

Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit Dengan Metode Rotating Biological Contactors (RBC) (Studi Kasus: Industri Penyamakan kulit Di U.D Sari Benteng Mulya, Kecamatan Kliwon, Kota Surakarta)

Yonathan Raharjo¹, Elvis Umbu Lolo², Widiyanto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Teknologi Solo

Koresponding outhor, Elvis Umbu Lolo: eumbulolo@yahoo.co.id

Diterima : 13 Agustus 2025

Disetujui: 13 September 2025

ABSTRAK

Air Limbah industri penyamakan kulit mengandung bahan organik dalam konsentrasi yang cukup tinggi ditambah dengan dengan logam berat krom (Cr). Salah satu proses pengolahan air limbah industry penyamakan kulit adalah rotating biological contactors (RBC) atau cakram biologi. RBC adalah salah satu jenis alat pengolah air limbah yang termasuk dalam pengolahan secara aerobik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui cakram biologi dalam menurunkan konsentrasi BOD. Penelitian ini bersifat eksperimental dengan melakukan percobaan pengolahan air limbah menggunakan reactor cakram biologi skala laboratorium dengan lima variasi waktu tinggal yaitu 40 menit, 80 menit, 120 menit, 160 menit dan 200 menit. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukan keberhasilan reactor cakram biologi dalam menurunkan konsentrasi BOD yang terdapat dalam air limbah penyamakan kulit UD Sari Benteng Mulya. Sebelum dilakukan proses pengolahan, terlebih dahulu dilakukan proses pembibitan atau aklimatisasi pertumbuhan bakteri dan diperoleh titik optimum pada hari ke 22. Limbah awal memiliki konsentrasi BOD sebesar 613,4 mg/l. Setelah dilakukan proses pengolahan dengan lima variasi waktu tinggal dihasilkan penurunan konsentrasi berturut-turut untuk waktu tinggal 40 menit konsentrasi BOD 323,03 mg/l, 80 menit konsentarsi BOD 234,1 mg/l, 120 menit konsentasi BOD 189,43 mg/l, 160 menit konsentrasi BOD 153,67 mg/l, 200 menit konsentrasi 116, 43 mg/l. Efisiensi pengolahan tertinggi diperoleh pada waktu tinggal 200 menit yaitu 81,2%. Waktu tinggal optimum yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi BOD adalah 200 menit karena konsentrasi BOD turun hingga 116,43 mg/l, sedangkan baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit yang ditetapkan adalah 150 mg/l. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa cakram biologi mampu menurunkan konsentrasi BOD pada limbah cair industri penyamakan kulit hingga memenuhi baku mutu.

Kata Kunci: *Air limbah Penyamakan Kulit, RBC, BOD.*

ABSTRACT

Leather tanning industry wastewater contains organic materials in quite high concentrations plus the heavy metal chromium (Cr). One of the wastewater treatment processes in the leather tanning industry is rotating biological contactors (RBC) or biological discs. RBC is a type of wastewater processing equipment which is included in aerobic processing. The aim of this research is to determine biological discs in reducing BOD concentrations. This research is experimental by conducting wastewater treatment experiments using a laboratory scale biological disc reactor with five variations in residence time namely 40 minutes, 80 minutes, 120 minutes, 160 minutes and 200 minutes. The results of the research that has been carried out show the success of the

biological disc reactor in reducing the BOD concentration contained in the waste water of the UD Sari Benteng Mulya tannery. Before the processing process is carried out, a seeding or acclimatization process for bacterial growth is first carried out and the optimum point is obtained on day 22. The initial waste has a BOD concentration of 613.4 mg/l. After processing with five variations in residence time, the resulting decrease in concentration was successively for a residence time of 40 minutes, BOD concentration of 323.03 mg/l, 80 minutes of BOD concentration of 234.1 mg/l, 120 minutes of BOD concentration of 189.43 mg/l, 160 minutes BOD concentration 153.67 mg/l, 200 minutes concentration 116.43 mg/l. The highest processing efficiency was obtained at a residence time of 200 minutes, namely 81.2%. The optimum residence time that can be used to reduce the BOD concentration is 200 minutes because the BOD concentration decreases to 116.43 mg/l, while the standard for the quality of liquid waste from the leather tanning industry is 150 mg/l. From the results of the research that has been carried out, it can be concluded that biological discs are able to reduce the BOD concentration in liquid waste from the leather tanning industry to meet quality standards.

