

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENYEBARAN TIMBAL PADA AIR TANAH AKIBAT LINDI
DI SEKITAR TPA TAMANGAPA DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM
INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)**



BESSE QISMAH DHIZA

D131 18 1014

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Judul : **Analisis Penyebaran Timbal Pada Air Tanah Akibat Lindi di Sekitar TPA Tamangapa Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Disusun Oleh :

Nama : Besse Qismah Dhiza D131181014

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 22 November 2022

Pembimbing I

Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T.
NIP. 197312012000122001

Pembimbing II

Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.
NIP. 197211192000121001

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng. Muratja Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Besse Qismah Dhiza

Nim : D131181014

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jenjang Studi : Strata 1 (S1)

Menyatakan bahwa karya tulis dengan judul:

*“Analisis Penyebaran Timbal Pada Air Tanah Akibat Lindi di Sekitar TPA
Tamangapa Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)”*

Adalah karya tulis saya sendiri dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun. Adapun semua informasi yang tertulis dalam karya tulis ini yang bersumber dari penulis lainnya telah dicantumkan sumber dan tahun penerbitannya. Jika terdapat pihak yang merasa terdapat kesamaan judul atau hasil yang diperoleh dengan karya tulis ini maka saya siap untuk dimintai pertanggungjawaban mengenai hal tersebut.

Makassar, 22 November 2022

Yang membuat pernyataan



Besse Qismah Dhiza

D131181014

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah swt. karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Penyebaran Timbal pada Air Tanah Akibat Lindi di Sekitar TPA Tamangapa dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan tugas akhir ini, tidak lupa penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dedikasi yang sangat besar, diantaranya:

1. Kepada orang tua tercinta dan tersayang H. Muhammad Nasir dan Andi Rahmawati atas semua kebaikan, perjuangan, dan cinta kasih yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Kartika Sari, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing I atas segala ilmu yang bermanfaat, waktu yang diluangkan, serta arahan dan bimbingan selama proses penyusunan tugas akhir.
6. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II atas segala arahan serta bimbingan selama proses penyusunan tugas akhir.
7. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan atas didikan, ilmu yang bermanfaat dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan selama kurang lebih empat tahun.
8. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terkhusus kepada

Ibu Sumiati dan Pak Olan sebagai staf S1 Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.

9. Kepada kakak yang saya sayangi Besse Qabliah Ramadhani yang telah menjadi saudara dan sahabat untuk berbagi suka duka dalam hidup penulis.
10. Teman-teman SMA saya, Aliah, Mely, Ucha, Nandira, Ilda, Bayu, Apid, Yuse, Fadli, Dika, dan Jabal yang telah menemani dan memberikan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
11. Teman-teman Grup Upin-Ipin, Indi, Aya, Ajeng yang telah memberi kenangan indah di masa-masa perkuliahan dan membantu penulis untuk sampai di titik ini.
12. Teman-teman yang telah membantu melakukan penelitian ini Eddy, Murtadha, Rey, Wiwi, dan Kak Rangga.
13. Rekan seperjuangan Kerja Praktek PT. KIMA, Indi, Hikma, Cici, Indah, Uppi, Fina, Dina, Rini yang telah memberi kenangan dan pengalaman yang menyenangkan selama kerja praktek berlangsung.
14. Teman-teman di Lab Riset Sanitasi dan Persampahan yang telah memberikan kenangan dan kerja sama yang baik selama masa perkuliahan.
15. Teman-teman TRANSISI 2019 yang telah kebersamai till the end.
16. Kepada segenap keluarga tercinta, teman-teman, dan berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi kedepannya. Akhir kata, semoga Allah swt. Meridhoi segala hal di hidup kita.

Makassar, 24 Agustus 2022

Besse Qismah Dhiza

ABSTRAK

BESSE QISMAH DHIZA. *Analisis Penyebaran Timbal pada Air Tanah Akibat Lindi di Sekitar TPA Tamangapa dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)* (dibimbing oleh Kartika Sari dan Irwan Ridwan Rahim).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pola distribusi spasial kualitas air tanah akibat air lindi di TPA Tamangapa. Dalam pengambilan sampel ditentukan 10 titik yang dekat dari TPA Tamangapa. Variabel yang diamati yaitu pH, suhu, dan parameter logam berat yaitu timbal (Pb). Penelitian dilakukan dengan metode pengujian langsung di lapangan dan penelitian di laboratorium menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Data yang diperoleh dari hasil uji tersebut dianalisa dan dibandingkan menggunakan baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, dilanjutkan dengan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan *software ArcGIS* 10.8 dengan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk menghasilkan peta pola distribusi spasial kualitas air tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola distribusi spasial air tanah untuk parameter timbal (Pb) masih di bawah baku mutu. Meskipun berdasarkan pengujian kandungan logam berat timbal (Pb) diketahui bahwa air masih memenuhi baku mutu, namun parameter pH tidak boleh diabaikan karena hasil pengujian menunjukkan pH asam yang berarti adanya indikasi kandungan zat pencemar lain pada air sumur gali. Jika sumur tersebut terus menerus digunakan sebagai sumber air bersih utama dalam jangka waktu yang lama maka tidak menutup kemungkinan terjadi peningkatan kadar timbal terlarut dan logam berat lainnya sehingga dapat memberikan efek negatif terhadap kesehatan masyarakat.

