



UNIVERSITAS  
ISLAM  
INDONESIA

Pidato Pengukuhan Profesor

# Remediasi Lingkungan Tanah dan Air: Aplikasi Proses Fitoremediasi dan Elektrokimia

**Prof. Rudy Syahputra, S.Si., M.Si., Ph.D.**

Profesor Bidang Ilmu Analisis Elektrokimia  
dan Remediasi Lingkungan

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

6 Jumadilakhir 1445/19 Desember 2023

Pidato Pengukuhan Profesor

# **Remediasi Lingkungan Tanah dan Air: Aplikasi Proses Fitoremediasi dan Elektrokimia**

**Prof. Rudy Syahputra, S.Si., M.Si., Ph.D.**  
Profesor Bidang Ilmu Analisis Elektrokimia dan  
Remediasi Lingkungan  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

6 Jumadilakhir 1445/19 Desember 2023

***Bismillahirrahmaanirrahiim,***

*Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.*

Salam sejahtera untuk kita semua.

Yang kami hormati:

1. Plt. Kepala Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah V Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Ketua Pembina, Pengawas, dan Pengurus Yayasan Badan Wakaf Universitas Islam Indonesia.
3. Ketua dan Anggota Senat Universitas Islam Indonesia.
4. Ketua dan Anggota Majelis Guru Besar Universitas Islam Indonesia.
5. Rektor dan Wakil Rektor Universitas Islam Indonesia.
6. Dekan, Wakil Dekan, khususnya Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
7. Ketua Jurusan dan Ketua Prodi di lingkungan Universitas Islam Indonesia, khususnya Ketua Jurusan Kimia dan Ketua Prodi di lingkungan Jurusan Kimia Universitas Islam Indonesia.
8. Sekretaris Eksekutif, Kepala Badan, dan Direktur di lingkungan Universitas Islam Indonesia, khususnya Kepala Divisi di lingkungan FMIPA Universitas Islam Indonesia.
9. Para dosen, khususnya semua kolega di Jurusan Kimia Universitas Islam Indonesia.
10. Keluarga tercinta, Istri, anak-anak, serta saudara-saudara kakak-adik, ipar dan keponakan keluarga besar dari Aceh.

11. Perwakilan sahabat seangkatan dan teman kuliah S1 dan S2 di Departemen Kimia Universitas Gadjah Mada
12. Undangan dari media.
13. Para pimpinan lembaga dan instansi pemerintah atau swasta.
14. Segenap Sivitas Akademika Universitas Islam Indonesia.
15. Para tamu undangan, sejawat, sahabat, keluarga, serta seluruh hadirin yang saya muliakan.

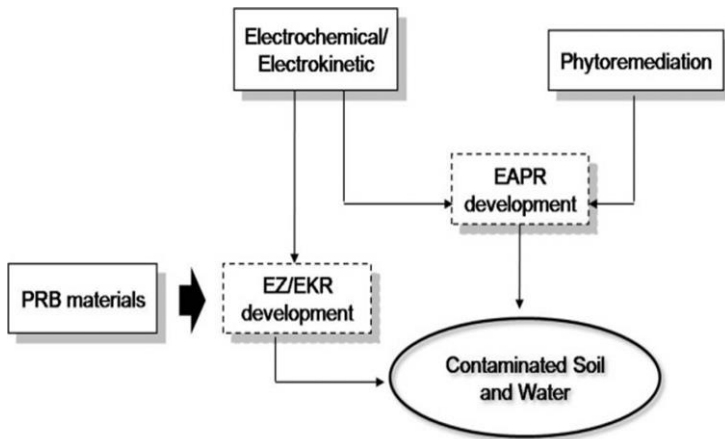
Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Seru semesta alam atas segala nikmat yang telah diberikan. Selawat dan Salam disanjungkan kepada baginda Nabi Muhammad Salallahu Alaihi Salam, teladan sempurna, panutan dalam jalan Islam. Syukur yang tiada terkira atas amanah jabatan Profesor yang telah dikaruniakan kepada saya terhitung semenjak 1 Mei 2023. *La Hawla Wala Quwwata Illa Billahil Aliyyil Azim*, tiada daya upaya selain izin-Nya.

Hadirin sekalian yang saya muliakan, perkenankan saya pertama-tama mengucapkan *Alhamdulillahirobbil'amin*, sehingga pada kesempatan ini diperkenankan menyampaikan pidato pengukuhan jabatan Profesor dalam bidang Ilmu Analisis Elektrokimia dan Remediasi Lingkungan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia. Selanjutnya perkenankan saya untuk menyampaikan rasa hormat dan terima kasih atas kehadiran Bapak/Ibu sekalian dalam acara pengukuhan ini.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankan saya menyampaikan pidato ilmiah dengan judul:

***Remediasi Lingkungan Tanah dan Air: Aplikasi Proses Fitoremediasi dan Elektrokimia***

Topik yang saya angkat ini berdasarkan pengalaman penelitian dan pengembangan remediasi air dan tanah yang sedang saya jalani dan telah berjalan lebih dari 10 tahun di Grup Penelitian Remediasi Lingkungan (ENVIRO-G), Jurusan Kimia, FMIPA UII. Sebagian besar penelitian ini telah diterbitkan dalam karya ilmiah di berbagai jurnal Q1, Q2 dan prosiding seminar internasional AIP dan IOP yang terindeks Scopus serta telah ditulis dalam sebuah buku yang melibatkan konsorsium peneliti internasional dengan judul “*Design of Materials and Technologies for Environmental*” pada tahun 2022 oleh penerbit Springer Nature, Singapura. Tujuan studi ini adalah melakukan evaluasi (i) proses remediasi elektrokinetik, (ii) gabungan proses elektrokinetik dengan fitoremediasi (*electro-assisted phytoremediation, EAPR*), dan (iii) gabungan proses zona penjerap dengan remediasi elektrokinetik (*entrappment zone/electrokinetic, EZ/EK*). Gambar 1 menunjukkan skema penelitian remediasi lingkungan untuk zat pencemar dalam tanah dan air dengan proses remediasi elektrokinetik dan proses EAPR.



**Gambar 1.** Skema penelitian remediasi lingkungan dengan zat pencemar dalam tanah dan air menggunakan proses remediasi elektrokinetik dan EAPR.

***Bapak/Ibu yang saya hormati,***

Perubahan lingkungan global yang terjadi saat ini disebabkan oleh permintaan pangan yang tinggi dan pesatnya perkembangan industri yang dipicu oleh ledakan populasi penduduk dunia. Menurut PBB populasi penduduk dunia mencapai 7,7 miliar manusia pada tahun 2019 dan akan berkembang pesat menjadi 9,7 miliar manusia pada tahun 2050 (Anonim, 2019). Manusia mempertahankan hidup dengan mengamankan sumber air, pangan dan energi yang cukup. Industri digunakan untuk memproduksi berbagai jenis produk secara besar-besaran dan mendistribusikannya ke seluruh dunia. FAO menyatakan 34% tanah telah tercemar untuk mempertahankan gaya hidup kita menggunakan sumber

daya batubara dan minyak bumi sebagai sumber energi dan mineral utama.

Sejak awal abad kedua puluh ketika revolusi industri dimulai yang ditandai dengan penemuan mesin uap James Watt pada tahun 1769, kita telah melakukan sintesis bahan-bahan kimia baru yang belum pernah ada di muka bumi. Sejumlah besar zat pencemar organik dan anorganik berbahaya dan beracun yang berasal dari aktivitas sosio-ekonomi antropogenik telah terlepas ke lingkungan melewati sistem pedosfer (lapisan paling atas dari permukaan bumi), hidrosfer, dan biosfer dengan konsentrasi yang signifikan. Semakin canggih industri pemrosesan yang digunakan saat ini, semakin beragam bahan yang diperlukan untuk mengolahnya, sehingga zat pencemar kini semakin beragam jenisnya. Dalam kehidupan nyata bahkan seseorang tanpa disadarinya mengalami keracunan logam berat dari makanan. Sebagai contoh, ketika Paul Karason dari Amerika Serikat yang dijuluki “Papa Smurf” mengalami penyakit langka Argyria akibat keracunan logam perak (Ag) dari produk suplemen makanan untuk terapi kesehatan. Sebenarnya logam perak sendiri tidak berbahaya, tetapi produk koloid yang mengandung AgNP terindikasi dapat meracuni organ tubuh manusia (Gaillet dan Rouanet, 2015). Gambar 2 memperlihatkan warna biru tubuh Paul Karason akibat keracunan logam perak selama lebih dari satu dekade.



**Gambar 2.** Paul Karason sang “Papa Smurf” mengalami keracunan logam perak (Ag) selama lebih dari satu dekade.

Kegiatan industri di pertambangan dan pabrik seringkali mencemari lingkungan, selain itu juga mungkin terjadi secara alami seperti aktivitas gunung berapi. Terkadang kecelakaan dan bencana menimbulkan masalah polusi yang parah akibat ledakan pabrik kimia yang mencemari sungai Songhua di Cina (Anonim, 2005) dan kesalahan pengeboran migas yang dikenal dengan lumpur Lapindo di Sidoarjo, Jawa Timur (Wayman, 2011). Atau gempa bumi besar yang melanda Jepang pada tanggal 11 Maret 2011 di daerah Tohoku yang disusul dengan tsunami besar, sehingga PLTN Fukushima Daiichi meledak dan mencemari wilayah prefektur Fukushima dengan radionuklida (Bien Do, 2019).

