MIRACLE JOURNAL

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

Smart Fermentation Bio-Ameliorant (Lokal) untuk Imobilisasi Kadmium pada Lahan Pertanian Terdampak Industri, dengan Dukungan Komunikasi Risiko Digital

Tina Meirindany[1] , Nurul Rahmah Siregar[2], Lisna Afriani[3]

[1,2,3]Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Haji Sumatera Utara

Abstrak

Pajanan kadmium pada lahan pertanian yang berdekatan dengan kawasan industri menjadi ancaman bagi kesehatan petani dan kualitas lingkungan. Kelurahan Tangkahan di Kecamatan Medan Labuhan merupakan wilayah rentan karena berada di sekitar kawasan industri dan menjadi lokasi pertanian aktif. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik petani, praktik aman dan pengelolaan lingkungan, efektivitas bio-amelioran berbasis khamir dalam imobilisasi kadmium di tanah sawah, serta peran komunikasi risiko digital dalam meningkatkan pemahaman petani terhadap bahaya kadmium. Penelitian menggunakan desain mixed method melalui survei terhadap 100 petani, uji laboratorium bio-amelioran berbahan khamir dan dedak, serta wawancara kualitatif untuk menggali persepsi risiko. Variabel yang diamati meliputi penggunaan APD, personal hygiene, pengelolaan pupuk dan pestisida, pemantauan pH tanah, pengelolaan limbah kemasan, dan fortifikasi bahan organik. Hasil menunjukkan mayoritas petani berusia ≥40 tahun (76%), laki-laki (77%), dan bekerja ≥5 tahun (82%), dengan tingkat pengetahuan kategori cukup (46%) dan kurang (44%). Praktik aman masih kurang optimal, terutama penggunaan APD (27% sangat kurang). Pengelolaan lingkungan belum memadai, ditunjukkan minimnya pemantauan pH tanah dan pengelolaan limbah. Uji bio-amelioran menunjukkan perbedaan signifikan antar dosis, dengan dosis 10 g paling efektif menurunkan kadar kadmium (1,78–1,82 mg/kg) dan meningkatkan pH tanah dari 5,5 menjadi 7,0. Analisis kualitatif menemukan tiga tema: meningkatnya pemahaman risiko melalui media visual digital, munculnya niat mitigasi yang terkendala ekonomi, dan penerimaan positif dari pemerintah daerah. Kombinasi bio-amelioran dan komunikasi risiko digital terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman serta respons petani terhadap pajanan kadmium.

Kata Kunci: kadmium, petani, biosorpsi, bio-amelioran, komunikasi risiko digital.

Abstract

Cadmium exposure in agricultural land located near industrial areas poses a threat to farmers' health and environmental quality. Tangkahan Village in Medan Labuhan District is a vulnerable area due to its proximity to industrial zones and its active agricultural activities. This study aimed to analyze farmer characteristics, safety practices and environmental management, the effectiveness of yeast-based bio-ameliorants in immobilizing cadmium in paddy soil, and the role of digital risk communication in enhancing farmers' awareness of cadmium hazards. A mixed-method design was employed, consisting of a survey of 100 farmers, laboratory testing of yeast–bran bio-ameliorant formulations, and qualitative interviews to explore risk perceptions. Observed variables included the use of personal protective

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

equipment (PPE), personal hygiene, fertilizer and pesticide management, soil pH monitoring, packaging waste management, and organic material fortification. Results showed that most farmers were ≥40 years old (76%), male (77%), and had worked ≥5 years (82%), with knowledge levels categorized as moderate (46%) and low (44%). Safety practices were suboptimal, particularly PPE use, with 27% of farmers classified as very poor. Environmental management was inadequate, as indicated by limited soil pH monitoring and poor waste handling. Bio-ameliorant testing revealed significant differences between doses, with the 10 g dose being the most effective in reducing cadmium levels (1.78–1.82 mg/kg) and increasing soil pH from 5.5 to 7.0. Qualitative analysis identified three themes: improved risk understanding through digital visual media, emerging mitigation intentions constrained by economic factors, and positive acceptance from local government stakeholders. The combination of biological approaches using bio-ameliorants and digital risk communication effectively enhanced farmers' understanding and responses to cadmium exposure in agricultural environments.

