

### Prediksi Sebaran Air Limbah Batu bara di Badan Air Permukaan (Anak Sungai X) Dengan Memperhatikan Musim Barat Dan Timur Menggunakan *Software* MIKE 21

Rizal Fachrudin dan Rizka Novembrianto\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi (Penulis): [rizka.tl@upnjatim.ac.id](mailto:rizka.tl@upnjatim.ac.id)

#### Kata Kunci:

Anak Sungai X, Batu bara, Fe, MIKE 21, Mn, pH, Suhu, TSS.

#### ABSTRAK

Penambahan luasan pada *pit* dan *disposal* batu bara, direncanakan penambahan titik *outlet* pada daerah *project* (aktivitas Pelabuhan). Limbah cair berupa air hujan limpasan penimbunan di *stockpile*, hingga pencucian material mengandung logam berat, nantinya masuk ke *Settling Pond* sebelum dibuang ke anak sungai X. Sehingga, dibutuhkan prakiraan dampak sebaran air limbah di anak sungai X untuk mengetahui besar pengaruh kualitas limbah cair batu bara yang dibuang. Dilakukan pendekatan numerik *software* MIKE 21 yang diaplikasikan dengan memperhatikan musim barat dan timur. Didapatkan konsentrasi suhu tertinggi mencapai 26°C, pada *outfall*-1,7 km di musim barat dan timur. Sebaran konsentrasi pH tertinggi pada musim timur mencapai 6,1397, pada *outfall*-1,7 km. Sebaran konsentrasi TSS tertinggi mencapai 15,0 ppm, pada jarak 0,4-0,6 km di musim barat dan timur. Sebaran konsentrasi Fe tertinggi mencapai 0,952 ppm, pada titik *outfall*-0,25 km di musim barat dan timur. Serta, sebaran konsentrasi Mn tertinggi mencapai 0,448 ppm, pada jarak 0,25 km di musim barat dan timur. Berdasarkan PP No. 22/2021 Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Nasional Kelas 2 yakni parameter Suhu Dev 3°C, parameter pH 6-9, parameter TSS 50 ppm, serta parameter Fe dan Mn tidak disyaratkan, sehingga hanya parameter pH yang tidak memenuhi baku mutu.

#### Keyword:

Coal, Fe, MIKE 21, Mn, pH, Temperature, Tributary X, TSS.

#### ABSTRACT

*Increasing the* daerah of the coal pit and disposal, planned additional outlet points in the project daerah (port activities). Wastewater in the form of rainwater runoff in the stockpile, to the washing of materials containing heavy metals, will enter the Settling Pond before being discharged into the X tributary. A numerical approach using MIKE 21 software which was applied taking into the western and eastern seasons. It was found that the highest temperature concentration reached 26°C, at outfall-1.7 km in the west and east seasons. The highest pH concentration in the east season reached 6.139, at outfall-1.7 km. The highest TSS concentration reached 15.0 ppm, at distance of 0.4-0.6 km in the west and east seasons. The highest Fe concentration reached 0.952 ppm, at outfall-0.25 km in the west and east seasons. Also, the highest Mn concentration reached 0.448 ppm, at distance 0.25 km in the west and east seasons. Based on PP no. 22/2021 Appendix VI Class 2 National Water Quality Standards, the temperature parameter Dev 3°C, the pH parameter 6-9, the TSS parameter 50 ppm, and the Fe and Mn parameters are not required, so only the pH parameter does not meet the quality standard.

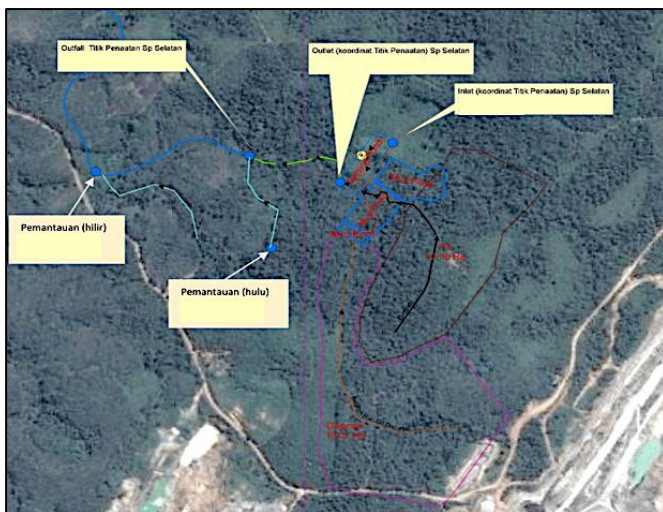
## 1. PENDAHULUAN

Eksportir batu bara terbesar kedua di dunia adalah Indonesia. Batu bara yang paling banyak diekspor adalah batu bara jenis *sub-bituminus*. Setiap tahun produksi batu bara Indonesia meningkat sebesar 11,1% dan total ekspor meningkat sebesar 18,3% pada tahun yang sama. Cadangan batu bara Indonesia sebagian besar terdapat salah satunya di Pulau Kalimantan (Annisa, 2018). Target produksi pertambangan batu bara di salah satu daerah Provinsi Kalimantan Selatan meningkat sebesar 20 juta metrik ton per tahun, sehingga direncanakan penambahan bukaan daerah hingga seluas ±11 hektar pada daerah *pit* dan ±16 hektar pada

daerah *disposal* atau timbunan tanah hasil galian (*overburden*) (Team Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia, 2021). Penambahan bukaan daerah tersebut juga selaras dengan pengelolaan air buang tambang telah terdapat 7 (tujuh) titik *outlet* sebagai titik penataan air buang tambang. Dengan rencana penambahan luasan bukaan pada *pit* dan *disposal* seluas ±11 hektar dan ±16 hektar ini direncanakan penambahan 1 (satu) titik air buang tambang (*outlet*) sebagai titik penataan. Sehingga, total titik *outlet* (titik penataan) yang diberi izin pada daerah operasional *mining* dan fasilitas *project* tambang akan menjadi sebanyak 9 (sembilan) titik yang terdiri dari 7 (tujuh) titik *outlet* untuk operasional penambangan (daerah *pit* dan *disposal*) dan 2 (dua) titik pada

