

Analisis Penyebaran Air Lindi TPA Mobongo Minahasa Selatan

Ragil Andika Putra Hartono^{#1}, Hendra Riogilang^{#2}, Isri R. Mangangka^{#3}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi

Jl. Kampus UNSRAT Kelurahan Bahu, Manado, Indonesia, 95115

¹ragilh09@gmail.com; ²hendrariogilang001@gmail.com; ³isri.mangangka@usnrat.ac.id

Abstrak

Masalah persampahan menjadi masalah yang umum terjadi di masyarakat. TPA Mobongo merupakan TPA yang mencakup daerah Minahasa Selatan. Terdapat berbagai macam permasalahan di TPA ini, mulai dari timbunan sampah, sistem pengelolaan yang tidak diperhatikan, kurangnya fasilitas dalam TPA, serta kolam penampungan air lindi yang sudah tidak berfungsi. Pada musim hujan terjadi genangan – genangan air lindi di sekitar TPA dan air rembesan yang mengarah ke daerah permukiman warga. Dengan adanya hal – hal tersebut maka penulis membuat penelitian terkait status mutu, kualitas dan penyebaran kontaminan pada air tanah. Parameter yang digunakan Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS), Dissolved Oxygen (DO), dan pH. Titik pengambilan sampel terdiri dari 4 titik yaitu titik TPA, titik Sumur Warga 1 (SW1), titik Sumur Warga 2 (SW2), dan titik Sumur Warga 3 (SW3). Sampel yang diambil dilakukan pengujian di laboratorium BTKLPP. Dari hasil yang didapat parameter BOD di 4 titik melewati baku mutu, sedangkan parameter COD, TSS, DO, dan pH hanya pada titik TPA yang melewati baku mutu dan untuk 3 titik di daerah sumur warga tidak melewati baku mutu. Standar baku mutu yang digunakan mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.82 Tahun 2001. Status mutu air dihitung menggunakan metode indeks pencemar dengan hasil 6,05 di titik TPA masuk kategori Cemar sedang, pada daerah permukiman menunjukkan hasil 1,91, 1,77, 1,58 yang masuk kategori cemar ringan. Berdasarkan hasil pemodelan yang ada dapat dilihat penyebaran kontaminan ke arah tenggara dan menuju ke daerah permukiman. Jarak sebaran kontaminan sekitar 300 – 450 m dari titik TPA. Dengan luasan penyebaran yaitu sebesar 4,3 ha. Dengan cakupan daerah sekitar TPA seperti permukiman warga di Desa Kawangkoan Bawah Lingkungan 11.

Kata kunci – TPA Mobongo, air lindi, pencemaran, BOD, COD, TSS, DO, pH

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sampah merupakan polutan umum yang dapat menyebabkan masalah pada kesehatan, turunya estetika lingkungan dan lainnya. Sampah menjadi permasalahan yang besar di kota-kota besar maupun daerah. Sementara perkembangan dari manajemen sampah sangat lambat dan tidak mengimbangi laju pertumbuhan timbunan sampah, Semakin banyaknya kegiatan manusia berpengaruh pada meningkatnya jumlah timbunan sampah. Untuk melakukan pengelolaan sampah, dibutuhkan suatu tempat pemrosesan akhir. Dalam tempat pemrosesan akhir terdapat berbagai macam permasalahan yang kompleks apabila tidak dilakukan pengelolaan yang baik. Salah satu kelemahan dari sistem pengelolaan sampah yaitu tidak terolahnya air lindi dengan baik.

Sampah yang berasal dari bahan organik, anorganik, limbah cair, dan limbah padat dapat menghasilkan produk cair yaitu air lindi. Air lindi mengandung berbagai macam kontaminan berbahaya dan logam berat. Air lindi mengalir melalui tumpukan tanah dan meresap masuk dalam tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung serta berdampak negatif terhadap kualitas tanah dan air permukaan disekitar lingkungan TPA.

Air tanah adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan dibawah permukaan tanah (UU RI No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber daya Air). Untuk dijadikan sumber air bagi pemenuhan kebutuhan masyarakat, kualitas air tanah harus memenuhi syarat baik dari segi fisik, kimia, radioaktif, dan bakteriologis. Faktor alami yang dapat mempengaruhi kualitas air adalah iklim, geologi, vegetasi, dan waktu, sedangkan faktor non alami adalah manusia.

TPA Mobongo terletak di Kecamatan Amurang Barat, Kabupaten Minahasa Selatan. TPA ini memiliki lahan yang luas. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan secara langsung di TPA Mobongo, didapati permasalahan dalam TPA ini, mulai dari kurangnya anggaran untuk fasilitas TPA seperti kendaraan pengangkut dan alat berat yang mengakibatkan pengelolaan yang masih kurang baik, serta kesadaran masyarakat juga kurang dan menyebabkan semakin bertambahnya sampah yang tidak sebanding dengan sistem pengelolaan yang ada.

Melihat permasalahan-permasalahan yang ada di TPA Mobongo serta hasil studi literatur tentang pemodelan dan penerapan terkait lainnya tentang ilmu Teknik Lingkungan, penulis pada tugas akhir ini mengambil judul tentang “Analisis penyebaran air lindi TPA Mobongo Minahasa Selatan” sebagai salah satu cara untuk melihat penyebaran dari air lindi yang dihasilkan dari TPA Mobongo dengan harapan dapat menjadi landasan penelitian-penelitian yang ada serta keperluan akademik lain.

B. Rumusan Masalah

Untuk terlaksananya penelitian terkait masalah pada latar belakang, terdapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas air tanah dangkal di daerah sekitar TPA Mobongo. Khususnya di desa Kawangkoan Bawah lingkungan 11?
2. Bagaimana pergerakan air lindi yang berasal dari sampah TPA Mobongo?

