

Utilization of Treated Wastewater from the Ready-Mix Concrete Industry for Road Spraying

Pemanfaatan Air Limbah Terolah dari Industri Beton Ready Mix untuk Penyiraman Jalan

Sabrina Haifa Rosyadah¹, Raden Kokoh Haryo Putro¹, Nicken Elok Arohmah²
¹UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia, ²PT. Govindo Eco Prima, Surabaya, Indonesia
*surel: radenkokoh.fl@upnjatim.ac.id

ABSTRACT

The ready-mix concrete industry plays a crucial role in supplying concrete for various construction purposes. During its production and operational processes, this industry generates wastewater from laboratory activities, mixer van washing, and truck mixer cleaning. The generated wastewater is treated and planned to be reused for road spraying within the industrial area. This paper aims to analyze the characteristics of the generated wastewater and its potential impact on roads, and evaluate the efficiency of its reuse. The total volume of treated wastewater produced is 11.88 m³/day, containing parameters such as pH, TSS, Cl⁻, and SO₄²⁻. Based on the water quality measurements, the treated wastewater meets the quality standards set by the Ministry of Environment and Forestry for pH and TSS, and by Government Regulation No. 22 of 2021 for chloride and sulfate. Therefore, the wastewater is considered suitable for road spraying. The efficiency of using treated wastewater for this purpose reaches 43% during the dry season and 86% during the rainy season.

Keywords:

Wastewater,
Utilization,
Treatment,
Road Spraying,
Ready Mix Concrete Industry

Received: January 5th 2025

Reviewed: January 18th 2025

Published: February 28th 2025

ABSTRAK

Industri beton *ready mix* adalah industri yang bergerak di bidang penyediaan beton siap pakai untuk berbagai keperluan konstruksi. Pada proses produksi dan perdagangannya, industri ini menghasilkan air limbah dari laboratorium, pencucian van mixer, dan pencucian truck mixer. Air limbah yang dihasilkan akan diolah dan direncanakan untuk pemanfaatan penyiraman jalan pada kawasan industri. Tujuan dari jurnal ini adalah untuk menganalisis karakteristik dari air limbah yang dihasilkan dan dampaknya terhadap jalan, serta menganalisis efisiensi pemanfaatan air limbah hasil olahan untuk penyiraman. Didapatkan total air limbah hasil olahan sebesar 11,88 m³/hari mengandung parameter pH, TSS, Cl⁻, dan SO₄²⁻. Hasil pengukuran kualitas air limbah yang telah dilakukan pengolahan telah memenuhi baku mutu sesuai Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk pH dan TSS dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk Klorida dan Sulfat sehingga air limbah dapat dimanfaatkan untuk penyiraman jalan. Efisiensi penyiraman menggunakan air limbah hasil olahan mencapai 43% pada musim kemarau dan 86% pada musim penghujan.

Kata Kunci:

Air limbah,
Pemanfaatan,
Pengolahan,
Penyiraman Jalan,
Industri Beton Ready Mix

Diterima: 5 Januari 2025

Direview: 18 Januari 2025

Dipublikasi: 28 Februari 2025



PENDAHULUAN

Limbah merupakan bahan sisa atau bahan buangan hasil kegiatan manusia yang berpotensi menimbulkan bahaya dan kerusakan bagi lingkungan apabila tidak dikelola serta diolah dengan baik. Limbah dapat dihasilkan dari kegiatan rumah tangga, perkantoran, pertambangan, maupun industri. Pada kegiatan industri, limbah dihasilkan dari berbagai proses kegiatan produksi. Berdasarkan wujudnya, limbah industri terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu limbah cair, padat, dan gas. Limbah cair diperoleh dari kegiatan produksi yang menghasilkan air bekas pakai yang telah mengandung bahan pencemar berupa senyawa organik dan anorganik. Kuantitas dari limbah cair umumnya lebih besar dibandingkan dengan limbah padat dan gas [1]. Pengolahan terhadap limbah cair industri diperlukan agar limbah yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan.

Industri beton *ready mix* merupakan salah satu sektor industri yang terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur di Indonesia. Salah satu aktivitas dalam sektor ini adalah perdagangan beton siap pakai (*ready mix*) yang digunakan dalam berbagai fasilitas, seperti jalan raya, jalan tol, gedung, serta pembangunan lainnya. Beton *ready mix* adalah beton segar yang belum mengalami pengerasan dan pengikatan di *batching plant* [2]. Kelebihan dari beton siap pakai (*ready mix*), yaitu bahan baku yang digunakan sesuai dengan kualitas yang diinginkan oleh konsumen, pengawasan kualitas dari proses pembuatan hingga pengiriman yang ketat, pengiriman yang terkontrol dan optimal, serta pengiriman yang dapat langsung dikirim dari pabrik ke lokasi proyek atau disesuaikan dengan keperluan konsumen.