Selanjutnya bagaimana kita seharusnya melakukan keseimbangan pembangunan ekonomi dan pelestarian lingkungan guna mendukung masyarakat berkelanjutan (*sustainable society foundation*)? Masyarakat berkelanjutan adalah “*yang memenuhi segala kebutuhan generasi sekarang, tetapi tidak mengurangi kemampuan generasi yang akan datang untuk memenuhi*



*kebutuhannya mereka sendiri, di mana setiap manusia memiliki kesempatan untuk berkembang dengan dirinya sendiri dalam kebebasan, masyarakat yang seimbang dan selaras dengan lingkungan sekitarnya” (Anonim, 2016).*

Pertemuan tingkat tinggi Perserikatan Bangsa-Bangsa pada tanggal 25 September 2015, telah mengeluarkan kesepakatan untuk menentukan tujuan pembangunan berkelanjutan atau SDGs (*Sustainable Development Goals*) guna mencapai masa depan dunia yang lebih baik. Terdapat 17 tujuan dalam SDGs yang harus dicapai pada tahun 2030 oleh setiap negara untuk mengatasi kemiskinan, kesenjangan, perubahan iklim, perubahan lingkungan, perdamaian dan keadilan (*United Nations Sustainable Development Goal*). Enam tujuan dalam SDGs telah terkait langsung dengan remediasi lingkungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Isu pertama dan yang terpenting dalam remediasi lingkungan adalah kejelasan sumber pencemar dan jalur perpindahan zat pencemar. Melalui berbagai teknologi remediasi berbasis fisika, kimia, dan biologi, maka tanah dan air yang tercemar dapat dimanfaatkan kembali menjadi lahan pertanian, lahan konstruksi, air untuk kebutuhan rumah tangga dan industri. Sementara itu, perubahan kualitas tanah dan air sebelum dan sesudah proses remediasi serta kondisi mikrobiologis air kurang mendapat perhatian khusus, sehingga sangat mendesak ditemukan teknologi remediasi lingkungan terbaru yang tepat agar sumber daya alam dapat digunakan kembali.

**Tabel 1.** Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

Goal 3	Good health and well-being: ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages
Goal 6	Clean water and sanitation: ensure access to water and sanitation for all
Goal 9	Industry, innovation, and infrastructure: build resilient infrastructure, promote sustainable industrialization and foster innovation
Goal 13	Climate action: take urgent action to combat climate change and its impacts
Goal 14	Life below water: conserve and sustainably use the oceans, seas, and marine resources
Goal 15	Life on land: sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse land degradation, halt biodiversity loss

***Bapak/Ibu yang saya hormati,  
Kewajiban Remediasi Lingkungan***

Remediasi lingkungan merupakan proses penting untuk pemulihan lingkungan hidup dengan menghilangkan zat pencemar dari tanah dan air yang terhubung dengan lingkungan. Proses ini membantu melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat dengan mengurangi keberadaan zat berbahaya. Undang-Undang Lingkungan Hidup RI No. 32/2009 menyatakan bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup adalah

upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum.

Kewajiban manusia untuk menjaga lingkungan air dan tanah merupakan fungsi penting bagi kehidupan manusia telah dinyatakan dalam firman Allah Swt.:

هُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ شَجَرٌ فِيهِ تُسِيمُونَ

Huwallazī anzala minas-samā`i mā`al lakum min-hu syarābuw wa min-hu syajarun fīhi tusīmūn (Arab-Latin)

**Artinya:** Dialah, Yang telah menurunkan air hujan dari langit untuk kamu, sebahagiannya menjadi minuman dan sebahagiannya (menyuburkan) tumbuh-tumbuhan, yang pada (tempat tumbuhnya) kamu menggembalakan ternakmu (QS An Nahl: 10).

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا ۚ كَذَلِكَ نُصَرِّفُ آلَاءِنَا لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

Wal-baladūṭ-ṭayyibu yakhruju nabātuḥu bi`izni rabbih, wallazī khabuša lā yakhruju illā nakidā, każālīka nuṣarriful-āyāti liqauṁiy yasykurūn (Arab-Latin)

**Artinya:** Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh

merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur (**QS Al- A'raf: 58**).

Salah satu kebutuhan penting manusia adalah air, terutama untuk keperluan minum dan bersuci (taharah). Manusia bisa bertahan hidup lebih lama tanpa makan, tetapi tidak tanpa air. Manfaat utama air di muka bumi adalah sebagai sumber kehidupan. Menurut *usul fiqih* fungsi air akan berubah bila air telah berubah bau, rasa dan warna. Sehingga manusia memiliki tanggung jawab untuk memelihara lingkungan sumber air termasuk melakukan proses remediasi tanah dan sumber air yang tercemar.

***Bapak/Ibu yang saya hormati,  
Pencemaran Air***

Dampak kerusakan lingkungan hidup di Indonesia telah berpengaruh terhadap kemudahan mendapatkan air bersih dan lahan tanah untuk pertanian yang terbebas dari zat pencemar. Pada tahun 2013, sungai Citarum di Jawa Barat dan sungai Kahayan di Kalimantan Tengah masuk dalam daftar sepuluh besar tempat paling tercemar di dunia (*the most polluted water in the world*) bersamaan dengan lokasi tercemar zat radionuklida, Chernobyl di Ukraina menurut laporan Green Cross Swiss dan Blacksmith Institute USA (Djuwita dkk., 2021). Ironisnya Sungai Citarum tersebut telah menyediakan 80% air permukaan untuk daerah ibu kota Jakarta dan pengairan pertanian yang menghasilkan 5% beras di Indonesia.

Sedangkan sungai Kahayan telah dimanfaatkan oleh masyarakat setempat sejak lama untuk berbagai aktivitas,

termasuk sebagai sumber air minum, mencuci, mandi, transportasi, dan memancing. Saat ini aktivitas penambangan emas telah tersebar di sepanjang daerah aliran Sungai Kahayan dan Sungai Rungan yang dilakukan di desa-desa bagian hulu. Pada tahun 2004 sekitar 1000 unit peralatan penambangan emas digunakan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kahayan dan 200 unit di DAS Rungan (Yamada dkk., 2005). Secara signifikan, pertambangan emas telah menyumbang 19,4% hingga 29,1% pendapatan tahunan wilayah Palangka Raya (Megumi dkk., 2006). Pencemaran utama sungai berasal dari penambangan emas skala kecil yang menggunakan merkuri (Hg) dalam proses ekstraksi emas (Elvince dkk. 2008) Merkuri membentuk amalgam dengan konsentrat emas dan kemudian dilebur untuk membentuk emas murni. Sisa konsentrasi merkuri yang dibuang ke lingkungan akan diubah menjadi metil merkuri organik ( $\text{CH}_3\text{Hg}$ ) melalui mediasi bakteri pereduksi sulfat yang terdapat dalam sedimen (Ullrich dkk., 2007).

Bioakumulasi metil merkuri melalui rantai makanan telah meningkatkan risiko paparan metil merkuri hingga mencapai konsentrasi kronis pada manusia, terutama pada populasi penduduk dengan asupan ikan atau produk olahan ikan (Jewett dan Duffy, 2007). Konsentrasi total merkuri pada ikan (*Mystus nemurus*) yang diperoleh dari kedua sungai tersebut berkisar antara 0,02 hingga 0,48 ng/mg berat basah yang mendekati konsentrasi berdasarkan US EPA untuk konsumsi manusia. Gambar 3 menunjukkan bioakumulasi metil merkuri pada manusia dan korban penyakit Minamata.

Dampak keracunan metil merkuri terbesar dalam sejarah terjadi di Jepang pada tahun 1956 yang dikenal dengan penyakit Minamata karena pertama kali ditemukan di kota Minamata, prefektur Kumamoto, Jepang. Hal ini disebabkan oleh pelepasan metil merkuri dari produksi asetaldehida yang terkandung dalam limbah industri pabrik kimia milik Chisso Corporation yang berlangsung dari tahun 1932 hingga 1968 (Nishimura dan Okamoto, 2001).



**Gambar 3.** Bioakumulasi metil merkuri melalui rantai makanan dan tangan Tomoko Kamimura pasien penyakit Minamata.

Bahan kimia yang sangat beracun ini mengalami bioakumulasi pada kerang dan ikan di teluk Minamata dan laut Shiranui yang dimakan oleh penduduk setempat sehingga mengakibatkan keracunan merkuri (Hamdy dan Noyes, 1975). Keracunan dan kematian manusia dan hewan berlanjut selama 36 tahun, sementara Chisso dan pemerintah prefektur Kumamoto tidak dapat berbuat banyak untuk mencegah epidemi tersebut terjadi. Dampak

pada hewan cukup parah terutama pada kucing sehingga disebut dengan simtom "Demam Kucing Menari" (Withrow dan Vail, 2007).

***Bapak/Ibu yang saya hormati,  
Kualitas Air di Indonesia***

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melaporkan bahwa pada tahun 2021 sekitar 59% dari 564 sungai di Indonesia telah mengalami pencemaran berat. Sumber pencemaran berasal dari limbah industri seperti minyak, gas, pertambangan, limbah domestik atau rumah tangga, dan limbah peternakan. Sebelumnya pada tahun 2015, sekitar 79,5% sungai di seluruh negeri dilaporkan berada dalam kondisi pencemaran parah. Kontradiksi laporan ini menunjukkan kualitas air sungai di Indonesia telah mengalami perbaikan (Indonesia Water Portal, 2021). Untuk mengatasi pencemaran air dan menjaga kejernihan air sungai, KLHK menerapkan dua strategi, yaitu pertama, mengurangi jumlah limbah yang berasal dari sumber pencemaran, seperti industri rumah tangga, limbah usaha kecil, dan limbah peternakan. Kedua, melakukan stabilisasi debit air pada musim hujan dan kemarau.

Walaupun demikian, hasil studi kualitas air minum rumah tangga dari Kementerian Kesehatan (Kemenkes) pada tahun 2020 menyatakan, bahwa 7 dari 10 rumah tangga di Indonesia menggunakan air minum yang terkontaminasi oleh bakteri *Escherichia coli*. Selain itu, kenyataan di lapangan menunjukkan 31% rumah tangga di Indonesia menggunakan air isi ulang, 15,9% berasal dari sumur galian dan 14,1% dari sumur bor/pompa. Ketersediaan air minum layak di Indonesia hanya

mencapai 93%. Sedangkan akses air minum sangat rendah hanya 11,9%. Badan Pusat Statistik (BPS) melaporkan ketersediaan air bersih di Indonesia diprediksi pada tahun 2035 hanya tersisa 181,498 meter kubik per kapita per tahun. Angka ini menunjukkan ketersediaan air bersih jauh berkurang bila dibandingkan dengan tahun 2010 yaitu sebesar 265,420 meter kubik per kapita per tahun (Indonesiabaik.id, 2023).