Kata Kunci : Lindi, Air Tanah, Timbal

ABSTRACT

BESSE QISMAH DHIZA. *Analysis of Lead Dispersal in Groundwater Due to Leachate Water Around the Tamangapa Landfill using Geographic Information Systems (GIS)* (Supervised by Kartika Sari and Irwan Ridwan Rahim).

The study aims to determine the spatial distribution pattern of groundwater quality due to leachate water in the Tamangapa landfill. In sampling, 10 points were determined that were close to the Tamangapa landfill. The variables observed are pH, temperature, and heavy metal parameters, namely lead (Pb). The research was conducted by direct measurement methods in the field and laboratory research using the Atomic Absorption Spectrophotometry (SSA) method. The data obtained from the test results were analyzed and compared using quality standards in accordance with the Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 82 of 2001, followed by spatial analysis based on Geographic Information Systems (GIS) using ArcGIS 10.8 software with the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method to produce a map of spatial distribution patterns of groundwater quality. The results showed that the spatial distribution pattern of groundwater for lead (Pb) parameters was still below the quality standard. Although based on testing the content of lead heavy metal (Pb) it is known that the water still meets the quality standards, the pH parameter should not be ignored because the measurement results show an acidic pH which means that there is an indication of the content of other pollutants in the dug well water. If the well is continuously used as the main source of clean water for a long time, it is possible that there will be an increase in levels of dissolved lead and other heavy metals so that it can have a negative effect on public health.

Keywords : Leachate, Groundwater, Lead

DAFTAR ISI

	halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)	5
B. Kesesuaian Lahan TPA	6
C. Air Lindi	8
D. Pencemaran Air oleh Air Lindi	9
E. Parameter Kualitas Air	11
1. Parameter Fisika	11
2. Parameter Kimia	12
F. Logam Berat Timbal	13
G. Sistem Informasi Geografis	16
H. Komponen Sistem Informasi Geografis	17

I. ArcGIS	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
A. Diagram Alir Penelitian	20
B. Rancangan Penelitian	21
C. Waktu dan Lokasi Penelitian	21
D. Alat dan Bahan	22
E. Populasi dan Sampel	26
F. Teknik Pengumpulan Data	26
1. Penentuan Titik Pengambilan Sampel	27
2. Pengambilan Data	28
3. Pengujian Parameter Kualitas Air	28
G. Teknik Analisis	30
1. Analisis Status Mutu Air	30
2. Analisis Spasial	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
A. Kondisi TPA Tamangapa	32
B. Hasil Uji Laboratorium	34
1. Air Lindi	34
2. Analisis Spasial Kualitas Air Tanah	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran	47

DAFTAR TABEL

	halaman
1. Sifat-sifat Logam Timbal	14
2. Koordinat Titik Pengambilan Sampel	27
3. Hasil Pengujian Kandungan Air Lindi	34
4. Hasil Pengujian pH Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa	35
5. Hasil Pengujian Suhu Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa	37
6. Hasil Pengujian Timbal Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa di BBLK Makassar	39
7. Hasil Pengujian Timbal Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa di Balai Jasa Industri Makassar	41
8. Hasil Pengujian Data Sekunder Timbal Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa	43

DAFTAR GAMBAR

	halaman
1. Lokasi Penelitian	22
2. Persebaran Titik Sampling	26
3. Prosedur Pengujian pH menggunakan pH Meter	29
4. Prosedur Pengujian Suhu menggunakan Termometer	29
5. Kondisi TPA Tamangapa	33
6. Analisis Spasial Penyebaran pH Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa	36
7. Analisis Spasial Penyebaran Suhu Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa	38
8. Analisis Spasial Penyebaran Timbal Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa untuk Pengujian di BBLK Makassar	40
9. Analisis Spasial Penyebaran Timbal Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa untuk Pengujian di Balai Jasa Industri Makassar	42
10. Analisis Spasial Penyebaran Timbal Data Sekunder Air Sumur Gali Sekitar TPA Tamangapa	44

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001	51
2. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016	59
3. Hasil Pengujian Timbal di BBLK Makassar	61
4. Hasil Pengujian Timbal di Balai Jasa Industri Makasar	62
5. Dokumentasi Penelitian	74

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kota Makassar merupakan salah satu kota yang perkembangan penduduknya sangat pesat dan sejalan dengan volume sampah yang dihasilkan juga bertambah, sehingga sangat berpengaruh terhadap kualitas kesehatan lingkungan perkotaan atau lingkungan pemukiman. Sampah yang dihasilkan oleh masyarakat Kota Makassar akan diangkut menuju TPA Tamangapa tetapi terlebih dahulu sampah tersebut dikumpulkan di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang telah disediakan oleh pemerintah daerah.

