

**ANALISIS POLA SEBARAN KONTAMINAN PADA AIR TANAH
DANGKAL DARI KEGIATAN PEMANFAATAN OUTLET IPAL DI AREA
INDUSTRI KIMIA PT. XYZ**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi
Teknik Lingkungan



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh

Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi

NIM. 09030521047

Dosen Pembimbing

Abdul Hakim, S.T., M.T.

Ir. Teguh Taruna Utama, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi

NIM : 09030521047

Program Studi : Teknik Lingkungan

Angkatan : 2021

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul **"ANALISIS POLA SEBARAN KONTAMINAN PADA AIR TANAH DANGKAL DARI KEGIATAN PEMANFAATAN OUTLET IPAL DI AREA INDUSTRI KIMIA PT. XYZ"**. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 19 Juni 2025

Yang Menyatakan



(Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi)

NIM. 09030521047



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300
E-Mail : saintek@uinsby.ac.id Website : www.uinsby.ac.id

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
SIDANG AKHIR TUGAS AKHIR**

Nama : Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi
NIM : 09030521047
Judul Tugas Akhir : Analisis Pola Sebaran Kontaminan Pada Air Tanah Dangkal Dari
Kegiatan Pemanfaatan Outlet IPAL Di Area Industri Kimia PT. XYZ

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Akhir Tugas Akhir

Surabaya, 02 Juni 2025

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2


Abdul Hakim, S.T., M.T.
NIP. 198008062014031002


Ir. Teguh Taruna Utama, S.T., M.T.
NIP. 198705022023211021

PENGESAHAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Oleh

Nama : Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi

NIM : 09030521047

Judul Tugas Akhir : Analisis Pola Sebaran Kontaminan Pada Air Tanah
Dangkal Dari Kegiatan Pemanfaatan Outlet IPAL Di Area
Industri Kimia PT. XYZ

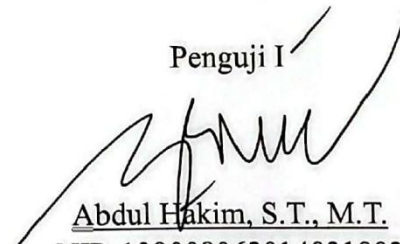
Telah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi

Di Surabaya, 12 Juni 2025

Mengesahkan,

Dewan Penguji

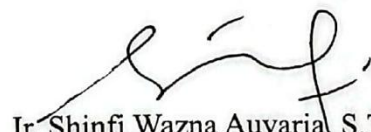
Penguji I


Abdul Hakim, S.T., M.T.
NIP. 198008062014031002

Penguji II


Ir. Teguh Taruna Utama, S.T., M. T.
NIP. 198705022023211021

Penguji III


Ir. Shinfi Wazna Auvaria, S.T., M.T
NIP. 198603282015032001

Penguji IV


Nihlatul Falasifah, M.T
NIP. 199307272020122030

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UTN Suran Ampel Surabaya


Dr. A. Saipul Hamdani, M.Pd
NIP. 1965073112000021002



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300
E-Mail : perpus@uinsby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : MUCHAMMAD ALI MA'SHUM MUJADDIDI
NIM : 09030521047
Fakultas / Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : alibnuali2@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Loyalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Thesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)

Yang berjudul :

"ANALISIS POLA SEBARAN KONTAMINAN PADA AIR TANAH DANGKAL DARI KEGIATAN PEMANFAATAN OUTLET IPAL DI AREA INDUSTRI KIMIA PT. XYZ"

Beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Loyalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media / fotmat-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan / mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat sebenarnya.

Surabaya, 19 Juni 2025
Penulis

(Muchammad Ali Ma'shum Mujaddidi)

ABSTRAK

Air tanah merupakan sumber penting yang semakin terancam oleh limbah cair industri, urbanisasi, dan pemanfaatan air limbah. Penggunaan air limbah terolah untuk irigasi memang dapat membantu mengatasi kekurangan air, namun berpotensi membawa logam berat dan mikroorganisme patogen ke akuifer dangkal. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kandungan Cr^{6+} , BOD, dan *fecal coliform* pada air limbah terolah dan air tanah di sekitar industri kimia PT. XYZ, serta menganalisis dan memprediksi pola penyebarannya dalam kurun waktu tertentu. Metode yang digunakan adalah deskriptif-kuantitatif dengan pengambilan data primer (kualitas air tanah, air limbah, dan karakteristik tanah) serta data sekunder (literatur, peta, hidrogeologi, dan data BMKG). Analisis dilakukan menggunakan model MODFLOW untuk simulasi aliran air tanah dan MT3DMS untuk prediksi transportasi kontaminan selama 1, 2, 5, dan 10 tahun ke depan. Hasil simulasi menunjukkan konsentrasi Cr^{6+} , BOD, dan *fecal coliform* meningkat dari tahun ke-1 hingga ke-10, dengan arah sebaran dominan ke barat. Pada tahun ke-10, Cr^{6+} menyebar hingga ± 63 meter (0,0024 mg/L), BOD ± 55 meter (1,34 mg/L), dan Fecal Coliform ± 70 meter (3,96 MPN/100mL). Akurasi model cukup baik, dengan nilai RMSE Cr^{6+} sebesar 0,01311, BOD₅ 2,87934, dan Fecal Coliform 1,8863. Meski kadar kontaminan saat ini masih memenuhi baku mutu, simulasi memprediksi potensi pencemaran signifikan dalam radius 50-70 meter pada tahun ke-10 jika tidak ada pengelolaan lebih lanjut.