***Bapak/Ibu yang saya hormati,***

### ***Pencemaran Tanah***

Tanah yang terkontaminasi sering kali disebabkan oleh proses industri di masa lalu dan praktik pembuangan limbah yang tidak diatur. Pencemaran tanah dapat berasal dari berbagai sumber termasuk bahan kimia, pembuangan limbah industri yang tidak tepat, kebocoran tangki dan pipa dalam jangka waktu yang lama, serta tumpahan berbagai jenis produk industri. Zat pencemar yang biasa ditemukan dalam kegiatan remediasi tanah meliputi pelarut, cat, minyak, logam berat, pestisida, dan senyawa buatan lainnya.

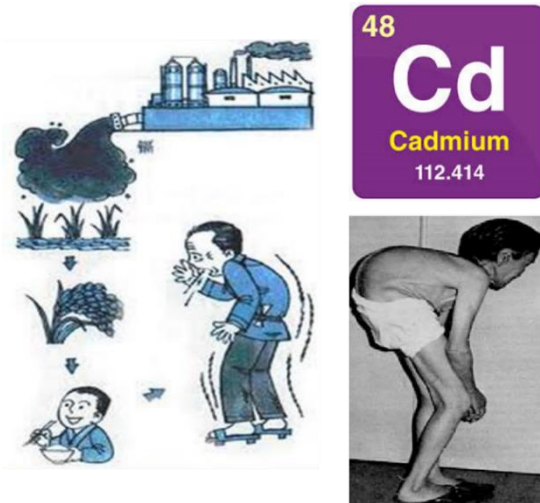
Sebagai gambaran situasi pencemaran tanah di Indonesia ditunjukkan oleh kegiatan eksplorasi minyak bumi (Putra dkk., 2022). Saat ini, produksi minyak bumi Indonesia mencapai hampir 740,000 barel produksi minyak per hari yang menghasilkan sekitar 51,000 m<sup>3</sup> lumpur minyak mentah (*oil sludge*) setiap tahunnya. Pertamina di Unit Tanjung, Kalimantan Selatan, telah menghasilkan 300 m<sup>3</sup> lumpur minyak mentah per tahun dari 5000 barel produksi minyak per hari (Helmi dan Kardena, 2015). Jumlah tersebut belum termasuk penimbunan lumpur minyak mentah oleh perusahaan



migas lain yang beroperasi di Indonesia. Sebagai contoh, Santa Fe Ltd. di Papua dan Vico Ltd. di Kalimantan menyimpan sekitar 20,000 m<sup>3</sup> dan 15,000 m<sup>3</sup> lumpur minyak mentah. Pertamina sendiri menimbun lumpur minyak mentah sebesar 15,000 m<sup>3</sup> di Cilacap dan Balikpapan, 500 m<sup>3</sup> di Plaju, Sumatera Selatan dan 16,000 m<sup>3</sup> di fasilitas pengolahan minyak mentah Indramayu (Effendi dkk., 2019). Eksplorasi dan produksi minyak bumi akan terus berjalan, tetapi industri minyak bumi tetap harus bertanggung jawab atas berbagai pencemaran lingkungan di seluruh dunia.

Dampak keracunan logam berat dari tanah dalam sejarah terjadi di Jepang mulai tahun 1912 yang dikenal dengan penyakit itai-itai (イタイイタイ病, itai-itai byō) akibat keracunan masal logam kadmium (Cd) di lembah sungai Jinzu di prefektur Toyama, Jepang. Gambar 4 menunjukkan pasien dengan gejala penyakit itai-itai dan proses bioakumulasi logam cadmium (Cd).

Istilah "penyakit itai-itai" diciptakan oleh penduduk setempat yang mengalami rasa sakit parah (bahasa Jepang: 痛い (itai) artinya sakit). Penyakit tersebut ditandai dengan gagal fungsi ginjal, osteomalasia, pseudofraktur dan anemia dengan prevalensi  $\geq 20\%$  pada wanita yang berumur 50 tahun (Horiguchi, 2014; Aoshima, 2016). Penyakit ini mulai dikenali sejak tahun 1950-an oleh dr. Hagino, seorang dokter umum yang berpraktik di klinik swasta di daerah dengan tanah ladang pertanian yang tercemar.

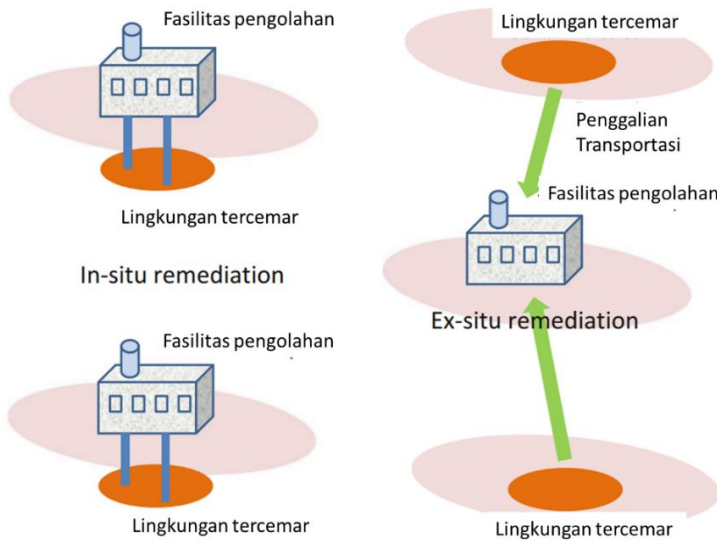


**Gambar 4.** Biokumulasi logam cadmium (Cd) dari tanah persawahan dan simton osteomalasia penyakit itai-itai pada manusia.

### ***Dengan Cara Apa Remediasi Lingkungan Dapat Dilakukan?***

Remediasi lingkungan dapat dilakukan dengan cara menahan (*containment*), memisahkan (*separation*), dan mengurai (*decomposition*) zat pencemar serta melakukan pengolahan dengan teknologi remediasi menggunakan dua kategori yaitu perlakuan *In-situ* dan *Ex-situ* (Tanaka, 2022). Baik metode *In-situ* (di tempat lokasi pencemaran) ataupun *Ex-situ* (di luar lokasi pencemaran) akan menggunakan metode/teknologi yang mungkin sama ketika melakukan remediasi zat pencemar di lingkungan.

Gambar 5 menunjukkan perbedaan teknologi remediasi *In-situ* dan *Ex-situ*.



**Gambar 5.** Perbedaan teknologi remediasi *In-situ* dan *Ex-situ*.

Lokasi tercemar yang mengandung campuran zat pencemar dan memiliki masalah limbah yang kompleks, akan menggabungkan ketiga kategori tersebut. Beberapa metode/teknologi remediasi tanah yang umum digunakan adalah secara fisika/kimia, bioremediasi, dan termal. Lokasi tercemar yang menggunakan metode *In-situ*, maka memerlukan biaya yang lebih sedikit karena tidak diwajibkan membuang zat pencemar di luar lokasi pencemaran. Sedangkan lokasi tercemar dengan remediasi *Ex-situ*, maka diperlukan kegiatan penggalian dan pengangkutan tanah ke lokasi pengolahan yang

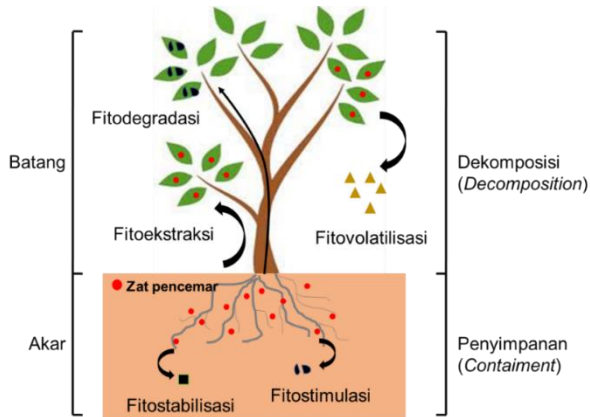
sesuai. Secara umum, tanah yang terkontaminasi logam berat, sering kali digali dan diolah di lokasi (*In-situ*) agar memiliki pilihan biaya pengolahan yang lebih rendah.

Metode pengolahan zat pencemar lainnya adalah mengangkut limbah ke fasilitas pengolahan limbah komersial yang memiliki izin menerima limbah industri. Di tempat tersebut terdapat fasilitas proses remediasi untuk mengolah limbah berbahaya, tempat pembuangan limbah berbahaya, insinerator dan pengolahan termal. Perusahaan-perusahaan ini memiliki kemampuan untuk mengolah limbah dalam jumlah besar dan menyediakan sarana pembuangan yang aman untuk meminimalisir kewajiban jangka panjang pelanggan mereka.

PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI) yang berlokasi di Bogor, Jawa Barat adalah salah satu perusahaan di Indonesia yang telah beroperasi sejak tahun 1994 dalam menyediakan layanan pengumpulan, daur ulang, pengolahan, dan pembuangan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Saat ini, PPLI telah menjalin kerja sama dengan FMIPA UII yang secara teratur mengangkut dan mengolah limbah B3 dari unit kerja Laboratorium Terpadu UII sejak tahun 2015. Berikut ini akan dibahas beberapa metode/teknologi yang mewakili konsep penahanan (*containment*), pemisahan (*separation*), dan dekomposisi (*decomposition*) dalam pengolahan zat pencemar yang dijelaskan secara singkat sebagai berikut.

### A. Proses Fitoremediasi

Salah satu praktik remediasi lingkungan *In-situ* yang telah berkembang baik adalah proses fitoremediasi yang dapat dilakukan pada media tanah dan air. Proses ini dipandang efisien dan efektif karena tanpa memerlukan proses pemeliharaan yang kompleks serta mengandung nilai estetika karena pemanfaatan tumbuhan hijau sebagai media untuk mengurangi zat pencemar di lingkungan. Gambar 6 menunjukkan beberapa keadaan yang terjadi pada proses fitoremediasi menggunakan tanaman (Putra, 2011). Metode ini mengandalkan peran tanaman untuk melakukan proses penyerapan, degradasi, transformasi dan imobilisasi zat pencemar, baik logam berat maupun senyawa organik (Prasad, 2004).