3. Bagaimana proyeksi pengaruh kontaminan paling tinggi yang diproyeksikan 10 tahun dan 15 tahun dari sekarang?

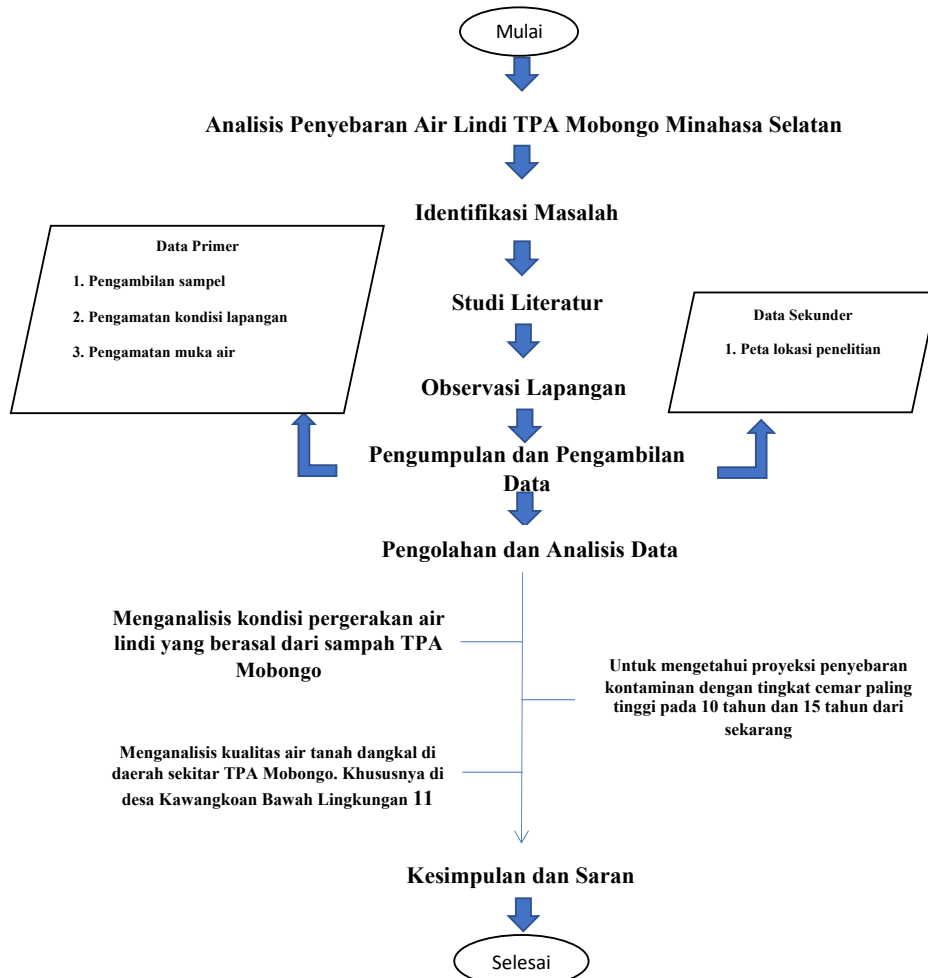
C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

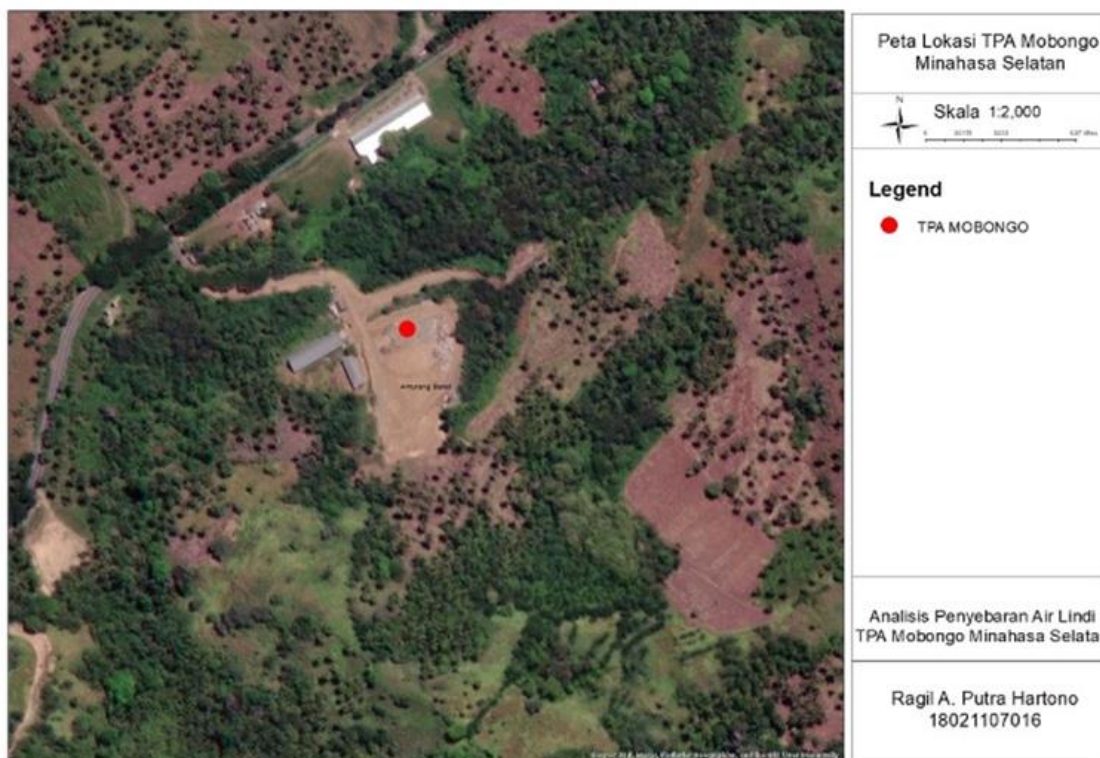
1. Untuk mengetahui kualitas air tanah dangkal di daerah sekitar TPA Mobongo. Khususnya di desa Kawangkoan Bawah lingkungan 11.
2. Untuk mengetahui pergerakan air lindi yang berasal dari sampah TPA Mobongo.
3. Untuk mengetahui proyeksi pengaruh kontaminan paling tinggi yang diproyeksikan 10 tahun dan 15 tahun dari sekarang.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian ini bertempat di daerah TPA Mobongo, yang berada di Kecamatan Amurang Barat, Kota Amurang.