Kata kunci: Air Tanah, Air Limbah Terolah, Penyebaran Kontaminan

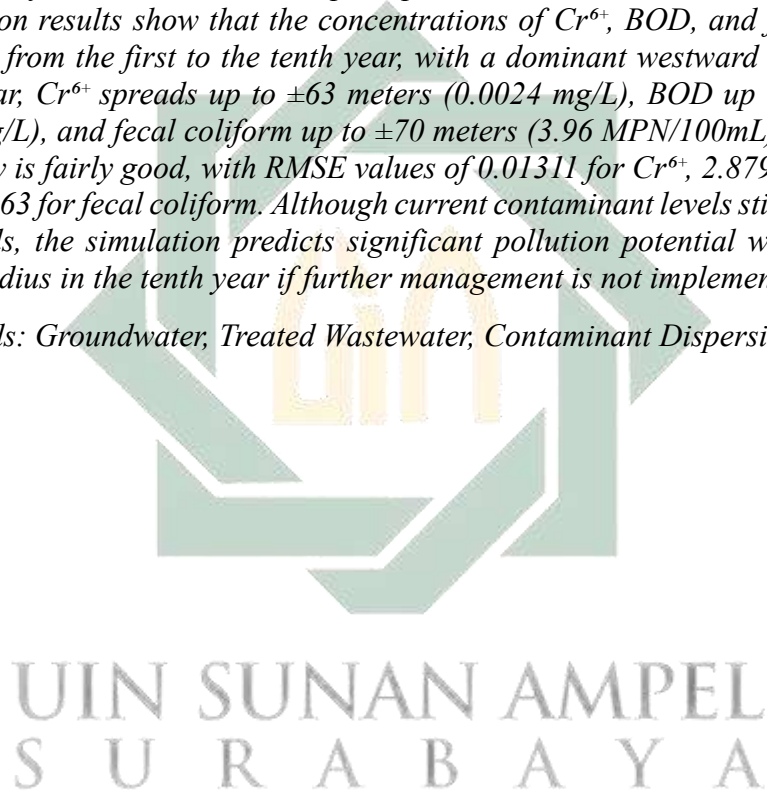


UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

ABSTRACT

Groundwater is an essential resource that is increasingly threatened by industrial wastewater, urbanization, and the use of reclaimed water. The use of treated wastewater for irrigation can help address water shortages, but it also carries the risk of introducing heavy metals and pathogenic microorganisms into shallow aquifers. This study aims to identify the concentrations of Cr^{6+} , BOD, and fecal coliform in treated wastewater and groundwater around the PT. XYZ chemical industry, as well as to analyze and predict their distribution patterns over a certain period. The method used is descriptive-quantitative, involving the collection of primary data (groundwater quality, wastewater, and soil characteristics) and secondary data (literature, maps, hydrogeology, and meteorological data). Analysis was conducted using the MODFLOW model for groundwater flow simulation and MT3DMS for contaminant transport prediction over 1, 2, 5, and 10 years. Simulation results show that the concentrations of Cr^{6+} , BOD, and fecal coliform increase from the first to the tenth year, with a dominant westward spread. In the tenth year, Cr^{6+} spreads up to ± 63 meters (0.0024 mg/L), BOD up to ± 55 meters (1.34 mg/L), and fecal coliform up to ± 70 meters (3.96 MPN/100mL). The model's accuracy is fairly good, with RMSE values of 0.01311 for Cr^{6+} , 2.87934 for BOD5, and 1.8863 for fecal coliform. Although current contaminant levels still meet quality standards, the simulation predicts significant pollution potential within a 50–70 meter radius in the tenth year if further management is not implemented.