Dalam proses perdagangan yang dilakukan, industri beton *ready mix* menghasilkan air limbah dengan jumlah yang cukup besar. Proses produksi 9 m³ beton *ready mix*, dihasilkan air limbah sebanyak 700 hingga 1.300 liter [3], [4]. Air limbah ini berasal dari kegiatan uji kuat tekan beton pada laboratorium, pencucian van mixer yang digunakan dalam proses *mixing* beton, dan pencucian truck mixer setelah proses distribusi kepada pelanggan. Limbah cair yang dihasilkan mengandung sisa bahan penyusun beton, seperti kapur dari semen, bebatuan, dan bahan kimia [5]. Bahan-bahan tersebut memengaruhi karakteristik air limbah yang dihasilkan, yaitu pH, padatan tersuspensi (TSS), klorida (Cl⁻), dan sulfat (SO₄²⁻). Kandungan parameter pada air limbah ini melebihi baku mutu yang telah ditetapkan berdasarkan usulan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk pH dan TSS dan menurut Lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk baku mutu sungai kelas 4. Pembuangan air limbah dengan volume dan kandungan parameter yang tinggi secara langsung pada lingkungan dapat membahayakan keberlanjutan lingkungan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, setiap usaha dan/atau kegiatan wajib memiliki dokumen lingkungan yang mencantumkan pengolahan dan pengelolaan air limbah yang dihasilkan agar sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan. Pengelolaan terhadap air limbah dilakukan melalui 2 cara, yaitu pengolahan dan pemanfaatan. Pemanfaatan air limbah merupakan salah satu upaya dalam menekan kebutuhan air bersih [6]. Salah satu implementasi dari pemanfaatan terhadap air limbah adalah kegiatan penyiraman jalan. Cara ini dilakukan oleh salah satu industri beton *ready mix* untuk mengurangi ketergantungan terhadap air bersih yang dibutuhkan untuk menyirami jalan yang berdebu pada kawasan industri akibat dari mobilisasi alat berat. Sebelum dilakukan pemanfaatan, air limbah harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi standar baku mutu dan meminimalkan timbulnya dampak negatif terhadap jalan. Teknologi yang digunakan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri beton *ready mix* adalah sedimentasi dan adsorpsi. Air limbah yang telah memenuhi standar baku mutu untuk penyiraman setelah proses pengolahan pada IPAL dapat dimanfaatkan untuk penyiraman jalan. Jurnal ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dari air limbah yang dihasilkan industri beton *ready mix* sebelum dan setelah dilakukan pengolahan pada IPAL dan dampaknya terhadap jalan, serta efisiensi pemanfaatan air limbah hasil olahan untuk penyiraman jalan pada kawasan industri beton *ready mix*.

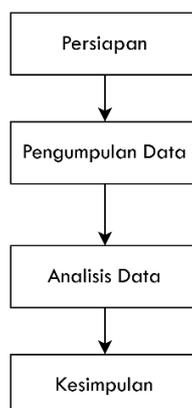
METODOLOGI

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan menggunakan data sekunder berupa sumber air limbah, total kebutuhan air bersih, debit air limbah, karakteristik air limbah, baku mutu yang diacu, dan luas area jalan yang akan dimanfaatkan. Data diperoleh dari dokumen Persetujuan Teknis pemanfaatan air limbah untuk aplikasi ke tanah oleh salah satu industri beton *ready mix* dan studi literatur.

Tahapan dari penelitian ini dimulai dengan persiapan, pengumpulan data, analisis data, dan kesimpulan. Rincian dari tahapan ini, yaitu :

1. Tahap Persiapan
Tahap persiapan dilaksanakan dengan melakukan identifikasi dan pengumpulan informasi berdasarkan studi literatur dan regulasi yang relevan untuk mengetahui data yang dibutuhkan dalam penelitian.
2. Tahap Pengumpulan Data
Tahap pengumpulan data dilakukan dengan melengkapi data yang dibutuhkan berdasarkan dokumen Persetujuan Teknis industri beton *ready mix*, yakni kebutuhan air bersih, sumber air limbah, karakteristik air limbah, baku mutu yang digunakan, dan luas area jalan.
3. Tahap Analisis Data
Tahap analisis data dilakukan dengan mengkaji proses produksi dan perdagangan dari industri beton *ready mix*, serta mengidentifikasi kegiatan yang berpotensi menghasilkan air limbah. Selanjutnya, menganalisis terkait perhitungan terhadap kebutuhan air bersih dan air limbah yang dihasilkan menggunakan rumus berikut :
Timbulan air limbah = 80% x Kebutuhan Air Bersih
Setelah itu, karakteristik dari air limbah sebelum dan sesudah pengolahan pada IPAL dianalisis kesesuaiannya dengan baku mutu yang digunakan, dampak setiap parameter terhadap jalan, dan kelayakan penggunaan air limbah hasil olahan untuk penyiraman jalan. Efisiensi terhadap penggunaan air limbah juga dihitung berdasarkan debit air limbah hasil pengolahan dan kebutuhan air untuk penyiraman. Rumus yang digunakan dalam perhitungan ini adalah :
Total Kebutuhan Penyiraman = Kebutuhan Penyiraman x Luas Area x Frekuensi Penyiraman
Efisiensi Penyiraman (%) = $\frac{\text{Debit Air Limbah Hasil Olahan}}{\text{Kebutuhan Air Penyiraman}} \times 100\%$
Perhitungan total kebutuhan penyiraman dan efisiensi dilakukan dalam 2 musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan.
4. Tahap Kesimpulan
Kesimpulan mencantumkan hasil akhir dari analisis secara deskriptif dan ringkas. Kesimpulan dilakukan dengan mengevaluasi karakteristik dari air limbah dan kelayakannya untuk digunakan sebagai pemanfaatan dan efisiensi penggunaan air limbah hasil olahan untuk penyiraman jalan.

