

REKAYASA

LAPORAN PENELITIAN



JUDUL

**Proses Klorinasi Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah
Dalam Penentuan Dosis Optimum Natrium Hipoklorit
(NaClO) Dari Nilai Klorin Bebas**

Pelaksana :

Purnomosutji Dyah Prinajati, ST., MT
(NIDN: 0313046803)

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SAHID
PEBRUARI 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Proses Klorinasi Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Dalam Penentuan Dosis Optimum Natrium Hipoklorit (NaClO) Dari Nilai Klorin Bebas

Rumpun Ilmu
Peneliti : Teknik Lingkungan

a. Nama : Purnomosutji Dyah Prinajati, ST, MT
b. NIDN : 0313046803
c. Jabatan Fungsional : Lektor
d. Jabatan Struktural : -
e. Program studi : Teknik Lingkungan
f. Alamat E-mail : iinsoekandar@gmail.com
g. Nomor HP : 0818813766

Anggota Peneliti (1) : -
a. Nama : -
b. NIDN : -
c. Program Studi : -


Anggota Peneliti (2) : -
a. Nama : -
b. NIDN : -
c. Program Studi : -

Biaya : Rp. 4.855.000
a. Usahid : -
b. Sumber lain : Mandiri

Waktu Penelitian : 6 bulan
Lokasi Penelitian : Jakarta Timur
Jumlah Mahasiswa terlibat : orang

Jakarta, 01 Pebruari 2021

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ninin Gusdini, ST, MT
NIK : 20000415

Peneliti


Ps. Dyah Prinajati, ST., MT
NIDN : 0313046803

Menyetujui
Kepala LPPM

Prof. Dr. Ir. Giyatmi, M.Si
NIK : 19940236

Proses Klorinasi Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Dalam Penentuan Dosis Optimum Natrium Hipoklorit (NaClO) Dari Nilai Klorin Bebas

Purnomosutji Dyah Prinajati
Teknik Lingkungan Universitas Sahid Jakarta

ABSTRAK

Perusahaan farmasi yang turut andil dalam menjaga lingkungan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pengembangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pun terus dilakukan oleh Perusahaan Farmasi, agar selalu dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Pemerintah. Oleh Karena itu, dibangun unit klorinasi dengan menambahkan bahan kimia klorin pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Perusahaan Farmasi. Namun, apabila penggunaan klorin pada unit klorinasi tidak tepat maka akan menimbulkan dampak bagi lingkungan. Karena hal tersebut, dilakukan penelitian penentuan dosis optimum klorin pada unit klorinasi untuk mendapatkan dosis optimum klorin dari nilai bebas klorin yang tidak melebihi baku mutu klorin bebas dalam air limbah. Penentuan konsentrasi dosis optimum klorin dilakukan dengan metode *Jartest*. Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan maka ditetapkan konsentrasi dosis optimum klorin yang ditambahkan pada unit klorinasi pada Perusahaan Farmasi ini sebesar 6 mg/L.

Kata kunci: instalasi pengolahan air limbah, *jartest*, klorinasi, klorin bebas

ABSTRACT

Pharmaceutical companies that take part in protecting the environment. One of the efforts made is by building a Waste Water Treatment Plant (WWTP). Pharmaceutical Companies continue to develop Waste Water Treatment Plants (WWTP) so that they can always meet the quality standards set by the Government. Therefore, a chlorination unit was built by adding chlorine chemicals to the Waste Water Treatment Plant (WWTP) at a pharmaceutical company. However, if the use of chlorine in the chlorination unit is not correct, it will have an impact on the environment.

Because of this, a study was conducted to determine the optimum dose of chlorine in the chlorination unit to obtain the optimum chlorine dose from the free chlorine value which did not exceed the quality standard for free chlorine in wastewater. The determination of the optimum chlorine dose concentration was carried out using the Jartest method. Based on the results of the research conducted, the optimum dose concentration of chlorine added to the chlorination unit at this pharmaceutical company was 6 mg / L.

Keywords: wastewater treatment plant, jartest, chlorination, free chlorine.

PENDAHULUAN

Industri manufaktur mengalami peningkatan produksi sebesar 4,33% berdasarkan Badan Pusat Statistik Indonesia (2017). Peningkatan produksi tersebut salah satunya disebabkan oleh meningkatnya produksi pada industri farmasi. Industri farmasi merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah, baik limbah padat maupun limbah cair. Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomi. Apabila limbah yang dihasilkan dibuang ke dalam badan air tanpa proses pengolahan terlebih dahulu, maka akan menjadi sumber pencemar bagi lingkungan. Oleh karena itu, setiap industri harus menjaga kualitas lingkungan dari limbah yang dihasilkan dengan upaya pengelolaan lingkungan yang baik. Salah satu industri farmasi yang melakukan upaya pengelolaan lingkungan.

Perusahaan Farmasi ini merupakan salah satu perusahaan farmasi ternama di Indonesia yang berdirisejak tahun 1970. Dalam kegiatan produksinya, menghasilkan limbah berupa limbah cair sebagai hasil pengolahan proses produksi serta kegiatan domestik dari industri dan kantor. Perusahaan Farmasi ini telah berupaya dalam pengendalian pencemaran lingkungan, dengan membangun unit pengolahan air limbah yang dapat mengolah air limbah yang dihasilkan serta telah berupaya melakukan pemantauan terhadap kualitas dari hasil pengolahan air limbah, agar tetap memenuhi baku mutu sesuai dengan peraturan pemerintah yang berlaku, yaitu Peraturan Gubernur No.69 Tahun 2013 dan Peraturan Gubernur No.122 Tahun 2005.

Namun, pada Bulan Agustus 2016 Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia telah menetapkan baku mutu yang baru tentang air limbah domestik yang tertuang dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016. Dari parameter baku mutu air limbah domestik yang tertuang dalam PerMen LHK No.68 Tahun 2016 terdapat penambahan parameter kualitas air limbah bila dibandingkan dengan baku mutu yang tertuang pada Peraturan Gubernur No.122

Tahun 2005, yaitu parameter total bakteri koliform dengan nilai batas maksimum sebesar 3000 jumlah/100 ml.

Kurangnya sosialisasi dari pemerintah membuat Perusahaan Farmasi ini baru mengetahui peraturan tersebut pada bulan Pebruari 2017. Sehingga pada bulan September 2016 sampai dengan Januari 2017, pengukurankualitas air limbah tidak mengacu baku mutu yang tertuang pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Pengukuran kualitas air limbah pada bulan Pebruari 2017 baru mengacu pada baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, namun hasil dari pengujian kualitas air limbah bulan Pebruari 2017 terdapat 1 parameter yang melebihi baku mutu yaitu parameter total bakteri koliform dengan hasil pengukuran sebesar >3000 jumlah/100 ml.

Hal ini membuat pihak perusahaan memutuskan untuk menambah unit klorinasi dengan konsentrasi larutan Natrium Hipoklorit (NaClO) sebesar 20 mg/L dan menghasilkan nilai klorin bebas sebesar 1,53 mg/L yang bila dibandingkan dengan baku mutu klorin bebas memiliki nilai klorin bebas yang melebihi baku mutu, karena nilai baku mutu klorin bebas pada Peraturan Gubernur Nomor 69 Tahun 2013 maksimal sebesar 1 mg/L. Oleh karena itu, maka perlu dilakukannya penelitian untuk mengetahui konsentrasi klorin yang efektif untuk dibubuhkan pada IPAL dan tidak melebihi baku mutu klorin bebas.