Keywords: Groundwater; Treated Wastewater; Contaminant Dispersion



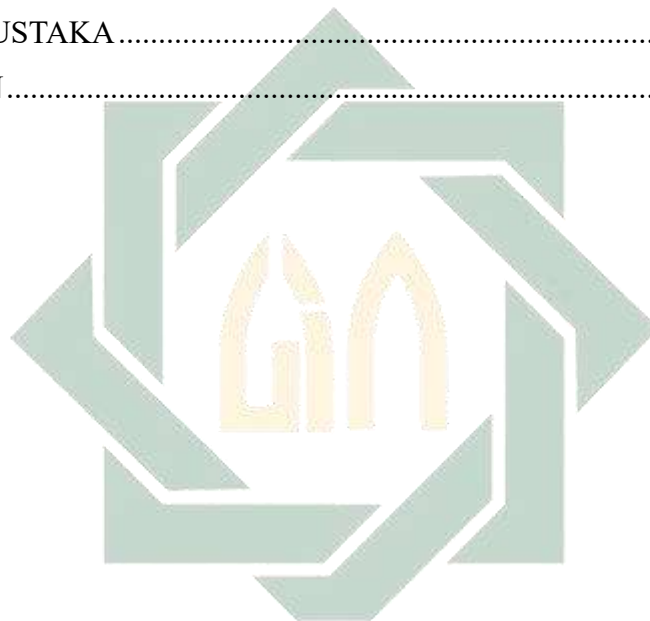
UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
HALAMAN MOTTO	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanah	7
2.1.1 Tekstur Tanah	8
2.1.2 Porositas Tanah	9
2.1.3 Konduktivitas Tanah	11
2.1.4 Laju Infiltrasi Tanah	14
2.2 Air Tanah	15
2.2.1 Pergerakan Air Tanah	16
2.2.2 Pencemaran Air Tanah	18
2.3 Air Limbah	20
2.3.1 Kromium Valensi 6 (Cr^{6+})	21
2.3.2 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	21
2.3.3 <i>Fecal Coliform</i>	22
2.4 Transpor Kontaminan Air Limbah	22

2.4.1	Adveksi	23
2.4.2	Dispersi Hidrodinamik	23
2.5	GMS (<i>Groundwater Modelling System</i>)	24
2.5.1	MODFLOW	25
2.5.2	MT3DMS	26
2.6	Integrasi Keislaman.....	27
2.7	Penelitian Terdahulu.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1	Rancangan Penelitian	35
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	39
3.3.1	Analisis Lapangan.....	39
3.3.2	Analisis Laboratorium.....	39
3.4	Tahapan Penelitian	41
3.4.1	Kerangka Pikir	41
3.4.2	Tahap Penelitian	42
3.5	Langkah Kerja Penelitian.....	45
3.5.1	Identifikasi Masalah	45
3.5.2	<i>Survey</i> Pendahuluan dan Studi Lapangan	45
3.5.3	Pengumpulan Data	45
3.5.4	Analisa dan Pengolahan Data.....	49
3.5.5	Analisis Model	51
3.5.6	Prediksi Model	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Penentuan Titik Lokasi Pengambilan Sampel.....	53
4.2	Karakteristik Tanah	57
4.2.1	Tekstur Tanah	57
4.2.2	Kadar Air Tanah	59
4.2.3	Permeabilitas Tanah	60
4.2.4	Laju Infiltrasi Tanah	62
4.3	Karakteristik Air Tanah	64
4.4	Kualitas Outlet IPAL untuk Pemanfaatan	66
4.4.1	Mutu Air Limbah untuk Pemanfaatan.....	67

4.4.2	Dosis, Debit dan Rotasi Pemanfaatan	67
4.4.3	Kualitas Air Limbah Lokasi Pemanfaatan	70
4.5	Pemodelan Sebaran Air Limbah.....	72
4.5.1	Data Masukan.....	73
4.5.2	Hasil Simulasi	76
4.6	Hubungan Rona Awal Lingkungan dengan Nilai Galat Pemodelan (RMSE) Transpor Kontaminan.....	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN.....		107



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kisaran Harga Porositas Jenis Tanah	11
Tabel 2. 2 Kisaran Harga K untuk Jenis Tanah	12
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu	29
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Analisis Laboratorium	40
Tabel 3. 2 Data Sekunder	48
Tabel 4. 1 Klasifikasi Tekstur Tanah Area Industri PT. XYZ	58
Tabel 4. 2 Kadar Air Tanah Area Industri PT. XYZ.....	60
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Pengujian Permeabilitas Tanah Area Industri PT. XYZ	61
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Laju Infiltrasi	62
Tabel 4. 5 Perhitungan Laju Infiltrasi Model Horton.....	63
Tabel 4. 6 Hasil Uji Mutu Air Tanah di Sumur	64
Tabel 4. 7 Baku Mutu Air Limbah Pemanfaatan.....	67
Tabel 4. 8 Debit, Rotasi dan Frekuensi Pemanfaatan Outlet IPAL	69
Tabel 4. 9 Kualitas <i>Outlet</i> IPAL	71
Tabel 4. 10 Data Input Model	73
Tabel 4. 11 Perhitungan RMSE Model Sebaran Cr^{6+}	81
Tabel 4. 12 Perhitungan RMSE Model Sebaran BOD	85
Tabel 4. 13 Perhitungan RMSE Model Sebaran <i>Fecal Coliform</i>	90

