

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

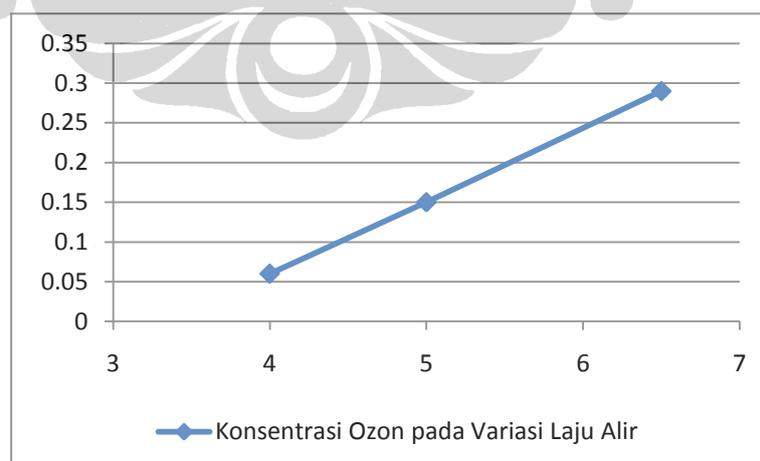
Pada bagian ini disampaikan penentuan laju ozonisasi optimum atas sistem injektor ozon yang dipasang, gambaran kenaikan konsentrasi ozon terlarut di air pada variasi laju alir dengan sistem sirkulasi maupun *cascade*, serta penurunan konsentrasi sianida dan sisa ozon terlarut pada moda seri dan paralel untuk sistem sirkulasi dan *cascade*.

### 4.1. Penentuan laju aliran ozonasi optimum

Laju alir optimum ditentukan dengan mengamati konsentrasi ozon terlarut pada air dengan memvariasikan laju alir sesuai dengan kemampuan pompa yang digunakan, seperti di sampaikan pada table 4.1. dan gambar 4.1.

Tabel 4.1. Variasi Laju Alir Terhadap Ozon Terlarut  
(Operasi 2 Ozonator Secara Seri, pH 5)

RUN No.	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (mg/L)
1	6.5	20	0.29
2	5	20	0.15
3	4	20	0.06



Gambar 4.1. Konsentrasi Ozon Terlarut di Air Pada Variasi Laju Alir Umpan  
(Operasi 2 Ozonator Secara Seri, pH 5)

Tabel dan grafik di atas member data kelarutan optimum didapat pada laju alir terbesar yaitu 6,5 liter/menit.

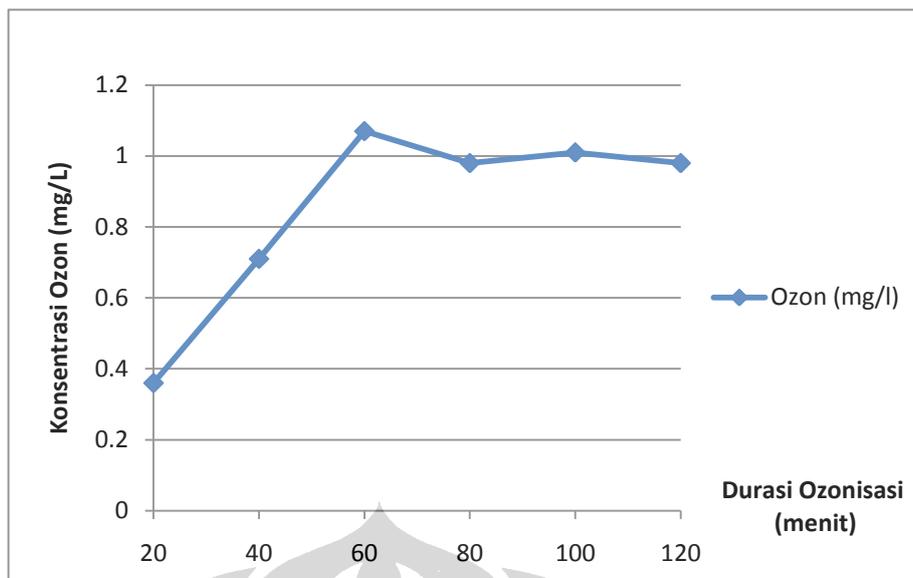
Faktor lain yang berpengaruh pada ozon yang terlarut di air adalah tingkat produksi ozon pada generator ozon yang makin berkurang apabila tingkat kekeringan udara masuk berkurang dengan indikasi warna *silica gel* sebagai pengering udara yang telah berubah dari biru menjadi merah muda. Untuk menjaga kontinuitas jumlah ozon yang dihasilkan oleh pembangkit ozon, dilakukan beberapa kali pengeringan *silica gel* apabila level warna merah muda unggun *silica gel* pada tabung pengering udara telah mencapai separuh dari ketinggian unggun *silica gel*.

#### 4.2. Kenaikan Konsentrasi Ozon Terlarut

Pengambilan data konsentrasi ozon terlarut di air untuk berbagai laju alir seperti pada tabel 4.2. dan gambar 4.2. dilakukan untuk mendapatkan gambaran konsentrasi ozon terlarut optimum pada laju alir dan moda tertentu (seri atau paralel) sebelum dan setelah adanya senyawa sianida, sehingga dapat digunakan memberi gambaran penurunan konsentrasi ozon di dalam air yang disebabkan oleh adanya senyawa sianida.

