

EFEKTIVITAS KOAGULAN KITOSAN PADA PENGOLAHAN AIR DI UNIT WATER TREATMENT PPSDM MIGAS CEPU

¹Mutakhabbatillah, ¹Rinda Mahendra, ¹Achmad Chumaidi, ²Rieza Mahendra Kusuma
¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
²PPSDM Migas Cepu, Jl. Sorogo No.1, Karangboyo, Kec. Cepu, Blora 58315, Indonesia
khabbiba@gmail.com ; [achmad.chumaidi@yahoo.com]

ABSTRAK

Air Sungai Bengawan Solo digunakan sebagai bahan baku pengolahan air di *Unit Water Treatment* PPSDM Migas Cepu. Air sungai ini diolah menjadi air industri dan air bersih yang didistribusikan ke konsumen. Metode yang digunakan adalah koagulasi flokulasi. Penggunaan koagulan dari bahan kimia pada metode tersebut sudah sering digunakan daripada koagulan alami. Pada penelitian ini menggunakan metode koagulasi flokulasi dengan kitosan dari cangkang udang sebagai koagulan. Kitosan dimodifikasi dengan menaut silangkan glutaraldehida atau disebut dengan *crosslink* glutaraldehida (*crosslink* GA). Penelitian ini untuk mengetahui efektivitas penurunan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), *turbidity*, dan pH pada air bersih di *Unit Water Treatment* PPSDM Migas Cepu menggunakan kitosan tanpa modifikasi dan dengan modifikasi. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis dosis kitosan sebesar 400, 500, 600, dan 700 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan *crosslink* GA lebih efektif menurunkan kadar TSS, *turbidity*, dan pH yang optimum pada dosis 400 dan 700 ppm dengan nilai masing-masing sebesar 24 mg/L; 7,86 mg/L; dan 7,26. Koagulan kitosan juga efektif menurunkan nilai BOD dengan nilai sebesar 0,135 mg/L pada dosis 700 ppm. Sedangkan COD tidak dapat diturunkan kadarnya menggunakan kedua koagulan karena pemberian dosis yang tidak sesuai.

Kata kunci: *crosslink, flokulasi, kitosan, koagulasi, water treatment*

ABSTRACT

Bengawan Solo River water is used as a raw material for water treatment in the PPSDM Migas Cepu Water Treatment Unit. This river water is processed into industrial water and clean water is distributed to consumers. The method used is flocculation coagulation. The use of coagulants from chemicals in such methods is often used rather than natural coagulants. In this study using the method of coagulation of flocculation with chitosan from shrimp shells as coagulants. Chitosan is modified by cross-linking glutaraldehyde or called crosslink glutaraldehyde (crosslink GA). This study was to determine the effectiveness of reducing BOD (Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), TSS (Total Suspended Solid), turbidity, and pH in clean water in the PPSDM Water Treatment Unit of Migas Cepu using chitosan without modification and with modification. The variables used in the study were chitosan dose types of 400, 500, 600, and 700 ppm. The results showed that GA crosslink chitosan was more effective at lowering optimum levels of TSS, turbidity, and pH at doses of 400 and 700 ppm with values respectively of 24 mg/L; 7,86 mg/L; and 7,26. Chitosan coagulants are also effective at lowering BOD values by 0, 135 mg/L at 700 ppm. While COD cannot be lowered using both coagulants due to improper dosing.

Keywords: *crosslink, flocculation, chitosan, coagulation, water treatment.*

1. PENDAHULUAN

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) Cepu adalah instansi pemerintah pusat di bawah Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. PPSDM Migas Cepu menjadi salah satu instansi yang melayani dalam penyediaan air bersih. PPSDM Migas Cepu sendiri menggunakan air baku dari Sungai Bengawan Solo untuk diolah menjadi air industri dan air bersih melalui Unit *Water Treatment Plant* dengan berbagai proses yang ada.

Pada proses pengolahan air sungai menjadi air bersih memang tidak dapat lepas dari penggunaan bahan kimia yang digunakan sebagai penjernih air. Bahan-bahan kimia tersebut ditambahkan sebagai koagulan saat proses koagulasi flokulasi. Pemilihan pemakaian tawas sebagai koagulan dilakukan karena tawas dapat menjernihkan air dengan cara mengikat padatan tersuspensi [1], mudah didapat dan memiliki harga yang relatif terjangkau. Meskipun lebih praktis dan mudah diperoleh, tetapi pemakaian koagulan sintetik yang berlebih akan menimbulkan efek yang tidak baik bagi lingkungan maupun kesehatan. Hal tersebut dikarenakan koagulan sintetik tidak mudah terbiodegradasi [2].