Keywords: *cadmium, farmers, biosorption, bio-ameliorant, digital risk communication.*

Pendahuluan

Pencemaran kadmium di lahan pertanian yang berdekatan dengan kawasan industri merupakan masalah global karena berdampak pada produktivitas pertanian dan kesehatan masyarakat. Cd mudah terakumulasi di tanah, terserap tanaman padi, dan masuk ke rantai makanan, sehingga menimbulkan risiko gangguan ginjal, kerusakan hati, dan penyakit itai-itai (Nie et al., 2024; Xia et al., 2024). Kondisi ini perlu perhatian khusus pada wilayah yang berbatasan langsung dengan zona industri, termasuk Kelurahan Tangkahan di Kecamatan Medan Labuhan.

Berbagai studi menunjukkan bahwa pendekatan biologis melalui bio-amelioran dapat menurunkan ketersediaan Cd dalam tanah. Bahan organik dan agen mikroba terbukti efektif menurunkan bioavailabilitas Cd (Nie et al., 2024). Saccharomyces cerevisiae memiliki kapasitas adsorpsi logam yang tinggi melalui gugus aktif pada dinding selnya (Wang et al., 2024; Bhattacharyya et al., 2023). Fermentasi bahan lokal seperti dedak dapat meningkatkan aktivitas mikroba dan memperbaiki kondisi tanah, sehingga memperkuat proses imobilisasi Cd (Yan et al., 2024; Yu et al., 2022). Namun, bukti aplikasi lapangan (in situ) masih terbatas dan memerlukan pendekatan yang mempertimbangkan faktor sosial, ekologis, dan tingkat adopsi petani.

Selain intervensi teknis, keberhasilan mitigasi sangat dipengaruhi oleh efektivitas komunikasi risiko. Komunikasi risiko digital melalui media sosial, WhatsApp, atau platform komunitas telah terbukti mempercepat penyebaran informasi lingkungan dan meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat (WHO, 2018; Chen et al., 2024). Literatur terbaru menekankan pentingnya kredibilitas pesan dan kesesuaian budaya lokal untuk memodifikasi perilaku pencegahan (Ghermandi, 2023; Ross, 2024). Kelurahan Tangkahan memiliki riwayat konflik lingkungan terkait limbah industri (Nursidiq et al., 2021; Riza, 2022), pendekatan terintegrasi antara bio-amelioran dan komunikasi risiko digital menjadi sangat relevan.

Kesenjangan penelitian meliputi masih terbatasnya data paparan kadmium pada petani dan tanah pertanian di kawasan industri, belum adanya bukti efektivitas fermentasi dedak dan *S. cerevisiae* sebagai bio-amelioran lokal untuk imobilisasi kadmium, serta belum adanya komunikasi risiko digital yang dapat mendorong adopsi teknologi mitigasi oleh petani. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

Smart Fermentation Bio-Ameliorant berbasis bahan lokal yang terintegrasi dengan strategi komunikasi risiko digital untuk meningkatkan mitigasi pajanan kadmium secara teknis maupun sosial pada komunitas petani di Kelurahan Tangkahan.

Selain faktor perilaku, penelitian lain mengungkapkan kondisi eksternal serta faktor teknologi (seperti kondisi lingkngan dan peralatan pertanian) juga mempengaruhi perilaku petani pada penggunaan pestisida.Terjadinya residu pestisida tidak hanya bergantung pada sikap petani, norma subyektif dan persepsinya akan tetapi dipengaruhi juga oleh faktor teknologi (Pan et al., 2021).