Gambar 1. Kerangka Penelitian



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian terletak di TPA Mobongo Minahasa Selatan. Permukiman terdekat yaitu desa Kawangkoan Bawah yang merupakan sebuah kelurahan di wilayah Kecamatan Amurang Barat, Kabupaten Minahasa Selatan, Sulawesi Utara, Indonesia. Untuk titik pengambilan sampel penelitian terdiri dari 4 titik, 1 titik berada di saluran air lindi TPA Mobongo dan 3 titik berada di permukiman warga yaitu desa Kawangkoan Bawah lingkungan 11.

A. Pemanfaatan Air Tanah

Desa Kawangkoan Bawah merupakan desa yang mayoritas penduduknya menggunakan air tanah untuk dijadikan sumber air bersih. Penggunaan air tanah paling sering digunakan untuk kebutuhan mencuci pakaian maupun peralatan dapur dan mandi. Air tanah juga biasanya digunakan oleh masyarakat daerah ini untuk memasak meskipun tidak semuanya karena ada beberapa yang membeli air depot untuk kebutuhan ini. Hal yang sama juga ditemukan pada penggunaan air tanah untuk minum sehari – hari, ada masyarakat yang membeli air bersih dalam kemasan untuk diminum sehari – hari akan tetapi ada juga masyarakat yang langsung memasak air tanah di daerah ini untuk dikonsumsi dalam kehidupan sehari – hari.

B. Analisa Kualitas Air Bersih

Tahapan Analisa kualitas air bersih dilakukan berdasarkan hasil uji laboratorium yang ada. Pemeriksaan yang dilakukan terkait pemeriksaan air

lindi dan air tanah dangkal atau air permukaan. Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium, parameter yang diuji masih memenuhi baku mutu yang ada. Saluran air lindi terletak cukup jauh dari sumur warga tempat pengambilan sampel, akan tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan tercemarnya air tanah di daerah permukiman warga.

Pengambilan sampel dilakukan pada waktu yang sama yaitu antara pukul 13.00 – 15.00. Metode pengambilan sampel mengikuti standar yang ada sesuai dengan SNI 06-2412-1991. Sampel yang diambil diuji di laboratorium Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP) Manado.

1. Parameter pH

Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium nilai pH yang didapat berkisar 7,15 – 8,1. Hal ini menandakan bahwa pada seluruh sampel baik sampel TPA maupun sumur warga masih berada dalam batas aman untuk parameter pH. Dari hasil yang didapat memang berbeda – beda namun ke empat sampel ini masih dalam standar aman.

2. Parameter BOD (Biological Oxygen Demand)

Dari grafik dibawah ini dapat diketahui bahwa pencemaran yang terjadi di lokasi TPA Mobongo sangat tinggi. Hal ini dikarenakan sistem TPA yang masih kurang diperhatikan. Dengan adanya pencemaran ini maka dikhawatirkan akan sampai ke daerah permukiman. Hal itu dikuatkan karena daerah permukiman terkhusus di sumur warga 1, sumur warga

2, sumur warga 3 sudah melewati batas baku mutu walaupun hanya kecil. Seperti yang sudah diketahui bahwa air bersih tidak bisa digunakan lagi jika sudah tercemar zat – zat berbahaya.

3. Parameter TSS

TSS yang didapatkan dalam 4 sampel yang sudah diuji masih dibawah baku mutu. Hasil pengujian TSS di permukiman warga berkisar antara 2,17 – 5,55 mg/l. Untuk nilai TSS pada sampel air lindi yaitu 215 mg/l.

4. Parameter COD

Hasil pengujian COD di TPA Mobongo bernilai 1834 mg/l dan untuk di sumur warga berkisar antara 1,44 – 3,12 mg/l. Nilai yang didapat di daerah permukiman masih belum melewati baku mutu, namun tidak menutup kemungkinan akan terjadi karena melihat jumlah COD yang cukup tinggi di TPA Mobongo.

5. Parameter DO

Penurunan dari nilai konsentrasi DO menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari titik pencemar maka reaksi senyawa dalam air baku semakin berkurang. Semakin rendahnya nilai DO maka semakin buruk kualitas air tersebut, sebaliknya jika kadar DO tinggi maka semakin baik kualitas dari air tersebut.

C. Kondisi Sanitasi Desa Kawangkoan Bawah Lingkungan 11

1. Kondisi Air Tanah

Menurut hasil penelitian, air dari arah TPA Mobongo sering mengalir kearah permukaan. Air ini menyebabkan bau yang tidak sedap dan meresap masuk di tanah sekitar permukiman. Hal ini menjadi dasar penelitian ini dilakukan.

Berdasarkan hasil penelitian langsung di lapangan, sumber air bersih masyarakat berasal dari air tanah yang diambil dari sumur gali. Terdapat 3 sumur gali yang digunakan untuk pengambilan sampel dan masih banyak lagi lainnya. kondisi fisik dari sumur gali di desa Kawangkoan Bawah Lingkungan 11 berbeda – beda. Dari 3 sumur yang diambil sampel airnya hanya 2 sumur warga yang memiliki tutup. Lantai semen di sekeliling pompa air dengan radius <1 m hanya dimiliki oleh 1 sumur. Ketiga sumur warga ini dapat terjadi genangan disekitar sumur. Parameter lainnya yaitu terdapat sumber pencemar lain dengan jarak kurang dari 11 meter. Beberapa parameter ini merupakan parameter umum yang dapat digunakan untuk menilai kondisi sumur, baik sumur bor maupun sumur gali.

Terdapat parameter lainnya untuk menilai kualitas air bersih. Kran air yang digunakan juga berpengaruh terhadap kualitas air bersih, dari 3 sumur warga terdapat 2 kran air yang sudah tidak terawat dengan baik. Pipa distribusi dari sumur ke rumah – rumah warga beresiko rendah terjadi pencemaran, seperti pipa distribusi yang bocor atau tidak tertutup rapat. 1 dari 3 bibir sumur warga di desa ini dapat

menjadi sumber pencemar juga karena memiliki ketinggian kurang dari 0,5 m dari permukaan tanah.

2. Jarak Sumur Warga dengan Septictank

Sumur warga 1 digunakan untuk 3 rumah warga dimana 2 *septictank* dari rumah warga memiliki jarak kurang dari 5 m dan satu *septictank* memiliki jarak lebih dari 10 meter. Untuk sumur warga 2 dipakai untuk 1 rumah warga saja, akan tetapi terdapat 3 *septictank* disekitar sumur warga ini dengan jarak yang kurang dari 10 meter. Sedangkan sumur warga 3 tidak berdekatan dengan *septictank*, namun disekitarnya terdapat cukup banyak genangan dan saluran air yang penuh dengan sampah yang tertumpuk.