Untuk mengurangi penggunaan zat kimia yang tinggi, maka diperlukan metode alternatif dengan memanfaatkan bahan alami sebagai penjernih air. Salah satu koagulan alami tersebut adalah kitosan. Kitosan cukup efektif dalam proses penjernihan air dan air limbah [3]. Menurut penelitian Ihsani dan Widyastuti pada tahun 2015, keunggulan kitosan sebagai koagulan berupa sifat yang tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi, tidak mencemari lingkungan, dan mudah mengikat protein di air sehingga dapat menjernihkan air [2].

Kitosan merupakan senyawa polimer alam dari turunan kitin yang telah melewati proses isolasi, deproteinasi, dan demineralisasi [4]. Jenis kitosan yang digunakan untuk menjernihkan air berupa kitosan dan kitosan *crosslink* GA. Penelitian yang dilakukan oleh Hendrawati dan S. L. Ihsani kitosan digunakan sebagai biokoagulan mampu menurunkan nilai kekeruhan air sungai dan danau [2][5]. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Fathurrahman M. pada tahun 2017 yang memanfaatkan kitosan bertaut silang glutaraldehida sebagai adsorben dengan kemampuan menyerap ion Fe(III) sebesar 91,9521% pada pemurnian minyak akar wangi [6]. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh D. H. Sukma pada tahun 2018 kitosan dengan modifikasi *crosslink* GA memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan kitosan cair (larutan kitosan) [7].

Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan dosis optimum kitosan terhadap kualitas effluent air yang sesuai dengan baku mutu air bersih serta menentukan jenis koagulan kitosan yang sesuai untuk pengolahan air di Unit WTP PPSDM Migas Cepu. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah dosis kitosan dan jenis kitosan. Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan pemanfaatan kitosan dari cangkang udang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian efektivitas koagulan kitosan ini bertujuan menentukan dosis optimum koagulan dan jenis koagulan kitosan yang sesuai terhadap kualitas effluent air yang memenuhi baku mutu air bersih untuk pengolahan air di Unit WTP PPSDM Migas Cepu. Metode yang digunakan kuantitatif dan dilakukan dalam skala laboratorium. Analisa yang dilakukan yaitu

COD, BOD, pH, *Turbidity*, dan TSS sebelum dan sesudah ditambahkan koagulan kitosan (modifikasi dan tanpa modifikasi) dengan variasi konsentrasi masing-masing 400, 500, 600, dan 700 ppm untuk mengetahui efektivitasnya. Konsentrasi dan jenis koagulan yang efektif adalah yang dapat menghasilkan perubahan nilai parameter analisis terbesar. Kitosan dibeli dari CV. Sentra Teknosains Indonesia.

2.1. Pengaktifasian koagulan

Aktivasi kitosan dilakukan dengan menambahkan larutan asam asetat 2% menggunakan metode yang dilakukan oleh Ratnawulan, A., Noor, E. and Suptijah, P. pada tahun 2018 [3].

$$v1 \times \text{ppm kitosan} = v2 \times \text{ppm kitosan } 10\% \quad (1)$$

Keterangan :

- v1 = Volume larutan induk kitosan (ml)
 ppm kitosan = Dosis kitosan yang diinginkan (ppm)
 v2 = Volume kitosan dari larutan induk (ml)
 ppm kitosan 10% = Larutan induk kitosan 10% = 100.000 ppm

2.2. Pembuatan Kitosan Crosslink GA

Kitosan crosslink GA dibuat dengan cara menambahkan glutaraldehid 2,5% pada kitosan menggunakan metode yang dilakukan Muharam S., Sugita P, dan Wulanawati A. pada tahun 2010 [8].

2.3. Analisa FT-IR

Modifikasi kitosan *crosslink* GA dengan membandingkan perubahan gugus fungsi antara kitosan dan kitosan modifikasi. Gugus fungsi dapat ditentukan menggunakan analisis FT-IR yang diukur pada gelombang 300 – 400 cm^{-1} .