daerah *project* (aktivitas Pelabuhan). Air limbah kegiatan pertambangan yang dihasilkan berupa limbah cair dari proses penambangan, penimbunan di *stockpile*, hingga proses pencucian material pertambangan yang mengandung logam berat atau zat material tambang. Sedangkan air limbah domestik berasal dari kegiatan penunjang seperti kantor, *workshop*, mess, dan kantin. Pengelolaan air limbah yang dihasilkan dari air hujan yang bercampur material tambang dan air tanah (*sump*) di daerah pertambangan ini ditampung dalam kolam pengendapan (*settling pond*) untuk diolah sebelum dibuang ke sungai (Anak Sungai X). Masuknya air limbah kegiatan pertambangan dalam badan sungai (Anak Sungai X) akan menyebabkan beban lingkungan dalam menerima bahan pencemar semakin tinggi, terlebih debit air limbah yang telah terolah akan dibuang ke badan air sebesar 32.790,41 m<sup>3</sup>/hari. Sehingga, air limbah tambang batu bara yang dibuang ke badan sungai diperkirakan akan mempengaruhi kualitas air pada Anak Sungai X. Berdasarkan permasalahan tersebut, dilaksanakan penelitian terkait prakiraan dampak akibat persebaran air limbah kegiatan pertambangan batu bara di Anak Sungai X, untuk mengetahui besaran pengaruh kualitas daya tampung dan daya dukung Anak Sungai X sesuai baku mutu air sungai nasional kelas 2 yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, terhadap parameter kunci air limbah kegiatan pertambangan batu bara yang dibuang, diantaranya parameter Suhu, pH, TSS, Fe, dan Mn.

## 2. METODE PENELITIAN



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian Anak Sungai X

Pemodelan dilakukan pada *software* MIKE 21, dengan melakukan simulasi musim dingin atau musim kemarau dan musim barat atau hujan. Skenario disusun berdasarkan waktu musim hujan (Januari - April dan November- Desember) dan musim kemarau (Mei - Oktober). Pemodelan adveksi-dispersi numerik dilakukan untuk menentukan distribusi parameter kualitas air yang akan diperiksa, tergantung pada kondisi hidrodinamik perairan setempat. Parameter pencemaran utama penelitian ini adalah suhu, pH, TSS, Fe terlarut dan Mn terlarut. Persamaan untuk membangun model kualitas air berdasarkan proses adveksi-dispersi. Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- (1) Studi literatur dan pengumpulan data-data.
- (2) Analisa data-data yang diperoleh.
- (3) Perumusan skenario pemodelan kualitas air.
- (4) Pemodelan komputasi menggunakan *software* MIKE 21.
- (5) Interpretasi hasil pemodelan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

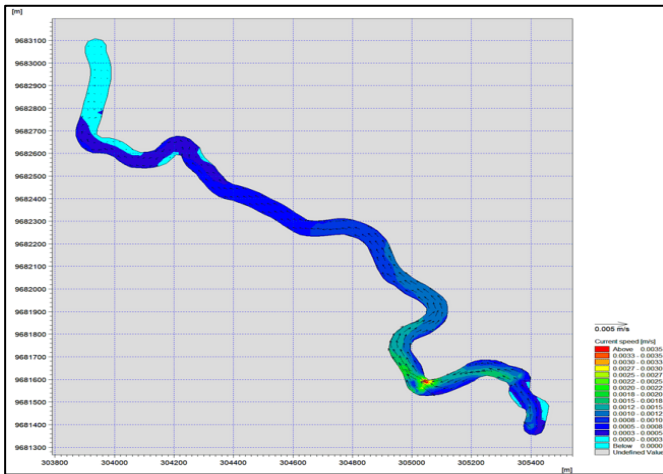
### 3.1 Pergerakan Massa Air Sungai

Morfologi Anak Sungai X ini memiliki lebar sungai sebesar 2,1 m pada bagian hulu dan 1,15 m pada bagian hilir, dengan kedalaman masing-masing bagian yakni 0,3 m (hulu) dan 0,25 m (hilir). Untuk kecepatan arus Anak Sungai X ini sebesar 0,5 m/detik pada bagian hulu dan 0,6 m/detik pada bagian hilir, dengan debit aliran pada masing-masing bagian yakni 0,315 m<sup>3</sup>/detik (hulu) dan 0,1725 m<sup>3</sup>/detik (hilir). Sedangkan untuk kemiringan dasar sungai (*slope*) yakni sebesar 0,315% pada bagian hulu dan 0,1725% pada bagian hilir, memiliki nilai koefisien *manning* yaitu 0,07 dengan dasar sungai berupa batu alam yang disertai semak belukar (Montjai et al., 2015; Sanusi, 2022). Berdasarkan analisa pengukuran debit Anak Sungai X yang diambil 3 kali pada tahun 2021, debit yang mewakili kondisi musim kemarau 0,6 m<sup>3</sup>/detik dan debit mewakili musim hujan 0,12 m<sup>3</sup>/detik. Nilai pengukuran debit air permukaan Anak Sungai X dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Pengukuran Debit Air Permukaan Anak Sungai X Pada Tahun 2021

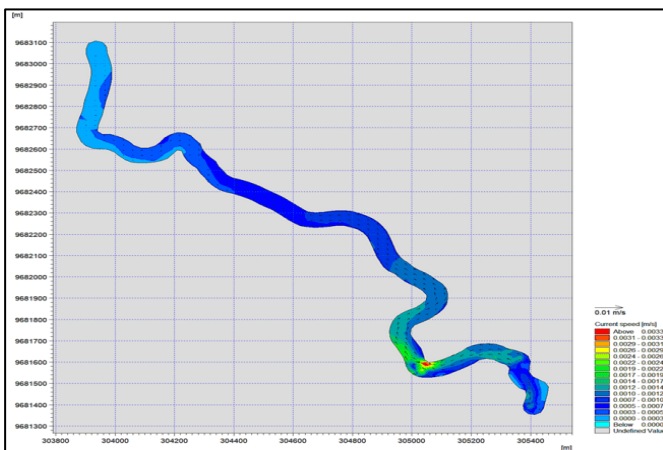
Bulan	Rainfall Average 10 Tahun	Uraian	
		Musim	Analisa Debit Sungai
Januari	340 mm	Musim Hujan	0,6 m <sup>3</sup> /detik
Februari	191,5 mm		
Maret	302,2 mm		
April	255 mm		
Mei	197,2 mm	Musim Kemarau	0,6 m <sup>3</sup> /detik
Juni	137 mm		
Juli	113,3 mm		
Agustus	88,4 mm		
September	89,5 mm		
Oktober	139 mm		
November	282,7 mm		
Desember	327,1 mm		