Key words: *Tannery Wastewater, RBC, BOD.*

1. Pendahuluan

Industri penyamakan kulit adalah salah satu industri yang menghasilkan air limbah dengan jumlah yang besar. Hal ini disebabkan karena dalam proses penyamakan kulit 1 ton kulit mentah akan menghasilkan air limbah sebanyak 30-35 m³[1]. Jumlah industri di kota Surakarta sebanyak 101 industri, yang terdiri dari industri sedang sebanyak 72 dan industri besar sebanyak 29 industri serta industri kecil menengah termasuk industri rumah tangga yang berjumlah ratusan industri [2]. Kota Surakarta juga memiliki populasi penduduk yang cukup padat. Sehingga dengan kepadatan penduduk yang tinggi tersebut, dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan baik tanah, air tanah dan badan air akibat pengelolaan air limbah yang belum maksimal dilakukan [3]. Selain itu, masih banyak penduduk yang membuang air limbahnya baik industri dan rumah tangga ke sungai tanpa melalui proses pengolahan [4]. Walaupun industri penyamakan kulit diberbagai negara di dunia dikenal sebagai sektor penggerak ekonomi utama, ternyata banyak yang peduli terhadap kualitas lingkungan karena berkaitan dengan air limbah yang mengandung banyak unsur dan senyawa kimia pada industri penyamakan kulit [5]. Industri penyamakan kulit menghasilkan air limbah dengan kandungan bahan organik dan kimia dalam jumlah besar serta masuk dalam kategori limbah berbahaya dan beracun. Hampir sebagian air limbah industri penyamakan kulit belum diolah dan dibuang ke badan air seperti sungai. [1]. Pengolahan air limbah di Kota Surakarta, menggunakan 3 instalasi pengolahan yaitu IPAL Mojosongo menggunakan system Aerated facultative lagoon, Pucang Sawit menggunakan system biofilter dan Semanggi menggunakan system activated sludge. [6][3]. Dalam pengolahan air limbah terdapat salah satu proses yang di sebut rotating biological contactors (RBCs). RBC adalah proses pengolahan air limbah yang dipergunakan sejak tahun 1970an [7]. RBC adalah alternatif pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan mikroorganisme untuk mendekomposisikan bahan organik yang terdapat dalam air limbah [8]. Pengolahan air limbah dengan RBC adalah proses pengolahan air limbah domestik dengan proses attached growth melalui proses biologi aerob guna menguraikan bahan organik dengan pertumbuhan mikro yang melekat pada cakram tipis berbentuk bulat /biofilm yang dipasang parallel dan terhubung dengan alat pemutar pada tangka yang terisi air limbah domestic yang dialirkan secara kontinu [9]. RBCs merupakan Teknik pengolahan air limbah yang memiliki polutan organik tinggi dengan proses biologi dengan pertumbuhan melekat (attached culture) [10]. Menurut Dwi Handayani, N 2018, pengolahan air limbah domestik dapat menurunkan parameter BOD rata-rata sebesar 32,27% [11]. Yanda Rustam, A (2022) pengolahan limbah cair pematangan ayam dengan RBC dapat menurunkan parameter BOD, COD, TSS dan NH₃-N [12]. Salah satu parameter utama dalam air limbah industri penyamakan kulit adalah biochemical oxygen demand (BOD). Pengujian kebutuhan oksigen biokimia (BOD) digunakan untuk menentukan kebutuhan oksigen relatif dari air limbah, effluent, dan perairan yang tercemar.