2.4. Koagulasi Flokulasi (*jar test*)

Beaker glass sebanyak 4 buah berisi 1L air baku dari sungai Bengawan Solo ditambahkan koagulan dengan variasi dosis 400, 500, 600, dan 700 ppm. Dilakukan pengadukan cepat dengan kecepatan ± 150 rpm selama 1 menit dan pengadukan lambat ± 60 rpm selama 30 menit. Kemudian dilakukan pengendapan selama 30 menit dan dilakukan analisis.

2.5. Analisis BOD

Prosedur analisis BOD didasarkan pada standar SNI 6989-72 : 2009 untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut untuk mendekomposisi bahan organik yang diperlukan mikroorganisme.

$$\text{OT (mg/l)} = \frac{a \cdot N \cdot 8000}{V - 2} \quad (2)$$

Keterangan :

- OT = Oksigen Terlarut (O_2/l)
 a = Volume titran (ml)
 V = Normalitas $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (N)
 N = Volume botol winkler (ml)

$$\text{BOD} = \frac{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)(1 - P)}{P} \quad (3)$$

$$P = \frac{\text{volume sampel}}{\text{volume botol winkler}} \quad (4)$$

Keterangan :

- X0 = OT sampel pada saat t = 0 hari (mgO₂/l)
 X5 = OT sampel pada saat t = 5 hari (mgO₂/l)
 B0 = OT blanko pada saat t = 0 hari (mgO₂/l)
 Bs = OT blanko pada saat t = 5 hari (mgO₂/l)
 P = derajat atau factor pengenceran

2.6. Analisis COD

Prosedur analisis COD didasarkan pada standar SNI 6989-73 : 2009 untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut untuk mengoksidasi bahan organik yang diperlukan mikroorganisme.

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(a-b).N.8000}{ml \text{ sampel}} \times C \quad (5)$$

Keterangan :

- a = Volume titran Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ untuk blanko (ml)
 b = Volume titran Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ untuk sampel (ml)
 C = Faktor pengenceran
 8000 = Berat ekuivalen oksigen
 N = Normalitas Fe(NH₄)₂(SO₄)₂

2.7. Analisis TSS

Analisis TSS didasarkan pada standar SNI 6989-3 : 2019 untuk mengetahui banyaknya padatan tersuspensi yang terdapat pada air sungai Bengawan Solo.

$$\text{Zat padat tersuspensi total (mg/l)} = \frac{(a-b).1000}{c} \quad (6)$$

Keterangan :

- a = Berat kertas saring + residu kering (mg)
 b = Berat kertas saring kosong (mg)
 c = Volume sampel (ml)
 1000 = Konversi ml ke liter

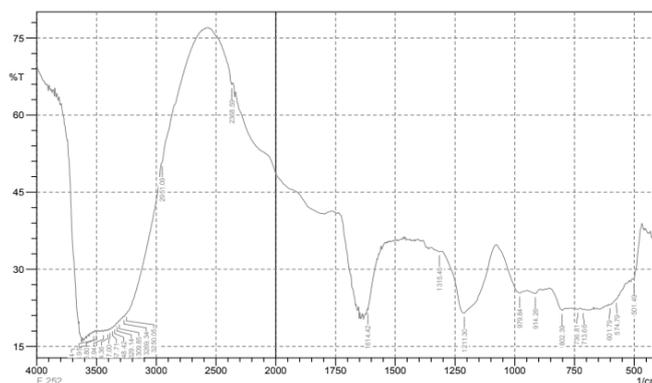
2.8. Analisis Turbidity

Prosedur analisis *Turbidity* didasarkan pada standar SNI 06-6989.25:2005 untuk mengetahui tingkat kekeruhan air sungai Bengawan Solo.

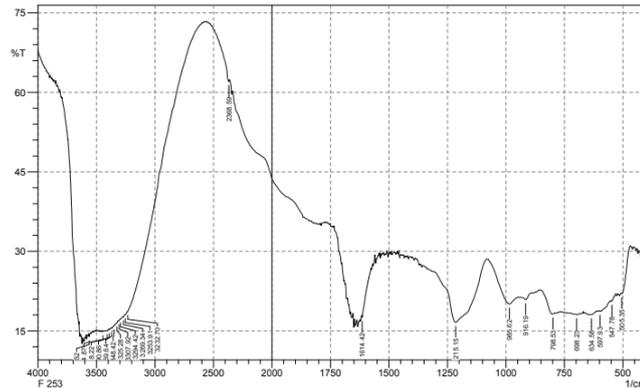
2.9. Analisis pH

Prosedur analisis pH didasarkan pada standar SNI 6989-11 : 2019 untuk mengetahui konsentrasi ion hydrogen atau tingkat keasaman atau kebasahan air sungai Bengawan Solo.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Hasil uji FT-IR kitosan