Pada saat musim timur, dengan debit air tertinggi yang ada, maka kecepatan massa air tertinggi yang terdapat pada Anak Sungai X adalah 0,0035 hingga 0,005 m/detik. Sedangkan, arus terlemah memiliki kecepatan < 0,0003 m/detik. Terlihat pada sepanjang aliran sungai, massa air memiliki kecepatan rata-rata 0,0005 hingga 0,0012 m/detik. Hasil simulasi pergerakan massa air Anak Sungai X pada musim timur (kemarau) menggunakan pemodelan *software* MIKE 21 disampaikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Simulasi Pergerakan Massa Air Anak Sungai X Pada Musim Timur Menggunakan Software MIKE 21

Saat musim barat terjadi, dengan debit air tertinggi yang ada, maka kecepatan massa air tertinggi pada Anak Sungai X adalah 0,0033 hingga 0,01 m/detik dan kecepatan massa air terlemah adalah 0,0003 hingga 0,0005 m/detik. Sepanjang Anak Sungai X, rata-rata kecepatan massa air yang ada adalah 0,0010 hingga 0,0022 m/detik. Kecepatan massa air Anak Sungai X paling tinggi berada pada saat kondisi musim barat atau hujan terjadi. Hal ini dikarenakan debit sungai dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi di lokasi sepanjang tahun. Hasil simulasi pergerakan massa air Anak Sungai X pada musim barat (hujan) menggunakan pemodelan software MIKE 21 disampaikan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Simulasi Pergerakan Massa Air Anak Sungai X Pada Musim Barat Menggunakan Software MIKE 21

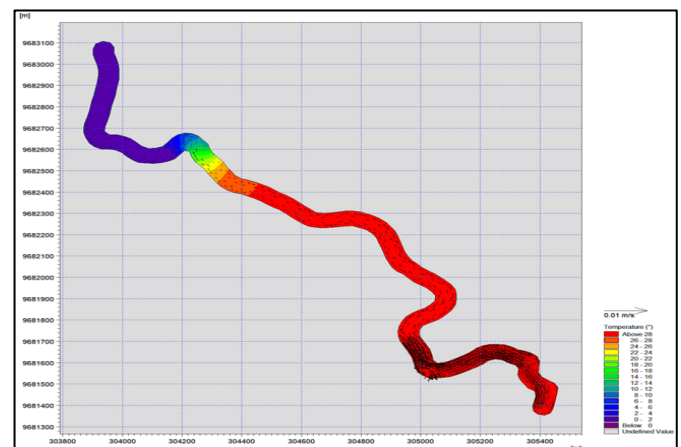
### 3.2 Prediksi Sebaran Air Limbah di Badan Air

Pembuangan air limbah kegiatan pertambangan (proses penambangan, penimbunan di *stockpile*, hingga proses pencucian material pertambangan yang mengandung logam berat atau zat material tambang) yang telah terolah ke badan air dapat mempengaruhi kualitas air di Anak Sungai X. Parameter kunci dari air limbah terolah (air limbah kegiatan pertambangan) yang dihasilkan adalah Suhu, pH, TSS, Fe Terlarut dan Mn Terlarut. Pola sebaran air limbah yang dibuang ke Anak Sungai X (badan air permukaan) terutama dipengaruhi oleh pergerakan massa air di lokasi tersebut.

Kecepatan pergerakan massa air yang semakin besar akan menyebabkan pergerakan air limbah di perairan (badan air permukaan) yang semakin luas. Hasil analisis sebaran air limbah di badan air menyimpulkan bahwa secara umum, sebaran air limbah relatif bergerak menuju utara (hilir) mengikuti pergerakan aliran air yang terjadi di lokasi kegiatan tambang. Polutan yang dihasilkan oleh operasional tambang berupa air limbah yang dihasilkan dari air hujan yang bercampur material tambang dan air tanah (*sump*) di daerah pertambangan. Air limpasan ini ditampung dalam kolam pengendapan (*settling pond*) untuk diolah sebelum dibuang ke badan air (Anak Sungai X). Perpindahan polutan dipengaruhi oleh arah aliran badan air, dalam hal ini dengan adanya pergerakan aliran air sungai, maka terjadi pengenceran searah dengan arah pergerakan aliran sungai. Distribusi polutan akibat pergerakan aliran sungai akan mengakibatkan penurunan konsentrasi polutan seiring dengan semakin jauhnya pergerakan aliran air badan air tersebut.

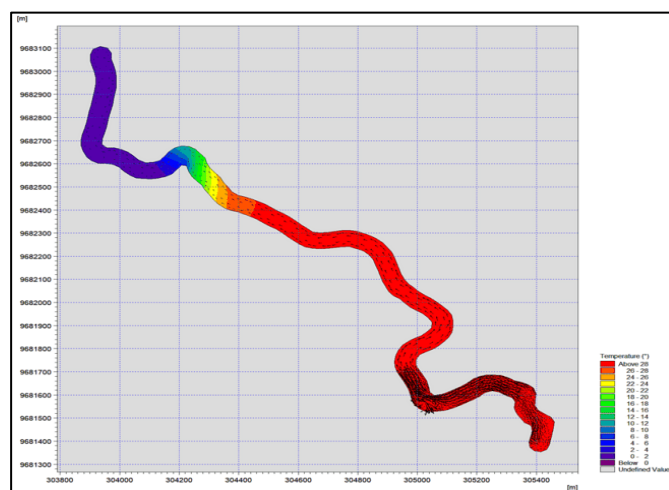
#### 3.2.1 Simulasi Penyebaran Parameter Suhu