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tamangapa berlokasi di kelurahan Tamangapa Kecamatan Manggala Kota Makassar memiliki luas 14 Ha pada tahun 2015, mengalami perluasan hingga 2 Ha pada tahun 2016 sehingga luasan TPA Tamangapa sebesar 16 Ha. Sistem pengelolaan sampah yang diterapkan di TPA Tamangapa adalah *Open Dumping*. *Open Dumping* adalah metode penimbunan terbuka, sampah yang berasal dari sumbernya ditimbun terus menerus tanpa adanya treatment selanjutnya yang dapat mengurangi jumlah sampah (Syarfina, 2018). Dengan banyaknya volume sampah yang ada di TPA Tamangapa dapat menghasilkan lindi yang berbahaya terhadap lingkungan.

Air lindi yang meresap ke dalam tanah dapat menyebabkan pencemaran air tanah dangkal. Air tanah dangkal berupa sumur gali maupun sumur bor dangkal yang mana merupakan sumber air untuk memenuhi kebutuhan primer masyarakat. Apabila air sumur sudah tercemar air lindi, maka akan terjadi penurunan kualitas air sumur sehingga tidak bisa dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga. Salah satu logam berat yang mencemari air tanah yang berasal dari air lindi adalah Pb atau timbal. Logam berat timbal merupakan salah satu logam berat yang berbahaya

bagi kesehatan manusia. Efek toksik yang ditimbulkan oleh timbal apabila terdapat dalam tubuh manusia, saraf sentral dan perifer (penurunan konsentrasi, gangguan tidur dan keresahan), sistem kardiovaskuler (memicu darah tinggi), sistem hemopoetik (kurang darah), ginjal, penyerapan, sistem reproduksi, dan karsinogenik (Rosyidah, 2010).

Dengan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pencemaran air tanah di TPA Tamangapa dan sekitarnya untuk mengetahui kemana arah dari pencemaran air yang ditimbulkan akibat air lindi yang dihasilkan dari sampah TPA Tamangapa dengan judul “*Analisis Penyebaran Timbal pada Air Tanah Akibat Lindi di Sekitar TPA Tamangapa dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)*”

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas air tanah yang berada di sekitar lokasi TPA Tamangapa?
2. Bagaimana penyebaran pencemaran air tanah TPA Tamangapa dengan analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kualitas air tanah yang berada di sekitar lokasi TPA Tamangapa.
2. Menganalisis penyebaran pencemaran timbal akibat lindi di sekitar TPA Tamangapa menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan referensi ilmu pengetahuan mengenai penyebaran pencemaran air tanah akibat lindi yang mengandung logam berat timbal menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

E. Batasan Masalah

Untuk mengarahkan penulis dalam memberikan penjelasan dari permasalahan dan guna memudahkan dalam menganalisa, sesuai dengan judul dan tujuan penulisan Tugas Akhir ini, maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di lokasi TPA Tamangapa.
2. Parameter logam berat yang akan diuji yaitu Timbal (Pb).
3. Analisis penyebaran pencemaran air tanah TPA Tamangapa dianalisis dengan program ArcGIS.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan masalah yang memang memerlukan penyelesaian, yang didasarkan dari masalah (actual). Selain itu berisi rumusan masalah, tujuan

penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan diakhiri dengan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori-teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan yang mendasar mengenai masalah yang diteliti. Termasuk juga teori, temuan, dan bahan penelitian lain yang digunakan pada penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan deskripsi analisis perhitungan data-data temuan yang diperoleh dari hasil pengujian serta menjawab pertanyaan penelitian atau rumusan masalah.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan menyeluruh dari hasil pengujian yang diperoleh beserta saran yang diperlukan untuk perbaikan dan penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Menurut UU Nomor 18 Tahun 2008, Tempat Pemrosesan Akhir adalah tempat untuk memroses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Pengelolaan sampah menjadi kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.

Dalam sistem pengelolaan sampah, TPA senantiasa dijadikan sebagai titik berat permasalahan dalam polusi yang berlangsung disekitar lokasi TPA. Polusi bisa terjadi pada perairan yang merupakan wilayah warga beraktifitas. Sebagian kasus penting yang mesti dicermati yakni penyebaran gas serta pemancar gas pada TPA, pergerakan air lindi dan ke dalam lapisan tanah. Pemilihan lokasi TPA yang tidak tepat dan sistem pembuangan secara terbuka (*open dumping*) mengakibatkan luasnya dampak negatif yang akan ditimbulkan seperti dampak terhadap kesehatan, pencemaran, estetika dan masalah sosial. TPA yang dioperasikan secara *open dumping* akan menghasilkan produk sampingan berupa gas metana dan cairan lindi. Cairan lindi berpengaruh pada sifat-sifat air bawah tanah seperti tingginya konsentrasi total padatan terlarut, konduktivitas elektrik, tingkat kekerasan, klorida, COD, nitrat dan sulfat, serta mengandung logam berat, dimana kandungannya cenderung menurun setelah musim hujan dan meningkat sebelum musim hujan. Air lindi yang dihasilkan oleh TPA sulit untuk dikendalikan walaupun dengan proteksi kuat pada TPA. Apalagi TPA yang tidak dikelola sangat berpengaruh terhadap pergerakan air lindi ke wilayah sekitarnya (Mahyudin, 2017).