Tahapan dari penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1** berikut :

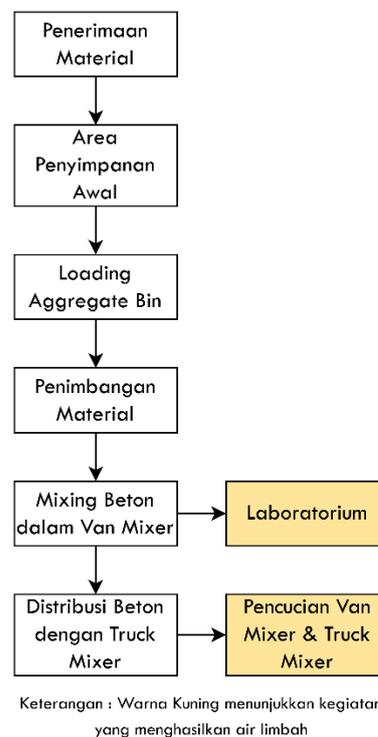


Gambar 1. Tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Air Limbah

Dalam proses produksi beton *ready mix*, terdapat tahap persiapan yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton yang berkualitas dan sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Persiapan ini diawali dengan pemenuhan material yang dibutuhkan untuk pembuatan beton *ready mix*, seperti pasir, semen, air, dan *admixture*. Selanjutnya, dilakukan penyimpanan material, perhitungan desain bahan baku, penimbangan material, pengadukan, hingga distribusi beton siap pakai kepada pelanggan. Alur proses dari kegiatan produksi beton *ready mix* dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Alur proses produksi beton siap pakai

Pada proses produksi, dihasilkan air limbah yang berasal dari laboratorium, pencucian van mixer, dan pencucian truck mixer. Dalam proses produksi beton *ready mix*, bahan-bahan beton ditimbang kemudian diaduk menggunakan Van Mixer. Sebelum beton didistribusikan kepada pelanggan, dilakukan uji kuat tekan beton pada laboratorium untuk mendapatkan nilai estimasi kuat tekan beton pada struktur eksisting. Proses tersebut membutuhkan air bersih untuk kolam perendaman berisi cetakan beton yang digunakan untuk uji tekan. Setelahnya, adukan cor beton yang telah homogen dipindahkan pada Truck Mixer dan didistribusikan pada pelanggan. Pencucian Van Mixer dan Truck Mixer dilaksanakan setelah produksi dan distribusi beton *ready mix* terselesaikan.

Jumlah Kebutuhan Air Bersih dan Air Limbah yang Dihasilkan

Industri beton *ready mix* membutuhkan air bersih dalam proses perdagangannya. Air bersih yang digunakan bersumber dari air bawah tanah yang disimpan dalam tandon air dengan kapasitas 145 m³/hari. Air ini digunakan untuk berbagai kebutuhan, yaitu penyiraman area proyek, campuran beton *ready mix*, uji kuat tekan beton pada laboratorium, pencucian Van Mixer, dan pencucian Truck Mixer. Air didistribusikan menggunakan pompa dengan *flow meter* untuk memastikan jumlah air yang digunakan sesuai dengan kebutuhan. Timbulan air limbah yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan faktor timbulan air limbah sebesar 80% [7]. Pada proses penyiraman area proyek dan campuran beton *ready mix*, air habis digunakan sehingga tidak dihasilkan air limbah. Neraca air bersih dan air limbah yang dihasilkan industri beton *ready mix* disajikan pada **Tabel 1** berikut :