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Profil umum tanah di tanah lempung	8
Gambar 2. 2 Segitiga Tekstur Tanah	9
Gambar 2. 3 Gambaran Hipotetik Pori Tanah.....	10
Gambar 2. 4 Skema Keberadaan Air Bawah Permukaan.....	15
Gambar 2. 5 Pergerakan Air Tanah	17
Gambar 2. 6 Distribusi tekanan dan <i>Headloss</i> melalui kolom pasir	18
Gambar 2. 7 Mekanisme Kontaminasi Tanah dan Air Tanah.....	18
Gambar 2. 8 <i>Output</i> Model Menggunakan GMS.....	25
Gambar 2. 9 Output Model Modflow	26
Gambar 2. 10 Output Model MT3DMS.....	27
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian	37
Gambar 3. 2 Kerangka Pikir Penelitian.....	42
Gambar 3. 3 Tahapan Penelitian	44
Gambar 4. 1 Peta Titik <i>Sampling</i>	55
Gambar 4. 2 Hasil Plot Tekstur Tanah Pada Segitiga Tekstur Tanah USDA	59
Gambar 4. 3 Peta Arah Aliran dan Muka Air Tanah (MAT)	66
Gambar 4. 4 Unit Proses IPAL PT. XYZ	70
Gambar 4. 5 Ilustrasi Boundary Pemodelan	74
Gambar 4. 6 Hasil Simulasi Model Aliran Air Tanah	75
Gambar 4. 7 Area Penyiraman Pemanfaatan <i>Outlet</i>	76
Gambar 4. 8 Hasil Simulasi Sebaran Cr^{6+} Potongan Horizontal	77
Gambar 4. 9 Hasil Simulasi Sebaran Cr^{6+} Potongan Vertikal.....	79
Gambar 4. 10 Hasil Simulasi Sebaran BOD Potongan Horizontal.....	82
Gambar 4. 11 Hasil Simulasi Sebaran BOD Potongan Vertikal	83
Gambar 4. 12 Hasil Simulasi Sebaran Fecal Coli Potongan Horizontal.....	86
Gambar 4. 13 Hasil Simulasi Sebaran Fecal Coli Potongan Vertikal	87

DAFTAR PUSTAKA

- Afzali, A., & Shahedi, K. (2023). Application of MODFLOW and MT3DMS Models to Evaluate Groundwater Quantity and Quality in Northern Iran. *Journal of Hydraulic and Water Engineering (JHWE)*, 1(2), 65–81. <https://doi.org/10.22044/JHWE.2023.13284.1025>
- Akmal, A., Munfarida, I., Auvaria, S. W., & Negoro, Y. T. (2022). Studi Model Domenico-Robbins dan Ogata-Banks Terhadap Pola Persebaran Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(2), 85–94. <https://doi.org/10.29080/alard.v7i2.1461>
- Aram, S. A., Saalidong, B. M., & Osei Lartey, P. (2021). Comparative assessment of the relationship between coliform bacteria and water geochemistry in surface and ground water systems. *PLOS ONE*, 16(9), e0257715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257715>
- Arief, M. M. (2023). Integrasi Materi Ipa “Ekosistem Bagi Kehidupan Manusia” Dengan Ayat Al-Qur’an. *Tarbiyah Darussalam: Jurnal Ilmiah Kependidikan dan Keagamaan*, 7(01), 94. <https://doi.org/10.58791/tadrs.v7i01.287>
- Army, E. K., & Tsabitah, N. (2023). Perhitungan Permeabilitas Tanah dengan Metode Falling Head pada PT Solusi Bangun Indonesia, Plant Tuban. *Journal of Science, Technology, and Visual Culture*, 3(2), 261–266.
- Asmadi & Suharno. (2012). *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Gosen Publishing.
- Badaruddin, Kadir, H. S., & Nisa, K. (2021). *Buku Ajar Hidrologi Hutan* (1 ed.). CV. BATANG.
- Badr, E.-S. A., Tawfik, R. T., & Alomran, M. S. (2023). An Assessment of Irrigation Water Quality with Respect to the Reuse of Treated Wastewater in Al-Ahsa Oasis, Saudi Arabia. *Water*, 15(13), 2488. <https://doi.org/10.3390/w15132488>
- Basthoni, M. K. R., Maulana, M. A., & Damarnegara, A. A. Ngr. S. (2023). Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Hidrograf Aliran Di Sub-Sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran Menggunakan Model SWAT. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(1), 13. <https://doi.org/10.12962/j2579-891X.v21i1.14257>