Tabel 4.2. Kelarutan Ozon di Air Pada Laju Alir 6,5 liter/menit  
(Operasi Sistem Cascade 2 Ozonator Secara Seri, pH 5)

Waktu menit	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (S) (mg/L)
20	6.5	20	0.36
40	6.5	20	0.71
60	6.5	20	1.07
80	6.5	20	0.98
100	6.5	20	1.01
120	6.5	20	0.98



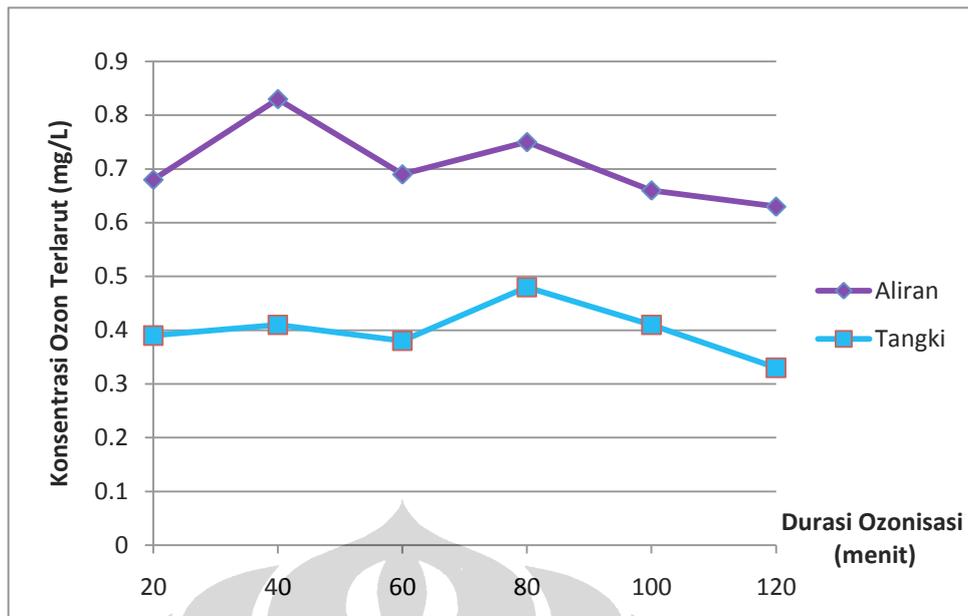
Gambar 4.2. Konsentrasi  $O_3$  Terlarut di Air pada laju alir 6,5 liter/menit (Operasi Sistem Cascade 2 Ozonator Secara Seri, pH 5)

Kenaikan konsentrasi ozon terlarut di air pada laju alir 6,5 liter per menit ini di dapatkan besaran disekitar 1 mg/L yang merupakan kelarutan optimum seperti yang di kemukakan di literatur.

Pada laju alir air 4 liter/menit dengan rangkaian ozonator seri setelah di sirkulasi akan didapatkan data seperti pada table 4.3. dan gambar 4.3. berikut :

Tabel 4.3. Kelarutan Ozon di Air Pada Laju Alir 4 liter/menit (Operasi Sistem Sirkulasi 2 Ozonator Secara Seri, pH 5)

Waktu (menit)	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon S (mg/L)	Kons Ozon T (mg/L)
20	4	20	0.68	0.39
40	4	20	0.83	0.41
60	4	20	0.69	0.38
80	4	20	0.75	0.48
100	4	20	0.66	0.41
120	4	20	0.63	0.33



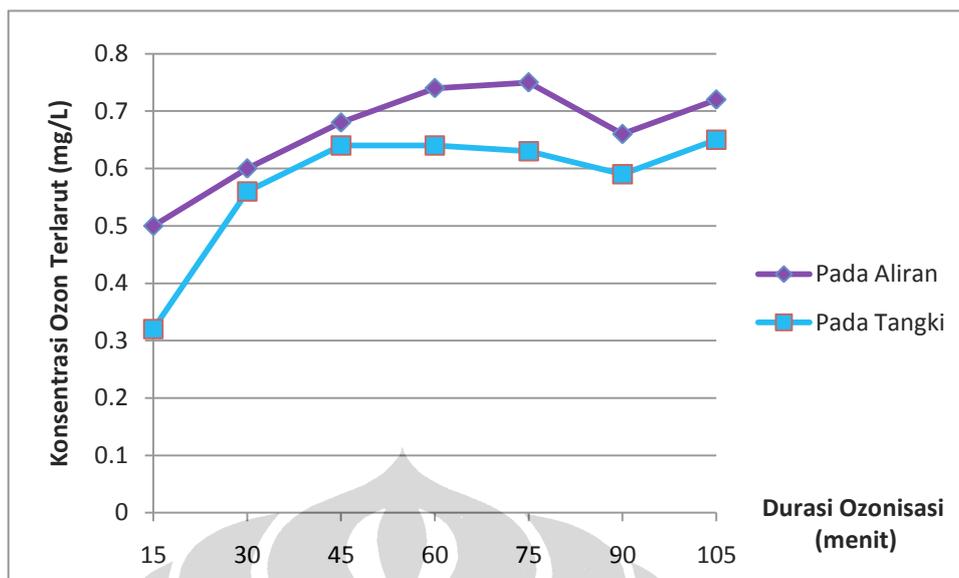
Gambar 4.3. Konsentrasi O<sub>3</sub> Terlarut di Air pada laju alir 4 liter/menit (Operasi Sistem Sirkulasi 2 Ozonator Secara Seri, pH 5)

Tabel dan grafik diatas menunjukkan adanya selisih konsentrasi ozon terlarut di air pada aliran setelah ozonasi dan tangki sirkulasi, dimana selisihnya cenderung mengecil, dimana suatu saat beda konsentrasi ozon terlarut antara aliran dan tangki mendekati suatu nilai tertentu.

Pada laju alir air 10 liter/menit dengan rangkaian ozonator paralel setelah di sirkulasi akan didapatkan data seperti table 4.4. dan gambar 4.4. berikut :

Tabel 4.4. Kelarutan Ozon di Air Pada Laju Alir 10 liter/menit (Operasi Sirkulasi 2 Ozonator Secara Paralel, pH 5)

Waktu (menit)	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon S (mg/L)	Kons Ozon T (mg/L)
15	10	15	0.5	0.32
30	10	15	0.6	0.56
45	10	15	0.68	0.64
60	10	15	0.74	0.64
75	10	15	0.75	0.63
90	10	15	0.66	0.59
105	10	15	0.72	0.65



Gambar 4.4. Konsentrasi  $O_3$  terlarut di air pada laju alir 10 liter/menit (operasi sistem sirkulasi 2 ozonator secara paralel, pH 5 )

Pada laju alir 10 liter/menit konsentrasi ozon terlarut pada tangki akan lebih cepat mendekati nilai konsentrasi ozon terlarut pada aliran, pada tingkat konsentrasi terlarut yang lebih besar dari pada laju alir 4 liter/menit cukup besar, akan tetapi masih dibawah tingkat optimalnya yaitu 1 mg/L.