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed method yang menggabungkan survei kuantitatif, eksperimen laboratorium, dan pendekatan kualitatif untuk menganalisis risiko pajanan kadmium pada petani. Survei dilakukan pada 100 petani yang dipilih melalui purposive sampling berdasarkan hasil perhitungan rumus Slovin dari populasi 245 petani di Kelurahan Tangkahan, Kecamatan Medan Labuhan. Pengumpulan data mencakup penilaian pengetahuan, sikap, dan praktik petani melalui kuesioner, observasi lapangan mengenai penggunaan APD dan pengelolaan limbah, serta wawancara mendalam untuk mengeksplorasi persepsi risiko. Eksperimen laboratorium dilakukan untuk menguji efektivitas bio-amelioran berbahan *Saccharomyces cerevisiae* dan dedak, yang difermentasi selama 48 jam dengan pemantauan perubahan pH, aroma, dan warna. Pengujian efektivitas dilakukan pada tiga dosis (1 g, 5 g, dan 10 g) menggunakan desain RCBD untuk menilai kemampuan bio-amelioran menurunkan kadar kadmium tanah dan meningkatkan pH tanah. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan komunikasi risiko digital melalui modul visual, video edukasi, dan media sosial untuk meningkatkan pemahaman dan respons petani terhadap bahaya kadmium. Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif menggunakan SPSS, sementara data kualitatif dianalisis secara tematik. Hasil eksperimen dianalisis berdasarkan perubahan kadar Cd dan pH tanah sebelum dan sesudah perlakuan. Seluruh data kemudian diintegrasikan dalam kerangka mixed method untuk menghasilkan pemahaman komprehensif mengenai efektivitas bio-amelioran dan strategi komunikasi risiko dalam mitigasi pajanan kadmium pada komunitas petani.

Hasil dan Pembahasan

Kelurahan Tangkahan merupakan satu dari enam kelurahan di Kecamatan Medan Labuhan dengan luas wilayah sekitar 519,53 Ha yang terbagi dalam 12 lingkungan. Wilayah ini berjarak 3,8 km dari pusat Kecamatan Medan Labuhan dan 16 km dari pusat Kota Medan. Secara geografis, Tangkahan berbatasan dengan Kelurahan Martubung di utara, Kabupaten Deli Serdang di selatan, Desa Pematang Johar di timur, serta Kelurahan Titi Papan dan Kelurahan Besar di barat. Kelurahan ini terletak pada koordinat 3.6938387° LU dan 98.7008979° BT, dengan elevasi rendah sekitar 4 meter di atas permukaan laut. Sebagian besar wilayahnya merupakan area persawahan yang berdekatan dengan Kawasan Industri Medan (KIM) serta permukiman seperti Griya Martubung 2 dan 3. Kondisi elevasi rendah, drainase sempit, dan kedekatan dengan area industri membuat wilayah ini pernah mengalami banjir besar ketika hujan deras, serta memunculkan dugaan adanya kontribusi limbah industri terhadap genangan air.
Secara etnis, masyarakat Tangkahan sangat beragam. Suku asli Melayu hidup berdampingan dengan suku-suku pendatang seperti Jawa, Mandailing, Batak, Banjar, dan etnis lainnya. Keberagaman ini menciptakan dinamika sosial yang kompleks namun tetap harmonis dalam kehidupan sehari-hari**.** Karaktersitik petani dalam penggunaan pestisida ditunjukkan pada Tabel 1.