METODE PENELITIAN

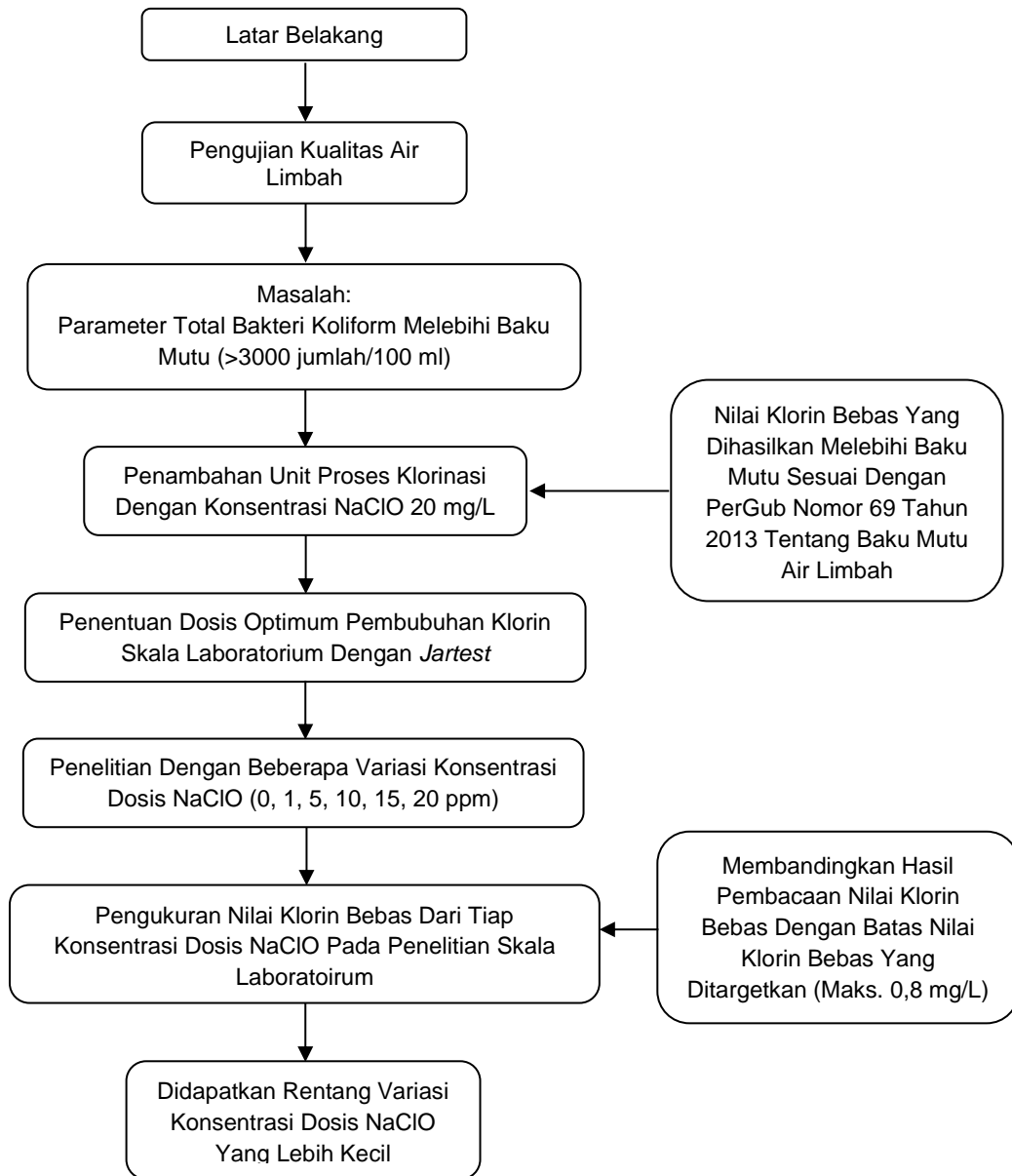
Penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan konsentrasi dosis optimum penambahan klorin dari nilai klorin bebas yang terdapat pada tiap konsentrasi penelitian skala laboratorium. Penelitian ini dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah piala gelas, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, pipet volume, pipet serologi, *spectrophotometer spectroquant nova 60*, kertas saring, kuvet, ember plastik, botol gelas steril, dan tabung reaksi. bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah air limbah *outlet* tangki sedimentasi, natrium hipoklorit 12% v/v, dan *chlorine test*.

Data yang dipergunakan dalam penyusunan laporan adalah semua data yang diperoleh seperti data primer, data sekunder, dan data lainnya yang diperlukan. Data primer diperoleh dari hasil observasi atau pengamatan, dokumentasi, wawancara, dan pengukuran langsung yang dilakukan terhadap obyek penelitian yang berkaitan dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah.

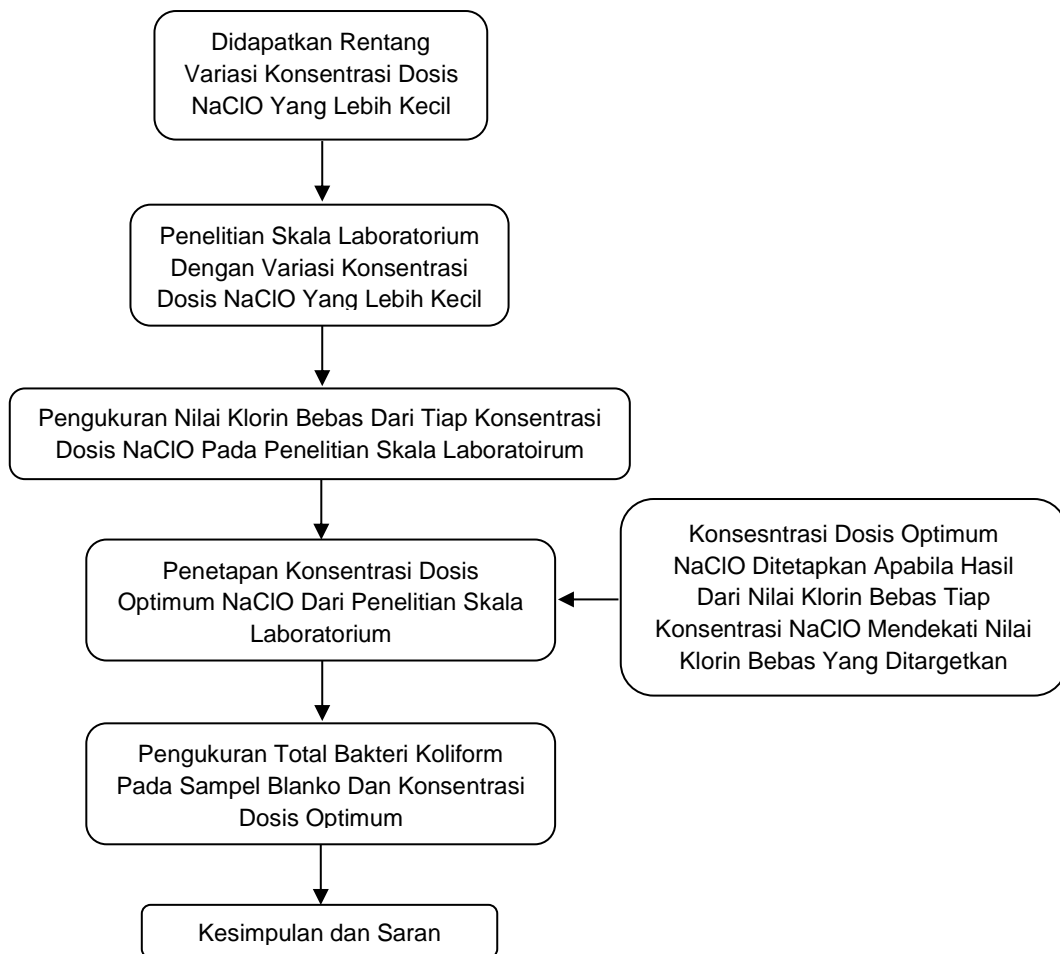
Data sekunder merupakan data yang diperoleh dengan menelaah dokumen-dokumen yang ada atau data yang tidak langsung diperoleh peneliti dari subjek penelitiannya yang menunjang data primer.

a) Tahap Pertama



Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan Penelitian Tahap Pertama

b) Tahap Kedua



Gambar 2. Diagram Alir Kegiatan Penelitian Tahap Kedua

Pada penelitian ini dilakukan penelitian skala laboratorium dengan cara sebagai berikut:

1. Diambil ± 20 liter sampel air limbah *Outlet* tangki sedimentasi menggunakan ember plastik.
2. Dituangkan masing-masing sebanyak 1 liter sampel air limbah ke dalam piala gelas 1 liter.