- Bayat, M., Eslamian, S., Shams, G., & Hajiannia, A. (2020). Groundwater Level Prediction through GIS Software – Case Study of Karvan Area, Iran. *Quaestiones Geographicae*, 39(3), 139–145. <https://doi.org/10.2478/quageo-2020-0028>
- Bitton, G. (2005). *Wastewater microbiology* (3rd ed). Wiley-Liss, John Wiley & Sons.
- Blanco, H., & Lal, R. (2008). *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer.
- Bravo, H. R., McLellan, S. L., Klump, J. V., Hamidi, S. A., & Talarczyk, D. (2017). Modeling the fecal coliform footprint in a Lake Michigan urban coastal area. *Environmental Modelling & Software*, 95, 401–419. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.011>
- Cansa, R. A. M., Januari, A., Umi Cahyani Rahayuningtyas, & Putranto, T. T. (2023). Analisis Kerentanan Airtanah Terhadap Pencemaran Menggunakan Metode Drastic di Kabupaten Rembang Bagian Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 4(1), 37–48. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2023.v4i1.116>
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE) – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chowdhury, A., & Rahnuma, M. (2023a). Groundwater contaminant transport modeling using MODFLOW and MT3DMS: A case study in Rajshahi City. *Water Practice & Technology*, 18(5), 1255–1272. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.076>
- Chowdhury, A., & Rahnuma, M. (2023b). Groundwater contaminant transport modeling using MODFLOW and MT3DMS: A case study in Rajshahi City. *Water Practice & Technology*, 18(5), 1255–1272. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.076>
- Dahmouni, M., Hoermann, G., Jouzdan, O., & Hachicha, M. (2019). Spatio-temporal variability of hydrochemical parameters and heavy metals in shallow groundwater of the area of Cebala–Borj–Touil, irrigated with

- treated wastewater (Tunisia). *Environmental Earth Sciences*, 78(2), 57.
<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8056-z>
- Dang, N. P., Petrich, C., Pasztor, D., Schneider, G., & Calay, R. K. (2025). *Shewanella baltica* in a Microbial Fuel Cell for Sensing of Biological Oxygen Demand (BOD) of Wastewater. *Analytical Letters*, 58(5), 755–767.
<https://doi.org/10.1080/00032719.2024.2341087>
- Darwis. (2018). *Dasar-Dasar Mekanika Tanah* (1 ed.). Pena Indis.
- Daulay, N. S., & Armita, N. (2025). Karakteristik Tanah Di Kalimantan Dan Hubungannya Dengan Proses Geomorfologi. *Edusola : Journal Education, Sociology and Law*, 1, 204–211.
- Fadilah, C. N., & Herumurti, W. (2021). Persebaran Logam Berat pada Tanah dan Air Tanah Akibat Aktivitas Industri Rumah Tangga Peleburan Limbah Elektronik. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), D237–D243.
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.57497>
- Fathar, I. R., Hamzah, A. H. P., & Nurhasanah. (2022). Pemanfaatan Ozon Sebagai Teknologi Berkelanjutan Daur Ulang Air Limbah Domestik Hotel X Lembang. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(2), 96–103.
<https://doi.org/10.55123/insologi.v1i2.234>
- Fatihah, A. A., Devy, S. D., Magdalena, H., Trides, T., & Oktaviani, R. (2022). Analisis Porositas Dan Konduktivitas Hidraulik Batupasir Formasi Kampung Baru, Balikpapan Dan Pulau Balang, Daerah Samarinda, Kalimantan Timur. *Journal of Comprehensive Science*, 1(3).
- Fetter, C. W. (2014). *Applied hydrogeology* (Fourth edition, new international edition). Pearson Education.
- Fitriyani, S., Asrifah, Rr. D., & Sungkowo, A. (2021). Analisis Tingkat Kerentanan Air Bawah Tanah terhadap Pencemaran Limbah Cair Home Industry Batik di Desa Wijirejo, Kabupaten Bantul. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian SATU BUMI*, 3(1).
<https://doi.org/10.31315/psb.v3i1.6244>
- Hannan, A., & Anmala, J. (2021). Classification and Prediction of Fecal Coliform in Stream Waters Using Decision Trees (DTs) for Upper Green River

