sistem Budi daya Sayuran Organik. Tugas Akhir. Program Studi Kimia Institut pertanian Bogor.
- Komala, P.S., F. Agustina, dan A. Yanarosanti. 2013. "Effectiveness of *Escherichia coli* Removal Using Calcium Hypochlorite In Gunung Pangilun Water Treatment Plant". 2nd International Young Scientist Conference on Analytical Sciences, Padang, September 17-18, 2013.
- Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- Rice, G. E., L. K., Teuschler, R. J., Bull, J. E., Simmons, dan P. I., Feder. 2009. Evaluating the similarity of complex drinking water disinfection by-product mixtures: Overview of the issues. *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 72:429-436.
- Said, I. N., dan D. H., Wahyono, 1999. Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Teknik Biofilter Aerob-anaerob. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan. Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan-BPPT.
- Sururi, R. M., S.Dj., Rachmawati, dan M., Sholichah. 2008. Perbandingan Efektifitas Klor dan Ozon sebagai Disinfektan pada Sampel Air dari Unit Filtrasi Instalasi PDAM Kota Bandung. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.