3. Ditambahkan Natrium Hipoklorit (NaClO) ke dalam setiap piala gelas hingga menghasilkan beberapa variasi konsentrasi (0 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, dan 20 ppm).
4. Sampel yang telah dibubuhi NaClO kemudian ditempatkan di atas *magnetic stirrer* dan diaduk selama ± 3 menit dengan kecepatan 45 rpm (rumus perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A).
5. Setelah sampel selesai diaduk, diamkan selama $\pm 1,5$ jam (rumus perhitungan dapat dilihat pada Lampiran A). waktu reaksi tersebut disesuaikan dengan waktu tinggal air limbah dalam IPAL PT Merck Tbk. sebelum dibuang ke perairan umum.
6. Setelah sampel didiamkan sesuai waktu yang ditentukan, saring sampel dengan menggunakan kertas saring berabu untuk memisahkan cairan bening dengan padatan tersuspensi pada sampel air limbah.
7. Sampel yang telah disaring, dipipet masing-masing sebanyak 10 ml sampel ke dalam tabung reaksi kosong berukuran 10 ml.
8. Sampel pada tabung reaksi tersebut ditambahkan 1 dosis *reagent Cl₂-1* lalu homogenkan hingga merata dan tunggu untuk waktu reaksi selama 1 menit.
9. Sampel yang telah ditambahkan *reagent Cl₂-1* kemudian dituangkan ke dalam kuvet ukuran 10 mm.
10. Kuvet yang telah berisi sampel dimasukkan ke dalam alat *Spectrophotometer Spectroquant NOVA 60* untuk kemudian diukur konsentrasi klorin bebas pada sampel. (tampilan pada layar alat akan muncul nilai klorin bebas dengan satuan mg/L Cl₂)
11. Ulangi langkah 2 sampai 9 dengan rentang variasi dosis NaClO yang lebih kecil hingga didapatkan dosis optimum.
12. Lakukan pengukuran terhadap blanko sampel air limbah dengan mengulang langkah 6 sampai 9.

Teknik perhitungan data yang digunakan dalam penelitian diantaranya:

a. Pembubuhan Klorin Tiap Variasi Konsentrasi Konsentrasi NaClO 12% v/v = 120.000 ppm (mg/L) $V1 \times C1 = V2 \times C2$

Keterangan:

V1 = Volume NaClO 12% yang ditambahkan

C1 = Konsentrasi awal NaClO 12% V2 = Volume larutan yang dibuat dengan konsentrasi yang diinginkan

C2 = Konsentrasi larutan yang ingin dibuat

b. Perhitungan Jumlah Bakteri Koliform (MPN/100 ml)

$$\text{MPN Contoh} = \frac{\text{MPN}}{\text{ml atau g}} - \frac{\text{Nilai MPN Tabel}}{100} \times \text{factor pengenceran}$$

Tabel 3. 1. MPN Seri 3 Tabung

Jumlah tabung positif			MPN/g	Batas kepercayaan 95%	
0,1 g	0,01 g	0,001 g		Bawah	Atas
0	0	0	<3,6	-	9,5
0	0	1	3	0,15	9,6
0	1	0	3	0,15	11
0	1	1	6,1	1,2	18
0	2	0	6,2	1,2	18
0	3	0	9,4	3,6	38
1	0	0	3,6	0,17	18
1	0	1	7,2	1,3	18
1	0	2	11	3,6	38
1	1	0	7,4	1,3	20
1	1	1	11	3,6	38
1	2	0	11	3,6	42
	2	1	15	4,5	42

Jumlah tabung positif			MPN/g	Batas kepercayaan 95%	
0,1 g	0,01 g	0,001 g		Bawah	Atas
1	3	0	16	4,5	42
2	0	0	9,2	1,4	38
2	0	1	14	3,6	42
2	0	2	20	4,5	42
2	1	0	15	3,7	42
2	1	1	20	4,5	42
2	1	2	27	8,7	94
2	2	0	21	4,5	42
2	2	1	28	8,7	94
2	2	2	35	8,7	94
2	3	0	29	8,7	94
2	3	1	36	8,7	94
3	0	0	23	4,6	94
3	0	1	38	8,7	110
3	0	2	64	17	180
3	1	0	43	9	180
3	1	1	75	17	200
3	1	2	120	37	420
3	1	3	160	40	420
3	2	0	93	18	420
3	2	1	150	37	420
3	2	2	210	40	430
3	2	3	290	90	1.000
3	3	0	240	42	1.000
3	3	1	460	90	2.000
3	3	2	1.100	180	4.100
3	3	3	>1.100	420	-

Sumber: SNI nomor 06-4158-1996

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian skala laboratorium dilakukan bertujuan untuk memberikan gambaran dosis klorin yang dibubuhkan pada IPAL secara efisien. Pada Penelitian yang dilakukan dibutuhkan sampel air limbah minimal 20 liter air limbah. Pada penelitian skala laboratorium dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 45 rpm selama 3 menit dan larutan didiamkan selama 1,5 jam. Lama waktu 1,5 jam berdasarkan waktu tinggal IPAL pada bak pemilahan sebelum air limbah dipompa keluar dari IPAL.

Pada penelitian ini, penulis melakukan 9 hari penelitian dengan beberapa variasi dosis penambahan hingga mendapatkan konsentrasi dosis optimum pembubuhan klorin pada IPAL.

Pada penelitian ini dilakukan 2 tahap.

Tahap pertama yaitu penelitian dengan beberapa variasi konsentrasi yang besar.

Tahap kedua yaitu dilakukannya penelitian dengan beberapa variasi konsentrasi NaClO dengan rentang yang lebih sempit. Dari konsentrasi dosis optimum yang ditetapkan dilakukan pengujian total bakteri koliform sebanyak satu kali pengujian untuk memastikan adanya penurunan jumlah bakteri koliform dari sampel blanko dan sampel konsentrasi dosis optimum. Pengujian total bakteri koliform dilakukan pada trial ke 1. Hasil dari semua penelitian dituangkan dalam bentuk table dan grafik untuk dapat menyimpulkan dosis optimum penampunan NaClO yang aman dan efisien.

Tabel.1. Hasil Penelitian Tahap Pertama

No.	Dosis NaClO	Hasil Pengukuran Klorin Bebas (mg/L)								
		<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>	<i>Trial</i>
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	0 ppm	0,48	0,51	0,52	0,68	0,61	0,52	0,55	0,49	0,53
2.	1 ppm	0,54	0,60	0,62	0,72	0,66	0,57	0,56	0,61	0,66
3.	5 ppm	0,73	0,77	0,69	0,93	0,79	0,88	0,73	0,75	0,71
4.	10 ppm	1,14	0,93	1,08	1,12	0,89	0,94	0,85	0,96	1,11
5.	15 ppm	1,23	1,19	1,17	1,21	1,09	1,16	0,98	1,17	1,21
6.	20 ppm	1,34	1,47	1,25	1,22	1,11	1,23	1,13	1,23	1,27

Berdasarkan tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan konsentrasi dosis NaClO pada sampel air limbah dari setiap hasil penelitian tahap awal. Hasil penelitian tahap awal akan dijadikan dasar untuk menentukan rentang konsentrasi sampel penelitian untuk penelitian tahap kedua.