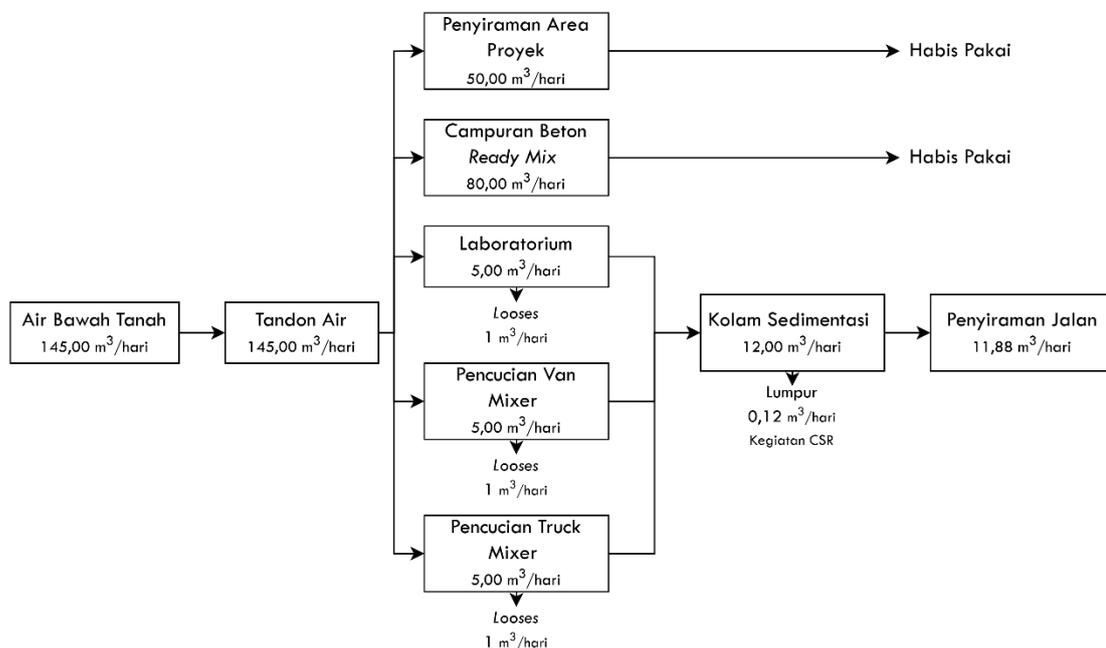
Tabel 1. Neraca air bersih dan air limbah industri beton ready mix

No.	Kegiatan	Kebutuhan Air Bersih (m ³ /hari)	Limbah Cair yang Dihasilkan (m ³ /hari)
1	2	3*	4 (3 x 80%)
1.	Penyiraman Area Proyek	50,00	Habis Pakai
2.	Campuran Beton Ready Mix	80,00	Habis Pakai
3.	Laboratorium	5,00	4,00
4.	Pencucian Van Mixer	5,00	4,00
5.	Pencucian Truck Mixer	5,00	4,00
Total		145,00	12,00

Keterangan : *Diperoleh dari data flow meter industri beton ready mix

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa volume air limbah yang dihasilkan dalam proses perdagangan oleh industri beton ready mix adalah 12 m³/hari. Volume air limbah tersebut dihasilkan dari kapasitas produksi beton ready mix sebesar 1980 ton/hari. Neraca massa penggunaan air ditunjukkan pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Neraca massa penggunaan air industri beton ready mix

Timbulan air limbah yang dihasilkan adalah sebesar 12 m³/hari. Jumlah tersebut sesuai dengan faktor timbulan air limbah, yaitu 80% dari air bersih, sedangkan 20% lainnya akan tertinggal pada alat dan saluran distribusi air bersih. Setelah dilakukan pengolahan menggunakan kolam sedimentasi, terdapat endapan lumpur sebesar 0,12 m³/hari sehingga air limbah hasil olahan yang dapat dimanfaatkan untuk penyiraman jalan adalah sebesar 11,88 m³/hari. Volume endapan lumpur diperoleh Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Perhitungan volume endapan lumpur

Uraian	Rumus	Sedimentasi 1	Sedimentasi 2	Sedimentasi 3	Satuan
Debit	-	12	12	12	m ³ /hari
Influent TSS	-	840,20	672,16	32,26	mg/L
Efisiensi Removal	-	20%	60%	20%	%

Uraian	Rumus	Sedimentasi 1	Sedimentasi 2	Sedimentasi 3	Satuan
Berat Jenis SS	-	2650	2650	2650	kg/m ³
Berat Jenis Air (pa)	-	1000	1000	1000	kg/m ³
Konsentrasi Diskrit	90% x Influent TSS	756,18	604,94	29,04	mg/L
Solid Teremoval	Efisiensi Removal x Konsentrasi Diskrit	151,24	362,97	5,81	mg/L
Berat Solid yang Terendapkan (ms)	Q x Solid Teremoval	1,81	4,35	0,06	kg/hari
Berat Air (ma)	19 x ms	34,48	82,76	1,32	kg/hari
Berat Jenis Lumpur (ps)	(Berat Jenis SS x 5%) + (berat jenis air x 95%)	1082,50	1082,50	1082,50	kg/m ³
Volume Lumpur	(ms/ps) + (ma/pa)	0,035	0,084	0,001	m ³ /hari

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

$$\begin{aligned}
 \text{Total Volume Endapan Lumpur Sedimentasi} &= \text{Vol. Lumpur Sedimentasi 1} + \text{Vol. Lumpur Sedimentasi} \\
 &\quad 2 + \text{Vol. Lumpur Sedimentasi 3} \\
 &= 0,035 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,084 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,001 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,12 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Karakteristik Air Limbah

Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton *ready mix* mengontaminasi air pada kolam perendaman uji kuat tekan beton, air pencucian Van Mixer, dan air pencucian Truck Mixer. Limbah cair yang dihasilkan mengandung semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan obat beton sebagai bahan-bahan beton *ready mix* [8]. Berdasarkan bahan tersebut, karakteristik limbah cair beton *ready mix* diketahui dengan mengukur parameter fisik, yaitu TSS (*Total Suspended Solid*) dan parameter kimia, yaitu pH, Klorida (Cl⁻), dan Sulfat (SO₄²⁻). Hasil pengukuran limbah cair sebelum dan setelah dilakukan pengolahan, serta perbandingannya dengan baku mutu sungai kelas 4 yang dapat dijadikan acuan untuk penyiraman jalan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Karakteristik Air Limbah

No.	Parameter	Nilai Awal	Nilai Akhir	Baku Mutu	Satuan
1.	pH	7	9	6-9*	-
2.	TSS	840,2	26	30*	mg/L
3.	Cl ⁻	500	360	600**	mg/L
4.	SO ₄	450	90	400**	mg/L

Keterangan : *Usulan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021

**Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Berdasarkan tabel di atas, nilai karakteristik air limbah setelah dilakukan pengolahan memenuhi baku mutu untuk penyiraman terhadap jalan yang telah ditetapkan menurut usulan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk pH dan TSS dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk Klorida (Cl⁻) dan Sulfat (SO₄²⁻) sehingga air hasil olahan dapat digunakan untuk penyiraman jalan pada kawasan industri beton *ready mix*.

Parameter Pencemar Air Limbah Industri Beton Ready Mix dan Dampak Terhadap Jalan

TSS (Total Suspended Solid)

Semen memiliki bahan baku utama berupa batu kapur (*Lime Stone*) dan tanah liat (*Clay*). Selain itu, terdapat penambahan pasir besi dan pasir silika untuk memenuhi proporsi kimia yang memengaruhi kualitas semen [9]. Bahan tersebut mencemari limbah cair hasil proses persiapan perdagangan beton *ready mix*. Kapur dalam semen akan melepaskan ion Ca^{2+} secara perlahan ketika bereaksi dengan air sehingga membentuk partikel padatan yang tidak terlarut yang terdeteksi sebagai kadar TSS (*Total Suspended Solid*) [10]. Penggunaan pasir silika, tanah liat, dan pasir besi sebagai bahan semen serta agregat halus dan kasar dari bahan beton *ready mix* turut berpengaruh dalam peningkatan padatan tersuspensi dalam limbah cair yang dihasilkan.

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengukuran awal parameter TSS menunjukkan nilai yang cukup tinggi, yaitu 840,2 mg/L. Nilai TSS yang tinggi mengindikasikan banyaknya padatan tersuspensi dalam air limbah yang dihasilkan. TSS yang tinggi menyebabkan sedimen yang berada dalam air limbah juga semakin tinggi [11]. Dalam penggunaan air limbah untuk penyiraman ke jalan, kandungan sedimen dalam air limbah dapat menyebabkan timbulnya lapisan *sludge* pada permukaan jalan. Padatan tersuspensi pada air limbah, seperti agregat dan pasir dapat mengisi pori-pori pada aspal yang akan dilewati oleh kendaraan sehingga terjadi penyumbatan yang dapat membahayakan permeabilitas jalan dan mempercepat proses kerusakan jalan [12].

Hasil pengukuran TSS setelah pengolahan limbah cair menunjukkan terjadinya penurunan menjadi 26 mg/L. Nilai ini telah memenuhi baku mutu parameter TSS menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Kadar TSS yang telah memenuhi baku mutu menunjukkan air limbah yang telah diolah dapat digunakan untuk penyiraman jalan, tetapi tetap diperlukan perawatan pada jalan untuk mencegah penumpukan padatan tersuspensi pada permukaan jalan yang menyebabkan terjadinya kerusakan.

Derajat Keasaman (pH)

Pada limbah cair yang dihasilkan dalam proses perdagangan beton *ready mix* mengandung senyawa-senyawa kimia, seperti Oksida kalsium (CaO), Oksida silikat (SiO_2), Oksida alumunium (Al_2O_3), dan Oksida besi (Fe_2O_3) [9]. Senyawa kimia tersebut berasal dari salah satu bahan beton *ready mix*, yaitu semen yang berbahan baku batu kapur. Senyawa kimia yang terlarut menyebabkan limbah cair yang dihasilkan bersifat basa. Kandungan CaO dalam semen dapat bereaksi dengan air (H_2O) menghasilkan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [13]. Pada kondisi ini, ion Ca^{2+} akan mengikat karbon dioksida (CO_2) menghasilkan struktur CaCO_3 dan melepaskan ion hidroksida (OH^-) yang menyebabkan terjadinya peningkatan pH menjadi basa [14].