#### 4.3. Penurunan Konsentrasi Sianida setelah Ozonisasi

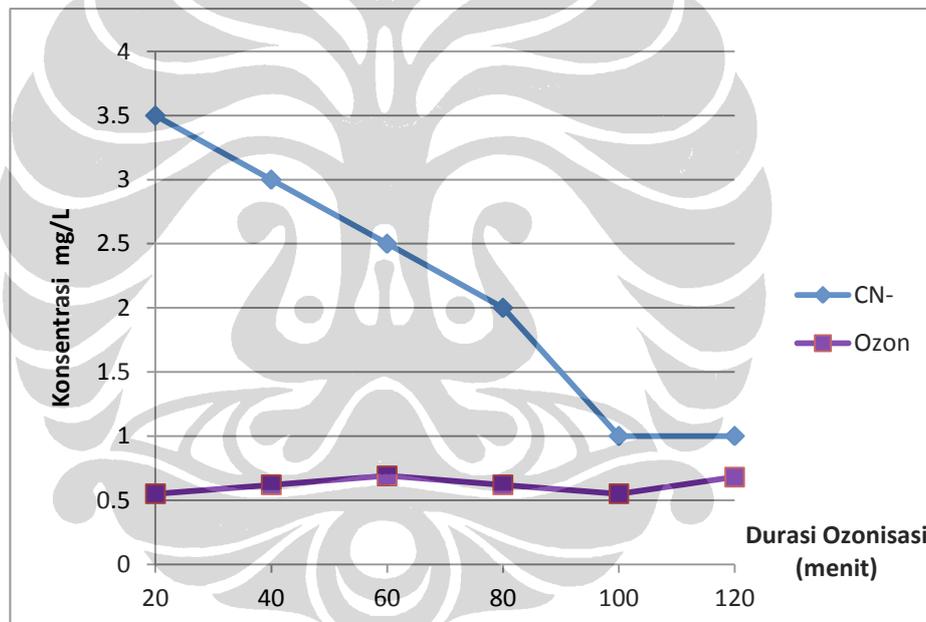
Ozonasi air yang mengandung senyawa sianida akan menurunkan konsentrasi ion sianida terlarut pada tingkat sesuai dengan besaran konsentrasi ozon yang dapat dilarutkan di dalam air tanpa adanya senyawa sianida.

Selisih antara konsentrasi ozon yang terlarut dia air pada laju alir air tertentu dengan konsentrasi ozon sisa di air yang mengandung sianida memberikan gambaran jumlah ozon yang dikonsumsi akibat reaksi dengan sianida.

Tabel 4.5. sampai 4.11 dan gambar 4.5. sampai gambar 4.11. di bawah ini memberikan gambaran faktual kondisi setelah di masukkannya senyawa sianida di air, dengan volume air yang digunakan sama untuk setiap percobaan yaitu 130 liter. Air yang digunakan adalah air tanah dengan pH air awal agak asam ( $\pm$  pH 5). Tiga percobaan dilakukan dengan menaikkan pH menggunakan larutan KOH sampai didapatkan pH =8 dan pH 10.

Tabel 4.5. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 5 ppm  
(Operasi Cascade 2 Ozonator Secara Seri 6,5 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

Waktu (menit)	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (mg/L)	Kons CN- (mg/L)
20	6.5	20	0.55	3.5
40	6.5	20	0.62	3
60	6.5	20	0.69	2.5
80	6.5	20	0.62	2
100	6.5	20	0.55	1
120	6.5	20	0.68	1



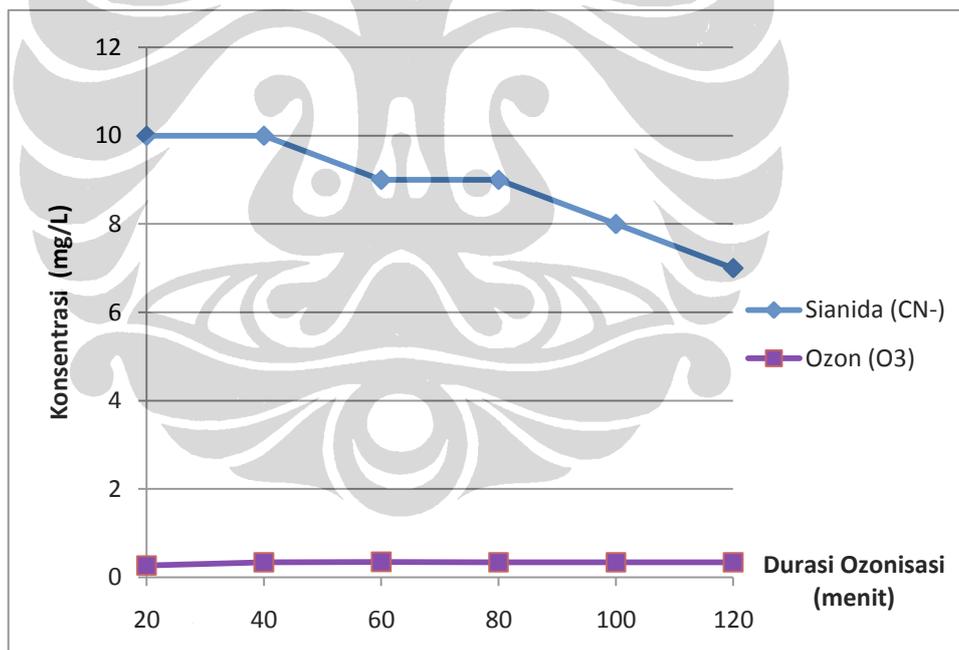
Gambar 4.5. Penurunan konsentrasi CN dan sisa O<sub>3</sub> setelah ozonisasi  
(2 reaktor seri dengan sistem *cascade* 6,5 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

Pada tabel dan gambar untuk laju alir seri 6,5 liter permenit penurunan konsentrasi dari 4 ppm ke 0,5 ppm dapat tercapai dalam jangka waktu lebih kuran 2 jam, sehingga untuk menurunkan 10 ppm diperkirakan hanya akan memakan waktu 6 jam, sehingga moda ozonasi ini menjadi moda ozonasi yang paling efektif dari data yang ada.