Pada penelitian skala laboratorium, penulis menetapkan batas nilai klorin bebas yang dihasilkan dengan *safety factor* sebesar 20% dari nilai baku mutu klorin bebas, dalam hal ini berarti batas nilai klorin bebas yang dihasilkan pada setiap penelitian maksimum sebesar 0,8 mg/L. Berdasarkan hasil nilai klorin bebas yang disajikan pada tabel 1 menunjukkan bahwa rentang konsentrasi dosis optimum berada diantara konsentrasi 5 mg/L sampai 10 mg/L. Untuk rentang dari penelitian tahap kedua dari tiap-tiap *trial* dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Rentang Dosis NaClO Pada Penelitian Tahap Kedua

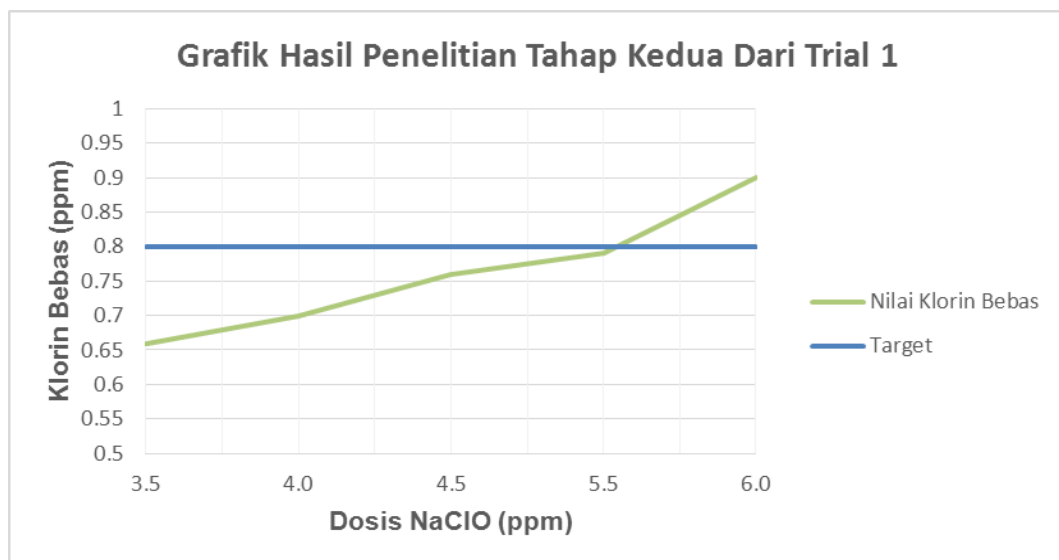
No.	Penelitian	Dosis Penambahan NaClO (mg/L)
1.	<i>Trial 1</i>	3,5; 4; 4,5; 5,5; dan 6
2.	<i>Trial 2</i>	5; 6; 7; 8; dan 9
3.	<i>Trial 3</i>	5; 6; 7; 8; dan 9
4.	<i>Trial 4</i>	1,5; 2; 3; 3,5; dan 4,5
5.	<i>Trial 5</i>	5; 6; 7; 8; dan 9
6.	<i>Trial 6</i>	1,5; 2; 3; 3,5; dan 4,5
7.	<i>Trial 7</i>	5; 6; 7; 8; dan 9
8.	<i>Trial 8</i>	5; 6; 7; 8; dan 9
9.	<i>Trial 9</i>	5; 6; 7; 8; dan 9

Hasil dari *Trial* tahap kedua disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan dalam pembacaan dan penentuan dosis optimum NaClO. Berdasarkan hasil penelitian tahap kedua pada *Trial 1* menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,79 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 5,5 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial 1* sebesar 5,5 mg/L.

Pada *Trial 1* dilakukan pengujian total bakteri koliform pada sampel blanko dan sampel konsentrasi dosis optimum dengan hasil jumlah bakteri koliform pada sampel blanko sebesar 3000 jumlah/100 mL, sedangkan hasil jumlah bakteri koliform pada sampel konsentrasi dosis optimum sebesar 300 jumlah/100 mL.

Tabel 3. Hasil Penelitian Tahap Kedua dari *Trial Ke-1*

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)	Bakteri Koliform Pada Blanko	Bakteri Koliform Pada Konsentrasi Dosis Optimum
1.	3,5	0,66	-	-
2.	4	0,70	-	-
3.	4,5	0,76	-	-
4.	5,5	0,79	3000	300
5.	6	0,82	-	-

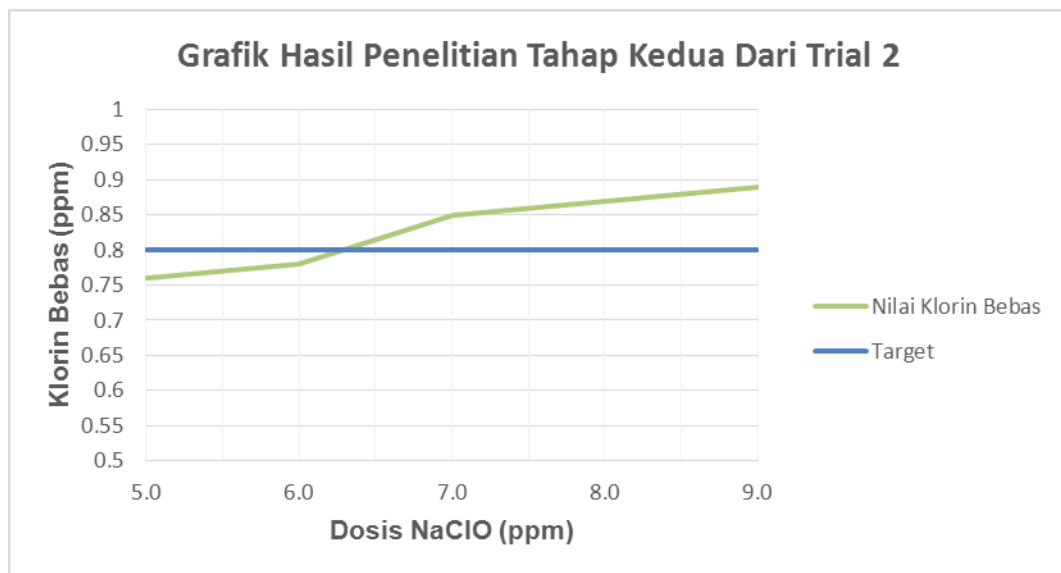


Gambar 1. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua dari *Trial Ke-1*

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial 2* menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,78 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 6 mg/L. Dengan demikian dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial 2* sebesar 6 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial ke-2*.