Suhu atau temperatur merupakan ukuran seberapa panas atau dinginnya air limbah. Suhu merupakan parameter yang sangat penting karena mempengaruhi reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan akuatik dan penggunaan air untuk berbagai aktivitas sehari-hari (Metcalf & Eddy, 2003). Peningkatan suhu sebesar 10°C dapat menurunkan kadar oksigen sebesar 10% dan akan mempercepat metabolisme sebesar dua (2) kali lipat (Indrayani & Rahmah, 2018). Penguraian bahan organik pada limbah cair sangat dipengaruhi oleh suhu air karena aktivitas mikroba semakin tinggi seiring dengan meningkatnya suhu. Suhu air mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses kimia, fisika dan biologi. Semakin tinggi suhu, semakin rendah kelarutan oksigen. Peningkatan suhu air sebesar 10°C mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen organisme perairan sekitar 2-3 kali lipat, sehingga meningkatkan kebutuhan oksigen organisme perairan (Ramadani et al., 2021). Simulasi sebaran parameter suhu dilakukan dengan memperhatikan kondisi musim (musim timur dan musim barat). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum parameter suhu yang akan dibuang ke badan air permukaan (Anak Sungai X) dari Baku Mutu Air Sungai Nasional Kelas 2 sesuai Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yakni Dev 3°C.



**Gambar 4.** Simulasi Sebaran Parameter Suhu Anak Sungai X Pada Musim Timur Menggunakan Software MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran Suhu yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 4, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim timur menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Sebaran yang terjadi pada saat musim timur cenderung lebih lambat jika dibandingkan dengan sebaran yang terjadi masa musim barat. Hal ini dikarenakan adanya dampak dari curah hujan, sehingga menyebabkan bertambahnya debit sungai. Pada saat musim timur terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi Suhu yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 1,7$  km menuju hilir. Konsentrasi tertinggi terdapat pada jarak antara *outfall* hingga 1,7 km, dengan nilai konsentrasi mencapai  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ . Nilai konsentrasi Suhu pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, di mana pada titik *downstream* memiliki suhu berkisar  $10^{\circ}\text{C} - 22^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan pada titik *upstream*, nilai konsentrasi Suhu memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ . Pada sekitar daerah *outfall* nilai konsentrasi Suhu memiliki nilai  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ .



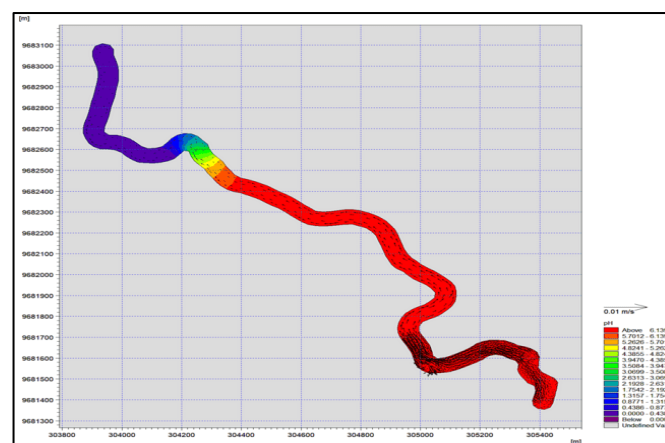
**Gambar 5.** Simulasi Sebaran Parameter Suhu Anak Sungai X Pada Musim Barat Menggunakan *Software* MIKE 21

Pada saat musim barat terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21 yang disajikan pada Gambar 5, sebaran Suhu yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X menunjukkan sebaran konsentrasi Suhu yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 1,7$  km menuju hilir. Nilai konsentrasi Suhu yang terdapat di Anak Sungai X pada saat musim barat memiliki rata-rata nilai  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ . Pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, yakni pada titik *downstream* memiliki nilai konsentrasi Suhu  $6^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}$ , namun pada titik *upstream* memiliki nilai Suhu  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ . Pada sekitar *outfall* nilai konsentrasi Suhu juga  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ . Akumulasi tertinggi pada sepanjang Anak Sungai X pada saat musim timur dan barat adalah  $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ , jika dibandingkan dengan baku mutu parameter Suhu yang disyaratkan masih memenuhi baku mutu.

### 3.2.2 Simulasi Penyebaran Parameter pH

pH atau derajat keasaman merupakan ukuran untuk mengetahui sifat asam dan basa. Perubahan pH air sangat

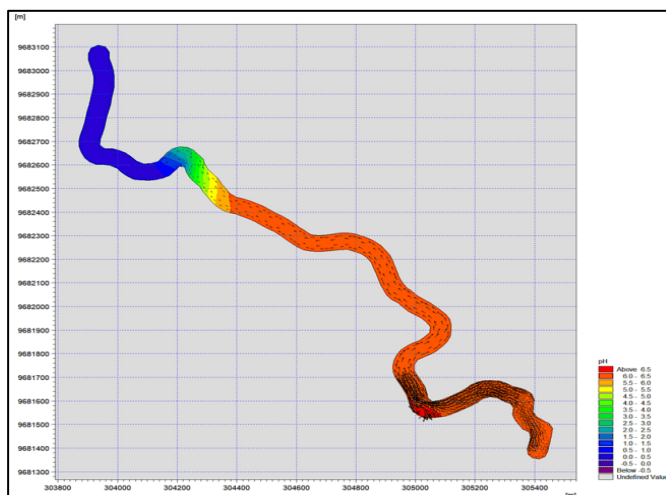
mempengaruhi proses fisik, kimia dan biologi organisme yang hidup di dalamnya. Skala pH berkisar antara 1 hingga 14. Nilai pH berkisar antara 1 hingga 7 termasuk kondisi asam, pH 7 hingga 14 termasuk kondisi basa, dan pH 7 adalah kondisi netral (Ningrum, 2018). pH adalah istilah untuk menyatakan kekuatan keadaan basa atau asam suatu benda melalui kadar ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ). Ion  $\text{H}^+$  selalu berada dalam kesetimbangan dinamis dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), menciptakan atmosfer untuk semua reaksi kimia yang berkaitan dengan pencemaran air, meskipun sumber ion hidrogen tidak pernah habis. Nilai pH merupakan salah satu faktor pembatas utama bagi kelangsungan hidup organisme perairan. Dalam pengolahan air limbah, pH juga memegang peranan penting terutama dalam mengurangi kontaminan (Kiswanto, 2018). Perubahan keasaman air limbah, menuju ke arah alkalinitas yang bersifat asam (peningkatan pH) atau penurunan keasaman (pH), akan sangat mempengaruhi kehidupan perairan dan lingkungan sekitarnya. Penurunan nilai pH akan meningkatkan sifat korosif. Berdasarkan Eckenfelder (2001), tingkat keasaman yang tinggi juga akan melarutkan logam berat, sehingga meningkatkan kelarutannya. Misalnya, kelarutan logam tembaga akan meningkat ratusan kali lipat untuk setiap penurunan pH satu satuan. Simulasi sebaran parameter pH dilakukan dengan memperhatikan kondisi musim (musim timur dan musim barat). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum parameter pH yang akan dibuang ke badan air permukaan (Anak Sungai X) dari Baku Mutu Air Sungai Nasional Kelas 2 sesuai Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yakni 6 - 9.