D. Status Mutu Air

Status mutu air akan dihitung menggunakan metode indeks pencemar. Untuk mengetahui indeks pencemaran air dilakukan pengubahan keseluruhan nilai parameter tiap titik pengambilan sampel menjadi nilai representatif tunggal. Peninjauan parameter berdasarkan fisik, kimia, maupun biologis dapat dilakukan untuk mengetahui hasil dari kualitas air yang diuji. Untuk mengetahui pencemaran pada lingkungan akuatik maka dapat digunakan indeks pencemaran air. Baku mutu air bersih mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2021 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

1. Status Mutu Air Lindi TPA

A. Parameter pH

⇒ Diketahui : $C_i = 8,1$

$$L_{ij} = 6 - 9$$

$$L_{ij \text{ rata-rata}} = 7,5$$

$$\text{Penyelesaian : } C_i/L_{ij} = \frac{C_i - L_{ij \text{ rata-rata}}}{L_{ij \text{ max}} - L_{ij \text{ rata-rata}}}$$

$$C_i/L_{ij} = \frac{8,1 - 7,5}{9 - 7,5}$$

$$C_i/L_{ij} = \frac{0,6}{1,5} = 0,4$$

B. Parameter COD

⇒ Diketahui : $C_i = 1834 \text{ mg/l}$

$$L_{ij} = 50 \text{ mg/l}$$

$$\text{Penyelesaian : } C_i/L_{ij} = \frac{1834 \text{ mg/l}}{50 \text{ mg/l}}$$

$$C_i/L_{ij} = 36,68 \text{ mg/l}$$

Karena nilai yang didapat melebihi 1 maka harus dicari C_i/L_{ij} baru dengan rumus sebagai berikut :

$$\Rightarrow C_i/L_{ij} \text{ baru} = 1 + p \log \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right)$$

Dimana konstanta $P = 5$

$$\text{Penyelesaian : } C_i/L_{ij} \text{ baru} = 1 + 5 \log (36,68)$$

$$C_i/L_{ij} \text{ baru} = 1 + 7,82$$

$$C_i/L_{ij} \text{ baru} = 8,82 \text{ mg/l}$$

C. Parameter BOD

⇒ Diketahui : $C_i = 518 \text{ mg/l}$

$$L_{ij} = 150 \text{ mg/l}$$

$$\text{Penyelesaian : } C_i/L_{ij} = \frac{518 \text{ mg/l}}{150 \text{ mg/l}}$$

$$Ci/Lij = 3,45 \text{ mg/l}$$

Karena nilai yang didapat lebih dari 1 maka harus dicari Ci/Lij baru dengan rumus berikut :

$$\Rightarrow Ci/Lij \text{ baru} = 1 + p \text{ Log } \left(\frac{Ci}{Lij} \right)$$

Dimana konstanta $p = 5$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij \text{ baru} = 1 + 5 \text{ Log } 3,45$$

$$Ci/Lij \text{ baru} = 1 + 2,69$$

$$Ci/Lij \text{ baru} = 3,69 \text{ mg/l}$$

D. Parameter TSS

$$\Rightarrow \text{Diketahui : } Ci = 215 \text{ mg/l}$$

$$Lij = 400 \text{ mg/l}$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij = \frac{215 \text{ mg/l}}{400 \text{ mg/l}}$$

$$Ci/Lij = 0,54 \text{ mg/l}$$

E. Parameter DO

Nilai DO di baku mutu merupakan nilai minimum, maka perlu dicari nilai Ci baru dengan rumus dibawah ini :

$$\Rightarrow \frac{Cim - Ci}{Cim - Lij} \text{ dimana Nilai } Cim = 7$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci \text{ baru} = \frac{7 - 0,19}{7 - 6}$$

$$Ci \text{ baru} = \frac{6,81}{1}$$

$$Ci \text{ baru} = 6,81 \text{ mg/l}$$

$$\Rightarrow Ci/Lij = \frac{6,81}{6}$$

$$\Rightarrow Ci/Lij = 1,13 \text{ mg/l}$$

Karena nilai melebihi 1 maka harus dicari Ci/Lij baru dengan rumus:

$$\Rightarrow Ci/Lij \text{ baru} = 1 + p \text{ Log } \left(\frac{Ci}{Lij} \right)$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij \text{ baru} = 1 + 5 \text{ Log } 1,13$$

$$Ci/Lij \text{ baru} = 1 + 0,26$$

$$Ci/Lij \text{ baru} = 1,26 \text{ mg/l}$$

Perhitungan indeks pencemar menggunakan rumus dibawah ini :

$$\Rightarrow IP = \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Lij}\right)M^2 - \left(\frac{Ci}{Lij}\right)R^2}{2}}$$

m^2 adalah nilai maksimal atau nilai tertinggi yaitu 4,93 mg/l. R^2 adalah jumlah rata – rata yang didapat dari jumlah nilai yang ada yaitu 4,66 mg/l.

$$\text{Penyelesaian } IP = \sqrt{\frac{8,82^2 - 2,16^2}{2}}$$

$$IP = \sqrt{\frac{77,8 - 4,66}{2}}$$

$$IP = \sqrt{\frac{73,14}{2}} = \sqrt{36,57}$$

$$IP = 6,05$$

2. Status Mutu Air Sumur Warga 1

Berikut ini merupakan perhitungan status mutu air dan indeks pencemar di sumur warga 1 :