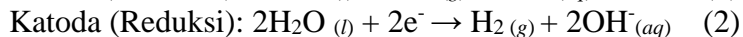
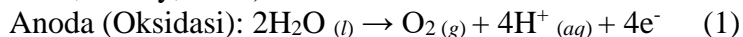


**Gambar 6.** Fitoremediasi dapat digunakan untuk tujuan penahanan (fitostimulasi dan fitostabilisasi) atau penghilangan (fitoekstraksi, fitodegradasi, dan fitovolatilisasi).

Walaupun biaya operasionalnya lebih murah dibandingkan dengan teknologi lain dan tanpa perlu biaya perawatan yang mahal, praktik proses fitoremediasi pada lingkungan tanah tetap memiliki keterbatasan yaitu panjang akar tanaman untuk menjangkau sumber pencemar dalam lapisan tanah yang lebih dalam. Selain itu proses ini berjalan lambat sehingga memerlukan jangka waktu yang lama. Juga diperlukan tanaman khusus yang mampu beradaptasi pada lingkungan ekstrem yang beracun dan kemampuan hiperakumulator yang tinggi. Lebih dari 400 spesies tanaman hiperakumulator dari seluruh dunia dapat digunakan untuk mengumpulkan logam berat dengan konsentrasi tinggi di lokasi yang tercemar (Lai dan Chen, 2004).

### ***B. Proses Remediasi Elektrokinetik***

Proses remediasi elektrokinetik dilakukan secara *In-situ* (di tempat lokasi pencemaran) dengan tegangan DC rendah menggunakan elektroda yang ditanamkan ke dalam tanah. Gambar 7 menunjukkan diagram proses remediasi elektrokinetik dalam media tanah (Putra, 2011; Akemoto dkk., 2022). Kandungan air dalam pori tanah menyebabkan terjadinya induksi listrik sehingga terjadi elektrolisis air pada elektroda katoda dan anoda seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2 (Kimura dkk., 2007; Reddy, 1997).

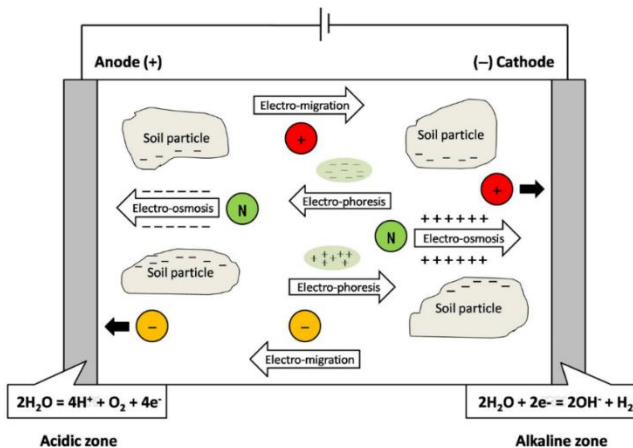


Reaksi oksidasi-reduksi tersebut akan menghasilkan gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) pada elektroda anoda dan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) pada elektroda katoda. Selain itu ion

hidrogen ( $H^+$ ) dan ion hidroksida ( $OH^-$ ) yang dihasilkan akan bermigrasi menuju elektroda yang berlawanan. Laju migrasi ion  $H^+$  dan  $OH^-$  bergantung pada kapasitas penyangga tanah. Perpindahan ion hidrogen diperkirakan dua kali lebih cepat dibandingkan dengan laju ion hidroksida, sehingga reaksi pengasaman tanah akan terjadi lebih cepat dibandingkan dengan reaksi alkali. Pada tanah dengan kapasitas pH penyangga rendah, maka gradien pH yang terbentuk mulai dari pH 2 di dekat anoda hingga pH 12 di dekat katoda (Reddy, 1997).

Pengaruh induksi listrik di dalam tanah akan menyebabkan terjadinya perpindahan zat pencemar ke arah katoda atau anoda, bergantung pada muatan zat pencemar (kationik atau anionik). Proses elektrokinetik akan menyebabkan gejala elektro-migrasi, elektro-osmosis dan elektro-foresis. Elektro-migrasi yaitu pergerakan kation dan anion dalam tanah karena pengaruh sifat muatan. Kation (ion bermuatan positif) akan berpindah ke arah katoda (elektroda bermuatan negatif) dan anion (ion bermuatan negatif) akan berpindah ke arah anoda (elektroda bermuatan positif). Elektro-osmosis adalah proses perpindahan molekul air yang menyelimuti partikel bermuatan di dalam tanah akibat pengaruh arus yang bergerak. Elektro-foresis merupakan pergerakan partikel-partikel akibat pengaruh medan listrik (Acar and Alshwabkeh, 1993). Derajat keasaman atau pH merupakan salah satu faktor utama yang menentukan mobilitas zat pencemar di dalam tanah. Reaksi kimia yang langsung diatur oleh keadaan pH termasuk proses adsorpsi dan desorpsi, kompleksasi dan spesiasi (Hicks, 1994). pH tanah yang rendah (asam) di dekat anoda menyebabkan terjadinya desorpsi logam berat dalam

bentuk kation, sedangkan pH tinggi di dekat katoda (alkali) menyebabkan proses pengendapan logam hidroksida.



**Gambar 7.** Diagram skematik remediasi elektrokinetik dalam tanah. Proses elektrokinetik akan menimbulkan gejala elektro-migrasi, elektro-osmosis dan elektro-foresis.

Aplikasi proses ini telah berhasil dilakukan pada beberapa proyek remediasi tanah mulai tahun 1995- 2001 untuk menurunkan konsentrasi logam berat (Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Zn dan Hg) dan zat pencemar organik (sianida, VOC, minyak mineral) sehingga memenuhi ambang batas aman lingkungan oleh perusahaan dari Belanda (Lageman dkk., 2005).

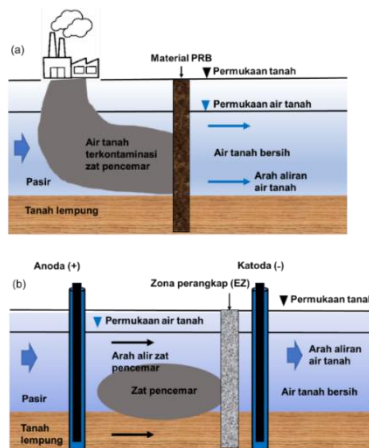


### ***C. Gabungan Proses Zona Penjebak dan Remediasi Elektrokinetik***

Permintaan proses remediasi baru untuk pengolahan tanah yang berbiaya rendah semakin meningkat. Pengembangan proses remediasi yang efisien dan ramah lingkungan telah menjadi kajian penting dalam dua dekade terakhir ini. Konsep penggunaan zona penjebak (*entrapment zone, EZ*) yang dikombinasikan dengan metode remediasi elektrokinetik telah dibicarakan secara luas dalam simposium remediasi elektrokinetik (EREM) ke-5 tahun 2005 di Ferrara, Italy (De Battisti dan Ferro, 2007). Remediasi elektrokinetik dengan zona penjebak (EZ) yang menggunakan material aktif bersifat permeabel (*permeable reactive barrier, PRB*) akan menyebabkan zat pencemar terperangkap, terikat tidak bergerak dan terendapkan dalam material PRB, sehingga tidak memerlukan proses lanjutan penggalian tanah atau memompa keluar zat pencemar dari dalam tanah. Proses ini akan menghasilkan air tanah yang terbebas dari zat pencemar yang berasal dari sumber tanah yang tercemar. Gambar 8 menunjukkan penerapan konsep gabungan proses remediasi elektrokinetik dengan zona penjebak menggunakan material PRB.

Beberapa jenis material PRB telah digunakan untuk menurunkan kandungan logam berat dari tanah, yaitu material *zero valent iron (ZVI)*, karbon granular, *atomizing slat, red mud*, serta gabungan nanomagnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan zat pengkelat (Putra dkk., 2022). Penggunaan material daur ulang limbah air minum (AI-WTR) sebagai PRB pada proses remediasi elektrokinetik logam berat dari tanah lempung mampu menurunkan konsentrasi

logam timbal (Pb) sebesar 40–60% menggunakan Al-WTR dari Miyamachi dan 30–35% dari Nishino. Penggunaan material tersebut dianggap menjanjikan sebagai material PRB karena faktor kepraktisan, murah, dan efektif digunakan dalam remediasi elektrokinetik (Putra dan Tanaka, 2011). Terdapat tiga keuntungan utama dari penerapan teknologi ini, yaitu (i) induksi arus DC searah dari elektroda terpasang pada instalasi remediasi elektrokinetik akan menimbulkan aliran air yang mengandung zat pencemar berpindah ke atau melalui material PRB, (ii) material PRB pada sistem EZ akan menahan (*containment*) dan mengurai (*decomposition*) zat pencemar terlarut, dan (iii) air yang terakumulasi di katoda oleh aliran electro-osmosis (EOF) akan mengalami daur ulang kembali ke anoda untuk mendukung proses netralisasi asam-basa (Czurda dan Haus, 2002).

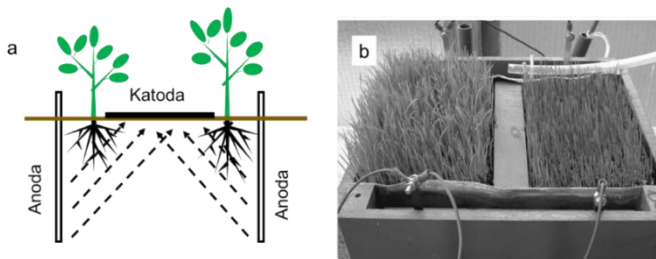


**Gambar 8.** Skema remediasi menggunakan material PRB (a) dan gabungan proses remediasi elektrokinetik zona perangkap (EZ) menggunakan material PRB (b).