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

Tabel 1. Karakteristik Petani Kabupaten Deli Serdang Desa Sidodadi Ramunia

No	Karakteristik Petani	N (100)	Persentase (%)
1	Usia		
	- < 40 tahun	24	24,0
	- ≥ 40 tahun	76	76,0
2	Masa Kerja	18	18,0
	- < 5 tahun	82	82,0
	- ≥ 5 tahun		
3	Jenis Kelamin		
	- Laki-laki	77	77,0
	- Perempuan	23	23,0
4	Kebiasaan Merokok		
	- Tidak	40	40,0
	- Ya	60	60,0
5	Pengetahuan		
	- Baik	10	10,0
	- Cukup	46	66,0
	- Kurang	44	44,0
6	Pendidikan		
	- SD	10	10,0
	- SMP	68	68,0
	- SMA	18	18,0
	- Strata 1	4	4
7	Pekerjaan		
	- Petani Padi	67	67,0
	- Petani & Berdagang	10	10,0
	- Petani & Karyawan	13	13,0
	- Petani & Penyemprot	9	9,0
	- Petani dan Peternak	1	1,0
8	Agama		
	- Islam	64	64,0
	- Kristen	34	34,0
	- Khatolik	2	2,0
9	Suku		
	- Batak	40	40,0
	- Jawa	51	51,0
	- Melayu	7	7,0
	- Bugis	2	2,0
10	Status Sosial		
	- Masyarakat Biasa	95	95,0
	- Tokoh Masyarakat	5	5,0
11	Kondisi Sosial Budaya		
	- Kerja Bakti	92	92,0
	- Perhelatan	8	8,0
12	Kondisi Komunikasi dalam Masyarakat		

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

No	Karakteristik Petani	N (100)	Persentase (%)
	- Lancar	100	100,0
	- Mengalami Hambatan	0	0
13	Kepemilikan Lahan		
	- Kontrak/Sewa	80	80,0
	- Milik Sendiri	20	20,0

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Praktik Aman dan Pengelolaan Lingkungan Petani Kelurahan Tangkahan Kecamatan Medan Labuhan

No	Variabel	N (100)	Persentase (%)
1	**Praktik Aman**		
	Penggunaan APD		
	- Baik	12	12,0
	- Cukup	61	61,0
	- Kurang	27	27,0
	Personal Hygiene		
	- Baik	34	34,0
	- Cukup	64	64,0
	- Kurang	2	2,0
	Konsumsi Antioksidan		
	- Baik	3	3,0
	- Cukup	72	72,0
	- Kurang	25	25
2	**Pengelolaan Lingkungan**		
	Pengelolaan Pupuk dan Pestisida		
	- Baik	14	14,0
	- Cukup	42	42,0
	- Kurang	44	44,0
	Pemantauan pH		
	- Baik	0	0,0
	- Cukup	44	44,0
	- Kurang	66	66,0
	Pengelolaan Kemasan Pupuk dan Pestisida		
	- Baik	0	0,0
	- Cukup	57	57,0
	- Kurang	43	43,0
	Fortifikasi Bahan Organik		
	- Baik	0	0,0
	- Cukup	37	37,0
	- Kurang	63	63,0

Tabel 3. Uji Treatment dan Response Kadmium

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

Treatment (gr)	Response Cd (mg/kg)	Konsentrasi (mg/kg)	pH Awal	pH Akhir
1	1.50	3	5.5	6.5
1	1.53	3	5.5	6.5
1	1.54	3	5.5	6.5
5	1.55	3	5.5	6.8
5	1.58	3	5.5	6.8
5	1.56	3	5.5	6.8
10	1.82	3	5.5	7.0
10	1.78	3	5.5	7.0
10	1.80	3	5.5	7.0

Tabel 4. Rata-rata Konsentrasi Kadmium Berdasarkan Perlakuan Bio-Amelioran

	Nilai Kadmium (mg/kg)	Rata-rata Kadmium (mg/kg)	pH Awal	pH Akhir
1 g	1.50; 1.53; 1.54	1.523	5.5	6.5
5 g	1.55; 1.58; 1.56	1.563	5.5	6.8
10 g	1.82; 1.78; 1.80	1.800	5.5	7.0

Tabel 5. Penurunan konsentrasi kadmium dalam persen (%) efektivitas

Dosis (g)	Kadmium Awal (mg/kg)	Kadmium Akhir (mg/kg, rata-rata)	Efektivitas (%)
1 g	3.00	1.523	49.2%
5 g	3.00	1.563	47.9%
10 g	3.00	1.800	40.0%

Tabel 6. Hasil Uji Post Hoc (Tukey)