A. Parameter pH

$$\Rightarrow \text{Diketahui : } Ci = 7,15$$

$$Lij = 6 - 9$$

$$Lij \text{ rata – rata} = 7,5$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij = \frac{Ci - Lij \text{ rata-rata}}{Lij \text{ max} - Lij \text{ rata-rata}}$$

$$Ci/Lij = \frac{7,15 - 7,5}{6 - 7,5}$$

$$Ci/Lij = \frac{-0,35}{-1,5}$$

$$Ci/Lij = 0,23 \text{ mg/l}$$

B. Parameter COD

$$\Rightarrow \text{Diketahui : } Ci = 1,44 \text{ mg/l}$$

$$Lij = 10 \text{ mg/l}$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij = \frac{1,44 \text{ mg/l}}{10 \text{ mg/l}}$$

$$Ci/Lij = 0,14 \text{ mg/l}$$

C. Parameter BOD

$$\Rightarrow \text{Diketahui : } Ci = 0,98 \text{ mg/l}$$

$$Lij = 2 \text{ mg/l}$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij = \frac{0,98 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}}$$

$$Ci/lij = 0,49 \text{ mg/l}$$

D. Parameter TSS

$$\Rightarrow \text{Diketahui : } Ci = 5,05 \text{ mg/l}$$

$$Lij = 50 \text{ mg/l}$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci/Lij = \frac{5,05 \text{ mg/l}}{50 \text{ mg/l}}$$

$$Ci/Lij = 0,01 \text{ mg/l}$$

E. Parameter DO

Nilai DO pada baku mutu merupakan nilai minimum maka diperlukan untuk mencari nilai Ci baru dengan rumus sebagai berikut :

$$\Rightarrow \frac{Cim - Ci}{Cim - Lij} \text{ dimana nilai } Cim = 7$$

$$\Rightarrow \text{Diketahui : } Ci = 6,55 \text{ mg/l}$$

$$Lij = 6 \text{ mg}$$

$$\text{Penyelesaian : } Ci \text{ baru} = \frac{7 - 6,55}{7 - 6}$$

$$Ci \text{ baru} = \frac{0,45}{1}$$

$$Ci \text{ baru} = 0,45 \text{ mg/l}$$

$$\Rightarrow Ci/Lij = \frac{0,45}{6}$$

$$Ci/Lij = 0,075 \text{ mg/l}$$

F. Perhitungan indeks pencemar menggunakan rumus dibawah ini:

$$\Rightarrow IP = \sqrt{\frac{\left(\frac{Ci}{Lij}\right)M^2 - \left(\frac{Ci}{Lij}\right)R^2}{2}}$$

m^2 adalah nilai maksimal atau nilai tertinggi yaitu 2,78. R^2 adalah nilai rata – rata yang didapat dari jumlah nilai yang ada yaitu 0,67

$$\text{Penyelesaian: } IP = \sqrt{\frac{0,49^2 - 0,19^2}{2}}$$

$$IP = \sqrt{\frac{0,24 - 0,04}{2}}$$

$$IP = \sqrt{\frac{0,2}{2}} = \sqrt{0,1}$$

$$IP = 0,32$$

3. Status Mutu Air Sumur Warga 2

A. Parameter pH

⇒ Diketahui : $C_i = 7,25$
 $L_{ij} = 6 - 9$
 $L_{ij} \text{ rata-rata} = 7,5$
 Penyelesaian : $C_i/L_{ij} = \frac{C_i - L_{ij} \text{ rata-rata}}{L_{ij} \text{ max} - L_{ij} \text{ rata-rata}}$
 $C_i/L_{ij} = \frac{7,25 - 7,5}{6 - 7,5}$
 $C_i/L_{ij} = \frac{-0,25}{-1,5}$
 $C_i/L_{ij} = 0,16 \text{ mg/l}$

B. Parameter COD

⇒ Diketahui : $C_i = 1,44 \text{ mg/l}$
 $L_{ij} = 10 \text{ mg/l}$
 Penyelesaian : $C_i/L_{ij} = \frac{1,44 \text{ mg/l}}{10 \text{ mg/l}}$
 $C_i/L_{ij} = 0,14 \text{ mg/l}$

C. Parameter BOD

⇒ Diketahui : $C_i = 0,77 \text{ mg/l}$
 $L_{ij} = 2 \text{ mg/l}$
 Penyelesaian : $C_i/L_{ij} = \frac{0,77 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}}$
 $C_i/L_{ij} = 0,39 \text{ mg/l}$

D. Parameter TSS

⇒ Diketahui : $C_i = 5,55 \text{ mg/l}$
 $L_{ij} = 50 \text{ mg/l}$
 Penyelesaian : $C_i/L_{ij} = \frac{5,55 \text{ mg/l}}{50 \text{ mg/l}}$
 $C_i/L_{ij} = 0,11 \text{ mg/l}$

E. Parameter DO

Nilai DO pada baku mutu merupakan nilai minimum maka diperlukan untuk mencari nilai C_i baru dengan rumus sebagai berikut:

⇒ $\frac{C_{im} - C_i}{C_{im} - L_{ij}}$ dimana nilai $C_{im} = 7$
 ⇒ Diketahui : $C_i = 7,85 \text{ mg/l}$
 $L_{ij} = 6 \text{ mg}$
 Penyelesaian : $C_i \text{ baru} = \frac{7 - 7,85}{\frac{7 - 6}{-0,85}}$
 $C_i \text{ baru} = \frac{-0,85}{1}$
 $C_i \text{ baru} = -0,85 \text{ mg/l}$
 ⇒ $C_i/L_{ij} = \frac{-0,85}{6}$
 $C_i/L_{ij} = -0,14 \text{ mg/l}$

F. Perhitungan indeks pencemar menggunakan rumus dibawah ini.

⇒ $IP = \sqrt{\frac{(\frac{C_i}{L_{ij}})^M - (\frac{C_i}{L_{ij}})^R}{2}}$
 m^2 adalah nilai maksimal atau nilai tertinggi yaitu 2,78.
 R^2 adalah nilai rata-rata yang didapat dari jumlah nilai yang ada yaitu 0,67.

Penyelesaian: $IP = \sqrt{\frac{0,39^2 - 0,13^2}{2}}$
 $IP = \sqrt{\frac{0,15 - 0,02}{2}}$

$IP = \sqrt{\frac{0,13}{2}} = \sqrt{0,06}$
 $IP = 0,25$

E. Pemodelan Penyebaran

Analisis Gerakan kontaminan yang ada di air tanah sekitar TPA Mobongo khususnya di Desa Kawangkoan Bawah Lingkungan 11 menggunakan *software Modflow* dan *Modelmuse*. Proses pergerakan yang terjadi dipengaruhi oleh dua hal yaitu adveksi yang merupakan kontaminan yang bergerak sesuai dengan arah aliran tanah yang ada dan disperse yang merupakan kontaminan yang gerakannya menyebar dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang rendah.