#### ***D. Gabungan Proses Remediasi Elektrokinetik dan Fitoremediasi***

Gabungan proses remediasi elektrokinetik/elektrokimia dengan fitoremediasi disebut dengan metode *electro-assisted phytoremediation*, EAPR yang telah diterapkan dalam remediasi air dan tanah tercemar logam berat (Putra dkk., 2013, Cang dkk., 2011). Metode ini digunakan sebagai cara lain untuk mengatasi kekurangan yang terdapat pada proses fitoremediasi. Pada proses EAPR, tanaman ditumbuhkan secara hidroponik dan air tercemar mengalami proses elektrolisis dengan aliran listrik searah (arus DC). Mobilisasi ion logam dalam proses EAPR dibantu dengan elektroda melalui proses elektromigrasi sehingga ion logam akan terakumulasi pada daerah akar tanaman yang selanjutnya diikuti dengan proses absorpsi oleh akar tanaman itu sendiri.

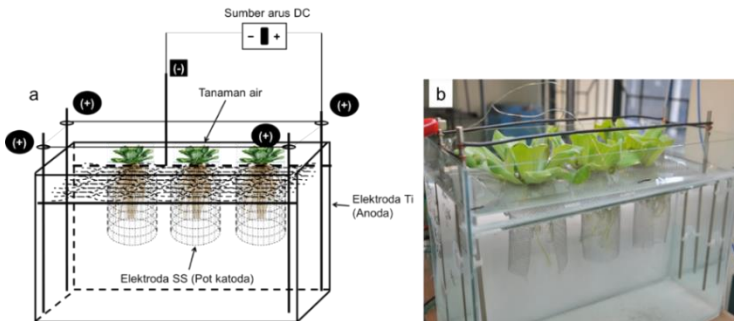
Keunggulan proses EAPR yaitu (i) dapat menggunakan tanaman yang memiliki akar pendek, (ii) laju absorpsi zat pencemar oleh tanaman lebih meningkat, dan (iii) remediasi logam berat dari air tercemar berlangsung dalam waktu singkat. Gambar 9 menunjukkan proses EAPR dalam media tanah.



**Gambar 9.** Skema konsep migrasi ion logam berat (a) dengan sel EAPR dalam media tanah (b).

Proses ini telah diuji coba dalam skala laboratorium untuk cemaran logam berat pada tanah dengan hasil yang sangat memuaskan (Hodko dkk., 2000; O'Connor dkk., 2003; Zhou dkk., 2007; Aboughalma dkk., 2008; Cang dkk., 2019). Lebih dari 90% logam pencemar telah berhasil dihilangkan dari tanah dengan menggunakan proses EAPR.

Sedangkan, aplikasi proses EAPR pada media air masih sangat jarang dilakukan terkecuali yang pernah dilakukan oleh Bi dkk. (2010) menggunakan tanaman air *Lactuca sativa* untuk proses remediasi logam cadmium (Cd) dan tanaman air *Lemna minor* untuk logam arsen (As) oleh Kubiak dkk. (2012). Evaluasi proses EAPR dengan sistem hidroponik memiliki kelebihan yaitu (i) seleksi cepat terhadap jenis tanaman yang berpotensi sebagai hiperakumulator, (ii) evaluasi cepat jenis tanaman yang mampu melakukan proses translokasi zat pencemar mulai dari akar hingga bagian pucuk daun (Baker dan Brooks, 1989), dan (iii) seleksi cepat dengan sistem hidroponik berbagai jenis tanaman baik yang dapat tumbuh di media tanah maupun air (Putra dkk., 2013; Putra dkk. 2015; Putra dkk., 2016). Gambar 10 menunjukkan diagram skema proses EAPR dalam media air dengan tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*).



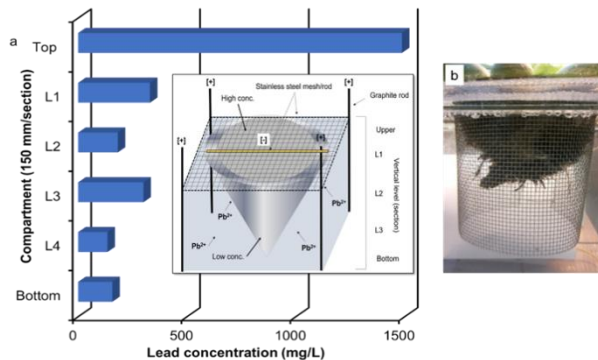
**Gambar 10.** Skema sistem hidroponik dalam sel EAPR (a) dan aplikasi sistem EAPR dalam remediasi air (b).

Secara umum penggunaan elektroda berbentuk batang dianggap belum mampu mendukung secara maksimal proses EAPR pada media air. Pemanfaatan tanaman air untuk tujuan remediasi memiliki beberapa kelemahan, di antaranya pertumbuhan biomassa yang lambat dan akar tanaman yang pendek (Hodko dkk., 2000). Penggunaan elektroda katoda berbentuk pot pada proses EAPR telah dianggap berhasil mengatasi kelemahan utama pada proses remediasi air dengan metode EAPR (Putra dkk., 2015; Putra dkk., 2016).

Hal ini terbukti dengan model elektroda katoda berbentuk pot yang mampu mengarahkan konsentrasi maksimal logam pencemar di sekitar tanaman air sehingga proses remediasi logam berat berlangsung lebih cepat dan terjadi konsentrasi logam berat lebih tinggi pada tanaman. Gambar 11 menunjukkan efektivitas katoda berbentuk pot dalam proses EAPR untuk mengumpulkan konsentrasi logam timbal (Pb).

Putra dkk. (2015, 2016) telah melakukan evaluasi efektivitas konfigurasi elektroda dua dimensi (2D)

elektroda katoda berbentuk pot pada sistem EAPR menggunakan tumbuhan air terapung seperti eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi ion  $Pb^{2+}$  dan  $Cu^{2+}$  mengalami penurunan yang signifikan pada 48 jam pertama proses EAPR. Pada titik ini, konsentrasi logam timbal (Pb) menurun hingga 60–93%, sedangkan logam Cu mencapai 80–99% dari konsentrasi awal.



**Gambar 11.** Konsentrasi logam timbal (Pb) berbentuk “V” dalam media agar setelah 48 jam proses elektrolisis dengan arus konstan 50 mA (a) menggunakan konfigurasi 2D katoda berbentuk pot dalam sistem EAPR (b).

**Bapak/Ibu yang saya hormati,**

Keadaan lokasi tercemar berbeda-beda dari satu tempat ke tempat lainnya. Apa yang harus kita pertimbangkan dan lakukan ketika memilih teknologi remediasi yang tepat dari banyak pilihan teknologi yang ada?

Hal pertama yang harus dilakukan adalah mendapatkan informasi yang akurat tentang situasi lokasi tercemar. Apa yang menjadi penyebab zat pencemar terdapat di lokasi, seberapa tinggi konsentrasi zat pencemar tersebut pada lokasi yang tercemar, dan bagaimana kemungkinan cara penyebaran zat pencemar tersebut ke lingkungan?

Ketika pencemaran terjadi di dalam tanah, laju penyebaran zat pencemar terjadi sangat lambat, akan tetapi bila pencemaran terjadi di air atau udara, maka zat pencemar akan menyebar dengan cepat. Tergantung keadaan terjadinya proses pencemaran, sehingga diperlukannya teknologi remediasi yang paling sesuai dengan kondisi lokasi pencemaran dan zat pencemar.

Tingkat toksisitas zat pencemar juga merupakan faktor penting lainnya dalam memilih teknologi remediasi. Jika zat pencemar sangat beracun seperti radionuklida, maka perhatian yang sangat serius harus diberikan selama proses remediasi. Selain itu, sisa konsentrasi residu zat pencemar harus sangat rendah agar keamanan lingkungan tetap terjamin.

Informasi geografis tentang keadaan geologi atau sosial masyarakat dari lokasi tercemar juga sangat penting untuk diketahui agar pilihan teknologi remediasi menjadi tepat dan benar. Informasi geologi tersebut akan memberikan wawasan tentang arah difusi zat pencemar. Sedangkan informasi sosial-geografis masyarakat diperlukan untuk membangun kerja sama dan kesepakatan dengan masyarakat setempat yang tinggal di sekitar lokasi tercemar selama, sebelum, dan setelah proses remediasi.

Selanjutnya, waktu yang diperlukan untuk remediasi, luas wilayah remediasi, dan biaya remediasi juga penting untuk dipertimbangkan agar dapat melakukan evaluasi berbagai metode remediasi yang mungkin dapat dilakukan secara komprehensif. Menurut Tanaka (2022) terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam proyek remediasi lingkungan, yaitu: (1) biaya keseluruhan, (2) batas kemampuan teknologi, (3) waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proses remediasi, (4) keandalan dan pemeliharaan sistem teknologi remediasi, (5) kebutuhan data, (6) keamanan, dan (7) penerimaan masyarakat.

### ***Ucapan Terima Kasih***

Sebelum menutup pidato ini, saya ingin mengucapkan terima kasih setulusnya kepada guru-guru kami: Prof. Hardjono Sastrohamidjono (alm.), Prof. Narsito (alm.), Prof. Utoro Yahya (alm.), Prof. Muchalal (alm.), Prof. Chairil Anwar, Dr. Eko Sugiharto, Prof. Mudasir, Dr. Dwi Siswanto, Dr. Agus Kuncaka, Prof. Endang Tri Wahyuni, Dr. Yateman Aryanto, Prof. Sri Juari Santoso, Prof. Karna Wijaya, Ir. Sahirul Alim, M.Sc. (alm.).

Dulu 32 tahun lalu, Agustus 1991, Rektor UGM, Prof. Dr. Mochamad Adnan (1990-1994) mengirimkan surat ke SMA Lhokseumawe, Aceh Utara dengan kabar gembira diterimanya saya sebagai mahasiswa baru melalui program Penjaringan Bibit Unggul Daerah (PBUD) di Program Studi Kimia UGM yang dikenal sebagai kampus rakyat di kala itu. Surat itu masih saya simpan sebagai kenangan bahwa anak Aceh yang kurus dan jangkung itu telah memulai perjalanan awalnya yang



panjang dan melelahkan untuk belajar kimia di kota Gudeg Yogyakarta. Perjalanan yang mengenalkan saya dengan mentor hebat dan terbaik yang pernah saya jumpai dalam hidup, yang memberikan inspirasi bahwa kemiskinan tidak berkorelasi langsung dengan kebodohan atau kegeniusan. Teriring doa amal kebaikan kepada beliau semua dan semoga saya dimudahkan Allah untuk meneladaninya, *Aamiin*.