**Gambar 6.** Simulasi Sebaran Parameter pH Anak Sungai X Pada Musim Timur Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran pH yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 6, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim timur menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim timur terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi pH yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 1,7$  km menuju hilir. Konsentrasi pH tertinggi terdapat pada jarak antara *outfall* hingga 1,7 km, dengan nilai konsentrasi mencapai 6,1397. Nilai konsentrasi pH pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, di mana pada titik *downstream* memiliki nilai pH berkisar 5,7012. Sedangkan pada titik *upstream* dan titik *outfall*, nilai konsentrasi pH

memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 6,1397 atau dalam hal ini pH bersifat netral.



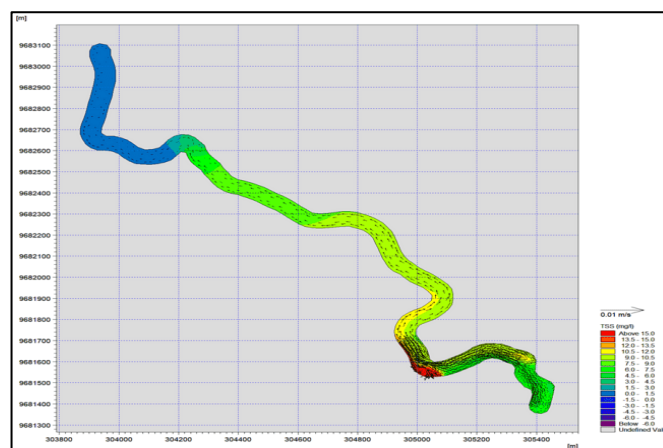
**Gambar 7.** Simulasi Sebaran Parameter pH Anak Sungai X Pada Musim Barat Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran pH yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 7, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim barat menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim barat terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi pH yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 1,7$  km menuju hilir. Konsentrasi tertinggi terdapat pada titik *outfall*, dengan nilai konsentrasi pH mencapai  $\geq 6,5$ . Nilai konsentrasi pH pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki pH berkisar 4,5 - 6,0. Sedangkan pada titik *upstream*, nilai konsentrasi pH memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 6,0 - 6,5. Akumulasi tertinggi pada sepanjang Anak Sungai X pada saat musim timur dan barat adalah 6,1397 -  $\geq 6,5$ , jika dibandingkan dengan baku mutu parameter pH yang disyaratkan masih belum memenuhi baku mutu pada beberapa titik pemantauan di Anak Sungai X.

### 3.2.3 Simulasi Penyebaran Parameter TSS

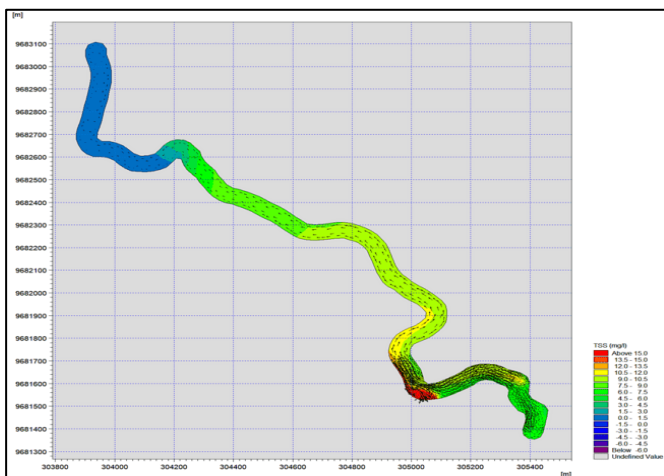
*Total Suspended Solids* (TSS) adalah padatan yang keruh, tidak larut dan tidak dapat mengendap di dalam air. Padatan tersuspensi meliputi partikel-partikel yang ukuran dan beratnya lebih kecil dibandingkan sedimen, seperti beberapa bahan organik, tanah liat dan lain-lain. Partikel pereduksi cahaya yang tersuspensi dalam air biasanya meliputi *fitoplankton*, *zooplankton*, kotoran hewan, sisa tumbuhan dan hewan, kotoran manusia, dan limbah industri (Kiswanto, 2018). TSS merupakan massa jenis tersuspensi yang umum terdapat pada senyawa organik dan anorganik. Dalam uji laboratorium, TSS merupakan padatan yang tersuspensi dalam suatu filter yang terdiri dari bagian yang dapat mengendap dan tidak dapat mengendap. TSS merupakan padatan keruh yang tidak larut atau mengendap secara langsung. Apabila padatan mempunyai nilai yang tinggi pada permukaan air maka dapat mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga akan mengganggu fotosintesis organisme. Tingginya kadar

TSS pada limbah tambang batu bara terjadi karena menerima limpasan dari timbunan. Air hujan yang jatuh ke tempat penyimpanan batu bara akan mengangkut partikel-partikel halus batu bara menuju kolam pengendapan. Deposit karbon dan partikel dalam jumlah besar diangkat oleh air hujan sehingga menghasilkan konsentrasi padatan tersuspensi yang sangat tinggi. Simulasi sebaran parameter TSS dilakukan dengan memperhatikan kondisi musim (musim timur dan musim barat). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum parameter TSS yang akan dibuang ke badan air permukaan (Anak Sungai X) dari Baku Mutu Air Sungai Nasional Kelas 2 sesuai Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yakni 50 ppm.