1. Pembuatan Grid Pemodelan

Tahap pertama yang harus dilakukan adalah membuat digitasi tempat penelitian di *Arcgis* kemudian dibuat format file atau diproyeksikan ke shp agar dapat digunakan dalam *software modflow*. Digitasi ini yang kemudian menjadi dasar dalam pemodelan di *software modflow*. Dengan lokasi penelitian yang ada didapatkan grid dengan 100 kolom dan 100 baris dengan total keseluruhan 100 ha.

Dapat dilihat bahwa titik lokasi pengambilan sampel dan kontur sudah sesuai dalam bentuk grid. Tahapan selanjutnya merupakan penentuan parameter yang akan dipakai dalam pembuatan pemodelan. Parameter COD dipilih karena menunjukkan nilai pencemaran paling tinggi diantara parameter lainnya.

2. Penentuan Data

Terdapat masukan data dispersivitas dan kondisi batas transportasi kontaminan serta konsentrasi awal parameter. *Mass transport model* tidak termasuk dalam fasilitas untuk memasukan parameter viskositas fluida, sehingga yang akan digunakan hanya besarnya konsentrasi kontaminan, sedangkan dispersivitas merupakan angka yang menunjukkan proses penyebaran partikel secara mekanik, dimana terdapat hubungan antara konsentrasi relatif partikel dengan waktu penyebaran dari partikel tersebut.

Nilai yang diambil berdasarkan kondisi dilapangan adalah tanah medium. Nilai tersebut dipakai dalam variabel “Kx”, nilai “Ky”, dan “Kz” diasumsikan sama dengan nilai dari variabel “Kx”. *Steady state* digunakan dalam jalannya pemodelan ini, dimana ditentukan bahwa dalam pemodelan ini nilai yang ada dalam kondisi stabil sehingga tidak akan ada perubahan pada nilai di tengah pemodelan berlangsung.

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel tanah untuk melakukan Analisa saringan agar dapat menentukan jenis tanah di lokasi penelitian. Dari hasil Analisa saringan didapatkan nilai D_{10} dan perhitungan Nilai K sebagai berikut:

- Titik 1 nilai $D_{10} = 0,16 \text{ mm}$
 Menghitung nilai K = $100 \times (D_{10})^2$
 Untuk nilai D_{10} dalam cm
 Penyelesaian:

- $K = 100 \times (0,0162) = 100 \times (0,000236) = 0,0236 \text{ cm/det} = 2,36 \times 10^{-2}$
- Titik 2 nilai $D_{10} = 0,17 \text{ mm}$
 Menghitung nilai $K = 100 \times (D_{10}^2)$
 Untuk nilai D_{10} dalam cm
 Penyelesaian:
 $K = 100 \times (0,0172) = 100 \times (0,000289) = 0,0289 \text{ cm/det} = 2,89 \times 10^{-2}$
- $= 0,0289 \text{ cm/det} = 2,89 \times 10^{-2}$
- Titik 2 nilai $D_{10} = 0,17 \text{ mm}$
 Menghitung nilai $K = 100 \times (D_{10}^2)$
 Untuk nilai D_{10} dalam cm
 Penyelesaian:
 $K = 100 \times (0,0172) = 100 \times (0,000289) = 0,0289 \text{ cm/det} = 2,89 \times 10^{-2}$

TABEL 1
Referensi Nilai Konduktifitas Hidrolik

Material	Hydraulic Conductivity
Gravel	3×10^{-4} to 3×10^{-2}
Coarse sand	9×10^{-7} to 6×10^{-3}
Medium sand	9×10^{-7} to 5×10^{-4}
Fine sand	2×10^{-7} to 2×10^{-4}
Silt, loess	1×10^{-9} to 2×10^{-5}
Till	1×10^{-12} to 2×10^{-6}
Clay	1×10^{-11} to 4.7×10^{-9}
Unweathered marine clay	8×10^{-13} to 2×10^{-9}

Sumber: hasil analisis, 2022

TABEL 2
Nilai D_{10} dan Nilai K

Sampel	Nilai D_{10}	Koefisien Permeabilitas
Titik 1	0,16	0,256
Titik 2	0,17	0,289
Titik 3	0,17	0,289

Sumber: hasil analisis, 2022

TABEL 3
Nilai Porositas

Material	Porositas (%)
Gravel, Coarse	24-36
Gravel, Fine	25-38
Sand, Coarse	31-46
Sand, Fine	26-53
Silt	34-61
Clay	34-60

Dari hasil Analisa saringan dan perhitungan di atas maka jenis tanah di daerah TPA Mobongo Minahasa Selatan tergolong *Coarse, Sand*. Tanah memiliki partikel dengan batuan berukuran 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.

Berdasarkan pengamatan yang sudah dilakukan maka nilai $1.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ digunakan sebagai nilai curah hujan. Faktor yang mempengaruhi jumlah konsentrasi

air lindi adalah konsentrasi curah hujan di daerah tersebut. Data yang akan digunakan dalam pemodelan untuk pemberian batas yaitu batas *constant head*, data ini digunakan pada daerah yang tak jelas batas fisiknya. Batas akuifer tak tertekan pada batas lokasi penelitian akan diberikan nilai *constant head*.

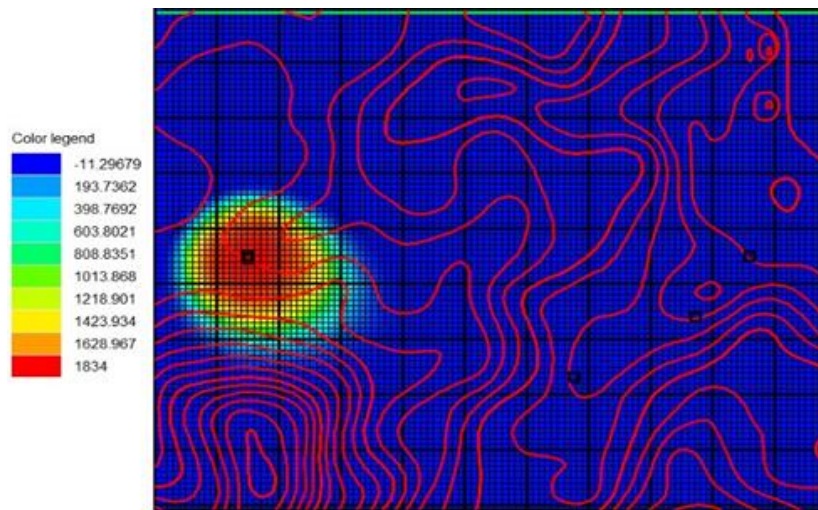
Nilai porositas atau presentase total dari pori dalam tanah yang ditempati oleh air dan udara, dibandingkan volume total tanah. Pori tanah umumnya ditempati oleh udara untuk pori kasar, sementara pada porinkecil akan

ditempati air. Ukuran butiran dan berat jenis tanah menjadi faktor yang dapat mempengaruhi porositas. Nilai porositas berdasarkan titik lokasi penelitian, yaitu 0,31 – 0,46 pada material (*Sand, Coarse*) yang diambil