Percobaan berikut rencananya dilakukan pada konsentrasi awal 10 ppm moda sirkulasi pada laju alir 6,5 liter/menit, akan tetapi karena adanya penurunan tegangan listrik maka laju alir hanya dapat mencapai 4 liter/menit, seperti pada table 4.6. dan gambar 4.6.

Tabel 4.6. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 10 ppm (Operasi Sirkulasi 2 Ozonator Secara Seri 4 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

Waktu (menit)	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (mg/L)	Kons CN- (mg/L)
20	4	20	0.27	10
40	4	20	0.34	10
60	4	20	0.35	9
80	4	20	0.34	9
100	4	20	0.34	8
120	4	20	0.34	7



Gambar 4.6. Penurunan konsentrasi CN dan sisa O<sub>3</sub> setelah ozonisasi (2 reaktor seri dengan sistem sirkulasi 4 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

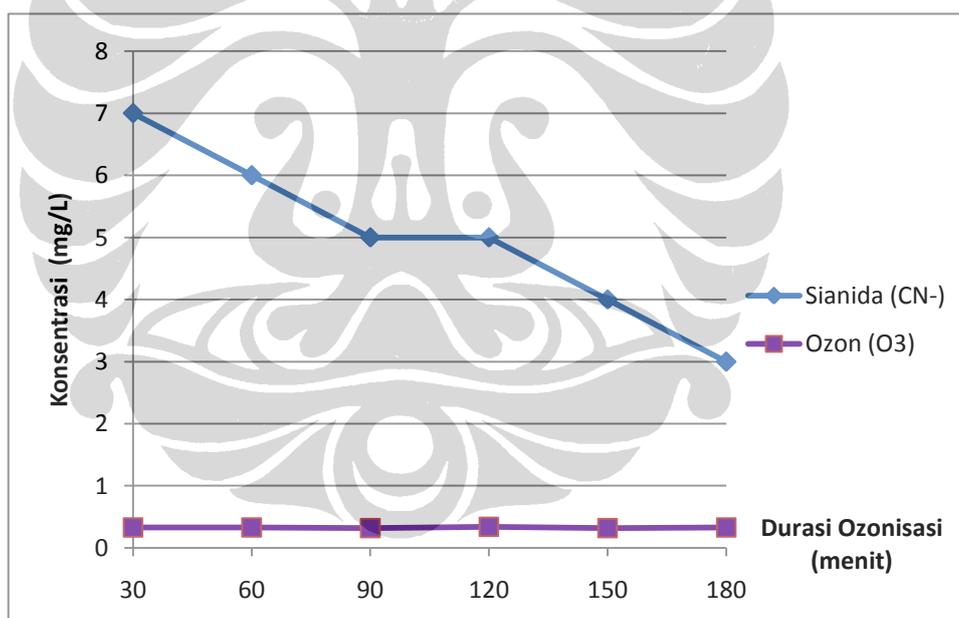
Tabel dan gambar di atas menjelaskan untuk laju alir 4 liter/menit penurunan konsentrasi sianida kurang efektif, karena pada laju alir ini ditunjukkan selisih konsentrasi ozon terlarut pada operasi tanpa sianida dan dengan sianida hanya  $\pm 0,3$  mg/L, dan waktu

yang diperlukan untuk menurunkan 2,5 ppm sianida adalah 2 jam. Sehingga untuk konsentrasi sianida 10 ppm diperkirakan akan membutuhkan waktu 8 jam.

Tabel 4.7. dan gambar 4.7. berikut merupakan operasi lanjutan dari percobaan 4 liter/menit yang lamban, dinaikkan menjadi paralel dengan laju 10 liter/menit.

Tabel 4.7. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 7 ppm  
Operasi Sirkulasi 2 Ozonator Secara Paralel 10 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

Waktu (menit)	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (mg/L)	Kons CN- (mg/L)
30	10	30	0.33	7
60	10	30	0.33	6
90	10	30	0.32	5
120	10	30	0.34	5
150	10	30	0.32	4
180	10	30	0.33	3