Gambar 2. Hasil uji FT-IR kitosan crosslink GA

Tabel 1. Analisa hasil uji FT-IR kitosan dan kitosan *crosslink* GA

| Jenis gugus fungsi | Panjang gelombang (cm^{-1}) | |
|---------------------------------|---|-------------|
| | Kitosan | Kitosan GA |
| Getaran tekukan O-H | 3250 | 3232 |
| Regangan simetris CH_3 | 2951 | - |
| Getaran tekukan CH_3 | 1315 | - |
| Getaran regangan C-O-C | 1211 | 1215 |
| Getaran tekukan N-H | 3442 | 3444 |
| Getaran tekukan C=N | - | 1614 |

Tabel 2. Data pengamatan uji parameter

| Parameter | Air baku | Kitosan (ppm) | | | | Kitosan GA (ppm) | | | |
|-----------------|----------|---------------|--------|-------|-------|------------------|------|--------|-------|
| | | 400 | 500 | 600 | 700 | 400 | 500 | 600 | 700 |
| COD (mg/l) | 35,2 | -3,2 | -28,8 | 67,2 | 54,4 | 67,2 | 35,2 | 48 | 35,2 |
| BOD (mg/l) | 16,933 | 16,89 | 13,291 | 9,691 | 0,135 | 20,394 | 9,75 | 13,565 | 4,674 |
| TSS (mg/l) | 61 | 321 | 211 | 207 | 75 | 6 | 182 | 181 | 24 |
| Turbidity (NTU) | 760 | 19,6 | 18 | 12 | 9,28 | 7,86 | 8,36 | 25,7 | 12,5 |
| pH | 7,61 | 7,73 | 7,79 | 7,73 | 7,77 | 7,42 | 7,34 | 7,35 | 7,26 |

3.1. BOD

Konsentrasi yang bekerja secara optimal menurunkan nilai BOD yaitu koagulan kitosan dengan konsentrasi 700 ppm. Pada konsentrasi ini, kitosan dapat menurunkan nilai BOD hingga 0,135 mg/L dengan efektivitas penurunan sebesar 89,86%. Penurunan konsentrasi BOD oleh faktor dosis koagulan terjadi karena koagulan tersebut mampu mengikat atau menyerap partikel tersuspensi (yang bersifat organik) sehingga partikel tersebut berhasil diendapkan. Setelah mengendap berupa flok, maka jumlah oksigen di dalam air akan meningkat kembali. Jumlah partikel tersuspensi di dalam limbah cair berkurang, sehingga

nilai BOD menurun [9]. Selain itu, penurunan BOD yang terjadi juga dikarenakan oleh sifat antimikroba yang dimiliki oleh khitin, khitosan dan turunannya [9]. Hal tersebut juga diungkapkan oleh Li dkk. pada tahun 2013, partikel khitosan akan menunjukkan potensinya dalam menekan pertumbuhan bakteri hanya ketika mereka berada di media asam [10].

Di sisi lain, khitosan *crosslink* GA juga mempunyai sifat antibakteri. Oleh karena itu dapat menurunkan nilai BOD pada air baku. Aktivitas antibakteri khitosan *crosslink* GA karena muatan positif NH_2^+ , yang diharapkan dapat berinteraksi dengan permukaan bakteri gram negatif yang sebagian besar terdiri dari komponen anionik, seperti lipopolisakarida, fosfolipid, dan lipoprotein. Memang penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa interaksi muatan ini dapat mengganggu organ membran luar pada bakteri dan meningkatkan permeabilitasnya [10].