Tabel 4. Hasil Penelitian Tahap Kedua dari *Trial Ke-2*

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5	0,76
2.	6	0,78
3.	7	0,85
4.	8	0,87
5.	9	0,89

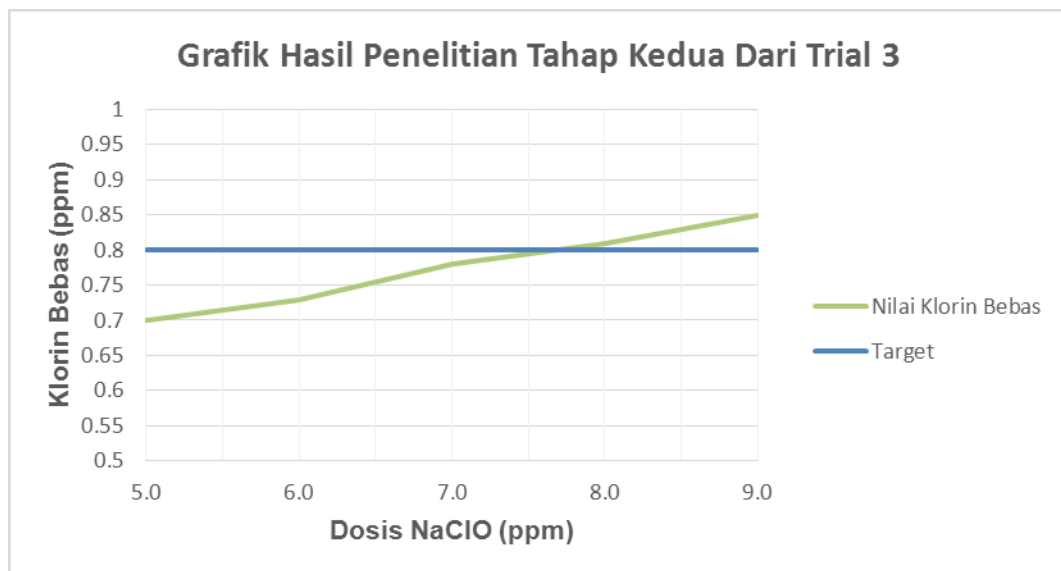


Gambar 2. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial Ke-2*

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial 3* menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,78 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 7 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial 2* sebesar 7 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-3.

Tabel 5. Hasil Penelitian Tahap Kedua dari *Trial* Ke-3

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5	0,70
2.	6	0,73
3.	7	0,78
4.	8	0,81
5.	9	0,85

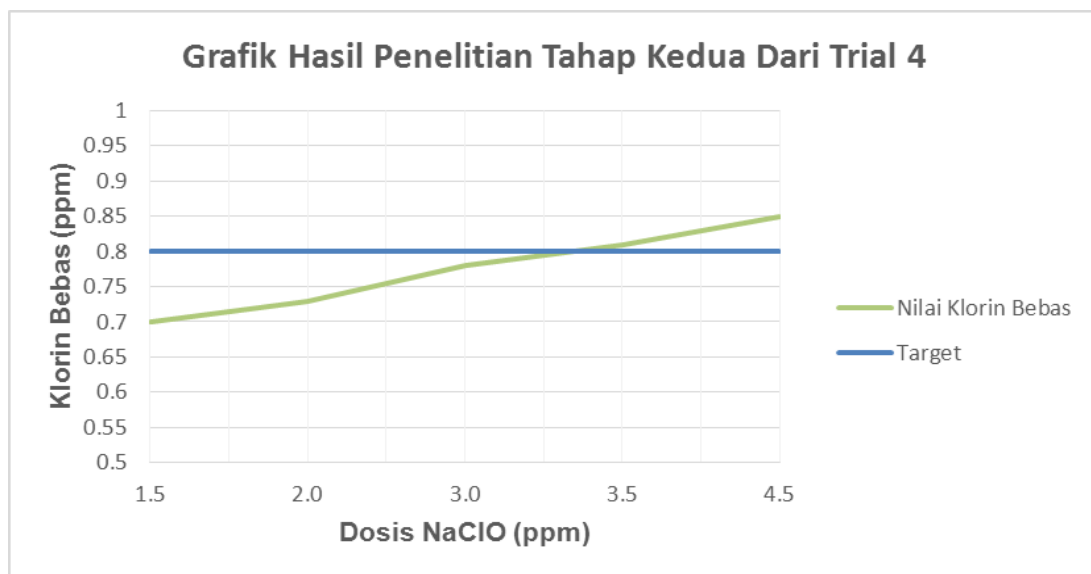


Gambar 3. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-3

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial 4* menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,74 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 2 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial 2* sebesar 2 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-4 .

Tabel 6. Hasil Penelitian Tahap Kedua dari *Trial* Ke-4

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	1,5	0,73
2.	2	0,74
3.	3	0,84
4.	3,5	0,85
5.	4,5	0,91



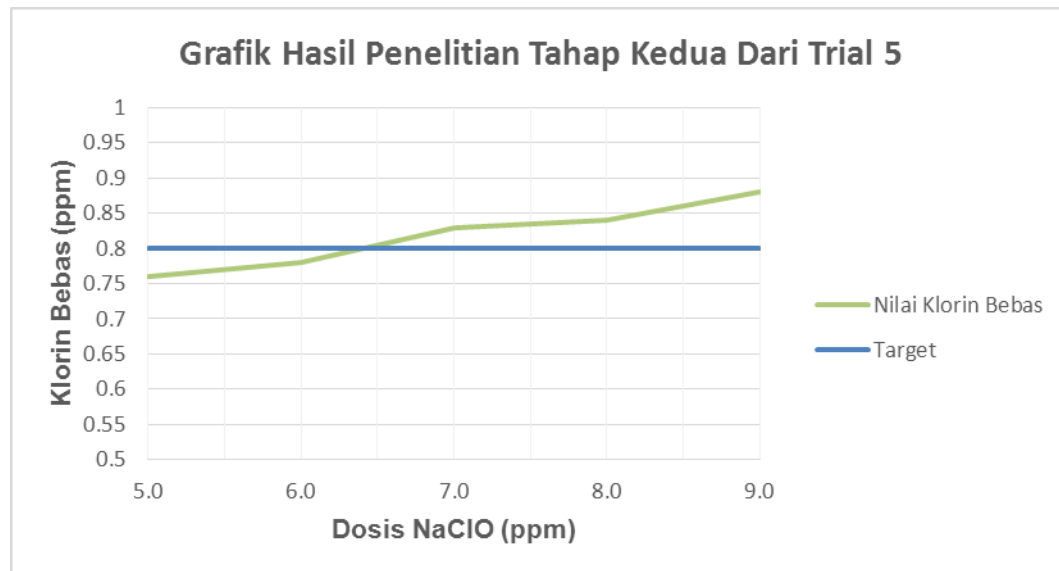
Gambar 4. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-4

Berdasarkan hasil penelitian tahap kedua pada *Trial 5* menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,78 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 6 mg/L. Dengan

demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial 2* sebesar 6 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-5 .

Tabel 7. Hasil Penelitian Tahap Kedua *Trial* Ke-5

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5	0,76
2.	6	0,78
3.	7	0,83
4.	8	0,84
5.	9	0,91

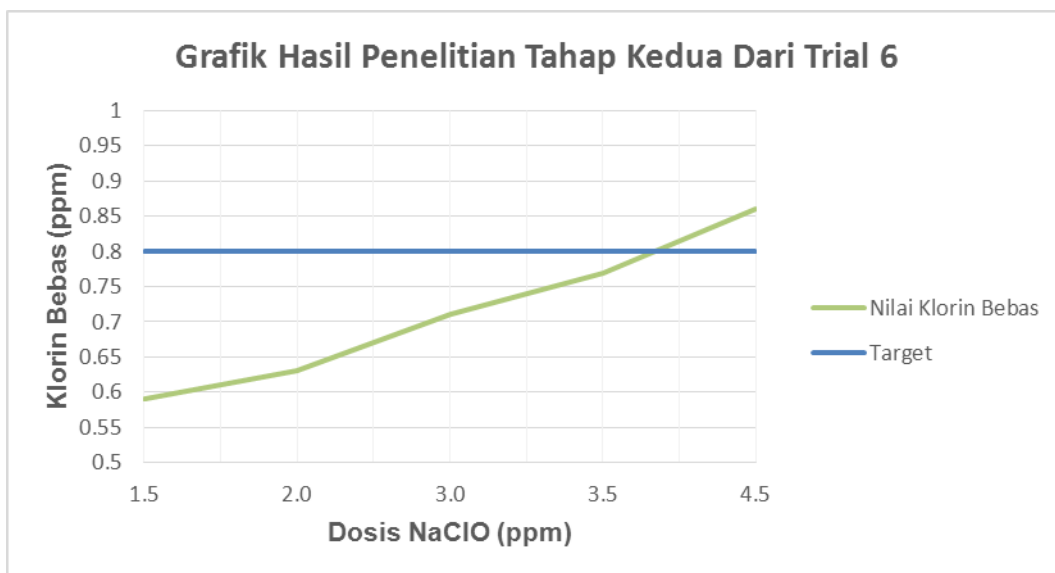


Gambar 5. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-5

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial 6* menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,77 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 3,5 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial 2* sebesar 3,5 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-6 .