Hasil pengukuran pH air limbah beton *ready mix* sebelum dilakukan pengolahan adalah sebesar 7. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pH bersifat netral. Setelah dilakukan pengolahan, pH air limbah meningkat menjadi 9. Pada baku mutu menurut usulan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, nilai pH wajib berada pada rentang 6-9. pH air limbah setelah pengolahan termasuk dalam batas atas dari standar baku mutu yang digunakan sehingga air limbah berisiko jika dimanfaatkan untuk penyiraman. Nilai pH yang rendah (asam) dapat mengikis lapisan permukaan jalan dan menimbulkan retakan, sedangkan nilai pH tinggi (basa) menyebabkan permukaan jalan bergelembung dan retak ketika dilewati oleh kendaraan berat [15]. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan netralisasi dalam pengolahan air limbah agar pH mendekati 7 sehingga meminimalkan risiko terjadinya kerusakan pada jalan.

Klorida (Cl⁻)

Dalam pembuatan beton *ready mix* diperlukan air, agregat, dan bahan campuran (*admixture*), seperti obat kimia. Air dan agregat rentan terkontaminasi oleh klorida pada proses distribusi dan penyimpanan. Ion klorida dapat masuk ke dalam beton melalui air yang mengandung ion klorida secara difusi [16]. Selain itu, senyawa kimia dalam *admixture* yang digunakan untuk memperbaiki ketahanan beton mengandung ion klorida yang menyebabkan tingginya kadar ion klorida dalam air limbah beton *ready mix* [17], [18]. Penyimpanan agregat pada ruang terbuka

berdampak pada terpaparnya agregat dengan klorida dan menambah kadar klorida pada air limbah.

Nilai awal klorida pada air limbah adalah 500 mg/L. Setelah dilakukan pengolahan, kadar klorida menjadi 360 mg/L. Kadar tersebut telah memenuhi standar baku mutu penyiraman ke jalan menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sehingga air limbah hasil olahan dapat dimanfaatkan untuk penyiraman. Apabila air limbah hasil olahan mengandung kadar klorida tinggi atau melebihi baku mutu, ion klorida akan berdampak pada permukaan jalan. Ion klorida pada jalan yang terbuat dari aspal akan mengendap atau bereaksi dengan material aspal. Akibatnya, permukaan aspal lebih lunak, terjadinya retakan pada lapisan permukaan aspal, dan longgarnya batuan penyusun aspal sehingga mengakibatkan kerusakan jalan [19].

Pemanfaatan Air Limbah untuk Penyiraman Jalan

Air yang digunakan untuk penyiraman jalan merupakan air yang telah diolah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Karakteristik dari air limbah hasil olahan mengandung pH, TSS, Klorida (Cl^-), dan Sulfat (SO_4^{2-}) dalam jumlah yang sesuai dengan standar baku mutu. Diharapkan air limbah hasil olahan yang akan dimanfaatkan untuk menyirami jalan memiliki komposisi yang tidak bersifat merusak jalan sehingga pencemaran terhadap lingkungan dapat diminimalkan. Air hasil olahan IPAL yang berpotensi untuk dimanfaatkan adalah sebesar 11,88 m³/hari.

Lahan yang digunakan untuk tempat penyiraman merupakan jalan akses kendaraan berat pada wilayah operasional industri beton *ready mix*. Total luas lahan yang akan dijadikan tempat penyiraman adalah seluas 6.906 m². Dosis yang dibutuhkan untuk penyiraman adalah sebesar 0,002 m³/m²/hari [20]. Penyiraman dijadwalkan antara pukul 08.00 hingga 10.00 WIB dengan frekuensi penyiraman sebanyak 2 kali/hari pada musim kemarau dan 1 kali/hari pada musim penghujan. Kebutuhan terhadap air limbah hasil olahan untuk kegiatan penyiraman dapat dilihat pada perhitungan berikut :

- a. Musim Kemarau
- | | |
|----------------------------|---|
| Dosis Penyiraman | = 0,002 m ³ /m ² /hari |
| Luas Lahan | = 6.906 m ² |
| Frekuensi | = 2 kali/hari |
| Total Kebutuhan Penyiraman | = Kebutuhan Penyiraman x Luas Area x Frekuensi Penyiraman |
| | = 0,002 m ³ /m ² /hari x 6.906 m ² x 2 |
| | = 27,624 m ³ /hari |
- b. Musim Penghujan
- | | |
|----------------------------|---|
| Dosis Penyiraman | = 0,002 m ³ /m ² /hari |
| Luas Lahan | = 6.906 m ² |
| Frekuensi | = 1 kali/hari |
| Total Kebutuhan Penyiraman | = Kebutuhan Penyiraman x Luas Area x Frekuensi Penyiraman |
| | = 0,002 m ³ /m ² /hari x 6.906 m ² x 1 |
| | = 13,812 m ³ /hari |