Kepada Prof. Shunitz Tanaka dari Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Japan atas dukungan, bantuan, dan bimbingannya yang konsisten sepanjang tahun-tahun yang sulit dan berat selama menempuh pendidikan doktoral dan pos doktoral. Saya menganggap diri sangat beruntung dapat bekerja dengan beliau sebagai mentor hebat dan cerdas yang menunjukkan pada saya bahwa "*Kita tidak dinilai dari apa yang telah dibuat, tapi diukur dari apa yang dapat kita perbuat berikutnya*", *Ganbatte Kudasai*.

Para Rektor UII, Dr. Harsoyo, Prof. Nandang Sutrisno, Prof. Fathul Wahid beserta Wakil Rektor I, Prof. Ilya Fadjar Maharika, Dr. Imam Djati Widodo, Prof. Jaka Nugraha yang telah memberikan kepercayaan dan kesempatan selama 10 tahun terakhir ini kepada saya untuk mendedikasikan pekerjaan profesional sebagai Kepala Laboratorium Terpadu UII. Sungguh ini adalah pekerjaan impian yang menguasai perasaan untuk membesarkan UII sehingga memiliki pijakan kuat menuju *World Class University* menjelang Milad UII ke 100 tahun di tahun 1464 H/2042 M. Semoga Allah memberikan kemudahan dan kesempatan bagi kita semua untuk mencapainya, *Aamiin*.

Semua kolega dosen di Jurusan Kimia FMIPA UII, khususnya di Program Studi Kimia, Prof. Is Fatimah, Prof. Riyanto, Prof. Allwar, Dr. Tatang Shabur Julianto, Dr. Dwiarto Rubiyanto, Dr. Noor Fitri, Prof. Agus Taftazani yang telah memberi visi ideal dan tanpa henti untuk berkembang menjadi Program Studi Kimia yang terbaik. Tak lupa, ucapan terima kasih kepada seluruh dosen muda yang telah bersama-sama mengambil tanggung jawab untuk meneruskan visi ideal tersebut, Gani Purwiandono, Ph.D., Nurcahyo Iman Prakoso, Ph.D., Salmahaminati, Ph.D., Dr. Habibi Hidayat, Dr. Maisari Utami, Ika Yanti, M.Sc., Febi Indah Fajarwati, M.Sc., M. Arsyik Kurniawan S., M.Sc., Wiyogo Prio Wicaksono, M.Sc., Mai Anugrahwati, M.Sc., Amri Setyawati, M.Sc., Argo Khoirul Anas, M.Sc., Dhina Fitriastuti, M.Sc., Miqdam Musawwa, M.Sc., Imam Sahroni, M.Sc.. Teriring doa buat kalian semua agar cepat menyelesaikan sekolah doktoral dan segera kembali berkarier hingga mencapai jabatan Profesor, *Aamiin*.

Ungkapan terima kasih kepada seluruh staf/tenaga kependidikan di lingkungan FMIPA UII, khususnya Mas Parwanto, Mas Dedy Sugiarto, S.Si., Mas Cecep Sa'bana Rahmatillah, S.Si., Pak Kuntoro Hariyanto, A.Md., Mbak Olla Nina Karona, S.IP., Pak Christanto Yuwono, Pak Umar Hasyim, Mas Rizal Arrosyid, S.Si., Bu Indriyani, A.Md., Mas Sigit Mujiarto, Mas Sihono, Bu Syaida, Pak Sutik, Mas Siswanta, S.Pd., Bu Evi Azifah Syuraya, S.E. Tanpa pelayanan prima dari kalian semua, rasanya tidak mungkin hari-hari sibuk mengajar dan membimbing mahasiswa dapat berjalan dengan mudah. Semoga Allah membalas semua kebaikan kalian dengan tidak terhingga, *Aamiin*.

Terima kasih juga kepada semua rekan-rekan tenaga kependidikan di lingkungan Direktorat Layanan Akademik (DLA), khususnya unit kerja Laboratorium Terpadu UII, Pak Rokhim, S.Ag., Mas Yusuf Habibi, S.Si., Mbak Ida Ayu Sulistya, A.Md., Mbak Dwi Erikawati, S.Si., Mas Bagoes Wibowo, S.Si., Mbak Rofi'atun Nashriyah, S.ST., Mbak Ainun Nisa Zella Salsabila, S.Si., Mbak Nia Mahardika, S.Si., Mas Ilyas Gistiana, S.Si., dan semua Kepala Laboratorium, Pak Pinus Jumariyatno, Ph.D., Bu Salmahaminati, Ph.D., Bu Suci Miranda, M.T., serta Koordinator Mutu, Prof. Riyanto dan Koordinator Teknis, Pak Thorikul Huda, M.Sc., dan Dr. Khamdan. Teriring doa semoga Allah memudahkan dan membantu kita dalam kesabaran dan keikhlasan menjaga sistem mutu SNI ISO/IEC 17025 tetap berjalan, *Aamiin*.

Tentu saja, saya berterima kasih kepada seluruh mahasiswa yang tidak dapat disebut satu persatu nama kalian yang telah bekerja giat di Laboratorium Riset Unggulan dan belajar keras bersama di Grup Penelitian Remediasi Lingkungan untuk mendapatkan data yang sangat bernilai bagi publikasi ilmiah cemerlang yang menjadi rujukan kelas dunia. Berkat itu semua, mulai hari ini pun kalian akan memiliki kesempatan yang sama untuk melanjutkan pendidikan tinggi di universitas terkemuka dunia, *Aamiin*.

Kepada keluarga besar dari Aceh, kakak-adek ku, Kak Delina, Kak Marlina, Roby Nindya, S.Pd., Malahayati, dan abang ipar ku, Bang Sabti Zulkarnaen (alm.), Mas Suryono (alm.), Drs. T. Muhidsyah, Bang M. Yacob Abdullah dan Mas Abdul Rozak serta adek ipar ku, Nining, S.Pd. (alm.), Mbak Wulan dan semua keponakan

ku, Mas Prisa, Mas Deja, Mas Ari, Mas Ikhlas, Cut Medy Madina, A.Md., Iqbal Tawaqal, A.Md., T. Imam Munandar, S.Tr.T., Mbak Ibit, Mas Eka, Mbak Nayla, Mas Rama, Mbak Salwa, Mbak Afi, Mbak Fatimah.

Dulu 26 tahun lalu, November 1997, aku berdiri dalam kesunyian sendiri di Auditorium Grha Sabha Pramana Universitas Gadjah Mada mengenakan toga wisuda UGM maju untuk menerima ijazah Sarjana Sains Kimia (S.Si.). Hari ini, 19 Desember 2023, aku berada di Auditorium Abdul Kahar Muzakkir Universitas Islam Indonesia, di tengah keramaian teman-teman sejawat dan hadirin sekalian yang berbahagia, serta Kakak, Abang, Adek, dan Keponakan yang hadir mewakili Papa Abdul Rani (alm.) dan Mama Hafni Imballo Siregar (alm.), melihatku mengenakan toga Universitas Islam Indonesia sebagai Profesor di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Sungguh capaian atas jabatan ini tidak dapat dipisahkan dari munajat doa, kasih sayang, nasihat dan bimbingan dari Kakak, Abang, Adek dan Keponakan ku serta kedua orang tua dan mertua Bapak Bambang Hartanto (alm.) dan Ibu Sri Yuwanti, S.Pd. (alm.), Bapak Mayor (Purn) Palil Wiyoto, S.H., dan segenap keluarga besar dari Sragen, Jawa Tengah yang tidak sempat menyaksikannya. Semoga Allah menyayangi, mengasihi dan menjadikan semua kebaikan menjadi amal sholih yang diterima, *Aamiin*.

Akhir kata, saya ingin mengucapkan rasa terima kasih setulusnya kepada istri saya, Ana Megawati, S.E., yang telah mendampingi dengan setia dan sabar, semenjak awal memulai kehidupan berkeluarga dalam duka dan suka. Anak-anak ku, Mas Akram, Mas Akhyar, Mas Abu dan Mbak Aisyah atas pengertian dalam

kesunyian kalian tapi dengan rasa kasih sayang, terus mendukung dan mengawasi pekerjaan Abi, serta doa yang tak pernah luput dalam sajadah salat kalian semuanya. *Jazakumullah khoiran.*

“Tiada yang telah sempurna, melainkan akan berkurang setelahnya” (Sayyidina Umar bin Khatab Radiallahuanhu)

*Wassalamu 'alaikum warahmatullah wabarakatuh.*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aboughalma H, Bi R, and Schlaak M. (2008) Electrokinetic enhancement on phytoremediation in Zn, Pb, Cu, and Cd contaminated soil using potato plants. *J Environ Ecol Sci Health*. Part A 43:926-933.
- Acar YB, and Alshwabkeh AN. (1993) Principles of electrokinetic remediation. *Enviro Sci Tech*. 27(13):2638-2647.
- Akemoto Y, Putra RS, and Tanaka S (2022) Electrokinetic Remediation In Design of Materials and Technologies for Environmental, The Handbook of Environmental Chemistry 115, Tanaka S, Kurasaki M, Morikawa M, and Kamiya Y (Eds.), Springer Nature, Singapore, pp. 169-177.
- Anonim, Itai-itai disease, Kanazawa Medical University. Retrieved 5 Desember 2023 from <https://www.kanazawa-med.ac.jp/~pubhealt/cadmium2/itaiitai-e/itai01.html>.
- Anonim (2019) United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <https://population.un.org/wpp2019/>
- Anonim (2005) United Nation Environment Program (UNEP) (2005) The Songhua River Spill China, field mission report.
- Anonim (2016) Sustainable Society Foundation. <http://www.ssfindex.com/ssi/ssi-2016/>
- Aoshima K. (2016) Itai-itai disease: Renal tubular osteomalacia induced by environmental exposure to