Tabel 8. Hasil Penelitian Tahap Kedua *Trial* Ke-6

No.	Dosis (mg/L)	NaClO	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	1,5		0,59
2.	2		0,63
3.	3		0,71
4.	3,5		0,77
5.	4,5		0,86

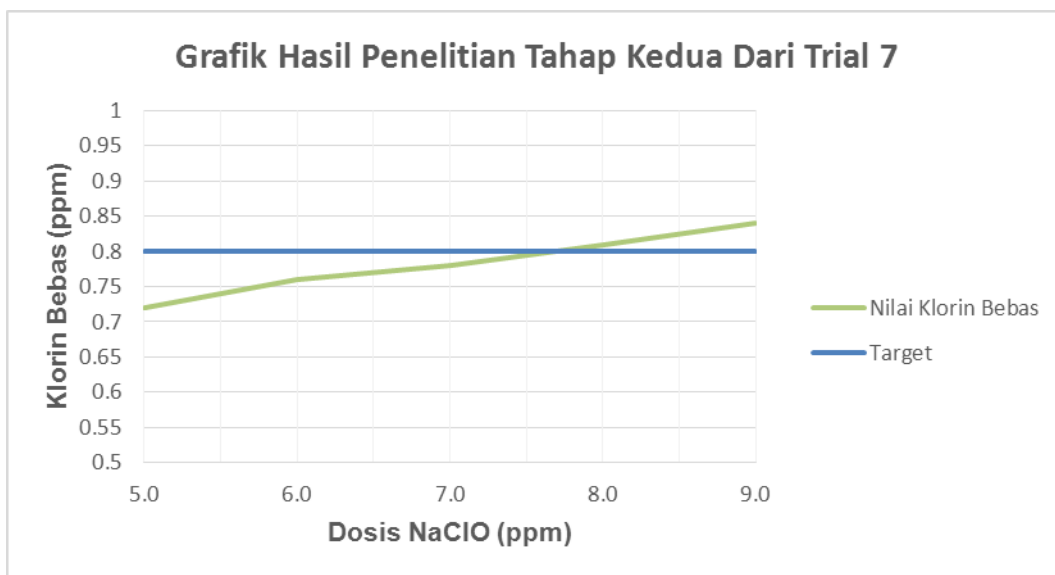


Gambar 6. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-6

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial* 7 menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,78 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 7 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial* 2 sebesar 7 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-7.

Tabel 9. Hasil Penelitian Tahap Kedua *Trial* Ke-7

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5	0,72
2.	6	0,76
3.	7	0,78
4.	8	0,81
5.	9	0,94

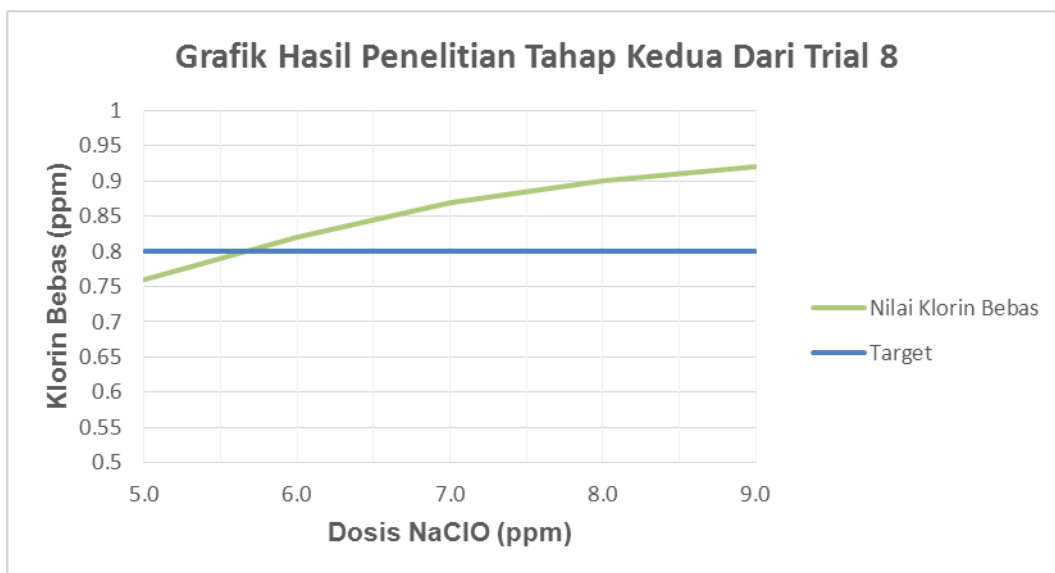


Gambar 7. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-7

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial* 8 menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,76 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 5 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial* 2 sebesar 5 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-8.

Tabel 10. Hasil Penelitian Tahap Kedua *Trial* Ke-8

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5	0,76
2.	6	0,82
3.	7	0,87
4.	8	0,90
5.	9	0,92

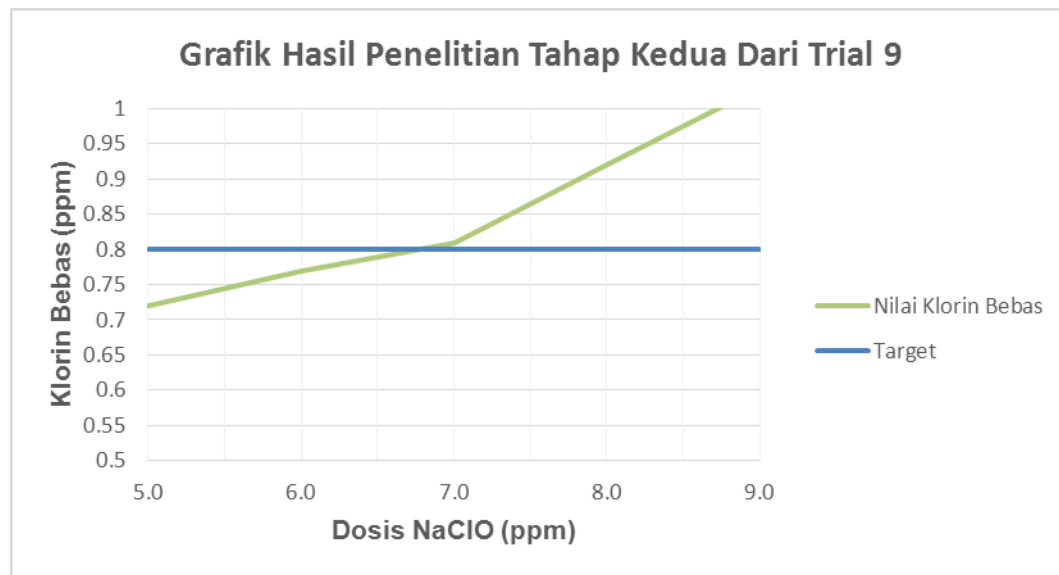


Gambar 8. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-8

Berdasarkan hasil Penelitian tahap kedua pada *Trial* 9 menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan sebesar 0,77 mg/L berada pada dosis NaClO sebesar 6 mg/L. Dengan demikian, dosis optimum yang ditetapkan pada *Trial* 2 sebesar 6 mg/L. Di bawah ini dapat dilihat hasil penelitian tahap kedua dari *trial* ke-9.