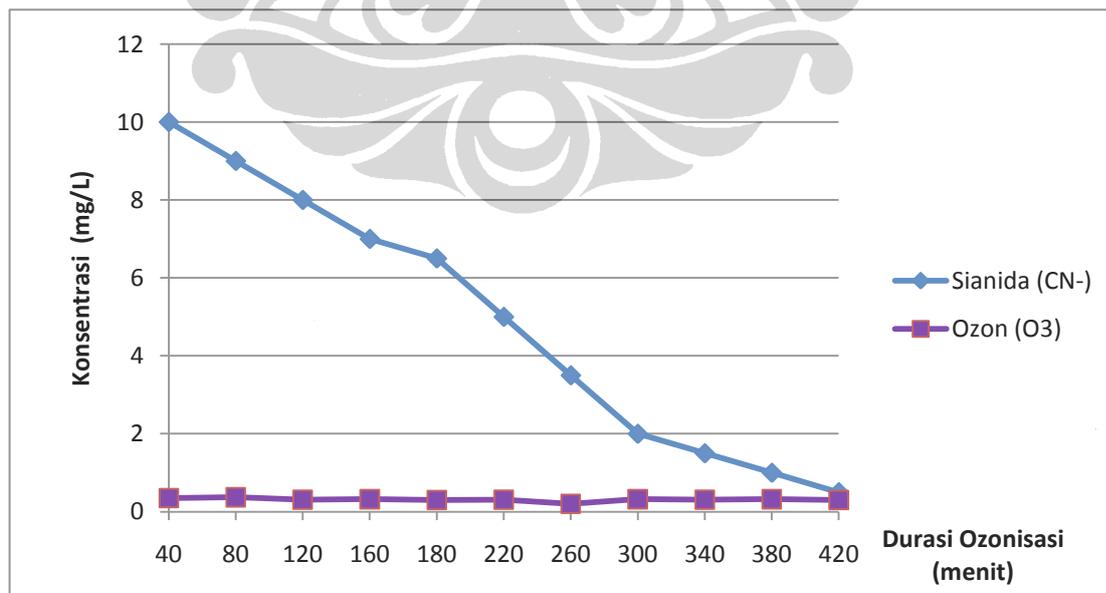
Gambar 4.7. Penurunan konsentrasi CN dan sisa O<sub>3</sub> setelah ozonisasi (2 reaktor paralel dengan sistem sirkulasi 10 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

Tabel 4.7 dan gambar 4.7. diatas pada konsentrasi awal 7 ppm sianida melanjutkan percobaan sebelumnya, juga masih belum menunjukkan unjuk kerja reaktor ozon yang optimum, penurunan 4 ppm sianida dicapai dalam waktu 3 jam.

Pada percobaan berikutnya dilakukan ozonasi air mengandung sianida 10 ppm dengan laju alir 6 liter/menit dengan ozonator seri.

Tabel 4.8. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 10 ppm (Operasi Sirkulasi 2 Ozonator Secara Seri 6 liter/menit, V=130 liter, pH 5)

Waktu (menit)	Laju Alir (ltr/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (mg/L)	Kons CN- (mg/L)
20	6	20	0.34	10
40	6	20	0.35	10
80	6	40	0.37	9
120	6	40	0.31	8
160	6	40	0.32	7
180	6	40	0.3	6.5
220	6	40	0.31	5
260	6	40	0.2	3.5
300	6	40	0.32	2
340	6	40	0.31	1.5
380	6	40	0.32	1
420	6	40	0.3	0.5



Gambar 4.8. Penurunan konsentrasi CN dan sisa O<sub>3</sub> setelah ozonisasi

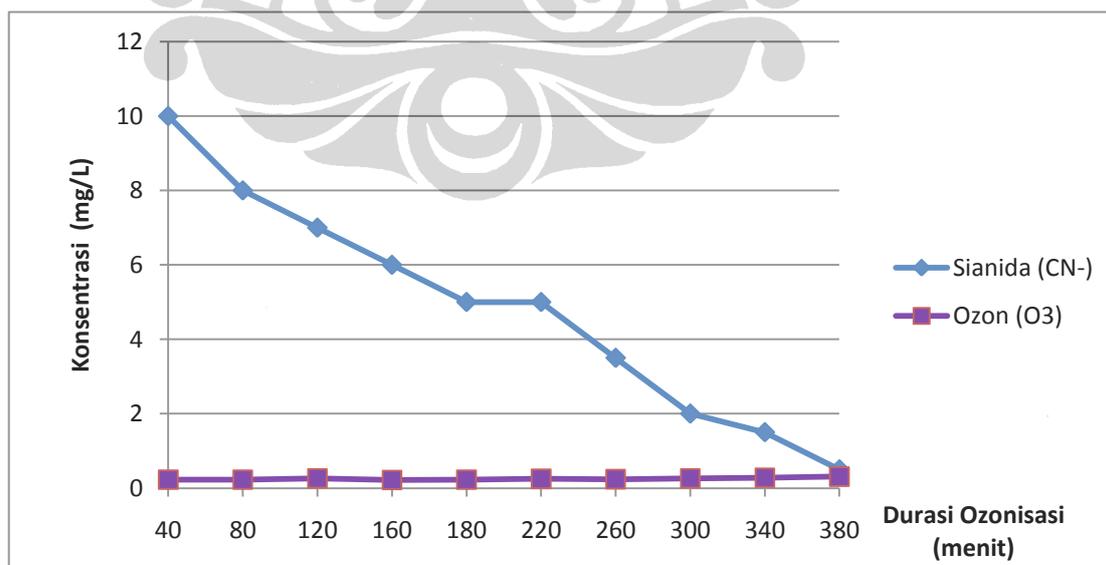
(2 reaktor seri dengan sistem sirkulasi 10 liter/menit,  $V=130$  liter, pH 5)

Tabel 4.8 dan gambar 4.8 menunjukkan unjuk kerja yang lebih baik dari sebelumnya dengan waktu untuk menurunkan sianida dari 10 ppm ke 0,5 ppm selama 7 jam (420 menit).

Percobaan berikut dilakukan dengan menaikkan pH dari 5 menjadi 8 sehingga diinginkan spesi  $\text{OH}^-$  yang berperan dalam destruksi sianida.