- cadmium—historical review and perspectives. *Soil Science and Plant Nutrition*. 62(4):319-326.
- Baker AJM, and Brooks RR (1989) Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81–126.
- Bi R, Schlaak M, Siefert E, Lord R, and Connolly H (2010) Alternating current electrical field effects on lettuce (*Lactuca sativa*) growing in hydroponic culture with and without cadmium contamination. *J Appl Electrochem* 40:1217–1223.
- Bien Do X. (2019) Fukushima Nuclear Disaster displacement: How far people moved and determinants of evacuation destinations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 33:235-252.
- Chang JH, Dong CD, and Shen SY (2019) The lead contaminated land treated by the circulation-enhanced electrokinetics and phytoremediation in field scale. *J Hazard Mater* 368:894–898.
- Czurda K, and Haus R (2002) Reactive barriers with fly ash zeolites for in situ groundwater remediation. *Appl Clay Sci* 21:13-20.
- De Battisti A, and Ferro S (2007) Electrokinetic remediation: Methods of remediation of soils and ground waters (EREM 2005) *Electrochim Acta* 52:3345–3348.
- Djuwita MR, Hartono DM, Mursidik SS, and Budhi Soesilo TE (2021) Pollution load allocation on water

- pollution control in the Citarum River. *J Eng Technol Sci* 53(1), 210112.
- Effendi AJ, Kardena E, and Helmy Q (2019) Biosurfactant-Enhanced Petroleum Oil Bioremediation, In *Microbial Action on Hydrocarbons*, V. Kumar et al. (eds.), Springer Nature, Singapore pp. 143-179
- Elvince R, Inoue T, Tsushima K, Takayanagi R, Ardianor, Darung U, Gumiri S, Dohong S, Nagafuchi O, Kawakami T, and Yamada Y (2008) Assessment of mercury contamination in the Kahayan River, Central Kalimantan, Indonesia. *J. Water Environ. Technol.* 6 (2):103-112.
- Sylvie Gaillet S, and Rouanet JM (2015) Silver nanoparticles: Their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms – A review. *Food and Chemical Toxicology* 77:58-63.
- Hamdy MK, and Noyes OR (1975) Formation of methyl mercury by bacteria *Appl. Microbiol.* 30 (3):424-432.
- Helmy Q, and Kardena E (2015) Petroleum oil and gas industry waste treatment: Common practice in Indonesia. *J Pet Environ Biotechnol* 6(5):241.
- Hiks (1994) Electrorestoration of metal-contaminated soil. *Enviro Sci Tech* 28(12):2203-2210.
- Hodko, D, Van Hyfte, J, Denvir, A, and Magnuson, JW. (2000) Methods for enhancing phytoremediation of contaminants from porous media using electrokinetic phenomena, U.S. Pat. 6,145,244.



- Horiguchi H. (2014) Itai-itai disease. Encyclopedia of Toxicology. Volume 3  
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00033-6>
- Indonesia Water Portal (2021) Environment Ministry: 59 Percent of Indonesian Rivers Severely Polluted. Retrieved 30 November 2023 from <https://www.indonesiawaterportal.com/news/environment-ministry-59-percent-of-indonesian-rivers-severely-polluted.html>
- Indonesia baik.id (2023) Benarkah Indonesia Terancam Krisis Air Bersih?. Retrieved 30 November 2023 from <https://indonesiabaik.id/videografis/benarkah-indonesia-terancam-krisis-air-bersih>.
- Jewett SC, and Duffy LK (2007) Mercury in fishes of Alaska, with emphasis on subsistence species. *Sci. Tot. Environ.* 387 (1-3): 3–27.
- Kimura, T, Takase, KI, Terui, N and Tanaka, S. (2007) Ferritization treatment of copper in soil by electrokinetic remediation. *J Hazard Mater* 143:662-667.
- Kubiak JJ, Khankhane PJ, Kleingeld PJ, and Lima AT (2012) An attempt to electrically enhance phytoremediation of arsenic contaminated water. *Chemosphere* 87:259–264.
- Lageman R, Clarke RL, and Pool W (2005) Electroreclamation, a versatile soil remediation solution. *Engineering Geology* 77:191-120.

- Lai HY, and Chen ZS (2004) Effect of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. *Chemosphere* 55:421-430.
- Meguri M, Ujihira M, Tachibana H, and Nyoman S (2006) Study on the present situation of placer gold mining and improvement of gold processing method in Central Kalimantan. Annual Report for April 2005 – March 2006 on Environmental Conservation and Land Use Management of Wetland Ecosystems in Southeast Asia, Core University Program between Hokkaido University, Japan, and Research Center for Biology, LIPI, Indonesia. Sponsored by Japan Society for Promotion of Science, pp. 149–153.
- Nishimura H, and Okamoto T (2001) Science of Minamata Disease (Minamata-byo no Kagaku). Nippon Hyoron Sya (in Japanese)
- O'Connor CS, Lepp NW, Edwards R, and Suderland G (2003) The combined use of electrokinetic remediation and phytoremediation to decontaminate metal-polluted soils: a laboratory-scale feasibility study. *Environ Mon Assess* 84:141-158.
- Putra RS (2011) Development of remediation methods for lead contaminated soil and water by using electrokinetic process and phytoremediation, Ph.D Dissertation, Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Japan.
- Putra RS, Ohkawa Y, and Tanaka S (2013) Application of EAPR system on the removal of lead from sandy soil

- and uptake by Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Sep Purif Technol* 102: 34–42
- Putra RS, Cahyana F, and Novarita D (2015) Removal of lead and copper from contaminated water using EAPR system and uptake by water lettuce (*Pistia Stratiotes* L.). *Procedia Chem* 14:381–386.
- Putra RS, Novarita D, and Cahyana F (2016) Remediation of lead (Pb) and copper (Cu) using water hyacinth [*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms] with electro-assisted phytoremediation (EAPR). *AIP Conf Proc* 1744:020052.
- Putra RS, Yustiawati, Syawal MS, Yingjie D, Lin Yongbo L, Md. Rahman MM, Mashura S, and Shunitz T (2022) Some Pollution Problems to Consider the Design for Remediation In Design of Materials and Technologies for Environmental, The Handbook of Environmental Chemistry 115, Tanaka S, Kurasaki M, Morikawa M, and Kamiya Y (Eds.), Springer Nature, Singapore, pp. 33-45.
- Putra RS, and Tanaka S (2011) Aluminum drinking water treatment residuals(AL-WTRs) as an entrapping zone for lead in soil by electrokinetic remediation. *Sep. Purif. Technol.* 79:208-215.
- Reddy KR., Parupudi US., Devulapalli SN., and Xu CY (1997) Effect of soil composition on the removal of chromium by electrokinetic. *J Hazard Mater.* 53 (1-3):135-158.
- Tanaka S (2022) Environmental Pollution and Remediation In Design of Materials and Technologies

for Environmental, The Handbook of Environmental Chemistry 115, Tanaka S, Kurasaki M, Morikawa M, and Kamiya Y (Eds.), Springer Nature, Singapore, pp. 3-32.

United Nations. Sustainable Development Goals. <https://sdgs.un.org/goals>

Ullrich S, Ilyushchenko MA, Uskov GA, and Tanton TW (2007) Mercury distribution and transport in a contaminated river system in Kazakhstan and associated impacts on aquatic biota. *J. Appl. Geochem.* 22:2706–2734

Yamada T., Inoue T., Dohong S. and Darung U. (2005) Mercury contamination in river water and sediment in Central Kalimantan, Indonesia. Annual Report for April 2004 – March 2005 on Environmental Conservation and Land Use Management of Wetland Ecosystems in Southeast Asia, Core University Program between Hokkaido University, Japan, and Research Center for Biology, LIPI, Indonesia. Sponsored by Japan Society for Promotion of Science, pp. 115–120.

Withrow SJ and Vail DM (2007). Withrow and MacEwen's Small Animal Clinical Oncology (4th ed.). St. Louis, MO: Elsevier. pp. 73–4. ISBN 978-0-721-60558-6.

Zhou, DM, Chen, HF, Cang, L, and Wang, YJ (2007) Ryegrass uptake of soil Cu/Zn by EDTA/EDDS together with a vertical direct-current electrical field. *Chemosphere.* 67:1671-1676.

Wayman E. (2011) The World's Muddiest Disaster. Smithsonian Magazine. Retrieved 4 Desember 2023 from <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/the-worlds-muddiest-disaster-1603529/>

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### IDENTITAS DIRI

Nama : Prof. Rudy Syahputra, S.Si., M.Si., Ph.D.  
Jenis kelamin : Laki-laki  
Tanggal Lahir : Aceh Timur, 3 Agustus 1972  
NIK : 986120102  
NIDN : 0503087201  
Pangkat/Golongan : Pembina Tk.I/IVc  
Alamat Kantor : Jurusan Kimia, FMIPA UII  
Alamat Rumah : Perum Dosen UII Blok I/3 Prumpung,  
Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman,  
D.I.Yogyakarta 55581

### KELUARGA

Istri : Ana Megawati, S.E.  
Anak :  
1. Ustadz Muhammad Akram  
2. Ustadz Muhammad Akhyar  
3. Ustadz Abdurrahman Alhafidz  
4. Ustadzah Aisyah Alhafidzah

## **PENDIDIKAN**

- 1991 – 1997 : S.Si., Kimia, FMIPA UGM  
1999 – 2022 : M.Si., Kimia, FMIPA UGM  
2008 – 2011 : Ph.D, Environmental Development Science,  
Hokkaido University, Japan  
2011 – 2012 : Pos Doktorat, Faculty of Environmental Science,  
Hokkaido University, Japan

## **PENGALAMAN KERJA DAN MANAJERIAL**

- 1998 – sekarang : Dosen Kimia, FMIPA UII  
2014 – sekarang : Kepala Laboratorium Terpadu UII  
2012 – 2014 : Kepala Laboratorium Riset Kimia,  
Jurusan Kimia, FMIPA UII  
2005 – 2008 : Ketua Prodi Ilmu Kimia, FMIPA UII  
2002 – 2005 : Sekretaris Prodi Ilmu Kimia, FMIPA UII  
1998 – 1999 : Kepala Lab. Kimia Dasar,  
Jurusan Kimia, FMIPA UII