- Watershed, Kentucky, USA. *Water*, 13(19), 2790.
<https://doi.org/10.3390/w13192790>
- Hao, M., Zhang, J., Meng, M., Chen, H. Y. H., Guo, X., Liu, S., & Ye, L. (2019). Impacts of changes in vegetation on saturated hydraulic conductivity of soil in subtropical forests. *Scientific Reports*, 9(1), 8372.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-44921-w>
- Hashem, M. S., & Qi, X. (2021). Treated Wastewater Irrigation—A Review. *Water*, 13(11), 1527. <https://doi.org/10.3390/w13111527>
- Hendrayana, H., Riyanto, I. A., & Nuha, A. (2020). Tingkat Pemanfaatan Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Yogyakarta-Sleman. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 4(2), 127–137.
<https://doi.org/10.29408/geodika.v4i2.2643>
- Hentati, O., Chaker, S., Wali, A., Ayoub, T., & Ksibi, M. (2014). Effects of long-term irrigation with treated wastewater on soil quality, soil-borne pathogens, and living organisms: Case study of the vicinity of El Hajeb (Tunisia). *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 2671–2683.
<https://doi.org/10.1007/s10661-013-3570-z>
- Howard, G., Pedley, S., Barrett, M., Nalubega, M., & Johal, K. (2003). Risk factors contributing to microbiological contamination of shallow groundwater in Kampala, Uganda. *Water Research*, 37(14), 3421–3429.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00235-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00235-5)
- Husin, A., Faisal, M., & Naibaho, T. U. (2021). Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tepung Tapioka PT Sari Tani Sumatera, Serdang Bedagai. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3822>
- Ilvento, T., & Taraba, J. (2001). *Understanding the Water System*.
- Iqbal, N. (2023). Permodelan Sebaran Air Limbah Pada Ruang Terbuka Hijau di Rumah Sakit Surabaya Menggunakan Modflow. *ESEC PROCEEDING*, 4(1), 298–307.
- Kaboosi, K. (2017). The assessment of treated wastewater quality and the effects of mid-term irrigation on soil physical and chemical properties (case study: Bandargaz-treated wastewater). *Applied Water Science*, 7(5), 2385–2396.
<https://doi.org/10.1007/s13201-016-0420-5>

- Karamouz, M., Ahmadi, A., & Akhbari, M. (2011). *Groundwater Hydrology: Engineering, Planning, and Management*. CRC Press.
- Khayyun, T. S., & Sharif, M. T. (2021). Modelling of Groundwater Quality of Tigris River Reach-in Baghdad-Iraq Using Groundwater Modeling System Software. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 779(1), 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012087>
- Koda, E., Miskowska, A., & Sieczka, A. (2017). Levels of Organic Pollution Indicators in Groundwater at the Old Landfill and Waste Management Site. *Applied Sciences*, 7(6), 638. <https://doi.org/10.3390/app7060638>
- Kumar, C. P. (2019). An Overview of Commonly Used Groundwater Modelling Software. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 6(1).
- Kumar, G. N. P., & Kumar, P. A. (2014). Development of Groundwater Flow Model Using Visual MODFLOW. *International Journal of Advanced Research*, 2(6), 649–656.
- Liu, W.-C., Chan, W.-T., & Young, C.-C. (2015). Modeling fecal coliform contamination in a tidal Danshuei River estuarine system. *Science of The Total Environment*, 502, 632–640. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.065>
- Lu, T. (2021). *Transport of environmental contaminants in saturated porous media* [Doctoral Thesis, Universität Bayreuth]. https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00005943
- Masoud, A., Abdel Moneim, A., & Redwan, M. (2022). Environmental Impact of Wastewater Inflow on Groundwater Quality, West Girga, Sohag, Egypt. *Sohag Engineering Journal*, 2(1), 56–65. <https://doi.org/10.21608/sej.2022.131048.1011>
- Mekaoussi, H., Heddami, S., Bouslimanni, N., Kim, S., & Zounemat-Kermani, M. (2023). Predicting biochemical oxygen demand in wastewater treatment plant using advance extreme learning machine optimized by Bat algorithm. *Heliyon*, 9(11), e21351. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21351>
- Mora, A., Torres-Martínez, J. A., Capparelli, M. V., Zabala, A., & Mahlknecht, J. (2022). Effects of wastewater irrigation on groundwater quality: An