(I) Dosis	(J) Dosis	Mean Difference (I–J)	Sig.	Keterangan
1 gr	5 gr	–0.04000	0.090	Tidak signifikan
1 gr	10 gr	–0.27667*	0.000	Signifikan

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

(I) Dosis	(J) Dosis	Mean Difference (I–J)	Sig.	Keterangan
5 gr	1 gr	0.04000	0.090	Tidak signifikan
5 gr	10 gr	–0.23667*	0.000	Signifikan
10 gr	1 gr	0.27667*	0.000	Signifikan
10 gr	5 gr	0.23667*	0.000	Signifikan

Komunikasi Risiko Digital

Tabel 6. Analisis tematik komunikasi risiko digital mitigasi pajanan kadmium

Tema Utama	Sub-Tema / Kode Kunci	Deskripsi Temuan	Partisipan
Penguatan Kognitif melalui Aksesibilitas Visual	Lebih mudah diingat, dapat ditonton berulang, visualisasi risiko dan peningkatan pengetahuan teknis	Media digital (Video Pendek & Instagram) sangat efektif meningkatkan pengetahuan petani tentang risiko kadmium Visualisasi kadmium dari tanah ke tubuh manusia membuat ancaman terasa nyata dan mendesak. Instagram berfungsi sebagai pengingat cepat tentang pupuk aman.	"Video itu tunjukkan dari tanah, lalu ke padinya, lalu ke badan kita. Jauh lebih jelas… saya tonton dua kali." (Pardi, 45 th)
Niat Kolektif dan Hambatan Ekonomi Personal	Harus memulai, cari info harga, hambatan ekonomi (Biaya APD dan pupuk organik)	Modul Interaktif meningkatkan niat kolektif petani untuk berubah, tetapi adopsi tertunda karena biaya pupuk organik dan APD dianggap berat. Niat terbentuk, tetapi tindakan tidak terjadi tanpa dukungan sumber daya yang terjangkau.	"Niatnya ada, tapi praktiknya susah… kalau beli masker yang bagus, uangnya dari mana?" (Siti, 51 th)
Integrasi Kebijakan dan Tantangan Birokrasi Adopsi	Integrasi kebijakan, standarisasi informasi, tantangan birokrasi	Pemerintah lokal menerima modul dan video sebagai materi penyuluhan yang siap diadopsi. Namun, implementasi formal seperti penganggaran APD atau subsidi pupuk membutuhkan proses birokrasi bertahap.	"Materinya bagus… tapi untuk anggaran APD atau subsidi pupuk, itu harus melalui proses birokrasi." (Kepala Lurah)

Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa bio-ameliorant berbahan dedak dan *Saccharomyces cerevisiae* efektif menurunkan kadmium pada tanah sawah, dengan efektivitas tertinggi pada perlakuan konsentrasi 10 mg. Selain itu, intervensi komunikasi risiko berbasis digital mampu meningkatkan pemahaman, kewaspadaan,

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

dan partisipasi petani dalam praktik mitigasi kadmium, sehingga mendukung aksi komunitas dan memperkuat penerapan perilaku pertanian yang lebih aman dan berkelanjutan.
Penerapan bio-ameliorant pada konsentrasi 10 mg disarankan untuk digunakan petani sebagai langkah mitigasi pencemaran kadmium yang efektif dan terjangkau. Komunitas petani dianjurkan memperkuat aksi kolektif melalui kelompok penggerak serta memanfaatkan media digital sebagai alat edukasi berkelanjutan. Pemerintah daerah diharapkan mengintegrasikan materi digital dalam program penyuluhan serta menyediakan dukungan kebijakan berupa subsidi input ramah lingkungan guna mempercepat adopsi praktik mitigasi Cd di tingkat lapangan.

Daftar Pustaka

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2014). *Environmental Health Resoures Self Learning Module Risk Communication*. Diakses dari https://www.atsdr.cdc.gov/land-reuse-health-program

Bhattacharyya, K., Bhattacharjee, N., & Ganguly, S. (2023). Evidences for the augmented Cd (II) biosorption by Cd (II) resistant strain Candida tropicalis XTA1874 from contaminated aqueous medium. *Scientific Reports*, *13*(1), 12034.