3.2. COD

Nilai COD untuk air baku adalah 35,2 mg/L, sedangkan nilai COD setelah ditambahi khitosan malah lebih besar daripada nilai COD pada air baku. Menurut Wardhani pada tahun 2003, nilai COD dapat mengalami kenaikan akibat pemberian dosis koagulan dan kecepatan yang tidak sesuai [9]. Hal ini disebabkan kecepatan benturan antar partikel yang berlebih yang mengakibatkan gaya geser yang berlebihan, sehingga susunan flok yang diinginkan tidak bisa terbentuk. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Sholikhah dan Damajanti 2015, setelah penambahan koagulan juga semakin besar nilainya [11]. Hal ini karena khitosan juga merupakan bahan organik, sehingga memberikan kontribusi untuk menambah jumlah bahan organik dalam air limbah. Penambahan konsentrasi khitosan akan mengakibatkan restabilisasi pada padatan yang telah terkoagulasi [11], sehingga aglomerasi antar partikel dan koagulan tidak optimal. Padatan yang kembali tidak stabil akan berakibat pada kebutuhan waktu untuk pengendapan karena ukuran partikel yang kecil. Sehingga sisa khitosan dan partikel yang tidak memiliki cukup berat akan terbawa hingga limbah tersebut dibuang.

Di samping itu, nilai COD bernilai minus pada dosis khitosan 400 ppm dan 500 ppm. Hal ini kemungkinan zat organik lebih banyak teroksidasi pada kedua jumlah dosis tersebut, sehingga kebutuhan kalium dikromat untuk mengoksidasi juga banyak. Jadi, sisa kalium dikromat yang digunakan tinggal sedikit dan kebutuhan FAS untuk mentitrasi malah semakin banyak.

3.3. TSS

Dapat dilihat bahwa setelah ditambahkan koagulan terdapat perubahan nilai TSS pada air sungai dengan nilai yang menurun. Nilai TSS pada air baku mengalami penurunan yang awalnya 321 mg/L menjadi turun setelah ditambahi kedua jenis koagulan. Dosis optimum yang dapat mereduksi nilai TSS yaitu pada jenis koagulan khitosan *crosslink* GA dengan dosis 700 ppm, dan nilai TSS sebesar 24 mg/L. Dalam khitosan *crosslink* glutaraldehid, terdapat senyawa basa Schiff, yaitu sifat ikatan yang diperoleh melalui reaksi adisi-eliminasi amina primer (R-NH_2) dan senyawa karbonil (aldehid/keton) yang menggunakan katalis asam atau tanpa katalis. Adanya senyawa aldehid sebagai agen *crosslinking* dapat meningkatkan stabilitas struktur khitosan meningkat baik secara termal maupun dalam kondisi asam [8], tak terkecuali sebagai koagulan.

Koagulan khitosan juga mampu menurunkan nilai TSS karena khitosan mengandung gugus amino yang bermuatan positif sehingga khitosan bersifat polikationik [12] dan juga

diduga muatan positif pada koagulan kitosan berikatan dengan muatan negatif pada koloid, sehingga akan membentuk partikel flokulan [13]. Gugus reaktif amino pada C-2 dan gugus hidroksil pada C-3 dan C-6 pada kitosan sangat berperan dalam aplikasinya sebagai flokulan [14]. Gugus aktif pada kitosan berasal dari atom N dari gugus amina (NH_2) dan gugus atom O dari gugus hidroksil ($-\text{OH}$) yang memiliki elektron bebas dan dapat mengikat proton atau ion logam membentuk suatu kompleks. Adanya interaksi hidrogen menyebabkan kitosan dapat larut dalam limbah organik dan memiliki daya ikat yang semakin besar dengan protein dari limbah. Sehingga nilai TSS pada air Sungai Bengawan Solo dapat tereduksi.

3.4. Turbidity

Dosis optimum dicapai pada konsentrasi 400 ppm kitosan *crosslink* GA yang mereduksi kekeruhan air yang mulanya bernilai 760 NTU menjadi 7,86 NTU. Nilai ini telah memenuhi Permenkes No. 32 Tahun 2017 yang memiliki standar baku mutu kadar maksimal kekeruhan 25 NTU. Menurunnya nilai *turbidity* karena faktor dosis terjadi karena pemberian koagulan pada dosis yang optimum membantu mengikat bahan pencemar lalu membuat partikel - partikel halus penyebab kekeruhan yang tadinya bersifat stabil menjadi tidak stabil muatannya sehingga terjadi gaya tarik-menarik menjadi terendapkan membentuk flok. Dengan demikian proses pengendapan partikel koloid pada air keruh berlangsung dengan baik [12].