Tabel 11. Hasil Penelitian Tahap Kedua *Trial* Ke-9

No.	Dosis NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5	0,72
2.	6	0,77
3.	7	0,81
4.	8	0,92
5.	9	1,03



Gambar 9. Grafik Hasil Penelitian Tahap Kedua Dari *Trial* Ke-9

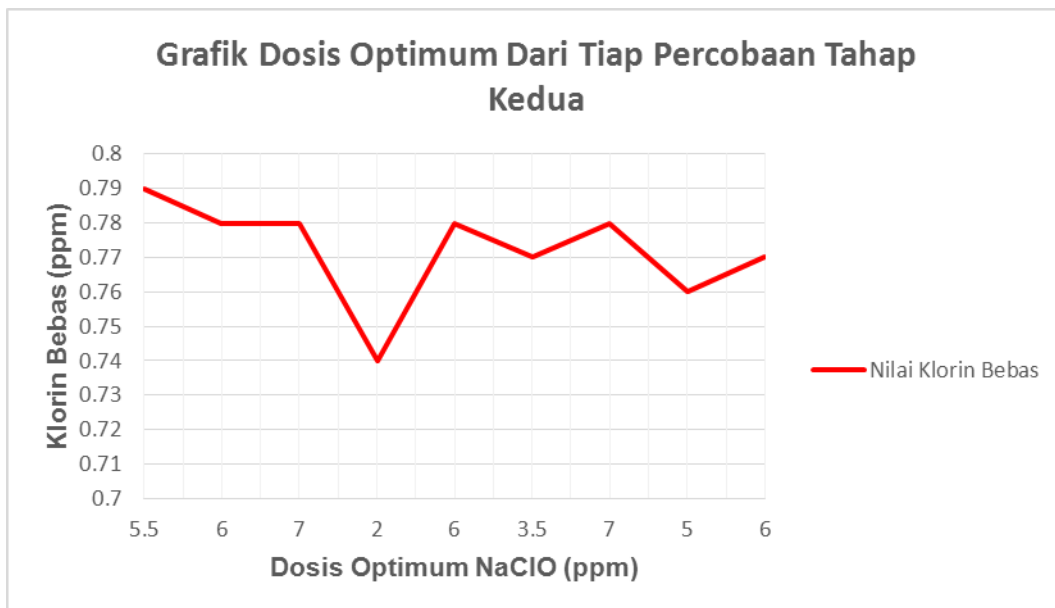
Penentuan Dosis Optimum

Dosis Optimum dalam penambahan Natrium Hipoklorit (NaClO) ke IPAL PT Merck Tbk. dapat ditentukan dari hasil Penelitian skala laboratorium dengan metode *Jartest*. Dari penjelasan sebelumnya tentang hasil Penelitian tahap kedua dapat ditarik kesimpulan dosis optimum dari masing-masing *Trial*. Nilai dosis optimum yang akan diambil adalah konsentrasi penambahan NaClO terbesar yang menghasilkan nilai klorin bebas kurang dari sama dengan 0,8 mg/L. Penetapan nilai klorin bebas sebesar 0,8 mg/L merupakan target penulis sebagai *safety factor* terhadap sistem dengan baku mutu klorin bebas yang

berlaku. Hasil konsentrasi dosis optimum dari masing-masing *Trial* terlihat hasil yang variatif. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan kualitas dan kuantitas air limbah yang masuk ke sistem IPAL berbeda-beda tiap harinya, sehingga konsentrasi dosis optimum yang dihasilkan berbeda-beda

Tabel 12. Konsentrasi Dosis Optimum Tiap Penelitian Tahap Kedua

No.	Dosis Optimum NaClO (mg/L)	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	5,5	0,79
2.	6	0,78
3.	7	0,78
4.	2	0,74
5.	6	0,78
6.	3,5	0,77
7.	7	0,78
8.	5	0,76
9.	6	0,77



Gambar 10. Grafik Dosis Optimum Dari Tiap Penelitian Tahap Kedua

Tabel 13. Hasil *Software SPSS*

No.	R	R Square	Adjusted Square	R Std. Error of the Estimated
1.	0,789	0,623	0,569	0,00972

Sumber: *Software SPSS*

Dari konsentrasi dosis optimum dan nilai klorin bebas yang didapat, kemudian dilakukan analisa statistik dengan program *SPSS* dengan hasil seperti pada tabel 13 diatas. Dari hasil analisa statistik yang dilakukan, didapat nilai regresi (R) sebesar 0,789. Hal ini dapat diartikan bahwa hubungan kedua variabel antara dosis klorin dengan klorin bebas bersifat kuat yang berarti terdapat hubungan yang kuat dengan kenaikan dosis klorin.

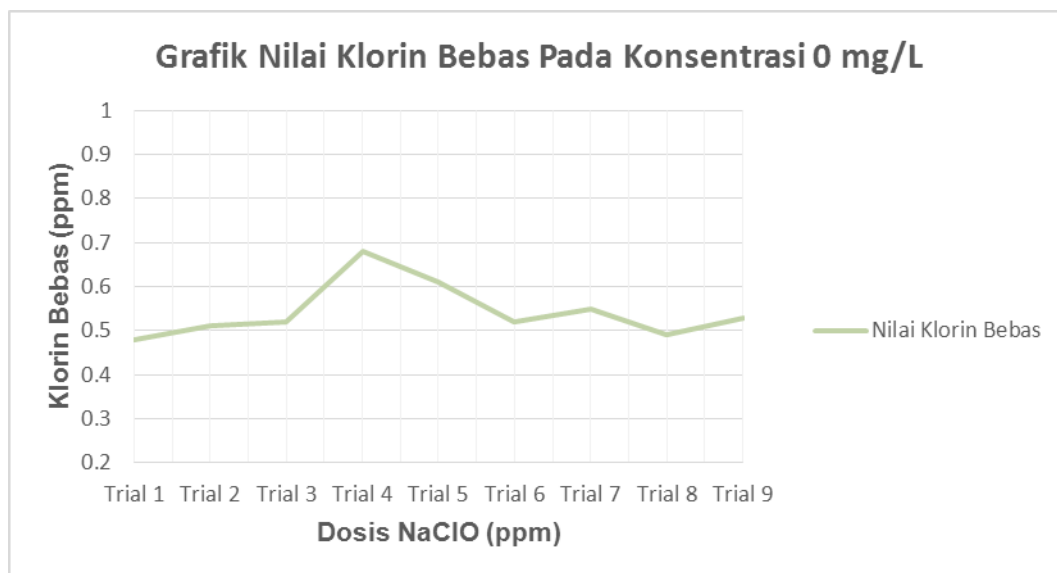
Bila ditinjau dari nilai koefisien determinasi (R²) dari hasil analisa statistik yang dilakukan memiliki nilai sebesar 62,3%, artinya presentase pengaruh dosis klorin terhadap nilai klorin bebas sebesar

62,3% dan 37,7% nya dipengaruhi oleh faktor lain. Faktor lain yang mempengaruhi nilai klorin bebas yaitu karakteristik dari air limbah itu sendiri. Hal ini terbukti dari hasil nilai klorin pada penelitian tahap awal yang dilakukan, dimana pada penelitian tahap awal untuk konsentrasi 0 mg/L (sampel blanko) sudah memiliki nilai klorin bebas yang berkisar antara 0,41 mg/L sampai 0,68 mg/L. Pada tabel 14 disajikan nilai klorin bebas pada konsentrasi 0 mg/L dari penelitian tahap awal.