## **PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH DALAM LIMA TAHUN TERAKHIR**

1. Putra, R.S., Wicaksono, W.P., Fatimah, I., Tanaka, S., 2022, Electroenhanced phytoremediation system on the removal of trace metal concentration from contaminated water, *Heliyon*, 8, e11451.
2. Putra, R.S., Nasriyanti, D., Sarkawi, M., 2022, Coagulation activity of liquid extraction of *Leucaena leucocephala* and *Sesbania grandiflora* on the removal of turbidity, *Open Chemistry*, 20, 1239 -1249.
3. Putra, R.S., Pratama, K., Budiarjo, S., Yandi N., Tanaka, S., Removal of silver (Ag) from artificially contaminated

- soil using acetic acid as electrolyte with electrokinetic remediation, 2021, *Egypt. J. Chem.*, 64 (9), 4757 – 4765.
4. Putra, R.S., Amalia, A.I., and Jannah, N.Z., 2021, Assessing effect of weak and strong acid as electrolyte in removal of caesium by soil electrokinetic remediation, *Indones. J. Chem.*, 21 (1), 118 – 127.
  5. Putra, R.S., Annisa, A.D, and Budiarjo, S., 2020, Batik wastewater treatment using simultaneous process of electrocoagulation and electro-assisted phytoremediation (EAPR), *Indones. J. Chem.*, 20 (6), 1221 – 1229.
  6. Is Fatimah, Dwiwarso Rubiyanto, Imam Sahroni, Rudy Syah Putra, Rico Nurillahi, Jaka Nugraha, 2020, Physicochemical characteristics and photocatalytic performance of Tin oxide/montmorillonite nanocomposites at various Sn/montmorillonite molar to mass ratios, *Applied Clay Science*, 193, 105671.
  7. Mihara, Y., Zhang, S., Syahputra, R., Akemoto, Y., Itoh, S., and Tanaka, S., 2020, Functionalization of shirasu-ballons surface for removal of cadmium ions from contaminated soil, *Analytical Sciences*, 36, 553-560.
  8. Putra, R.S., and Hastika, F.Y., 2018, Removal of heavy metals from leachate using electro-assisted phytoremedition (EAPR) and up-take by water hyacinth (*Eichornia crassipes*), *Indones. J. Chem.*, 18 (2), 306 – 31.
  9. R. S. Putra, A. R. M. Hidayah, R. M. I. Wardani, A. P. Maulana, S. Fariduddin, and D. D. Darma., 2023, Aerated-EP System on the Fast Removal of Lead (II) from Contaminated Water and Up-take by *Pistia stratiotes* Linn. Proceeding of the 3rd International Seminar on Science and Technology (ISSTEC) 2021 Yogyakarta, *AIP Conference Proceedings* 2720, 040010.



10. S. Jumrah, and R.S. Putra, 2023, Segmentation on electrode surface: enhancement of electroflotation on laboratory of wastewater treatment, Proceedings of the 1st Nusa Tenggara International Conference on Chemistry (NiTRIC) 2022 Lombok, *AHCPS 4*, pp. 30–39.
11. R. S. Putra and F. Fitria, 2023, Effect of Rapid-Mixing Duration on Floc Growth in the Coagulation of Peat Water with *Sesbania grandiflora* Seed as Measured by DinoCapture 2.0, Proceedings of the 1st Nusa Tenggara International Conference on Chemistry (NiTRIC) 2022 Lombok, *AHCPS 4*, pp. 40–50.
12. Putra, R.S., Jannah, N.Z., and Amalia, A.I., 2022, Removal of caesium by soil electrokinetic remediation on the effect of acetic acid and carbonate salt as electrolyte, Proceeding of the 4th International Seminar on Chemical Education (ISCE) 2021 Yogyakarta, *AIP Conference Proceedings* 2645, 030018.
13. Putra, R.S., Female, N.Z., Sinta, D., 2022, Dosage effect of biocoagulant from jackfruit seed (*Artocarpus heterophyllus* L.) on the wastewater treatment of chemical laboratory, Proceeding of the 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society (ICICS) 2021 Lombok, *AIP Conference Proceedings* 2638, 100003.
14. Putra, R.S., Sinta, D., Female, N.Z., 2022, Effectiveness of turi seed (*Sesbania grandiflora*) as biocoagulant on the treatment of batik effluent, Proceeding of the 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society (ICICS) 2021 Lombok, *AIP Conference Proceedings* 2638, 100001.
15. Putra, R.S., Jumrah, S., 2022, Enhancement of electroflotation performance using tamarind seeds

- (*Tamarindus indica*) as biocoagulant on the treatment of leachate landfill, Proceeding of the 9th International Conference of the Indonesian Chemical Society (ICICS) 2021 Lombok, *AIP Conference Proceedings* 2638, 100006.
16. Putra, R.S., Sarkawi, M., Faikha, F., and Fitmoko, L., 2021, Analysis of bubbles size produced in electroflotation using graphite and stainless steel electrode with DinoCapture 2.0, Proceeding of the 2021 International Conference on Health, Instrumentation & Measurement, and Natural Sciences (InHeNce) 2021 Medan, *IEEE Xplore*.
  17. Putra, R.S., Arrunillah, D., Ripki, N, and Fitria, F., 2021, Measurement of gas bubbles distribution on electroflotation process using titanium and stainless steel electrode with DinoCapture 2.0, Proceeding of the 2021 International Conference on Health, Instrumentation & Measurement, and Natural Sciences (InHeNce) 2021 Medan, *IEEE Xplore*.
  18. Putra, R.S., Arirahman, I., Iqbal, A.M., and Sobari, M., 2021, Enhancement of electroflotation using papaya seeds (*Carica papaya*) as biocoagulant for laboratory wastewater treatment, Proceeding of The 6th International Conference on Science and Technology (ICST) 2020 Yogyakarta, *Key Engineering Materials*, Vol. 884, pp 3-9.
  19. Putra, R.S., and Firdaus, F.R.F., 2021, Enhancement of electroflotation using *Musa acuminata* peel as biocoagulant on the wastewater treatment of chemical laboratory, Proceeding of the 10th Annual International Conference (AIC) 2020 on Sciences and Engineering

- Banda Aceh, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1087, 012048.
20. Putra, R.S., Putri, C.I., Tyagustin, N.S., 2021, The combination of electroflotation-biocoagulation process using *Aloe vera* for river water treatment, Proceeding of the 10th Annual International Conference (AIC) 2020 on Sciences and Engineering Banda Aceh, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1087, 012047.
  21. Putra, R.S., Tyagustin, N.S., Putri, C.I., 2021, The simultaneous of electroflotation and biocoagulation on the treatment of peat water using mung bean (*Vigna radiata*) as natural coagulant, Proceeding of the 10th Annual International Conference (AIC) 2020 on Sciences and Engineering Banda Aceh, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1087, 012046.
  22. Putra, R. S., and Airun, N.H. 2021, The effect of particle size and dosage on the performance of Papaya seeds (*Carica papaya*) as biocoagulant on wastewater treatment of batik industry, Proceeding of the 10th Annual International Conference (AIC) 2020 on Sciences and Engineering Banda Aceh, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1087, 012045.
  23. Putra, R.S., Sarkawi, M., Ramadhan, A.D., and Shopiar, S.P., 2020, Enhancement of EAPR treatment using double aeration system and uptake by Pakcoy (*Brassica rapa subsp. Chinensis*), Proceeding of the 2nd International Seminar on Science and Technology (ISSTEC) 2021 Yogyakarta, *Advanced Materials Research*, Vol. 1162, pp 74-80.
  24. Putra, R.S., Sarkawi, M., Ramadhan, A.D., and Shopiar, S.P., 2020, Double aeration system on the enhancement of

- EAPR for removal of lead (pb) and uptake by pakcoy (*brassica rapa subsp. chinensis*): an evaluation of using phytomorphology changed, Proceeding of 5th International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences (ISCPMS) 2019 Depok, *AIP Conf. Proc.* 2242, 040017.
25. Putra, R.S., Iqbal, A.M., Arirahman, I, and Sobari, M., 2020, Electroflotation-biocoagulant process using chickpea (*Cicer arietum*) for laboratory wastewater treatment, Proceeding of 5th International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences (ISCPMS) 2019 Depok, *AIP Conf. Proc.* 2242, 040049.
  26. Putra, R.S., Amri, R.Y., and Ayu, M., 2020, Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin, Proceeding of 5th International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences (ISCPMS) 2019 Depok, *AIP Conf. Proc.* 2242, 040028.
  27. Putra, R.S., Ayu, M., and Amri, R.Y., Performance comparison between biocoagulant based on protein and tannin compared with chemical coagulant, Proceeding of the 5 th International Conference on Science and Technology (ICST) 2019 Yogaykarta, *Key Engineering Materials*, Vol. 840, pp 29-34.
  28. Putra, R.S, Viani, V., Setianingrum, I., Sintadani, E.D., Uuliyah, D., and Faridani, M.F., 2019, Enhancement of EAPR system using aeration process on the removal of heavy metal (Cu and Fe) in the wastewater and up-take by vetiver grass (*Vetiveira zizaniodes* L), Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Science and Technology

(ICST) 2018 Yogyakarta, *Materials Science Forum*, Vol. 948, pp 3-8.

29. Amri, R.Y., Saba, A.K., Asfarina, A. and Putra, R.S., 2019, Production of hydrogen gas from biomass oil palm empty fruit bunch using electrolysis method, Proceeding of the 25th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE) 2018, Makati, Philipine, *MATEC Web of Conferences* 268, 06017.
30. Putra, R.S, Sriyono, W., Ayu, M and Kusumawati, R.I., 2018, Synthesis of fatty acid methyl ester from soybean oil using electrolysis enhanced by treated kaolinite as catalyst, Proceeding of the 6th International Energy Conference: Astechnova 2017 Yogyakarta, *E3S Web of Conferences* 43, 01024.
31. Putra, R.S., and Rahma, T., 2018, Al-alginate as acid catalyst for FAME synthesis using electrolysis process, Proceeding of the 6th International Energy Conference: Astechnova 2017 Yogyakarta, *E3S Web of Conferences* 43, 01002.



UNIVERSITAS  
ISLAM  
INDONESIA