Berdasarkan perhitungan tersebut, air limbah hasil olahan yang dibutuhkan untuk penyiraman jalan adalah sebesar 27,624 m³/hari untuk musim kemarau dan 13,812 m³/hari untuk musim penghujan. Jumlah kebutuhan air yang diperlukan untuk penyiraman jalan pada kawasan industri beton *ready mix* baik pada musim kemarau dan musim penghujan lebih besar dibandingkan jumlah air limbah hasil olahan. Hal tersebut menunjukkan bahwa jalan pada kawasan industri beton *ready mix* tidak dapat dilayani secara keseluruhan. Efisiensi penggunaan air limbah hasil olahan dapat diketahui berdasarkan perhitungan di bawah ini :

- a. Musim Kemarau
- | | |
|--------------------------|---|
| Efisiensi Penyiraman (%) | = $\frac{\text{Debit Air Limbah Hasil Olahan}}{\text{Kebutuhan Air Penyiraman}} \times 100\%$ |
| | = $\frac{11,88 \text{ m}^3/\text{hari}}{27,624 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 100\%$ |
| | = 43% |

b. Musim Penghujan

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Penyiraman (\%)} &= \frac{\text{Debit Air Limbah Hasil Olahan}}{\text{Kebutuhan Air Penyiraman}} \times 100\% \\
 &= \frac{11,88 \text{ m}^3/\text{hari}}{13,812 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 100\% \\
 &= 86\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi penyiraman menggunakan air limbah hasil olahan pada musim kemarau hanya mencapai 43%, sedangkan pada musim penghujan mencapai 86%. Persentase penyiraman pada musim hujan lebih tinggi dibandingkan dengan musim kemarau. Hal ini disebabkan oleh curah hujan sehingga frekuensi penyiraman hanya dibutuhkan 1 kali/hari dan area jalan yang dapat dijangkau saat penyiraman lebih luas.

KESIMPULAN

Proses perdagangan industri beton *ready mix* menghasilkan air limbah dengan karakteristik berupa pH, TSS, Klorida (Cl⁻), dan Sulfat (SO₄²⁻) yang melebihi standar baku mutu. Dalam pemanfaatan air limbah untuk penyiraman, air limbah dengan nilai karakteristik yang tinggi berdampak negatif pada jalan, yaitu menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan. Setelah proses pengolahan pada IPAL, air limbah hasil olahan yang dihasilkan sebesar 11,88 m³/hari dengan karakteristik yang telah memenuhi baku mutu menurut usulan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan untuk pH dan TSS dan menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sehingga air limbah hasil olahan dapat digunakan untuk penyiraman jalan.

Efisiensi penggunaan air limbah hasil olahan pada musim kemarau mencapai 43%, sedangkan pada musim penghujan mencapai 86%. Pemanfaatan air limbah hasil olahan tidak dapat menjangkau seluruh area jalan pada kawasan industri beton *ready mix* sehingga tetap diperlukan air bersih dalam memenuhi kebutuhan air bersih untuk penyiraman jalan. Akan tetapi, pemanfaatan terhadap air limbah hasil olahan telah mampu mengurangi volume dan beban pencemar pada badan air dan meminimalkan terjadinya pencemaran badan air.

REFERENSI

- [1] S. Martini, E. Yuliwati, and D. Kharismadewi, "Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri," *Distilasi*, vol. 5, no. 2, pp. 26–33, 2020. Link: <https://doi.org/10.32502/jd.v5i2.3030>
- [2] R. Ginting and W. Malau, "Analisis Perbandingan Mutu Beton dengan Menggunakan Berbagai Cara Pengadukan (Ready Mix, Molen, dan Manual)," *Jurnal Darma Agung*, vol. 28, no. 1, pp. 106–114, 2020. Link: <http://dx.doi.org/10.46930/ojsuda.v28i1.512>
- [3] F. Sandrolini and E. Franzoni, "Waste Wash Water Recycling in Ready-Mixed Concrete Plants," *Cem Concr Res*, vol. 31, no. 3, pp. 485–489, 2001. Link: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00468-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00468-3)
- [4] S. Widodo, "Pemanfaatan Air Limbah Produksi Beton Ready-Mix Sebagai Pembuatan Beton Baru," *Inersia*, vol. 6, no. 1, hlm. 1–10, 2010. Link: https://www.researchgate.net/publication/317357116_PEMANFAATAN_AIR_LIMBAH_PRODUKSI_BETON_READY-MIX_SEBAGAI_BAHAN_CAMPURAN_UNTUK_PEMBUATAN_BETON_BARU
- [5] A. A. Rahmani, Arifin and G. C. Asbanu, "Efisiensi Pengolahan Limbah Beton Ready-Mix dengan Metode Elektrokoagulasi dan Adsorpsi," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 2, pp. 375–381, 2022. Link: <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.375-381>
- [6] P. S. A. Sitogasa, E. Kurniawati, R. Novembrianto, and P. W. Prabowo, "Sistem Pengolahan dan Pemanfaatan Air Limbah Domestik (Studi Kasus pada PT. X)," *Jurnal Ekologi, Masyarakat, dan Sains*, vol. 4, no. 1, pp. 14–19, 2022. Link: <https://doi.org/10.55448/ems.v4i1.74>
- [7] E. Wardhani, S. A. Alsadilla, G. T. Mangopo, A. N. P. Nastiti, K. Fatim, G. G. Kurnia, and N. Ayuni, "Penentuan Timbulan Air Limbah dan Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah di Central Business District Kota Harapan Indah Kota Bekasi," *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, vol. 7, no. 1, 2023. Link: <http://dx.doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.9774>