B. Kesesuaian Lahan TPA

Penetapan lokasi TPA harus tepat dan penataan kawasan di sekitarnya juga dilakukan secara seksama agar tidak menimbulkan permasalahan di kemudian hari, terutama masalah sosial dan lingkungan. Keberadaan sampah juga dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat karena sampah merupakan sarana dan sumber penularan penyakit (Fajarini, 2014).

Berdasarkan SNI 03-3241-1997 Tahun 1997 tentang Tata Cara pemilihan lokasi TPA sampah yang diterbitkan Badan Standarisasi Nasional, ketentuan pemilihan lokasi TPA sampah diuraikan sebagai berikut:

1. Kriteria Regional

Kriteria regional adalah batasan penentuan yang digunakan untuk menemukan zona yang layak atau tidak layak berdasarkan batasan sesuai dengan pengembangan wilayah, rencana tata ruang kondisi geologi, topografi, dan geohidrologi.

a. Pengembangan wilayah dan tata ruang

Lokasi yang ditinjau apakah merupakan daerah produktif yang akan dikembangkan baik untuk industri, pertanian, pariwisata, pemukiman, dan lokasi pendidikan sesuai dengan pengembangan tata ruang yang telah ada. Lokasi diharapkan tidak berada pada pengembangan daerah tersebut.

b. Kondisi geologi

Kondisi yang dipilih tidak berada pada daerah bahaya geologi atau patahan.

c. Kondisi geohidrologi

Lokasi tidak berada pada daerah yang memiliki muka air tanah kurang dari 3 meter. Kondisi butiran tanah tidak memiliki tingkat kelulusan tanah yang tinggi. Jarak terhadap sumber dan mata air harus lebih dari 1000 meter terutama di daerah hilir. Apabila persyaratan tersebut tidak diperoleh perlu dilakukan teknologi yang mampu menahan perembesan air sampah pada sumber air permukaan dan air tanah.

d. Kondisi topografi

Kondisi topografi sebaiknya cukup datar dengan kemiringan zona kurang dari 20% dengan kondisi kelerengan yang cukup stabil.

e. Jauh dari fasilitas publik dan tidak boleh berada pada daerah Kawasan lindung atau cagar alam.

2. Kriteria Penyisihan

Kriteria penyisihan adalah merupakan batasan penilaian yang digunakan untuk memilih lokasi terbaik dari beberapa lokasi untuk perencanaan TPA yang diusulkan pada tahap awal. Kriteria penyisihan meliputi :

a. Kondisi klimatologi

Daerah yang mempunyai intensitas hujan yang relatif kecil. Hal ini untuk menghindari produksi lindi yang berlebihan yang berakibat dapat mempercepat fermentasi sampah organik. Temperatur dari daerah tapak cukup menghalangi proses pembusukan sampah tidak secara alami. Apabila tidak, maka akan terjadi pembentukan gas metan yang cukup banyak sehingga mudah terbakar. Arah angin tidak mampu membawa butiran sampah atau bau ke areal pemukiman terdekat.

b. Kondisi biologi

Keanekaragaman habitat biologi yang ada rendah dan lokasi kurang menunjang kehidupan flora dan fauna sehingga tidak mengganggu lingkungan yang sudah ada.

c. Lahan yang digunakan tidak produktif

Luas lahan yang cukup sehingga mempunyai kemampuan pengolahan yang cukup lama sesuai dengan kebutuhan. Ketersediaan tanah penutup dalam jumlah yang banyak dan tidak jauh dari lokasi, lebih baik berasal dari lokasi itu sendiri. Lokasi mempunyai tingkat kepadatan yang cukup rendah atau jauh dari lokasi pemukiman. Lokasi pada jalur administratif daerah pelayanan pengelolaan. Berkaitan dengan peroperasian TPA nantinya perlu dicari lokasi yang tidak bising. Pada daerah ini diperlukan daerah penyangga yang berfungsi sebagai peredam bau dan lokasi ini haruslah

cukup terisolir sehingga tidak mengurangi estetika lingkungan daerah sekitarnya.

3. Kriteria Penetapan

Kriteria penetapan adalah kriteria yang digunakan oleh instansi berwenang untuk menyetujui dan menetapkan lokasi terpilih sesuai dengan kebijaksanaan serta ketentuan yang berlaku di daerah studi. Kriteria tersebut diharapkan akan terdapat evaluasi paling akhir sebelum suatu daerah ditetapkan sebagai lokasi TPA.

C. Air Lindi

Air lindi disebabkan oleh terjadinya presipitasi cairan ke TPA yang berasal dari resapan air hujan maupun kandungan air dari dalam sampah yang ditimbun (Friadi, 2012). Berdasarkan Permen PU Nomor 03/2013, air lindi merupakan cairan yang muncul akibat masuknya air eksternal ke dalam urugan atau timbunan sampah, tereaksi dan melewati materi terlarut termasuk materi organik hasil proses dekomposisi biologis.

Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah terdeposit, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut. Air lindi adalah cairan yang mengandung zat organik (Hidrokarbon, Asam Humat, Sulfat, Tanat dan Galat) dan anorganik (Kalsium, Magnesium, Natrium, Kalium, Klor, Sulfat, Fosfat, Fenol, Nitrogen, dan senyawa logam berat. Konsentrasi dari komponen-komponen tersebut dalam air lindi bisa mencapai 1000 sampai 5000 kali lebih tinggi dari pada konsentrasi dalam air tanah. Komposisi air lindi sangat bervariasi karena proses pembentukannya dipengaruhi oleh karakteristik sampah (organik-anorganik), mudah tidaknya penguraian, kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, umur), karakteristik sumber air (kuantitas dan kualitas air yang dipengaruhi iklim dan hidrogeologi), komposisi tanah penutup, ketersediaan nutrisi dan mikroba, dan kehadiran inhibitor (Liana, 2016).

Rahmawati (2009) dalam Ali (2011) mengemukakan bahwa air lindi yang berada di permukaan tanah dapat menimbulkan beberapa polusi pada air tanah dan air permukaan sebagai berikut:

- a. Air tanah yang terpolusi oleh air lindi dengan konsentrasi tinggi, maka polutan tersebut akan berada dan tetap ada pada air tanah tersebut dalam jangka waktu yang lama, karena terbatasnya oksigen terlarut sehingga sumber air yang berasal dari air tanah tidak sesuai lagi untuk air bersih.
- b. Air permukaan yang terpolusi oleh air lindi dengan kandungan zat organik tinggi, pada proses penguraian secara biologis akan menghabiskan kandungan oksigen dalam air dan akhirnya seluruh kehidupan dalam air yang tergantung oleh keberadaan oksigen terlarut akan mati.

D. Pencemaran Air oleh Air Lindi

Zat pencemar (*pollutant*) dapat didefinisikan sebagai zat kimia, radioaktif yang berwujud benda cair, padat, maupun gas, baik yang berasal dari alam yang kehadirannya dipicu oleh manusia (tidak langsung) ataupun dari kegiatan manusia (*anthropogenic origin*) yang telah diidentifikasi mengakibatkan efek yang buruk bagi kehidupan manusia dan lingkungannya. Semua itu dipicu oleh aktivitas manusia (Notodarmojo, 2005).

Proses pencemaran air tanah berawal dari adanya kegiatan yang menjadi sumber timbulnya pencemar. Pada kasus ini sumber pencemaran air tanah adalah sampah yang ada pada TPA sampah. Selanjutnya dalam siklus hidrologi, air hujan berfungsi sebagai sarana transpor yang memindahkan zat pencemar yang berasal dari sumber pencemar tersebut masuk ke dalam sistem bawah permukaan melalui proses infiltrasi yang kemudian dikenal sebagai air lindi. Air lindi atau air sampah yang didefinisikan sebagai cairan yang meresap dalam limbah padat dan mengandung bahan-bahan terlarut dan tersuspensi (Tchobanoglous, et al., 1993

dalam Prabowo, 2007). Air hujan, selain sebagai sumber utama air tanah juga merupakan media untuk mentranspor air lindi sampah. Air lindi yang bercampur dengan air tanah akan mengakibatkan penurunan kualitas air tanah di daerah tersebut. Faktor lain seperti batuan, arah aliran air tanah, topografi dan jenis tanah daerah penelitian juga memiliki pengaruh tersendiri dalam penyebaran air tanah yang sudah tercemar air lindi tersebut. Pencemaran air tanah dianalisis berdasarkan adanya perubahan atau tanda yang dapat diamati melalui (Darmanto, 2012) :

1. Adanya perubahan suhu air.
2. Adanya perubahan pH.
3. Adanya perubahan warna, bau, dan rasa air.
4. Timbulnya endapan, koloidal, bahan terlarut.
5. Adanya mikroorganisme.
6. Meningkatnya radioaktivitas air lingkungan.

Air tanah yang sudah tercemar akan menjadi masalah apabila sudah sampai kepada sumur- sumur penduduk, sehingga dibutuhkan analisis tambahan untuk mengetahui apakah sumur- sumur penduduk tersebut terindikasi oleh sumber pencemar berbahaya atau tidak. Hal ini dilakukan demi keberlangsungan kehidupan penduduk warga sekitar lokasi pencemar, mengingat air merupakan sumber vital dari segala kehidupan. Mekanisme masuknya air lindi masuk ke lapisan air tanah, terutama air tanah dangkal (sumur) melalui proses sebagai berikut (Desy, 2018):

1. Air lindi ditemukan pada lapisan tanah yang digunakan sebagai *open dumping*, yaitu kira-kira berjarak 2 meter di bawah permukaan tanah.
2. Secara khusus, bila air lindi masuk dengan cara infiltrasi di tanah, segera permukaan tanah dijenuhi air.
3. Akibat adanya faktor seperti air hujan, mempercepat air lindi masuk ke lapisan tanah yaitu zona aerasi yang mempunyai kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah.
4. Lalu akibat banyaknya air lindi yang terbentuk menyebabkan air lindi masuk ke lapisan air tanah dangkal atau lapisan air tanah jenuh.

5. Dan di lapisan tanah jenuh tersebut, air yang terkumpul bercampur dengan air lindi dimana di air tanah dangkal ini dimanfaatkan untuk sumber air minum melalui sumur-sumur dangkal.