Tabel 14. Nilai Klorin Bebas Pada Konsentrasi 0 mg/L

No.	Penelitian	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	<i>Trial 1</i>	0,48
2.	<i>Trial 2</i>	0,51
3.	<i>Trial 3</i>	0,52
4.	<i>Trial 4</i>	0,68
5.	<i>Trial 5</i>	0,61

No.	Penelitian	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
6.	<i>Trial 6</i>	0,52
7.	<i>Trial 7</i>	0,55
8.	<i>Trial 8</i>	0,49
9.	<i>Trial 9</i>	0,53



Gambar 11. Grafik Nilai Klorin Bebas Pada Konsentrasi 0 mg/L

Berdasarkan nilai dosis optimum dari masing-masing penelitian seperti pada tabel 13, penulis menarik kesimpulan untuk konsentrasi dosis optimum yang akan digunakan sebagai pembubuhan Natrium Hipoklorit (NaClO) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). adalah 6 mg/L. Pemilihan konsentrasi klorin 6 mg/L sebagai dosis optimum karena pada dosis tersebut merupakan nilai yang sering muncul untuk ditentukan dosis optimum pada penelitian tahap kedua yang telah dilakukan.

Tahap kedua lainnya terdapat pula konsentrasi dosis optimum yang ditetapkan kurang dari 6 mg/L pada *trial* ke-4 dan ke-6 yaitu pada konsentrasi 2 mg/L dan 3,5 mg/L. Pada konsentrasi tersebut tidak penulis tetapkan sebagai simpulan akhir dosis optimum karena kualitas air limbah yang diolah bervariasi tiap harinya, sehingga bila

ditetapkan konsentrasi dosis optimum penelitian pada 2 mg/L ditakutkan masih belum dapat menurunkan bakteri koliform karena selain klorin bereaksi dengan mikroorganisme, klorin juga dapat bereaksi dengan zat organik dan zat anorganik lainnya.

Tabel 15. Nilai Klorin Bebas Pada Konsentrasi 6 mg/L

No.	Penelitian	Nilai Klorin Bebas (mg/L)
1.	<i>Trial 1</i>	0,82
2.	<i>Trial 2</i>	0,78
3.	<i>Trial 3</i>	0,73
4.	<i>Trial 4</i>	-
5.	<i>Trial 5</i>	0,78
6.	<i>Trial 6</i>	-
7.	<i>Trial 7</i>	0,76
8.	<i>Trial 8</i>	0,82
9.	<i>Trial 9</i>	0,77

Berdasarkan nilai klorin bebas yang dihasilkan pada konsentrasi NaClO sebesar 6 mg/L seperti pada tabel 16, menunjukkan bahwa nilai klorin bebas yang dihasilkan berkisar antara 0,73 mg/L sampai 0,82 mg/L. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa konsentrasi dosis optimum yang ditetapkan penulis sebesar 6 mg/L masih menghasilkan rentang nilai klorin bebas yang sesuai dengan target peneliti. Namun, pada penelitian ke-4 dan ke-6 hanya dilakukan penelitian tahap kedua sampai pada konsentrasi dosis klorin 4,5 mg/L saja karena saat penelitian tahap pertama pada konsentrasi 5 mg/L sudah menghasilkan nilai klorin bebas yang melebihi target penulis. Hal tersebut terjadi karena sampel air limbah yang diuji pada saat penelitian ke-4 dan ke-6 dalam kondisi tidak berwarna. Karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mohamadreza Massoudinejad didapat hasil bahwa terdapat hubungan antara warna dengan konsentrasi penambahan klorin. Mohamadreza Massoudinejad pada tahun 2015 melakukan penelitian penghilangan warna dan COD pada industri tekstil dengan hipoklorit.

Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian skala laboratorium yang dilakukan untuk menentukan dosis optimum dalam penambahan Natrium Hipoklorit (NaClO) pada IPAL dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari penelitian skala laboratorium yang telah dilakukan terdapat dosis optimum yang bervariasi pada tiap penelitiannya. Hal ini dikarenakan kualitas dan kuantitas air limbah yang masuk ke sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah Perusahaan/Industri Farmasi. bervariasi tiap harinya.
2. Dosis optimum yang didapat dari penelitian skala laboratorium adalah sebesar 6 mg/L dan dapat menurunkan jumlah bakteri koliform menjadi 300 jumlah/100 mL.
3. Hasil analisa statistik dengan *Software SPSS* yang menghubungkan antara dosis klorin yang ditambahkan dengan nilai klorin bebas yang dihasilkan memiliki nilai sebesar 0,789 yang berarti terdapat hubungan yang kuat antara bertambahnya dosis klorin dengan meningkatnya pula nilai klorin bebas yang dihasilkan.

Saran

Saran yang dapat penulis berikan agar Instalasi Pengolahan Air Limbah Perusahaan/Industri Farmasi. selalu berjalan dengan baik, sebaiknya setelah menetapkan dan menggunakan konsentrasi dosis optimum ke dalam sistem IPAL , perlu dilakukan pengujian kualitas mikroba untuk memastikan bahwa konsentrasi klorin yang dibubuhkan sudah dapat menurunkan jumlah total bakteri koliform pada air limbah yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Black & Veach Corporation. 2010. *White's Handbook of Chlorination and Alternatives Desinfectant*. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.
- Elela, Abou, et al. 2012. *Comparative Study of Disinfection of Secondary Treated Wastewater Using Chlorine, UV and Ozone*. Journal of Applied Sciences Research, 8(10): 5190-5197.
- EPA Victoria, Environment Protection Authority Victoria. 1999. *Wastewater Technology Fact Sheet: Chlorine*. Diakses pada tanggal 10 April 2017.
- Fuadi, Azhar. 2012. Pengaruh Residual Klorin Terhadap Kualitas Mikrobiologi Pada Jaringan Distribusi Air Bersih. Universitas Indonesia: Depok.
- Helbing, E. Demian, & Jeanne M. VanBriesen. 2007. *Free chlorine demand and cell survival of microbial suspensions*. *Water Research*, Volume 41, 4424-4434.
- Massoudinejad, Mohamadreza, et al. 2015. *The Removal of COD and Color from Textile Industry by Chlorine Hypochlorite*. *International Journal of Advanced Science and Technology*: volume 75, hal. 35-42
- Metcalf, & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. New York: Mc Graw Hill Inc.
- Mezzanote, Valeria, et al. 2007. *Wastewater Disinfection Alternatives: Chlorine, Ozone, Peracetic Acid, and UV Light*. *Water Environment Research*: Volume 70.
- Nelson, I. Nemerow, Franklin J. Agardy, Patrick Sullivan, and Joseph A. Salvato. 2009. *Environmental Engineering. Sixth Edition*.

- Netshidaulu, Ahuiwi Emmanuel. 2015. *Impact Of Chlorine And Wastewater Contact Time, Chlorine Residual And Mixing On Microorganism Inactivation*. Johannesburg: University Of The Witwatersrand Johannesburg.
- Nugroho, Rudi. Pemilihan Teknologi Yang Tepat Untuk Pengolahan Air Limbah Domestik DI Perkotaan.
- Shovitri, Maya. 2011. Apakah *Breakpoint Chlorination* (BPC) Selalu Aplikatif Untuk Mengolah Limbah Cair Rumah Sakit?. *Jurnal Purifikasi*: Volume 12, 83-92.
- Siregar, Sakti A. 2009. Instalasi Pengolahan Air Limbah. Yogyakarta: Kanisius.
- Sugiharto. 1987. Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah, Jakarta: UI Press.
- Supriyadi, dkk. 2016. Pengaruh Dosis Klorin Pada Pertumbuhan Bakteri Coliform Total Dan Escherichia Coli Pada Sungai Kreo, Sungai Garang Dan Sungai Tugu Suharto. Vol.12 (1), 30-35. Semarang: Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Sutrisno, Totok. 2002. Teknologi Penyediaan Air Bersih. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Wardhana, W. A. 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: Andi Offset.
- Winwarda, G.P, Avery, L.M, Stephenson, T and Jefferson. 2008. *Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles*. *Water Research*, Vol. 42, pp.483–491.