**Gambar 8.** Simulasi Sebaran Parameter TSS Anak Sungai X Pada Musim Timur Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran TSS yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 8, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim timur menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim timur terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi TSS yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 0,6$  km menuju hilir. Konsentrasi tertinggi terdapat pada jarak antara *outfall* hingga 0,6 km, dengan nilai konsentrasi mencapai  $> 15$  ppm. Nilai konsentrasi TSS pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki nilai TSS berkisar 3,0 - 4,5 ppm. Sedangkan pada titik *upstream* dan titik *outfall*, nilai konsentrasi TSS memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 13,5 -  $>15,0$  ppm.



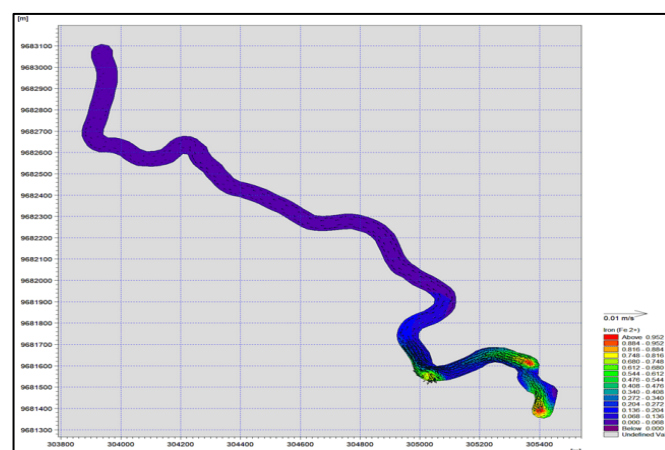
**Gambar 9.** Simulasi Sebaran Parameter TSS Anak Sungai X Pada Musim Barat Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran TSS yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 9, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim barat menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim barat terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi TSS yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 0,6$  km menuju hilir. Konsentrasi tertinggi terdapat pada titik *outfall*, dengan nilai konsentrasi TSS mencapai  $\geq 15$  ppm. Nilai konsentrasi TSS pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki TSS berkisar 1,5 - 4,5 ppm. Sedangkan pada titik *upstream*, nilai konsentrasi TSS memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 12,0 - 13,5 ppm. Akumulasi tertinggi pada sepanjang Anak Sungai X pada saat musim timur dan barat adalah  $\geq 15,0$  ppm, jika dibandingkan dengan baku mutu parameter TSS yang disyaratkan masih memenuhi baku mutu.

### 3.2.4 Simulasi Penyebaran Parameter Fe

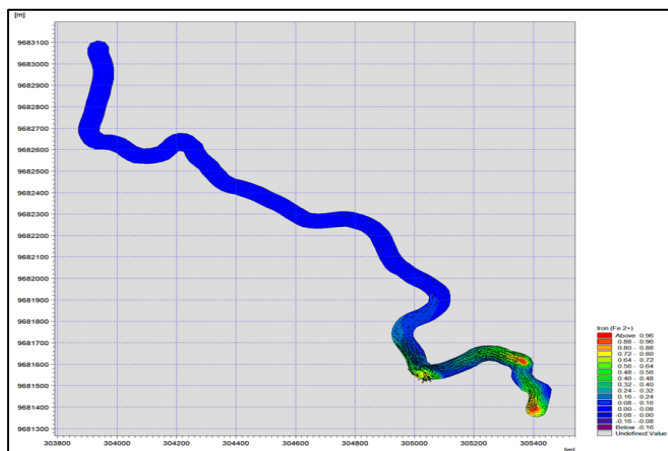
Besi atau Fe merupakan jenis logam yang mungkin ditemukan dalam air dan pengendapan dengan tingkat konsentrasi yang tinggi. Fe adalah salah satu unsur terbesar keempat yang ada di permukaan bumi dan juga termasuk unsur yang sangat penting untuk kehidupan makhluk hidup. Tanaman dan hewan membutuhkan Fe dalam jumlah yang penting (Kiswanto, 2018). Di tubuh hewan, keberadaan zat Fe sangat penting dalam proses metabolisme oksidatif dan berfungsi sebagai elemen utama dalam struktur hemoglobin. Fe yang terdapat di dalam medium air ditemukan dalam keadaan ion  $Fe^{2+}$  (fero) atau  $Fe^{3+}$  (ferri). Di dalam air permukaan jarang terdapat konsentrasi Fe yang melebihi 1 mg/l, namun dalam air tanah, konsentrasi Fe dapat mencapai angka yang lebih tinggi. Pada tingkat keasaman sekitar 7,5-7,7, ion ferri mengalami proses oksidasi dan bereaksi dengan hidroksida untuk membentuk senyawa  $Fe(OH)_3$  yang bersifat tidak dapat larut dan mengendap di dasar air. Akibatnya, substrat dasar akan menjadi berwarna merah (Rapang et al., 2022). Berdasarkan Najib et al. (2020), unsur Fe sangat penting dalam proses pembentukan klorofil, sitokrom, dan juga dalam enzim nitrogenase. Dalam tumbuhan, unsur Fe juga berfungsi dalam sistem enzim dan transfer elektron dalam

proses fotosintesis. Namun, tingkat kandungan zat besi yang berlebihan bisa menghambat proses pengikatan unsur lainnya. Kadar Fe yang tinggi dapat menimbulkan risiko bagi kehidupan mikroorganisme di lingkungan air. Kadar konsentrasi Fe sebesar 1,0 ppm dianggap sebagai ancaman bagi keberlangsungan makhluk hidup mikroorganisme di perairan (Effendi, 2003). Simulasi sebaran parameter Fe dilakukan dengan memperhatikan kondisi musim (musim timur dan musim barat). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum parameter Fe yang akan dibuang ke badan air permukaan (Anak Sungai X) dari Baku Mutu Air Sungai Nasional Kelas 2 sesuai Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yakni tidak disyaratkan.