Penerapan terluasnya adalah dalam mengukur beban limbah yang masuk ke instalasi pengolahan dan dalam mengevaluasi efisiensi penyisihan BOD IPAL [13]. BOD adalah jumlah oksigen terlarut yang diperlukan untuk mendekomposisikan bahan organik yang terdapat dalam air dengan sempurna menggunakan proses biologi dan kimia yang terjadi secara alamiah di suatu perairan [14]. Selain mengandung bahan organik tinggi, air limbah industri penyamakan kulit juga mengandung unsur chromium. Unsur kromium dipakai guna melindungi kulit dari proses pembusukan dan membuatnya tahan lama menghadapi proses kelembaban dan penuaan [15]. Adapun tujuan pengolahan adalah mengurangi atau bahkan menghilangkan bahan pencemar terutama bahan organik pada air limbah industri penyamakan kulit sebelum dibuang dalam badan air penerima agar dapat memenuhi syarat sesuai standar baku mutu pemerintah. Berdasarkan uraian diatas, belum ada kajian penelitian dan proses pengolahan air limbah industri penyamakan kulit dengan metode rotating biological contactor (RBCs) di Kota Surakarta, sehingga peneliti tertarik untuk menerapkan dalam skala laboratorium proses ini dan melakukan penelitian dengan judul: Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit Dengan Metode Rotating Biological Contactors (RBC) (Studi Kasus: Industri Penyamakan kulit Di UD Sari Benteng Mulya Kecamatan Kliwon, Kota Surakarta)

2. Metodologi Penelitian

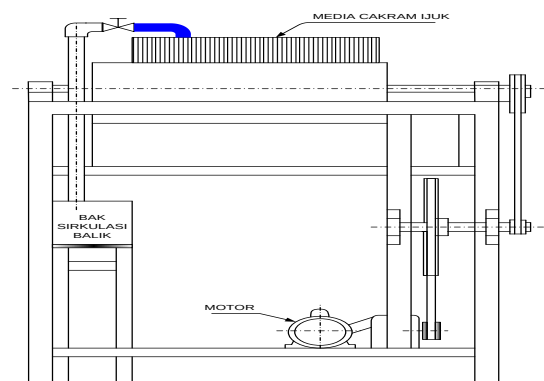
Penelitian ini bersifat eksperimental dengan melakukan percobaan pengolahan air limbah menggunakan reactor cakram biologi skala laboratorium dengan lima variasi waktu tinggal yaitu 40 menit, 80 menit, 120 menit, 160 menit dan 200 menit.

Bahan Dan Peralatan:

Air limbah penyamakan kulit dan bahan-bahan pendukung dalam pengukuran parameter

Alat:

Media cakram, Tangkai (as poros), Tangki setengah bangun segienam, Bantalan (Bearing), Motor listrik, Gearbox (Reducer), V-belt, Puley, Penyangga, Pipa PVC, Bak penampung air limbah, Bak sirkulasi balik.



Gambar 4 Model RBCs skala laboratorium yang digunakan

Adapun karakteristik rotating biological contactor skala laboratorium yang dipergunakan dalam penelitian ini dapat dijelaskan pada table 1 dibawah ini.

Tabel 1 Karakteristik RBCs skala laboratorium

Parameter	Keterangan
1. Karakteristik bahan:	Tali ijuk dan kawat
Bahan cakram	Tali ijuk dan kawat
Bahan reactor	Tangki setengah bangun segi enam dengan kaca 6 mm

Bahan bak sirkulasi balik	Kaca dengan tebal 5 mm
2. Karakteristik dimensional:	
Luas media cakram	100 cm ²
Luas cakram terendam	40 cm ²
Jumlah cakram	45 cakram
Diameter cakram	40 cm
Tebal media cakram	1 cm
Jarak antar cakram	0.4 cm
Panjang total media cakram	63 cm
Panjang reaktor	70 cm
Panjang tangkai horizontal	90 cm
Diameter reaktor	50 cm
Beban organik	0.5-10 kg/m ² .hari
Beban hidrolis	0.03 m ³ /m ² .hari
Kecepatan putaran cakram	2 rpm
Kontanta kecepatan removal k ½ a	1.5 (g/hari ²) ^{1/2}
Ratio surface area (A/V)	70 m ² /m ³