Menurut Shahidi et al pada tahun 1999, kitosan adalah bio multi polimer, yang memiliki muatan positif dan mengandung kelompok amina bebas yang memberikan kemampuan tinggi untuk relevansi kimia dengan molekul yang memiliki muatan negatif seperti protein, lemak dan ion mineral [15]. Sehingga pada proses koagulasi terjadi destabilisasi koloid (terurai menjadi partikel yang bermuatan positif dan negatif) di dalam air sebagai akibat dari pengadukan cepat dan pembubuhan koagulan. Muatan listrik yang sama menyebabkan partikel-partikel saling menolak sehingga partikel-partikel koloid terpisah dan terjadi pembentukan inti flok dengan ion positif dari koagulan. Terjadinya gaya tarik menarik ini karena besarnya gaya tolak-menolak lebih kecil dari besarnya gaya tarik-menarik [12]. Sehingga nilai *turbidity* dapat turun dengan penambahan koagulan kitosan.

3.5. pH

pH sangat erat hubungannya dengan kandungan logam berat yang terdapat di dalam sungai. Semakin banyak bahan pencemar (kandungan logam berat) yang berada di dalam sungai akan mengakibatkan rendahnya nilai pH, dan dapat mengakibatkan kesadahan air bersifat asam [16]. Sehingga, pH sangat besar pengaruhnya terhadap proses pengolahan air karena jika pengolahan air tidak terjadi pada pH optimum akan menyebabkan kualitas air yang dihasilkan rendah [17]. Dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017, air memiliki beberapa parameter agar layak dikonsumsi salah satunya yaitu pH dengan standar baku mutu 6,5 sampai 8,5.

Nilai pH pada air baku sebesar 7,61. Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada awal penambahan dosis koagulan kitosan mengalami kenaikan nilai pH. Kenaikan nilai pH terjadi karena adanya penambahan jumlah koagulan kitosan pada sampel air sungai. Kenaikan nilai pH juga dapat disebabkan oleh menurunnya jumlah oksigen yang digunakan oleh bakteri saat menguraikan bahan organik [18]. Kenaikan atau penurunan pH juga tidak terlalu drastis. Hal ini berarti dengan koagulan kitosan maupun kitosan GA dapat stabil

dalam suasana asam [19]. Secara keseluruhan nilai pH pada air memenuhi standar baku mutu kualitas air bersih sehingga aman untuk dikonsumsi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dosis optimum koagulan terhadap kualitas *effluent* air yang sesuai untuk menurunkan nilai parameter BOD adalah koagulan kitosan pada dosis 700 ppm, dengan efektivitas penurunan sebesar 89,96% dan sudah memenuhi syarat baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No.5 Tahun 2014. Sementara itu, dosis optimum untuk parameter *turbidity* adalah dosis 400 ppm, TSS dan pH dosis 700 ppm kitosan *crosslink* glutaraldehida dengan efektivitas penurunan masing-masing sebesar 97,5%; 92,5%; 4,59%. Ketiga parameter tersebut sudah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan di PPSDM Migas Cepu. Sedangkan, pada parameter COD tidak ada dosis yang sesuai.

Jenis koagulan kitosan yang sesuai untuk pengolahan air di Unit WTP PPSDM Migas Cepu adalah kitosan *crosslink* glutaraldehida untuk parameter TSS, *turbidity*, dan pH. Sedangkan, untuk parameter BOD menggunakan koagulan kitosan, dan parameter COD tidak ada koagulan kitosan yang sesuai.