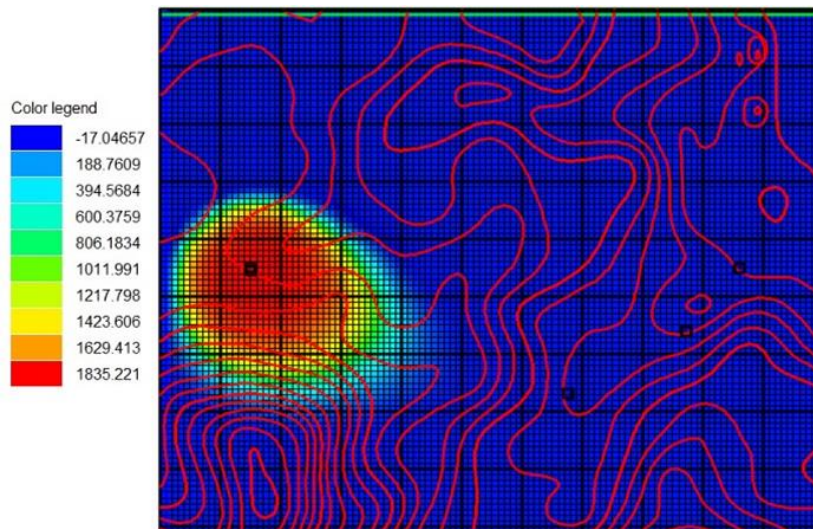
dari Tabel 3. Berdasarkan data yang sudah ada maka dalam program *modflow* dan *modelmuse* akan menggunakan data – data pada Tabel 4.

TABEL 4
Data yang digunakan Dalam Pemodelan

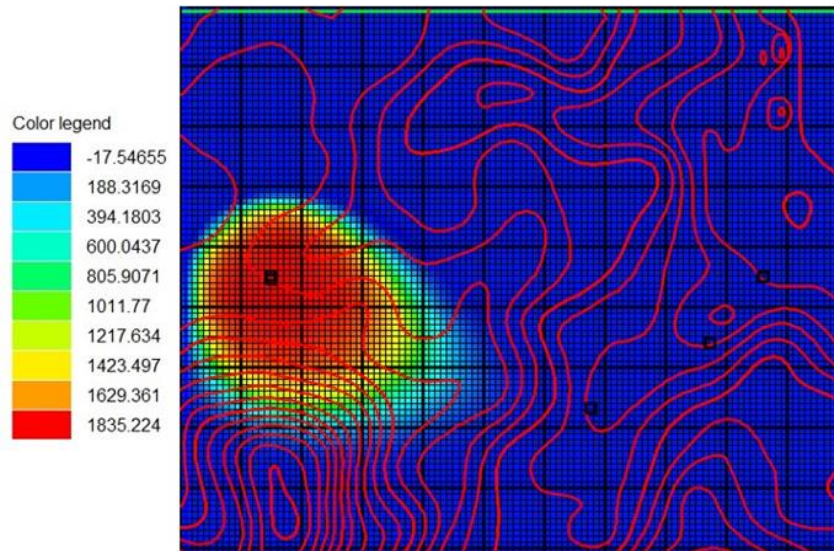
Data yang diperlukan	Nilai	Satuan	Sumber
Parameter COD	1834	mg/l	Hasil laboratorium (BTKLPP)
Waktu	- 4015 (11 tahun) - 7665 (10 tahun dari sekarang) - 9490 (15 tahun dari sekarang)	Hari	- Umur TPA saat ini - Proyeksi tahapan - Jangka waktu penggunaan TPA
Porositas	0,34-0,61		Morris dan Johnson (1967)
RCH (Recharge Package)	1.6×10^{-6}	m/s	De Vaull et al (1997)
Konduktifitas hidrolis	2.89×10^{-2}	cm/det	Hasil Analisa Saringan



Gambar 3. Hasil Proyeksi Sesuai Umur TPA



Gambar 4. Hasil Proyeksi 10 Tahun



Gambar 5. Hasil Proyeksi 15 Tahun

3. Pemodelan Penyebaran

Pergerakan dari kontaminan COD dimulai dengan menggunakan jangka waktu 11 tahun atau umur dari TPA Mobongo. Pada simulasi ini titik awalnya sesuai dengan titik pengambilan sampel atau saluran outlet air lindi. Pada pemodelan ini berfokus pada kontaminan COD karena memiliki nilai yang paling tinggi diantara parameter lainnya. Warna pada hasil pemodelan menandakan level dari penyebaran kontaminan yang dimulai dengan warna merah, kuning, hijau, dan biru. Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa penyebaran kontaminan COD mengarah ke daerah permukiman, namun belum terlihat bahwa penyebaran air lindi sampai di daerah permukiman warga. Pergerakan kontaminan atau *plume* kontaminan bergerak dengan jarak kurang lebih 200 meter. Tidak dapat dipungkiri bahwa telah terjadi penyerapan ke dalam tanah yang menyebabkan penyebaran kontaminan ini.

4. Proyeksi Pemodelan 10 Tahun

Berdasarkan Gambar 4, hasil Proyeksi 10 Tahun daerah TPA Mobongo terlihat cukup terkontaminasi oleh COD. Penyebaran COD cenderung ke arah timur namun tetap ada yang mengarah ke permukiman warga. Pada penelitian ini, yang menjadi sumber pencemaran adalah air lindi TPA Mobongo yang berjarak cukup dekat dengan sumur di permukiman warga. Penulis menggunakan hasil analisa laboratorium dengan sampel yang sudah diambil untuk membuat pemodelan penyebaran kontaminan ini.