3. Hasil Dan Pembahasan

Pemeriksaan awal parameter air limbah yang dilakukan untuk mengetahui konsentrasi BOD pada air limbah domestic

Tabel 2 Hasil pengukuran parameter air limbah penyamakan kulit.

No	Parameter	Konsentrasi (mg/l)
1	BOD	607,2

Data yang diperoleh dari pemeriksaan air limbah tersebut digunakan untuk perhitungan dimensi alat pengolah limbah dengan cakram biologi skala rumah tangga dengan hasil pada table 3

Tabel 3 Dimensi Reaktor hasil perhitungan untuk skala rumah tangga

No	Parameter	Keterangan	
		Tahap I	Tahap II
1	Jumlah reaktor	1	1
2	Diameter media cakram	200 cm	200 cm
3	Panjang total media cakram	315 cm	315 cm
4	Tebal media cakram	5 cm	5 cm
5	Jarak anatar cakram	2 cm	2 cm
6	Jumlah cakram	45 cakram	45 cakram
7	Panjang reactor	350 cm	350 cm
8	Diameter reaktor	250 cm	250 cm

a. Hasil Analisa Parameter BOD Pada Proses Aklimatisasi

Hasil analisa parameter BOD pada proses aklimatisasi dengan debit aliran 2 liter/menit dengan kecepatan putaran cakram 2 rpm diukur dengan mengalikan konsentrasi COD dengan factor pembanding 0.6

Tabel 4 Hasil pengukuran BOD dengan mengalikan nilai COD dengan faktor pembandingan 0.6

No	Sampel	COD (mg/l)	Faktor pembandingan	BOD (mg/l)
1	Limbah awal	714	0.6	428,4
2	0	628	0.6	376,8
3	02	426	0.6	255,6
4	04	337	0.6	202,2
5	06	289	0.6	173,4
6	08	225	0.6	135
7	10	176	0.6	105,6
8	12	144	0.6	86,4
9	14	117	0.6	70,2
10	16	98	0.6	58,8
11	18	81	0.6	48,6
12	20	75	0.6	45
13	22	72	0.6	43,2

b. Tingkat Kekerusuhan Kualitas Pencemar Air Limbah Penyamakan Kulit

Setelah dilakukan proses pengolahan air limbah penyamakan kulit didalam reactor cakram biologi dengan lima variasi waktu tinggal yang berbeda yaitu 40 menit, 120 menit, 160 menit dan 200 menit. Kemudian dilakukan pengukuran BOD dengan DO meter. Hasil pengukuran DO_0 , DO_5 dan BOD disajikan dalam table 5.

Tabel 5 DO dan BOD rata-rata

Sampel	Pengula ngan	DO ₀ (Mg/l)	DO ₅ (Mg/l)	Pengenceran (ml)	BOD (Mg/l)	Rata-rata BOD (Mg/l)
Limbah awal	I	3,43	1,4	300	609,4	613,4
	II	3,245	1,2	300	613,5	
	III	3,357	1,3	300	617,2	
Waktu tinggal 40 menit	I	1,994	0,9	300	328,2	323,03
	II	1,748	0,7	300	314,5	
	III	1,888	0,8	300	326,4	
Waktu tinggal 80 menit	I	1,191	0,4	300	237,3	234,1
	II	1,191	0,404	300	236,2	
	III	1,153	0,39	300	228,2	
Waktu tinggal 120 menit	I	0,92	0,3	300	186,7	189,03
	II	0,98	0,32	300	198,2	
	III	0,908	0,3	300	182,3	
Waktu tinggal 160 menit	I	0,758	0,26	300	149,4	153,67
	II	0,797	0,29	300	152,2	
	III	0,783	0,25	300	160	
Waktu tinggal 200 menit	I	0,61	0,2	300	123	116,43
	II	0,57	0,21	300	108,2	
	III	0,574	0,18	300	118	