Tabel 4.9. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 10 ppm (Operasi sirkulasi 2 ozonator Secara paralel 10 liter/menit,  $V=130$  liter, pH 8)

Waktu (menit)	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon (mg/L)	Kons CN- (mg/L)
20	10	20	0.15	10
40	10	20	0.23	10
80	10	40	0.23	8
120	10	40	0.26	7
160	10	40	0.22	6
180	10	40	0.23	5
220	10	40	0.25	5
260	10	40	0.24	3.5
300	10	40	0.26	2
340	10	40	0.28	1.5
380	10	40	0.31	0.5



Gambar 4.9. Penurunan konsentrasi CN dan sisa  $\text{O}_3$  setelah ozonisasi

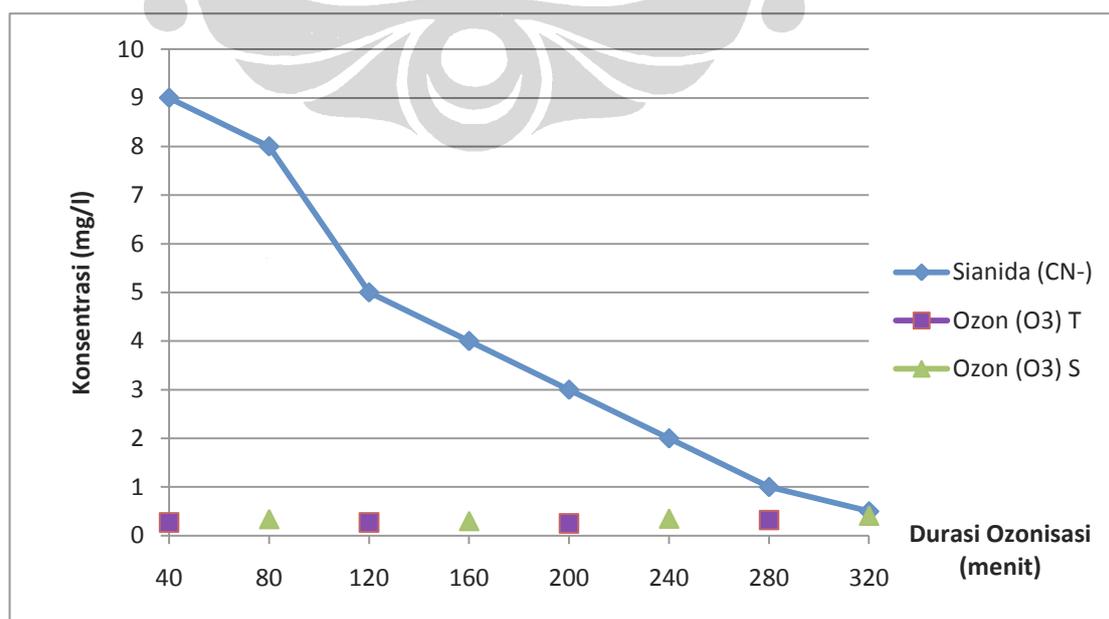
(2 reaktor paralel dengan sistem sirkulasi 10 liter/menit,  $V=130$  liter, pH 8)

Gambar 4.9 menunjukkan penurunan konsentrasi sianida yang lebih baik pada pH 8 dengan waktu yang diperlukan 380 menit (6 jam 20 menit) sampai konsentrasi sianida mencapai 0,5 ppm.

Percobaan tambahan pada tabel 4.10. dan 4.11. serta gambar 4.10. dan 4.11. dilakukan dengan menaikkan pH dari 5 menjadi 10 sehingga  $\text{OH}^-$  yang berperan dalam destruksi sianida lebih dominan.

Tabel 4.10. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 10 ppm  
(Operasi sirkulasi 2 ozonator Secara paralel 10 liter/menit,  $V=130$  liter, pH 10)

RUN No.	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon T (mg/l)	Kons CN- (mg/l)	Kons Ozon S (mg/l)
40	10	40	0.27	9	
80	10	40		8	0.34
120	10	40	0.27	5	
160	10	40		4	0.3
200	10	40	0.25	3	
240	10	40		2	0.35
280	10	40	0.32	1	
320	10	40		0.5	0.41
360	10	40	0.35	0.25	

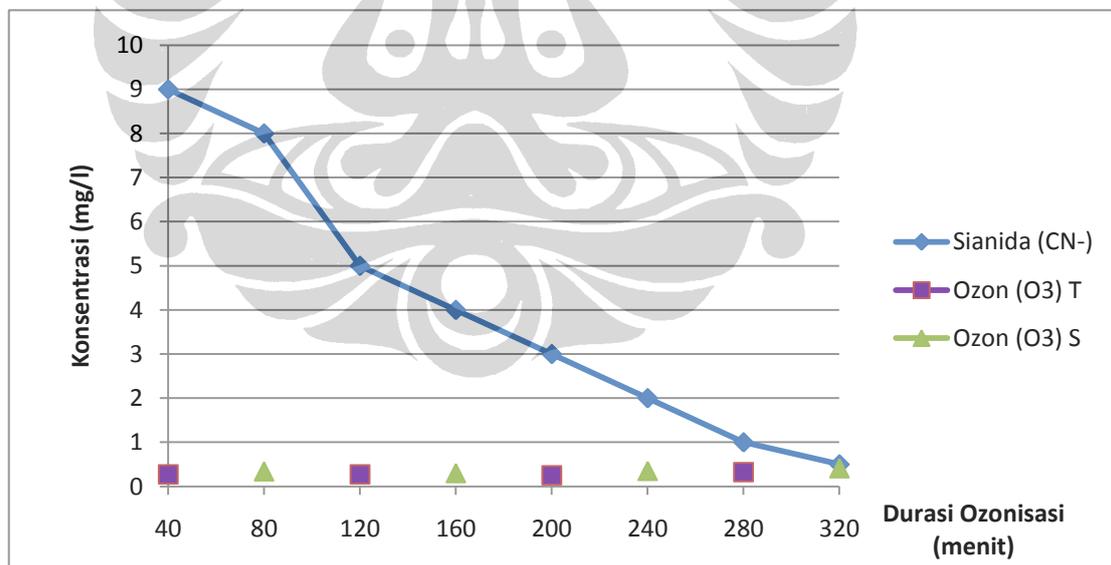


Gambar 4.10. Penurunan konsentrasi CN<sup>-</sup> dan sisa O<sub>3</sub> setelah ozonisasi  
(2 reaktor paralel dengan sistem sirkulasi 10 liter/menit, V=130 liter, pH 10)

Tabel 4.11. Penurunan Konsentrasi Sianida Pada Konsentrasi Awal 10 ppm  
(Operasi sirkulasi 2 ozonator Secara seri 6 liter/menit, V=130 liter, pH 10)