**Gambar 10.** Simulasi Sebaran Parameter Fe Anak Sungai X Pada Musim Timur Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran Fe yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 10, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim timur menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim timur terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi Fe yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 0,25$  km menuju hilir. Konsentrasi Fe tertinggi terdapat pada jarak antara *outfall* hingga 0,25 km, dengan nilai konsentrasi mencapai  $> 0,952$  ppm. Nilai konsentrasi Fe pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki nilai Fe berkisar  $< 0,068$  ppm. Sedangkan pada titik *upstream* dan titik *outfall*, nilai konsentrasi Fe memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 0,544 - 0,952 ppm.



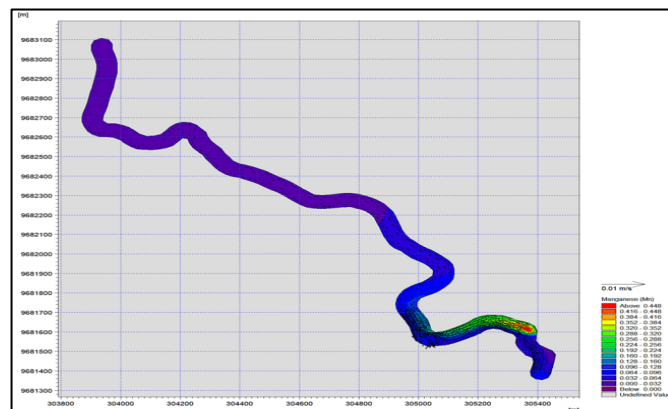
**Gambar 11.** Simulasi Sebaran Parameter Fe Anak Sungai X Pada Musim Barat Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran Fe yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 11, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim barat menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim barat terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi Fe yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 0,25$  km menuju hilir. Konsentrasi tertinggi terdapat pada titik *outfall*, dengan nilai konsentrasi Fe mencapai  $\geq 0,96$  ppm. Nilai konsentrasi Fe pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki Fe berkisar  $< 0,16$  ppm. Sedangkan pada titik *upstream*, nilai konsentrasi Fe memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 0,55 - 0,8 ppm. Akumulasi tertinggi pada sepanjang Anak Sungai X pada saat musim timur dan barat adalah  $\geq 0,952$  -  $\geq 96$  ppm, jika dibandingkan dengan baku mutu maka parameter Fe tidak disyaratkan.

### 3.2.5 Simulasi Penyebaran Parameter Mn

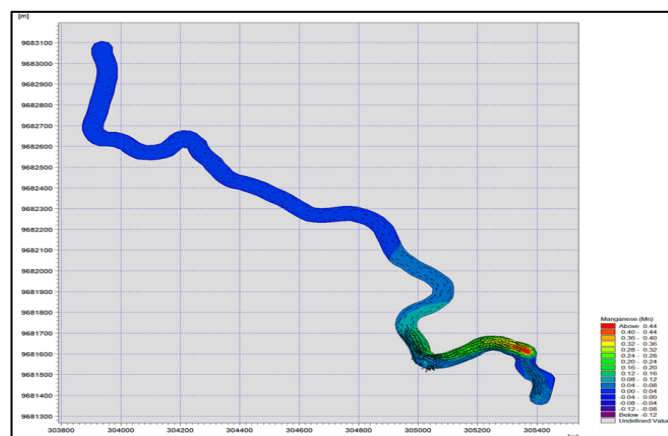
Mangan atau Mn merupakan unsur mikro yang penting bagi tumbuhan dan hewan. Suatu material logam ini memiliki peranan dalam perkembangan dan juga merupakan sebuah elemen krusial dalam sistem enzimatik. Keberadaan kurangnya Mn dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan, juga mengganggu sistem saraf dan gangguan pada proses reproduksi. Mn merupakan elemen yang penting di dalam organisasi tumbuhan untuk melaksanakan berbagai reaksi metabolic. Menurut Effendi (2003), unsur Mn tidak beracun, Mn memiliki kemampuan untuk mengatur keberadaan zat-zat beracun di dalam air, seperti logam berat. Manganese hadir dalam jumlah yang berkisar antara 0,1 hingga 1 ppm di lingkungan perairan alami. Tingkat kepekatan mangan yang lebih tinggi bisa ditemukan di perairan yang memiliki pH yang rendah. Mn juga logam positif yang memiliki ciri kimia yang hampir mirip dengan Fe. Kadar yang lebih tinggi bisa terjadi pada air bawah tanah, apabila dibiarkan terbuka di udara dan terkena oksigen yang cukup, air dengan kandungan Mn yang tinggi (lebih dari 0,01 mg/L) akan membentuk partikel kecil dan mengalami pengendapan yang menyebabkan perubahan warna menjadi coklat gelap hingga air menjadi keruh (Rapang et al., 2022). Simulasi sebaran parameter Mn dilakukan dengan

memperhatikan kondisi musim (musim timur dan musim barat). Simulasi menggunakan konsentrasi nilai maksimum parameter Mn yang akan dibuang ke badan air permukaan (Anak Sungai X) dari Baku Mutu Air Sungai Nasional Kelas 2 sesuai Lampiran VI Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 yakni tidak disyaratkan.



**Gambar 12.** Simulasi Sebaran Parameter Mn Anak Sungai X Pada Musim Timur Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran Mn yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 12, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim timur menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim timur terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi Mn yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 0,25$  km menuju hilir. Konsentrasi Mn tertinggi terdapat pada jarak antara *outfall* hingga 0,25 km, dengan nilai konsentrasi mencapai  $> 0,448$  ppm. Nilai konsentrasi Mn pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki nilai Mn berkisar  $< 0,032$  ppm. Sedangkan pada titik *upstream* dan titik *outfall*, nilai konsentrasi Mn memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar 0,128 - 0,352 ppm.