Menghitung BOD dengan rumus:

$$BOD (mg/l) = (DO_0 - DO_5)(P)$$

P= pengenceran (300)

c. Efisiensi Pengolahan

Hasil pengolahan air limbah dengan proses cakram biologi dan efisiensi pengolahan yang dipengaruhi oleh lima variasi kecepatan putaran. Hasilnya disajikan dalam table 6

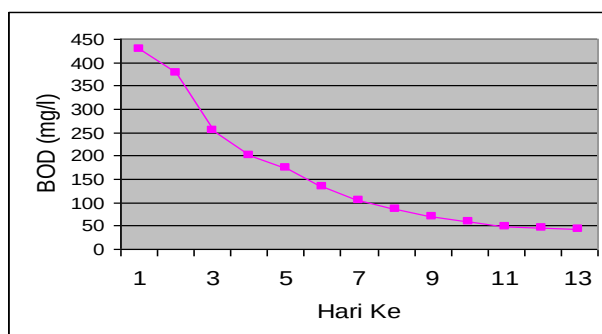
Tabel 6 Efisiensi pengolahan reactor cakram biologi

Parameter	Waktu tinggal (menit)	Sebelum pengolahan (mg/l)	Sesudah pengolahan (mg/l)	Efisiensi pengolahan (%)
BOD	40	613,4	232,03	47,3%
	80	613,4	243,1	61,84
	120	613,4	189,03	69,18
	160	613,4	153,67	74,9
	200	613,4	116,43	81,02

Keterangan:

$$\text{Efisiensi pengolahan} = \frac{BOD_{influen} - BOD_{effluen}}{BOD_{influen}} \times 100\%$$

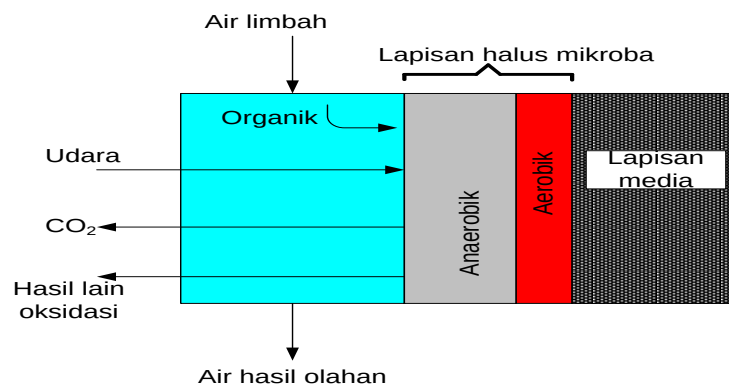
Sebelum dilakukan proses pengolahan dengan 5 variasi terlebih dahulu dilakukan proses pembibitan atau aklimatisasi pertumbuhan bakteri. Proses ini berlangsung selama 22 hari. Dalam periode 2 hari sekali dilakukan pemeriksaan air limbah untuk mengetahui keberhasilan aklimatisasi pertumbuhan. Keberhasilan aklimatisasi ditandai dengan penurunan kadar BOD. Pada hari ke 22 telah dicapai kondisi optimum sehingga reaktor siap digunakan untuk proses pengolahan. Hasil penurunan BOD dan titik optimum pada proses aklimatisasi pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada gambar grafik 5.