- [8] I. A. C. V. Laksmi, G. A. Diputra, and G. A. P. C. Dharmayanti, "Perencanaan Persediaan Material pada Industri Ready Mix Concrete Menggunakan Metode EOQ (Economic Order Quantity) (Studi Kasus: PT. Sarana Beton Perkasa, Jalan By Pass Prof. Ida Bagus Mantra, Gianyar-Bali)," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 140–147, 2015. Link: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/24144>
- [9] M. P. Amelia, Safaruddin, and M. M. Muzzaki, "Analisis Prosedur Pembuatan Semen pada PT. Semen Baturaja," *Jurnal Multidisipliner Bharasumba*, vol. 01, no. 03, pp. 512–522, 2022. Link: <https://doi.org/10.62668/bharasumba.v1i04.301>
- [10] T. A. Gunarta, "Penurunan Surfaktan dan Fosfat Air Saluran Kalidami Menggunakan Media Kapur Semen dengan Proses Presipitasi Sedimentasi," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019. Link: <https://repository.its.ac.id/67174/>
- [11] R. F. Rizka, P. W. Purnomo, and A. Sabdaningsih, "Pengaruh Total Suspended Solid (TSS) Terhadap Densitas Zooxanthellae pada Karang Acropora sp. dalam Skala Laboratorium," *Jurnal Pasir Laut*, vol. 4, no. 2, pp. 95–101, 2020. Link: <https://doi.org/10.14710/jpl.2020.33689>
- [12] X. Sui, S. Wang, Z. Leng, B. Yang, and G. Lu, "Clogging Evaluation of Porous Asphalt Pavement Using Ground-Penetrating Radar," *Measurement*, vol. 216, no. 112939, 2023. Link: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112939>
- [13] Y. A. Priastiwati, H. Wibowo, Purwanto, A. Hidayat, I. A. Ulayya, and N. Carita, "Pengaruh Air Laut Terhadap Kuat Tekan, Permeabilitas, dan Mikrostruktur Beton Geopolimer dengan Fly Ash dan Tanah Putih Sebagai Pengganti Semen," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 30, no. 1, pp. 65–74, 2024. Link: <https://doi.org/10.14710/mkts.v30i1.63604>
- [14] I. Nistiyanti and E. Hidayanto, "Studi Pemanfaatan Sifat Pembiasan Cahaya pada Portable Brix Meter Untuk Menganalisis Hubungan Konsentrasi Larutan Sukrosa (C₁₂H₂₂O₁₁) Terhadap pH," *Youngster Physics Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 231–236, 2015. Link: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/bfd/article/view/9105>
- [15] Y. Zou, S. Wu, A. Chen, Q. Liu, S. Amirkhanian, S. Xu, C. Yang, P. Wan, H. Xu, and Z. Lu, "Comprehensive Properties Assessment of Asphalt Binder Under Aqueous Solutions with Different pH Values and Its Gradient Damage Behaviors," *Constr Build Mater*, vol. 414, 2024. Link: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134938>
- [16] H. Hardianti, S. A. Kristiawan, and Wibowo, "Pengaruh Konsentrasi Klorida Terhadap Laju Penetrasi Ion Klorida ke dalam Beton High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC)," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 5, pp. 974–980, 2017. Link: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i3.36727>
- [17] S. A. Chini and W. J. Mbwambo, "Environmentally Friendly Solutions For The Disposal of Concrete Wash Water From Ready Mixed Concrete Operations," dalam *CIB W89 Beijing International Conference*, Okt 1996, pp. 21–24. Link: https://www.researchgate.net/publication/237249107_ENVIRONMENTALLY_FRIENDLY_SOLUTIONS_FOR_THE_DISPOSAL_OF_CONCRETE_WASH_WATER_FROM_READY_MIXED_CONCRETE_OPERATIONS
- [18] A. A. Kadir, S. Shahidan, L. H. Yee, M. I. H. Hassan, and M. M. A. B. Abdullah, "The Effect on Slurry Water As A Fresh Water Replacement in Concrete Properties," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2016, pp 1–9. Link: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/133/1/012041>
- [19] F. Wang, X. Qin, W. Pang, and W. Wang, "Performance Deterioration of Asphalt Mixture under Chloride Salt Erosion," *Materials*, vol. 14, no. 3339, pp. 3–15, 2021. Link: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34204241/>
- [20] D. S. Handayani, "Kajian Pustaka Potensi Pemanfaatan Greywater Sebagai Air Siram WC dan Air Siram Tanaman di Rumah Tangga," *Jurnal Presipitasi*, vol. 10, no. 1, pp. 41–50, 2013. Link: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v10i1.41-50>