**Gambar 13.** Simulasi Sebaran Parameter Mn Anak Sungai X Pada Musim Barat Menggunakan *Software* MIKE 21

Berdasarkan hasil simulasi sebaran Mn yang terjadi pada sepanjang Anak Sungai X sebagaimana disajikan pada Gambar 13, menunjukkan pada arah sebaran pada saat musim

barat menuju arah utara mengikuti morfologi dari Anak Sungai X. Pada saat musim barat terjadi berdasarkan hasil simulasi pemodelan menggunakan *software* MIKE 21, menunjukkan sebaran konsentrasi Mn yang berasal dari *outfall* telah meninggalkan sumber sejauh lebih dari  $\pm 0,25$  km menuju hilir. Konsentrasi tertinggi terdapat pada titik *outfall*, dengan nilai konsentrasi Mn mencapai  $\geq 0,448$  ppm. Nilai konsentrasi Mn pada titik pemantauan menunjukkan nilai yang rendah, dimana pada titik *downstream* memiliki Mn berkisar  $< 0,032$  ppm. Sedangkan pada titik *upstream*, nilai konsentrasi Mn memiliki nilai yang lebih tinggi yakni berkisar  $0,032 - 0,192$  ppm. Akumulasi tertinggi pada sepanjang Anak Sungai X pada saat musim timur dan barat adalah  $\geq 0,448$  ppm, jika dibandingkan dengan baku mutu maka parameter Mn tidak disyaratkan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan prediksi simulasi sebaran air limbah tambang batu bara di badan air (Anak Sungai X) terhadap parameter kunci yakni parameter Suhu, pH, TSS, Fe, dan Mn, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

(1) Pola sebaran parameter Suhu, pH, TSS, Fe, dan Mn pada musim timur dan barat bergerak ke arah utara mengikuti morfologi Anak Sungai X dengan kecepatan rata-rata masing-masing musim yakni  $0,0005 - 0,0012$  m/detik dan  $0,0010$  hingga  $0,0022$  m/detik.

(2) Persebaran konsentrasi air limbah tambang batu bara di Anak Sungai X, parameter Suhu dan TSS masih memenuhi baku mutu yang disyaratkan dalam PP No. 22/2021 Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Nasional Kelas 2.

(3) Persebaran konsentrasi air limbah tambang batu bara di Anak Sungai X, parameter Fe terlarut dan Mn terlarut tidak disyaratkan dalam baku mutu sesuai PP No. 22/2021 Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Nasional Kelas 2.

(4) Persebaran konsentrasi air limbah tambang batu bara di Anak Sungai X, parameter Suhu dan TSS masih memenuhi baku mutu yang disyaratkan dalam PP No. 22/2021 Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Nasional Kelas 2.

(5) Persebaran konsentrasi air limbah tambang batu bara di Anak Sungai X, untuk parameter pH tidak memenuhi baku mutu yang disyaratkan dalam PP No. 22/2021 Lampiran VI tentang Baku Mutu Air Nasional Kelas 2.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Annisa. (2018). Studi Pemantauan Air Limbah Cair Tambang Pada PT. XXX di Muara Teweh Kalimantan Tengah. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 4(1), 65–71. <https://doi.org/10.20527/jukung.v4i1.4660>
- Eckenfelder, W. W. (2001). *Industrial Water Pollution Control 3rd Edition* (Third). McGraw-Hill Companies. Inc.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan* (Kanisius (ed.); Cetakan 5). Bogor Agricultural University (IPB). <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/79927>
- Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal*

- Rekayasa Proses*, 12(1), 41. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35754>
- Kiswanto. (2018). Karakteristik Air Asam Batu bara Di Kolam Bekas Tambang Batu bara PT. Bukit Asam (PTBA). *Seminar Dan Konferensi Nasional IDEC*, 7–8.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Fourth Edition. In *McGraw Hill Companies, Inc.* McGraw-Hill Companies, Inc. <https://doi.org/10.1093/nq/179.18.317-a>
- Montjai, A. A., Rombang, J. A., & Kalangi, J. I. (2015). Analisis Koefisien Kekasaran Sungai di Sungai Sario dengan Persamaan Manning. *Cocos*, 6(12), 1–9.
- Najib, M. F., Setiawan, K., Hadi, M. S., & Yuliadi, E. (2020). Perbandingan Produksi Ubikayu (Manihot Esculenta Crantz) Akibat Penambahan Pupuk Kcl dan Pemberian Pupuk Mikro Saat Panen 7 Bulan Comparison Of Cassava (Manihot Esculenta Crantz) Yield Applied By Kcl And Micro Harvest At 7 Month. *Jurnal Kelitbangan*, 8(3), 237–252.
- Ningrum, S. O. (2018). Analisis Kualitas Badan Air Dan Kualitas Air Sumur Di Sekitar Pabrik Gula Rejo Agung Baru Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 1–12.
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biological Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Rapang, S. T., Devy, S. D., Nugroho, W., Hasan, H., Oktaviani, R., & Trides, T. (2022). Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Asam Tambang Menggunakan Karbon Aktif Cangkang Telur. *Jurnal Chemurgy*, 6(2), 58. <https://doi.org/10.30872/cmg.v6i2.9290>
- Sanusi, W. (2022). Evaluasi Koefisien Manning Pada Berbagai Tipe Dasar Saluran. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(1), 1–4. <https://doi.org/10.34010/crane.v3i1.7131>
- Team Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia. (2021). Grand Strategy Mineral dan Batu bara. *Direktorat Jenderal Mineral Dan Batu bara Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*, 1–435.

#### TATA NAMA

- Fe : Unsur kimia besi dan nomor atom 26, parameter pencemar air logam berat terlarut.
- Mn : Unsur kimia mangan dan nomor atom 25, parameter pencemar air logam berat terlarut.
- pH : Potensial hidrogen atau derajat keasaman, parameter pencemar air fisika.
- TSS : Total padatan tersuspensi, parameter pencemar air fisika.
- ppm : *Part per Million* atau satu per sejuta, setara dengan miligram per liter atau gram per meter kubik.