E. Parameter Kualitas Air

Kualitas air menunjukkan sifat fisika, kimia, dan sifat biologi air yang menunjukkan adanya unsur-unsur terlarut dalam air. Kandungan dari bahan terlarut tersebut akan menentukan kelayakannya untuk suatu penggunaan tertentu (Todd, 2005).

1. Parameter Fisika

a. Suhu

Suhu adalah ukuran relatif panas dinginnya suatu benda. Suhu air dipengaruhi oleh perubahan musim, ketinggian tempat, dan kedalaman perairan. Suhu memengaruhi kandungan oksigen dalam air, proses fotosintesis tumbuhan air, laju metabolisme organisme air dan kepekaan organisme terhadap polusi, parasit, dan penyakit (Dewi dkk, 2016).

Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017, suhu air memiliki standar baku mutu suhu udara ± 3 .

b. Kekeruhan

Mahida (1986) dalam Mukarromah R (2016) mendefinisikan kekeruhan sebagai intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan perairan umumnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel suspensi seperti tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik terlarut, bakteri, plankton dan organisme lainnya.

Tingginya nilai kekeruhan dapat menyulitkan usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjerinan air (Effendi, 2003 dalam Mukarromah R, 2016). Kekeruhan erat kaitannya dengan nilai TDS dalam air.

Semakin tinggi nilai TDS dalam air maka akan semakin tinggi pula nilai kekeruhan dalam air.

c. Total Suspended Solid (TSS)

TSS (*Total Suspended Solid*) atau Total Padatan Tersuspensi merupakan padatan yang menyebabkan kekeruhan dalam air, tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung. TSS terdiri dari lumpur, pasir halus, dan jasad renik yang disebabkan oleh kikisan tanah yang tebal ke badan air (Dewi dkk, 2016).

d. Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved Solid atau TDS adalah benda padat yang terlarut dari mineral, garam, logam, serta kation-anion yang terlarut di air. Secara umum, konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion di dalam air. TDS terukur dalam satuan parts per million (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air.

Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017, kadar maksimum TDS yang diperkenankan yaitu sebesar 1000 mg/L.

2. Parameter Kimia

a. pH

Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH berkisar antara 6,6-7,5. Air dapat bersifat asam ataupun basa, tergantung pada besar kecilnya pH air atau besarnya konsentrasi ion hidrogen di dalam air. Air yang mempunyai pH kurang dari pH normal akan bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai pH lebih pH dari normal akan bersifat basa (Dewi dkk, 2016).

b. Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand atau BOD atau kebutuhan oksigen biologis adalah suatu gambaran keberadaan bahan organik yang dapat diuraikan secara biologis oleh mikroorganisme melalui pengurangan jumlah O₂ terlarut. Hal ini menyebabkan O₂ terlarut pada perairan dengan kandungan bahan organik yang tinggi, menjadi sangat rendah. Rendahnya O₂ terlarut akan berpengaruh pada kondisi fisiologis organisme yang hidup dan kondisinya menjadi anaerob.

c. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand atau COD atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Dalam hal ini bahan buangan organik akan dioksidasi oleh kalium bikromat menjadi gas CO₂ dan H₂O serta sejumlah ion krom. Semakin banyak kalium bikromat yang dipakai pada reaksi kimia, maka makin banyak pula oksigen yang diperlukan. Ini berarti bahwa air lingkungan makin tercemar oleh bahan buangan organik (Wardhana, 2004 dalam Dewi dkk, 2016).

d. Dissolved Oxygen (DO)

DO atau *Dissolved Oxygen* atau Oksigen Terlarut adalah gas tidak berbau, tidak berasa, dan hanya sedikit larutan dalam air. Menurut Welch (1952) dalam Dewi, dkk (2016), sumber DO di perairan adalah difusi langsung dari atmosfer dan hasil fotosintesis organisme autotrof sedangkan menurut Markland (1987) dalam Dewi, dkk (2016), sumber utama DO di perairan adalah difusi dari udara.

3. Parameter Biologi

Analisis karakteristik biologi meliputi uji deteksi kandungan bakteri *coliform*, yang mengindikasikan kualitas sanitasi air untuk keperluan konsumsi manusia. Karena organisme *coliform* normalnya ditemukan pada usus manusia dan hewan, kehadirannya di tanah sama saja dengan kontak dengan sumber limbah (Todd, 2015).

F. Logam Berat Timbal (Pb)

Logam berat adalah unsur yang memiliki berat lebih besar dari 4 atau 5 dengan jumlah atom 22-34 dan 40-52, serta unsur antinida dan aklonida, serta memiliki pengaruh biokimiawi di dalam hewan ataupun tumbuhan. Beberapa logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan terutama adalah Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Nikel

(Ni). Di alam logam sangat jarang di temukan dalam elemen tunggal, biasanya dalam bentuk persenyawaan dengan unsur lain (Sarjono, 2009: 20-21).