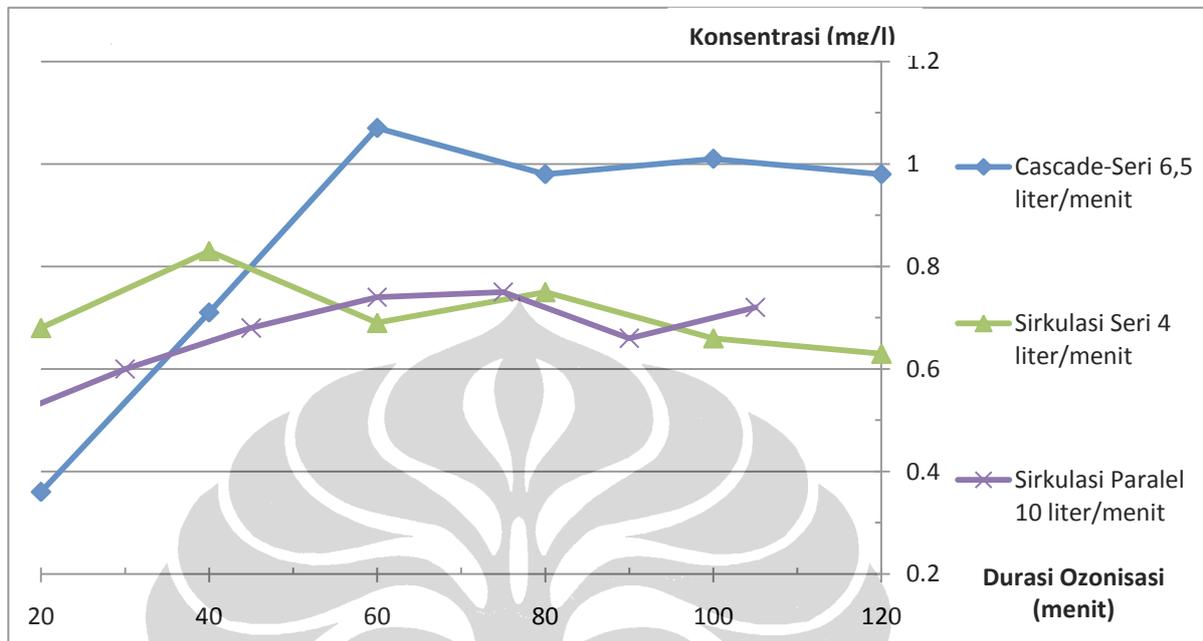
RUN No.	Laju Alir (liter/menit)	Durasi Ozonasi (menit)	Kons Ozon T (mg/l)	Kons CN <sup>-</sup> (mg/l)	Kons Ozon S (mg/l)
40	6	40	0.3	8	
80	6	40		6	0.31
120	6	40	0.32	5	
160	6	40		4	0.32
200	6	40	0.39	3	
240	6	40		2	0.46
280	6	40	0.4	1	
320	6	40		0.5	0.41

Hasil percobaan yang dilakukan untuk pH 10 memberikan gambaran waktu destruksi sianida menggunakan ozon yang lebih baik, sehingga memberikan gambaran bahwa spesi OH<sup>-</sup> lebih efektif dalam destruksi sianida.

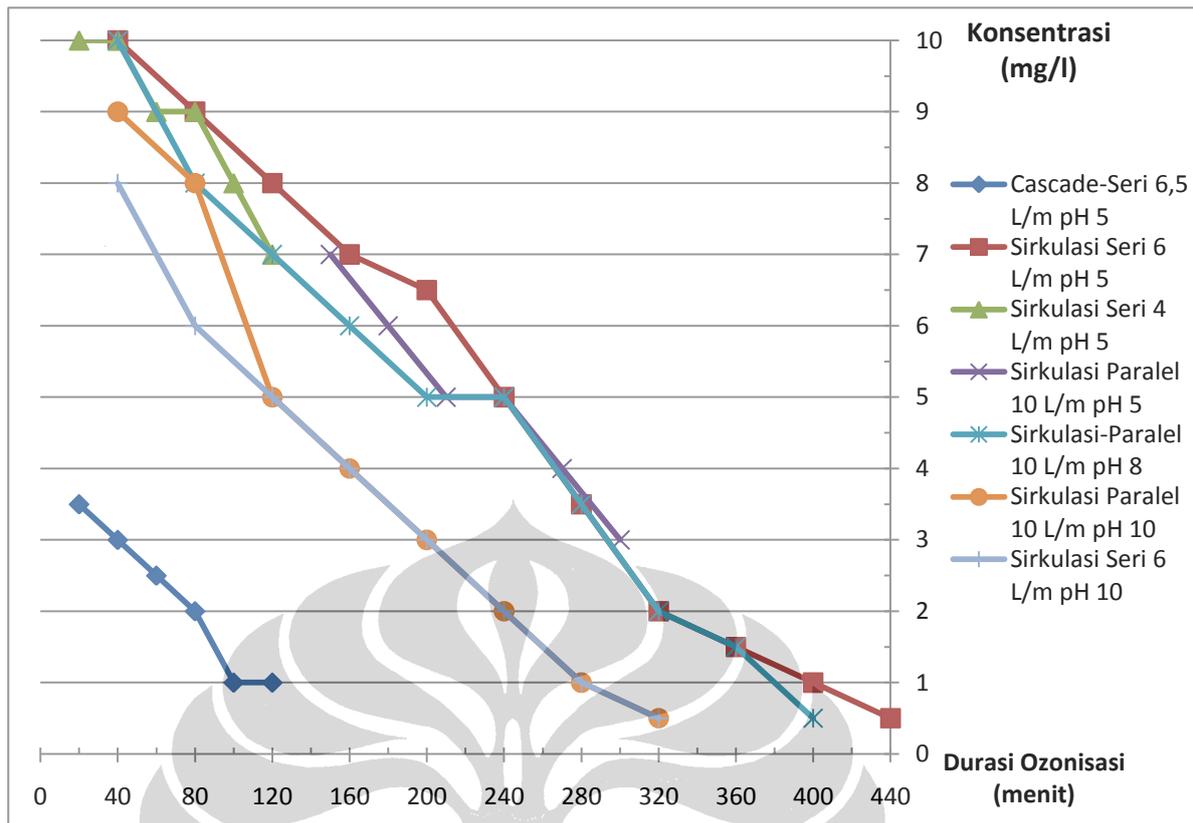


Gambar 4.11. Penurunan konsentrasi CN<sup>-</sup> dan sisa O<sub>3</sub> setelah ozonisasi  
(2 reaktor seri dengan sistem sirkulasi 10 liter/menit, V=130 liter, pH 10)