- overview. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100322.
<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100322>
- Mounika, A., Surinaidu, L., & Kumar, C. (2024). Modeling Contaminant Transport from a Red Mud Pond – A Case Study from South India. *International Journal of Current Science Research and Review*, 07(07), 5024–5035.
<https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V7-i7-41>
- Mustakim. (2017). Pendidikan Lingkungan Hidup Dan Implementasinya Dalam Pendidikan Islam. *Journal Of Islamic Education (JIE)*, 2(1).
- Notodarmojo, S. (2005). *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Penerbit ITB.
- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžicková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760, 144026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026>
- Ohwoghere-Asuma, O., Chinyem, F. I., Atiti, P., & Ophori, D. (2024). Contaminant transport modelling of the vulnerability of aquifer to cyanide from cassava processing mill in the western Niger Delta. *HydroResearch*, 7, 154–163.
<https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.02.001>
- Palihakkara, P. D. B. J., & Vitharana, U. W. A. (2019). A time-efficient and accurate texture analysing method for tropical soils. *Journal of Agriculture and Value Addition*, 2(2), 1–9.
- Panjaitan, A. A., Rawana, & W, H. B. (2023). *Laju Infiltrasi pada Beberapa Tutupan Lahan di Perkebunan Kelapa Sawit PT. Tidar Kerinci Agung, Jambi*.
- Perk, M. van der. (2006). *Soil and water contamination: From molecular to catchment scale*. Taylor & Francis.
- Purba, D. C. V., & Kamil, I. M. (2015). Analisis Pola Penyebaran Logam Berat Pada Air Tanah Dangkal Akibat Lindi Di Sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Jatibarang, Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(2), 149–158.
<https://doi.org/10.5614/jtl.2015.21.2.5>
- Puspitorini, Ir. P., & Iqbal P, G. (2024). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah* (1 ed.). Penerbit Mitra Cendekia Media.

- Putra, P. T., Syahadat, R. M., Radnawati, D., & Nurisyah, S. (2017). *Buku Panduan Pengelolaan Taman Kota Depok* (1 ed.). Ikatan Arsitektur Lansekap Indonesia (IALI).
- Putri, D. Y., Indah, S., & Helard, D. (2022). Bacteriological Contamination of Groundwater Affected by Septic Tanks Condition in Koto Tangah District, Padang, Indonesia. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(3), 163–170. <https://doi.org/10.20473/jkl.v14i3.2022.163-170>
- Quitaneg, L. C. (2021). GMS-MODFLOW application in the investigation of groundwater potential in Concepcion, Tarlac, Philippines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 958(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/958/1/012005>
- Rahma, S. H. (2023). Upaya CSR PT X dalam Mengatasi Pembuangan Limbah Pabrik Kertas di Kanal Mangetan Kabupaten Sidoarjo. *Environmental Pollution Journal*, 3(3), 841–856.
- Ramandha, D. A., Lubis, A. F., Nst, M. A., & Hamdi, I. (2020). Analisa Pentingnya Rentang Waktu dalam Peramalan Time Series. *TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)*, 3(2). <https://doi.org/10.32734/ee.v3i2.986>
- Rangga, S. (2022). *Pemodelan Penyebaran Kontaminan Lindi Di Sekitar TPA Tamangapa dengan Menggunakan Metode Numerik* [Tugas Akhir]. Universitas Hasanuddin.
- Rashid, H., Takemura, J., Ashraf, M. A., & Faheem, M. (2022). Groundwater contamination transport through modeling approach: A case study in Kasur, Pakistan. *Desalination and Water Treatment*, 270, 302–312. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28700>
- Ridwan, M., Am, S., Ulum, B., & Muhammad, F. (2021). Pentingnya Penerapan Literature Review pada Penelitian Ilmiah. *Jurnal Masohi*, 2(1), 42. <https://doi.org/10.36339/jmas.v2i1.427>
- Ritzema, H. P. (Ed.). (1994). *Drainage principles and applications* (2. ed. (completely rev.)). ILRI.
- Said, N. I. (2008). *Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta*. BPPT.
- Salam, A. K. (2020). *Ilmu Tanah* (2 ed.). Global Madani Press.

- Sarifan, G. P., Semiun, C. G., & Mamulak, Y. I. (2025). Kualitas Bakteriologi (Fecal Coliform) Mata Air Desa Toobaun Kabupaten Kupang. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 6(1), 30–40. <https://doi.org/10.55241/spibio.v6i1.530>
- Schaetzl, R. J., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Setiawan, D. R. (2022). *Pemodelan Air Tanah Menggunakan Metode Beda Hingga Di Desa Sawangan Kecamatan Gringsing Kabupaten Batang Jawa Tengah* [Undergraduate Thesis]. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
- Setyaningtias, B., & Novembrianto, R. (2024). Strategi Recycle Air Limbah Domestik Terolah sebagai Penunjang Green Zone. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(6), 46–59. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i6.619>
- Seyhan, E. (1990). *Dasar-Dasar Hidrologi* (1 Ed.). Gajah Mada University Press.
- Sharma, P., Singh, S. P., Parakh, S. K., & Tong, Y. W. (2022). Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *Bioengineered*, 13(3), 4923–4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>
- Soedarmo, Ir. G. D., & Purnomo, Ir. S. J. E. (1993). *Mekanika Tanah 1*. Kanisius.
- Sugiharto, W. H., Ghozali, M. I., Suryono, S., Susanto, H., & Budihardjo, M. A. (2021). Online monitoring of water pollution level based on dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD) using wireless sensor system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1943/1/012016>
- Sugiyanto, G., Makbul, R., Purnomo, T., Arifien, Y., Susilawaty, A., Pramudianto, A., Sinurat, J., Indah, N. K., Hasyim, H., Sandra, L., & Sunartaty, R. (2022). *Analisa Mengenai Dampak Lingkungan (amdal)*. PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Tahiru, A. A., Doke, D. A., & Baatuuwie, B. N. (2020). Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Applied Water Science*, 10(8), 198. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01272-6>