Timbal merupakan logam berat yang sangat beracun, dapat dideteksi secara praktis pada seluruh benda mati di lingkungan dan seluruh sistem biologis. Timbal (Pb) adalah sejenis logam yang lunak dan berwarna coklat kehitaman, serta mudah dimurnikan pada proses pertambangan, logam ini berbentuk sulfida logam (PbS) yang sering disebut galena. Di perairan alami Timbal (Pb) bersumber dari batuan kapur dan galena (Sarjono, 2009:23).

Penyebaran Timbal (Pb) di bumi sangat sedikit. Jumlah Pb yang terdapat di seluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002% dari jumlah seluruh kerak bumi (Palar, 1994). Seperti halnya unsur-unsur kimia lainnya terutama golongan logam, logam Timbal (Pb) mempunyai sifat fisika dan kimia tersendiri. Sifat-sifat logam Timbal (Pb) dapat ditunjukkan tabel di bawah ini:

Tabel 1. Sifat-sifat logam Timbal (Pb)

Sifat	Keterangan
Warna	Putih kebiruan
Nama, Lambang, Nomor Atom	Timbal, Pb, 82
Massa atom	207,2 g/mol
Konfigurasi Elektron	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Fase	Padat
Massa Jenis	11,34 g/cm ³
Titik Lebur	600,61 K
Titik Didih	2022 K
Biloks	2,4
Elektronegativitas	2,333
Jari-jari Atom	180 pm

Sumber: Sarjono, 2009

Pengaruh Pb terhadap kesehatan manusia (*jurnal kesehatan lingkungan, vol 2, no. 2, januari 2016: 129-142*) adalah sebagai berikut:

- a. Gangguan Neurologi
Gangguan neurologi (susunan syaraf) akibat tercemar oleh Pb dapat berupa *encephalopathy*, *ataxia*, *stupor*, dan *coma*. Pada anak-anak dapat menimbulkan kejang tubuh dan *neuropathy perifer*.
- b. Gangguan Terhadap Fungsi Ginjal
Logam berat Pb dapat menyebabkan tidak berfungsinya *tubulus renal*, *nephropati irreversible*, *sclerosis va skuler*, *sel tubulus atropi*, *fibrosis dan sclerosis glumerolus*. Akibatnya dapat menimbulkan *aminoaciduria* dan glukosuria, dan jika keterdapatannya terus berlanjut dapat terjadi nefritis kronis.
- c. Gangguan Terhadap Sistem Reproduksi
Logam berat Pb dapat menyebabkan gangguan pada sistem reproduksi berupa keguguran, kesakitan, dan kematian janin. Logam berat Pb mempunyai efek racun terhadap gamet dan dapat menyebabkan cacat kromosom. Anak-anak sangat peka terhadap paparan Pb. Paparan Pb dengan kadar yang rendah yang berlangsung cukup lama dapat menurunkan IQ.
- d. Gangguan Terhadap Sistem Hemopoitik
Keracunan Pb dapat menyebabkan terjadinya anemia akibat penurunan sintesis globin walaupun tak tampak adanya penurunan kadar zat besi dalam serum. Anemia ringan yang terjadi disertai sedikit peningkatan kadar ALA (*Amino Levulinic Acid*) urine. Pada anak-anak terjadi peningkatan ALA dalam darah.
- e. Gangguan Terhadap Sistem Syaraf
Efek pencemaran Pb terhadap kinerja otak lebih sensitive pada anak-anak dibandingkan pada orang dewasa. Paparan menahun dengan Pb dapat menyebabkan *lead encephalopathy*. Gambaran klinis yang timbul adalah rasa malas, gampang tersinggung, sakit kepala, tremor, halusinasi, gampang lupa, sukar konsentrasi, dan menurunnya kecerdasan. Apabila pada masa bayi sudah mulai tercemar oleh Pb, maka pengaruhnya pada profil psikologis dan penampilan

pendidikannya akan tampak pada umur sekitar 5-15 tahun. Akan timbul gejala tidak spesifik berupa hiperaktifitas atau gangguan psikologis jika terpapar Pb pada anak usia berusia 21 bulan sampai 18 tahun.

Timbal (Pb) dan persenyawaan dapat berada di dalam perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Secara alamiah, Timbal (Pb) masuk kedalam perairan melalui pengkristalan di udara dengan bantuan air hujan. Disamping itu, proses korosifikasi dari batuan mineral akibat hempasan gelombang dan angin. Timbal masuk ke dalam perairan sebagai dampak dari aktivitas manusia ada bermacam bentuk. Diantaranya adalah air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan Timbal (Pb), air buangan dari bijih timah dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut akan jatuh pada jalur-jalur perairan. Sehingga akan merusak lingkungan perairan yang dilaluinya (Palar, 1994: 80-81).

G. Sistem Informasi Geografis

Menurut Bernhardsen (2002), SIG merupakan sistem komputer yang digunakan untuk memanipulasi data geografi. Sistem ini diimplementasikan dengan perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang berfungsi untuk akuisisi dan verifikasi data, kompilasi data, penyimpanan data, perubahan dan pembaharuan data, manajemen dan pertukaran data, manipulasi data, pemanggilan dan presentasi data serta analisa data. SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa, dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang diolah pada SIG adalah data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti lokasi, kondisi, tren, pola dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dengan sistem informasi lainnya.