REFERENSI

- [1] R. Ningsih, "Pengaruh Pembubuhan Tawas dalam Menurunkan TSS pada Air Limbah Rumah Sakit Riyan," *J. Kesehat. Masy.*, vol. 6, no. 2, hal. 79–86, 2011.
- [2] S. L. Ihsani dan C. R. Widyastuti, "Sintesis Biokoagulan Berbasis Kitosan Dari Kulit Udang Untuk Pengolahan Air Sungai Yang Tercemar Limbah Industri Jamu Dengan Kandungan Padatan Tersuspensi Tinggi," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 3, no. 2, hal. 66–70, 2014, doi: 10.15294/jbat.v3i2.3700.
- [3] R. A, E. Noor, dan P. Suptijah, "Pemanfaatan Kitosan Dalam Daur Ulang Air Sebagai Aplikasi," *Jphpi*, vol. 21, no. 2, hal. 276–286, 2018.
- [4] I. N. Agustina, S., Swantara, I. M. D. dan Suartha, "Isolasi Kitin, Karakterisasi, dan Sintesis Kitosan dari Kulit Udang," *Jurnal Kim.*, vol. 9, no. 2, hal. 271–278, 2015.
- [5] H. Hendrawati, S. Sumarni, dan . Nurhasni, "Penggunaan Kitosan sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Danau," *J. Kim. Val.*, vol. 1, no. 1, hal. 1–11, 2015, doi: 10.15408/jkv.v0i0.3148.
- [6] M. Fathurrahman, P. Sugita, dan H. Purwaningsih, "Sintesis Dan Karakterisasi Kitosan Bertaut Silang Glutaraldehida Sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Akar Wangi," *EduChemia (Jurnal Kim. dan Pendidikan)*, vol. 2, no. 1, hal. 103, 2017, doi: 10.30870/educhemia.v2i1.1300.
- [7] D. H. Sukma, E. Riani, dan E. N. Pakpahan, "Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben sianida pada limbah pengolahan bijih emas," *Jphpi*, vol. 21, hal. 460–470, 2018.
- [8] W. A. Muharam S, Sugita P, "Adsorption of Au(III) onto Chitosan Glutaraldehyde Cross-linked in Cyanide Solution.," *Pros. Semin. Nas. Sains III IPB*, 2010.
- [9] M. dan S. Wardhani, W. K., Widodo, "Khitin Cangkang Rajungan (*Portunus Pelagicus*) sebagai Biokoagulan untuk Penyisihan Turbidity, TSS, BOD, dan COD pada Pengolahan Air Limbah Farmasi PT. Pharos Tbk., Semarang," 2003.
- [10] B. Li *et al.*, "Synthesis, characterization, and antibacterial activity of cross-linked chitosan-glutaraldehyde," *Mar. Drugs*, vol. 11, no. 5, hal. 1534–1552, 2013, doi:

- 10.3390/md11051534.
- [11] D. Solikhah, A., "Pengolahan Air Limbah Tapioka dengan Metode Koagulasi Menggunakan Koagulan Kitosan," hal. 104–110, 2015.
 - [12] M. ; P. Tanjung Kusuma ; Hadiwidodo, "Menggunakan Kitosan Dari Limbah Cangkang Keong Sawah (Pila Ampullacea) Sebagai Nano Biokoagulan Dalam Pengolahan Limbah Cair Pt . Phapros , Tbk Semarang," vol. 6, no. 1, hal. 1–7, 2017.
 - [13] Y. Meicahayanti, I., Marwah and Setiawan, "Efektifitas Kitosan Limbah Kulit Udang dan Alum sebagai Koagulan dalam Penurunan TSS Limbah Cair Tekstil," *J. Chemurg.*, vol. 1, no. 02, hal. 1–5, 2018.
 - [14] F. Shahidi dan J. K. Vidana Arachchi, You-JinJeon, "Food applications of chitin and chitosans," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 10, no. 2, hal. 37–51, 1999.
 - [15] A. J. Al-Manhel, A. R. S. Al-Hilphy, dan A. K. Niamah, "Extraction of chitosan, characterisation and its use for water purification," *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 17, no. 2, hal. 186–190, 2018, doi: 10.1016/j.jssas.2016.04.001.
 - [16] B. Rahadi, B. Suharto, dan F. Y. Monica, "Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemar dan Kualitas Air Sungai Lesti Sebelum Pembangunan Hotel Identifications Capacity Pollutant Loads and Water Quality of Lesti River before the Construction of Hotel Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 6, no. 3, hal. 1–10, 2019.
 - [17] R. S.W., B. Iswanto, dan . W., "Pengaruh pH pada Proses Koagulasi dengan Koagulan Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida," *Indones. J. Urban Environ. Technol.*, vol. 5, no. 2, hal. 40, 2009, doi: 10.25105/urbanenvirotech.v5i2.676.
 - [18] M. Fuel *et al.*, "Kinerja Membran Komposit Kitosan-Karagenan pada Sistem Fuel Cell System in Producing Bioelectricity from Boiled Fish Wastewater Peningkatan konsumsi energi listrik dapat menyebabkan krisis energi yang diakibatkan oleh kelangkaan bahan bakar pembangkit lis," vol. 23, hal. 137–146, 2020.
 - [19] R. N. Hasanah, L. Kurniawati, dan Murniati, "Modifikasi Kitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan dengan Crosslinking Menggunakan Glutaraldehida Sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II)," no. li, hal. 1–12, 2018.