- Tan, C., Avasarala, S., & Liu, H. (2020). Hexavalent Chromium Release in Drinking Water Distribution Systems: New Insights into Zerovalent Chromium in Iron Corrosion Scales. *Environmental Science & Technology*, 54(20), 13036–13045. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03922>
- Tchobanoglous, G., Stensel, D. H., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G., Pfrang, W., Metcalf & Eddy, Inc., & Albert Einstein College of Medicine (Ed.). (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (Fifth Edition). McGraw-Hill Education.
- Togubu, J., Tuhuteru, E., Firman, & Ishak. (2021). Analisis Perbandingan Kadar Air Pada Endapan Nikel Laterit Zona Limonit dan Saprolit Daerah Obi. *Jurnal GEOMining*, 2(2). <https://doi.org/10.33387/geomining.v2i2.3922>
- U.S. Geological Survey Circular 1139. (1999). *Ground Water and Surface Water*. U.S. Geological Survey.
- USDA, U. S. D. of A. (1999). *Soil Taxonomy* (2 ed.). U.S. Government Printing Office.
- Vaidya, P., & Bhardwaj, S. K. (2018). Land Use Changes and Their Impact on Groundwater Quality in Mid Hills of Himachal Pradesh. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 44(2), 127–134.
- Wang, X., Li, L., Yan, X., Meng, X., & Chen, Y. (2020). Processes of chromium (VI) migration and transformation in chromate production site: A case study from the middle of China. *Chemosphere*, 257, 127282. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127282>
- Weller, D. L., Murphy, C. M., Johnson, S., Green, H., Michalenko, E. M., Love, T. M. T., & Strawn, L. K. (2022). Land Use, Weather, and Water Quality Factors Associated With Fecal Contamination of Northeastern Streams That Span an Urban-Rural Gradient. *Frontiers in Water*, 3, 741676. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.741676>
- Wu, J., Cao, Y., Islam, Md. S., & Emch, M. (2025). Application of Machine Learning to Identify Influential Factors for Fecal Contamination of Shallow Groundwater. *Water*, 17(2), 160. <https://doi.org/10.3390/w17020160>
- Xie, S. (2024). Water contamination due to hexavalent chromium and its health impacts: Exploring green technology for Cr (VI) remediation. *Green*

- Chemistry Letters and Reviews*, 17(1), 2356614.
<https://doi.org/10.1080/17518253.2024.2356614>
- Xie, W., Ren, B., Hursthouse, A., Wang, Z., & Luo, X. (2021). Simulation of Manganese Transport in Groundwater Using Visual MODFLOW: a Case Study from Xiangtan Manganese Ore Area in Central China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(2), 1409–1420.
<https://doi.org/10.15244/pjoes/125766>
- Yadav, R. K., Goyal, B., Sharma, R. K., Dubey, S. K., & Minhas, P. S. (2002). Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—A case study. *Environment International*, 28(6), 481–486. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00070-3)
- Yohana Natalia Cristati, Windiana Wahyu Ekaputri, Wandira Regita Putri Cahyani, & Maria Yovita R. Pandin. (2024). Penerapan Ekonomi Hijau Dan Akuntansi Lingkungan Dalam Strategi Bisnis PT. Surabaya Industrial Estate Rungkut (SIER). *Jurnal Mutiara Ilmu Akuntansi*, 2(3), 19–27.
<https://doi.org/10.55606/jumia.v2i3.3035>
- Zhang, Z., Li, H., Wang, Y., Zhang, L.-Y., & Wang, Y. (2014). Application of Visual MODFLOW to simulation of migration in Cr⁶⁺ contaminated site. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 2(3), 28–35.
<https://doi.org/10.26599/JGSE.2014.9280028>
- Zulkifli, A. (2017). *Pengelolaan Limbah Edisi 2*. Teknosain.

UIN SUNAN AMPEL
 S U R A B A Y A