Gambar 5 Penurunan BOD menurut waktu tinggal

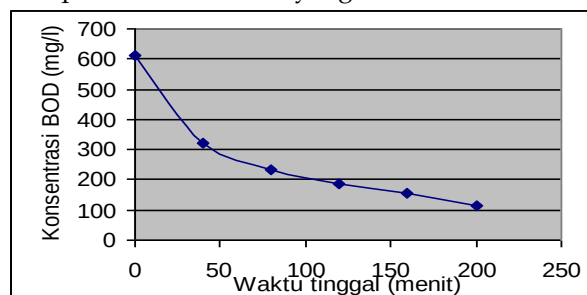
Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan reaktor cakram biologi dan dengan menggunakan variasi waktu tinggal 40 menit, 80 menit, 120 menit, 160 menit, dan 200 menit diperoleh hasil penurunan BOD dan efisiensi pengolahan. Dari kelima variasi waktu tinggal tersebut variasi penurunan konsentrasi BOD dan efisiensi pengolahan. Penurunan konsentrasi dan efisiensi pengolahan terbesar terjadi pada waktu tinggal 200 menit sehingga dapat dikatakan bahwa secara keseluruhan penelitian berhasil. Pada waktu tinggal kurang dari 200 menit efisiensi pengolahan lebih rendah hal ini disebabkan bahan organik dalam air limbah yang belum mencukupi untuk dikonsumsi oleh mikroorganisme sehingga aktifitas mikroba dalam menguraikan bahan organik kurang maksimal. Dari beberapa variasi waktu tinggal tersebut dapat disimak bahwa waktu tinggal optimum yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar BOD dalam air limbah sesuai dengan syarat baku mutu lingkungan untuk air limbah domestik. mekanisme proses penguraian bahan organik dalam air limbah penyamakan kulit adalah: RBC Merupakan pengolahan biologis pertumbuhan melekat yang bergerak/berputar. Dimana didalamnya terdapat rangkaian-rangkaian parallel dengan sejumlah cakram dengan posisi tegak lurus dengan tangkai horizontal yang dirangkai berdekatan satu dengan yang lainnya sebagai pertumbuhan mikroorganisme. Cakram diputar dengan kecepatan 1-2 rpm.

Empat puluh persen dari cakram tersebut tercelup dalam air limbah yang diolah. Dari mulai menit 40 sampai 200 menit setelah proses aklimatisasi, RBC beroperasi pada biofilm akan tumbuh dan menempel pada permukaan cakram dalam bentuk lendir. Pada saat berputar bagian cakram yang tercelup limbah dengan mikroorganisme yang terkandung didalamnya akan mengadsorpsi dan menguraikan zat organik yang terlarut dalam air limbah. Reaksi biokimia aerob adalah: bahan organik + O_2 + Bakteri pengurai $\rightarrow CO_2 + H_2O + NH_3$ + energi + sel baru + sisa bahan organik terurai [16]. Pada saat kontak dengan udara, mikroorganisme menyerap oksigen sehingga terjadi proses metabolisme untuk menguraikan zat organik yang terkandung dalam air limbah dalam kondisi aerobik. Berputarnya cakram juga merupakan mekanisme untuk mempertahankan bahan organik dalam air limbah penyamakan kulit dalam keadaan tersuspensi. Putaran cakram mempengaruhi perpindahan dan memelihara bahan organik dalam kondisi aerobik. Putaran cakram juga merupakan mekanisme untuk menghilangkan kelebihan padatan dari cakram oleh kekuatan pencukuran. Bahan organik (biomasa) dalam air limbah yang berlebihan akan terbawa keluar dan diendapkan pada bak sedimentasi. Pada biofilm yang terjadi adalah *pseudo steady state*, yaitu pertumbuhan biofilm diabaikan pada suatu skala waktu dari difusi substrat dan reaksi. Skema penguraian bahan organik dalam air limbah penyamakan kulit dapat dijelaskan seperti terlihat pada gambar 6 dibawah ini.