Penelitian ini mendapatkan *plume* kontaminan bergerak kurang lebih 250-300m dengan nilai kontaminan yang cukup tinggi yang terdapat di saluran air lindi TPA Mobongo. *Plume* kemudian di overlay dengan data citra satelit sesuai dengan lokasi penelitian sehingga dapat dilihat sesuai dengan keadaan nyata seperti di peta satelit. *Plume* juga dapat dilihat sesuai dengan disperse dan adveksi. Hasil yang didapatkan di

pemodelan merupakan hasil yang sudah dikalibrasi sesuai dengan waktu pemodelan.

5. Proyeksi Pemodelan 15 Tahun

Pada Gambar 5 terlihat jelas perbedaan antara pemodelan pada saat ini, proyeksi 10 tahun, dan pada proyeksi 15 tahun. Pergerakan dimulai dengan penyebaran yang cukup besar di daerah TPA Mobongo. Simulasi ini berfokus pada kontaminan COD karena melihat kadar yang cukup tinggi dari hasil laboratorium yang ada.

Warna merah dan kuning menunjukkan daerah dengan tingkat pencemaran yang tinggi, kemudian pada warna hijau dan biru mengindikasikan tingkat pencemaran yang rendah, untuk daerah yang tidak tercemar sama sekali berwarna biru tua.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat penulis ambil dari hasil penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Kualitas air di daerah TPA Mobongo dan Desa Kawangkoan Bawah Lingkungan 11 setelah dilakukan Analisa laboratorium menunjukkan terjadi pencemaran khususnya pada parameter COD. Status mutu air berdasarkan perhitungan indeks pencemaran mendapatkan hasil 6,05 pada titik TPA Mobongo yang termasuk dalam kategori cemar sedang. Untuk titik di daerah permukiman mendapatkan hasil 0,32, 0,25, dan 0,2 yang termasuk dalam kategori baik.
2. Pergerakan air lindi dari TPA Mobongo berdasarkan hasil pemodelan menunjukkan bahwa pencemaran mengarah ke tenggara dari TPA dimana arah ini menuju ke daerah permukiman. Dengan jarak sekitar 200 m dengan luas daerah penyebaran ± 5 ha.

3. Berdasarkan hasil pemodelan penyebaran selama 10 tahun dan 15 tahun dapat dilihat bahwa tingkat penyebaran yang semakin tinggi. Jarak yang dapat dilihat dari hasil proyeksi sekitar 250 – 300 m dan luas daerah penyebaran ± 10 ha Hal ini menunjukkan bahwa bahayanya TPA jika tidak memiliki sistem pengelolaan yang baik.

B. Saran

Perlu adanya kesadaran lebih dari pemerintah terkait sistem pengelolaan sampah khususnya pada TPA Mobongo, karena saat ini masih digunakan sistem *open dumping* dan minimnya fasilitas. Drainase serta kolam penampungan air lindi juga harus dilakukan perbaikan sehingga dapat meminimalisirkan pencemaran. Masyarakat sekitar juga perlu untuk meningkatkan kesadaran akan penggunaan air yang bersih untuk keperluan sehari – hari. Pemerintah sebaiknya memberikan penyuluhan terkait fasilitas air bersih warga seperti jarak sumber air bersih dengan titik pencemar serta perawatan yang harus dilakukan terhadap sumber air bersih warga.

KUTIPAN

- [1] Chandra, B. (2006). Pengantar Kesehatan Lingkungan, P. Widyastuti.ed. Jakarta : EGC
- [2] Legrans, R. R. I., DKK. (2021). Studi Karakteristik Kompresibilitas Tanah Pada Daerah Aliran Sungai Tondano (Studi Kasus : Pembangunan Jembatan Kuwil). TEKNO
- [3] Mangangka, I. R. (2017). Pengembangan Sistem Penyediaan Air Bersih di Desa Uuwan Kecamatan Dumoga Barat Kabupaten Bolaang Mongondow. Jurnal Sipil Statik.
- [4] Pemerintah Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi dan/atau Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Pemerintah Indonesia. (2017).
- [5] Peraturan Menteri Negara Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik.
- [6] PermenLHK No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7 /2015 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.
- [7] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
- [8] Riogilang, Hendra. (2003). Potensi Air Tanah Akuifer Tertekan di Kecamatan Wenang Kota Manado. Tesis. Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral. Teknik Pertambangan. Institut Teknologi Bandung.
- [9] Riogilang, Hendra. (2021). Seminar Pengendalian Pencemaran dan Penyebaran Air Lindi dari Rembesan Kolam Lindi di TPA Sumompo Manado. Media Matrasan.
- [10] Riogilang, Herawaty. (2016). Identifikasi dan Pendampingan Untuk Mengatasi Masalah Sanitasi Pada Permukiman Kumuh di Kampung Sanger, Sario Manado. Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi.
- [11] Riogilang, Herawaty., DKK. (2016). Pemeriksaan Kekuatan Tanah Dengan Perkuatan Anyaman Kawat (Studi Kasus : Kawasan Tinoor). Jurnal Sipil Statik.
- [12] Riogilang, Herawaty., DKK. (2021). Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung. Jurnal Ilmiah Media Engineering.
- [13] Riogilang, Herawaty., DKK. (2021). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal kiniar di Kota Tondano. Jurnal Teknik Sipil : UNSRAT.
- [14] Riogilang, Herawaty., DKK. (2021). Perancangan Instalasi Pengolahan Lindi Dengan Proses Kombinasi Kolam Anaerobik, Fakultatif, dan Maturasi di TPA Aertembaga. TEKNO.
- [15] Riogilang, Herawaty., DKK. (2022). Analisis Kapasitas Pengolahan Air Lindi di TPA Aertembaga Kota Bitung. TEKNO.
- [16] Riogilang, Herawaty., DKK. (2022). Analisis Pemilahan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Berbasis Sistem Informasi Geologis (SIG) di Kabupaten Minahasa Tenggara. Jurnal Teknik Sipil : Universitas Warmadewa.