Hasil percobaan yang dilakukan digabungkan pada gambar 4.12 dan 4.13 untuk dapat membandingkan unjuk kerja tiap moda dan rangkaian reactor ozon dan dengan laju alir yang berbeda.



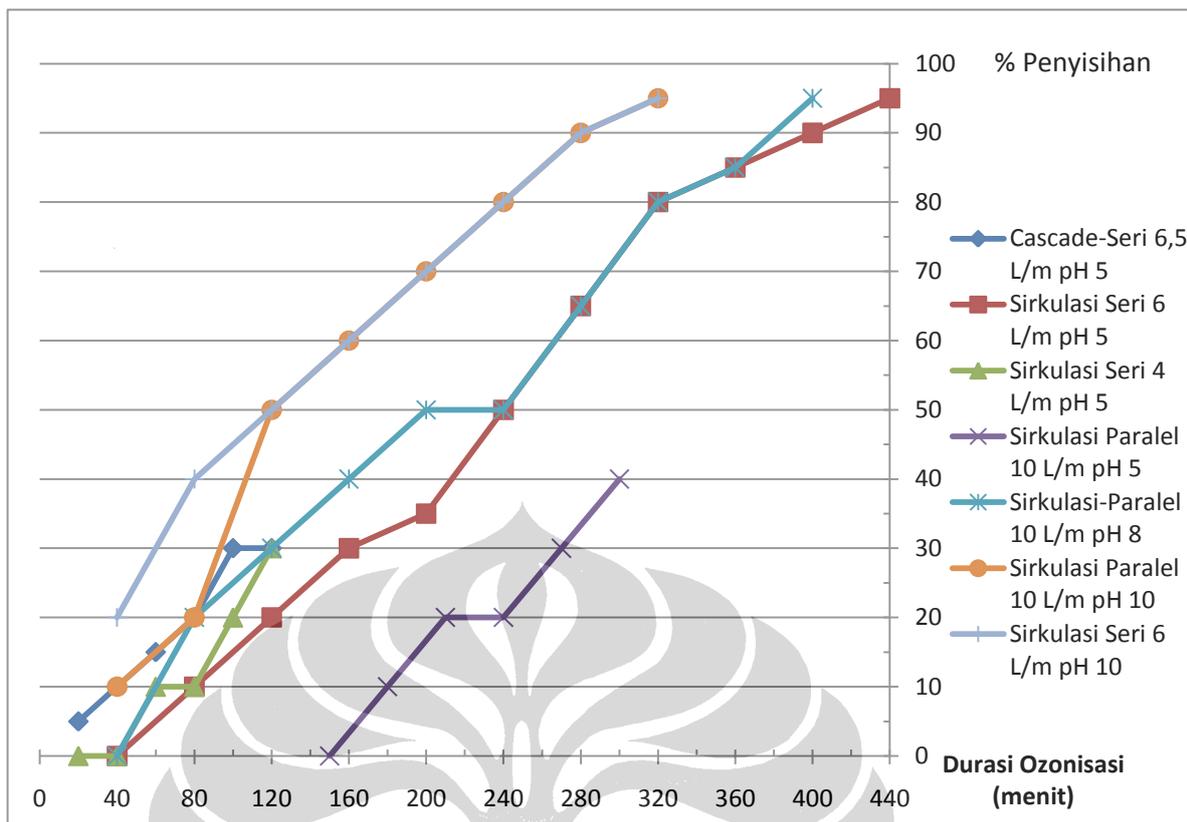
Gambar 4.12. Kenaikan ozon terlarut terhadap lama ozonasi pada berbagai laju alir



Gambar 4.13. Penurunan konsentrasi sianida terhadap lama ozonasi, pada berbagai laju alir dan pH.

Kurva evaluasi sistem ozonasi yang ditunjukkan pada gambar 4,12 dan 4,13. memberikan gambaran kelarutan optimum ozon di air akan dicapai pada kondisi laju alir terbesar dari reaktor yang disusun seri secara cascade pada laju alir 6,5 liter/menit, yaitu pada nilai optimum kelarutan (1 mg/L). Pada laju alir tersebut konsentrasi ozon terlarut yang cukup besar akan mempermudah terjadinya reaksi langsung  $O_3$  dengan sianida pada laju yang tidak cukup cepat ( $\pm 7$  jam untuk menurunkan konsentrasi dari 10 ke 0,5 ppm sianida). Pada kondisi ini spesi  $O_3$  yang berperan pada reaksi karena pH sistem berada pada nilai  $\pm 5$ . Sedangkan pada saat spesi OH yang berperan pada pH 8, waktu yang dibutuhkan lebih singkat yaitu 380 menit, dan pada pH 10 menjadi lebih singkat lagi yaitu 320 menit.

Kurva evaluasi penurunan konsentrasi sianida pada gambar 4.13 dan kurva evaluasi % penyisihan sianida pada gambar 4.14. memberi indikasi unjuk kerja reaktor yang disusun seri maupun parallel memberikan penurunan konsentrasi sianida lebih baik pada pH yang lebih tinggi (pH 10).



Gambar 4.14. Hubungan % Penyisihan sianida terhadap lama ozonasi, pada berbagai laju alir dan pH.