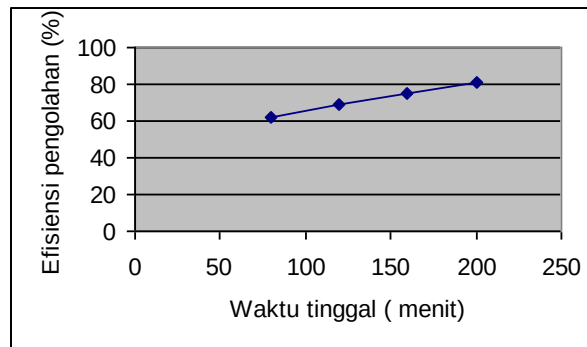


Gambar 6 Skema Penguraian bahan organik pada RBC

Dalam proses penghilangan bahan organik terjadi pemindahan massa atau difusi substrat. Proses pemindahan massa terjadi dalam dua fase yaitu fase cair dan fase biofilm. Pemindahan oksigen dari udara ke dalam air limbah dan biofilm akan digunakan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme. Pemindahan massa yang terjadi pada fase cair dan fase biofilm akan menghasilkan gradien kecepatan dalam cairan yang membentuk biofilm.



Gambar 7 Grafik hubungan waktu tinggal dengan penurunan konsentrasi BOD



Gambar 8 Grafik hubungan antara waktu tinggal (menit) dengan efisiensi pengolahan (%)

Dari gambar 6 dan 7 dapat dilihat bahwa terjadi variasi penurunan konsentrasi BOD oleh adanya variasi waktu tinggal. Dan hasil penurunan konsentrasi BOD tertinggi pada 200 menit. Pada gambar grafik 8 dapat dilihat efisiensi pengolahan tertinggi terjadi pada waktu tinggal 200 menit yang mampu menurunkan konsentrasi BOD hingga 81,02 %.

5 Kesimpulan

Rotating biological Contactors (RBCs) dapat menurunkan konsentrasi BOD yang terkandung dalam air limbah dari 613 mg/l hingga 116 mg/l sehingga memenuhi baku mutu. Cakram biologi merupakan alat pengolah limbah yang mampu menurunkan konsentrasi BOD dengan prosentase tingkat penurunan yang berbeda dari 5 variasi waktu yaitu untuk waktu tinggal 40 menit sebesar 47,3%, waktu tinggal 80 menit 61,84%, waktu tinggal 120 menit 69,18%, waktu tinggal 160 menit 74,9% dan waktu tinggal 200 menit 81,02%. Ijuk yang digunakan sebagai media tumbuh mikroba dapat berfungsi dengan baik dan merupakan media yang cocok untuk tumbuh dan berkembangbiak serta menguraikan bahan organik.

6. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yonathan Raharjo, mahasiswa program studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Teknologi Solo yang telah melakukan penelitian dan membuat prototipe rotating biological Contactors (RBCs) untuk mengolah air limbah industri penyamakan kulit.

7. Singkatan:

IPAL	: Instalasi Pengolahan air limbah
BOD	: Biochemical Oxygen Demand
COD	: Chemical Oxygen Demand
RBC	: Rotating biological Contactors
DO	: Dissolved Oxygen
TSS	: Total suspended Solid
P	: Pengenceran
Cr	: Chromium

Daftar Pustaka

- [1] Y. M. Kuncoro and E. S. Soedjono, "Studi Pustaka: Teknologi Pengolahan Air Limbah pada Industri Penyamakan Kulit," *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 3, p. 142, 2022, [Online]. Available: <https://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/download/99654/7259>
- [2] Badan Pusat Statistik, "Jumlah Industri di Kota Surakarta," 2021. <https://surakartakota.bps.go.id/indicator/9/487/1/jumlah-perusahaan-dan-pekerja-menurut-skala-usaha.html> (accessed Jun. 11, 2024).
- [3] E. Destrivadiyani P, "Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Ifas (Integrated Fixed Film Activated Sludge) Di Kota Surakarta Bagian Tengah,"