Pada dasarnya, istilah sistem informasi geografi merupakan gabungan dari tiga unsur pokok yaitu sistem, informasi, dan geografi. Dengan demikian, pengertian terhadap ketiga unsur-unsur pokok ini akan sangat membantu dalam memahami SIG. Dengan melihat unsur-unsur pokoknya, maka jelas SIG merupakan salah satu sistem informasi. SIG merupakan suatu sistem yang menekankan pada unsur informasi geografi. Istilah "geografis" merupakan bagian asial (keruangan). Kedua istilah ini sering digunakan secara bergantian tertukar hingga timbul istilah yang ketiga, geospasial. Ketiga istilah ini mengandung pengertian yang sama didalam konteks SIG. Penggunaan kata "geografis" mengandung pengertian suatu persoalan mengenai bumi: permukaan dua atau tiga dimensi. Istilah "informasi geografis" mengandung pengertian informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan mengenai posisi dimana suatu objek terletak di permukaan bumi, dan informasi mengenai keterangan-keterangan (atribut) yang terdapat di permukaan bumi yang posisinya diberikan atau diketahui (Wibowo, 2015).

H. Komponen Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan kompleks yang terintegrasi dengan sistem-sistem komputer lain di tingkat fungsional dan jaringan. Sistem SIG terdiri dari beberapa komponen berikut (Bafdal, dkk., 2011):

1. Perangkat Keras

Pada saat ini perangkat SIG dapat digunakan dalam berbagai platform perangkat keras mulai dari *PC Desktop*, *workstation* hingga *multiuser host* yang digunakan oleh banyak orang secara bersamaan dalam jaringan luas. Perangkat keras yang sering digunakan untuk SIG adalah komputer (PC), *mouse*, *digitizer*, *printer*, *plotter*, dan *scanner*.

2. Perangkat Lunak

SIG juga merupakan sistem perangkat lunak yang tersusun secara modular dimana basis data memegang peranan kunci. Setiap subsistem diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak yang terdiri dari beberapa modul, hingga tidak mengherankan jika ada perangkat SIG yang terdiri dari ratusan modul program (*.exe) yang masing-masing dapat dieksekusi sendiri.

3. Data dan Informasi Geografi

SIG dapat mengumpulkan dan menyimpan data serta informasi yang diperlukan baik secara tidak langsung dengan cara mengimportnya dari perangkat-perangkat lunak SIG yang lain maupun secara langsung dengan cara mendigitasi.

4. Manajemen

Proyek SIG akan baik bila ditangani oleh orang yang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan. Susunan keahlian kemampuan pengelola SIG sangat penting untuk menjalankan fungsi SIG. Biasanya organisasi pengelola ini menyebar dari grup yang mengelola hal-hal berkaitan dengan manajemen dan yang berkaitan dengan teknis. Secara sederhana keahlian yang penting dalam suatu SIG adalah manajer, ahli database, kartografi, manajer sistem, programmer, dan teknisi untuk pemasukan dan pengeluaran data.

I. ArcGIS

ArcGIS merupakan software GIS yang dikeluarkan oleh ESRI. Proses instalasi ArcGIS akan menginstal beberapa program seperti ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe dan ArcScene, dimana masing-masing memiliki fungsi yang berbeda. Selain itu juga terdapat beberapa fungsi untuk proses programming dengan Phyto, fungsi licence manager, dan beberapa tools lainnya (Musnanda, 2015).

1. ArcMap

Merupakan program utama dalam ArcGIS yang digunakan untuk proses mulai dari menampilkan data, editing, analisis dan proses layout data spasial. ArcMap bekerja dengan data spasial dengan format vektor maupun raster. Dengan tools dan extension yang ada didalamnya seperti Image Analysis, maka ArcMap mampu melakukan proses editing dan analisis data spasial.

2. ArcCatalog

ArcCatalog sesuai dengan namanya digunakan untuk proses pengaturan data spasial. ArcCatalog digunakan untuk menampilkan direktori data, isi data spasial, proses *copy/delete/move*, input juga edit metadata.

3. ArcScene

ArcScene adalah viewer tiga dimensi /3D yang cocok untuk menghasilkan pandangan dengan perspektif yang memungkinkan untuk melakukan menavigasi dan berinteraksi dengan fitur 3D dan data raster tersebut. Berdasarkan OpenGL, ArcScene mendukung kompleks simbologi garis 3D dan pemetaan tekstur serta penciptaan permukaan dan tampilan TIN. Semua data dimuat ke memori, yang memungkinkan untuk navigasi relatif cepat baik dengan fungsi pan/geser maupun zoom.

4. ArcGlobe

ArcGlobe adalah bagian dari ekstensi ArcGIS 3D Analyst. Aplikasi ini umumnya dirancang untuk digunakan dengan dataset yang sangat besar dan memungkinkan untuk visualisasi yang tidak terputus untuk data raster dan fitur peta lainnya. View dalam ArcGlobe didasarkan pada pandangan global, dengan semua data diproyeksikan ke proyeksi Cube global dan ditampilkan pada berbagai tingkat detail (LODs).