- Universitas Diponegoro, 2010. [Online]. Available: <http://eprints.undip.ac.id/40946/>
- [4] J. K. Wardhani, P. Rahayu, and E. F. Rini, "Kesesuaian Program Pengelolaan Dalam Mengatasi Permasalahan Air Perkotaan Di Kota Surakarta," *J. Tata Kota dan Drh.*, vol. 11, no. 1, p. 36, 2019, doi: DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.takoda.2019.011.01.4>.
 - [5] G. Lofrano, S. Meriç, G. E. Zengin, and D. Orhon, "Chemical and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 461–462, p. 265, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.004>.
 - [6] K. S. Perusahaan Daerah Air Minum, "Pengelolaan air limbah di Kota Surakarta," in *4th International Workshop on Decentralized Domestic wastewater Treatment In Asia*, 2016, p. 8. [Online]. Available: <https://www.jeces.or.jp/files/libs/337/202104011316587389.pdf>
 - [7] F. Hassard, J. Biddle, E. Cartmell, B. Jefferson, S. Tyrrel, and T. Stephenson, "Rotating biological contactors for wastewater treatment – A review," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 94, p. 285, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.07.003>.
 - [8] L. K. Putri, "Evaluasi Kinerja Sistem Rbc Di Ipal Lambung Mangkurat: Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penurunan Kadar Bod," *J. Purifikasi*, vol. 18, no. 2, p. 69, 2018, doi: <https://doi.org/10.12962/j25983806.v18.i2.356>.
 - [9] D. Resel, Sudrajat, and K. Eko, "Efisiensi Kinerja Sistem IPAL RBC (Rotating Biological Contactor) Di Kelurahan Bontang Kuala, Kota Bontang Dalam Menurunkan Nilai Total Fecal coliform," *J. Sci. East Borneo*, vol. 3, no. 4, p. 1, 2015, [Online]. Available: [https://fmipa.unmul.ac.id/files/docs/Journal Science East Borneo \(Denis Biologi\).pdf](https://fmipa.unmul.ac.id/files/docs/Journal Science East Borneo (Denis Biologi).pdf)
 - [10] Rizal, "Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Domestik Sistem Rotating Biological Contactor (Rbc) Kelurahan Sebengkong Kota Tarakan," Universitas Borneo, 2014. [Online]. Available: <https://repository.ubt.ac.id/repository/UBT29-05-2022-021241.pdf>
 - [11] N. D. Handayani, "Tingkat waktu efektifitas waktu proses RBC dalam menurunkan kadar BOD Limbah Cair Laundry," STIKES Bakti Husada Mulia Madiun, 2018. [Online]. Available: <https://repository.stikes-bhm.ac.id/32/1/2.pdf>
 - [12] A. Y. Rustam, "Uji Penggunaan Prototipe Rotating Biological Contactor (RBC) Terhadap Penurunan Limbah Cair Rumah Pemotongan Ayam Pasar Al-Mahirah Lamdingin," Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, 2022. [Online]. Available: https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/25891/1/Ari_Yanda_Rustam_160702072_FST_TL.pdf
 - [13] R. B. Baird, A. D. Eaton, and E. W. Rice, *Standard Methods for the examination of water and wastewater treatment*, 23rd ed. New York: American Public Health Association; American Water Works Association, Water Environment Federation, 2017. doi: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.102>.
 - [14] T. A. Daroini and A. Arisandi, "Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) Di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan," *JUVENIL*, vol. 1, no. 4, p. 558, 2020, doi: <https://doi.org/10.21107/juvenil.v1i4>.
 - [15] S. Muhammad, "Review Paper On Tannery Wastewater Treatment And Control," *Glob. Sci. Journals*, vol. 10, no. 7, p. 1560, 2022, [Online]. Available: https://www.globalscientificjournal.com/researchpaper/TANNERY_WASTE_WATER_TREATMENT_AND_CONTROL.pdf
 - [16] D. Hamilton, *Organic Matter Content of Wastewater and Manure*. 2021, p. 2. [Online]. Available: <https://extension.okstate.edu/search-results.html?q=Organic+Matter+Content+of+Wastewater+a&site=https%3A%2F%2Fextension.okstate.edu&radio=on>