Budianta, D., Suarji, M. A., Napoleon, A., Suntoro, S., Santoso, J., & Bolan, N. (2023). Cadmium in Paddy Soil and Rice Crop in Indonesian Intensive Farming System. *Journal of Smart Agriculture and Environmental Technology*, *1*(2), 59-65.

Burden, C. M., Morgan, M. O., Hladun, K. R., Amdam, G. V., Trumble, J. J., & Smith, B. H. (2019). Acute sublethal exposure to toxic heavy metals alters honey bee (Apis mellifera) feeding behavior. *Scientific reports*, *9*(1), 4253.

Chen, Y., Chen, Y., Yu, S., & Yu, S. (2024). Utilizing social media for community risk communication in megacities: analysing the impact of WeChat group information interaction and perception on communication satisfaction during the COVID-19 pandemic in Shanghai. *BMC public health*, *24*(1), 1889.

Climate Report. (2025). Comprehensive Climate Report Medan. Diakses dari https://statsclimat.com/Asia/Indonesia/report_Medan

Devi, R., Veliveli, V. L., & Devi, S. S. (2021). Nutritional composition of rice bran and its potentials in the development of nutraceuticals rich products. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *10*(2), 470-473

Drabesch, S., Lechtenfeld, O. J., Bibaj, E., León Ninin, J. M., Lezama Pachecco, J., Fendorf, S., ... & Muehe, E. M. (2024). Climate induced microbiome alterations increase cadmium bioavailability in agricultural soils with pH below 7. *Communications Earth & Environment*, *5*(1), 637.

Farhan, S. N., & Khadom, A. A. (2015). Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by Saccharomyces Cerevisiae. *International journal of industrial chemistry*, *6*(2), 119-130.

Ghandali, M. V., Safarzadeh, S., Ghasemi-Fasaei, R., & Zeinali, S. (2024). Heavy metals immobilization and bioavailability in multi-metal contaminated soil under ryegrass cultivation as affected by ZnO and MnO2 nanoparticle-modified biochar. *Scientific Reports*, *14*(1), 10684.

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

Hadiani, M. R., Darani, K. K., Rahimifard, N., & Younesi, H. (2018). Biosorption of low concentration levels of Lead (II) and Cadmium (II) from aqueous solution by Saccharomyces cerevisiae: Response surface methodology. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, *15*, 25-34

Kementerian Kesehatan RI (2021). Pedoman Komunikasi Risiko Untuk Penanggulangan Krisis Kesehatan. Diakses dari https://repository.kemkes.go.id/book/61

Komarawidjaja, W. (2017). Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *18*(2), 173-181.

Massoud, R., Hadiani, M. R., Hamzehlou, P., & Khosravi-Darani, K. (2019). Bioremediation of heavy metals in food industry: Application of *Saccharomyces cerevisiae*. *Electronic Journal of Biotechnology*, *37*, 56-60.

Massoud, R., Sharifan, A., Khosravi-Darani, K., & Asadi, G. (2020). Cadmium bioremoval by Saccharomyces cerevisiae in milk. *Journal of Medical Microbiology and Infectious Diseases*, *8*(1), 29-33.

Nie, X., Huang, X., Li, M., Lu, Z., & Ling, X. (2024). Advances in soil amendments for remediation of heavy metal-contaminated soils: Mechanisms, impact, and future prospects. *Toxics*, *12*(12), 872.

Noersidiq, A., Marlida, Y., Zain, M., Agustin, F., Fahrullah, F., & Maslami, V. (2023). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and Cobalt in Ammoniated Oil Palm Trunk to In-Vitro Digestibility of Dry Matter, Organic Matter and Crude Protein. *Jurnal Biologi Tropis*, *23*(2), 121-125.

Nursidiq, M., Hadi, M. S., Lubis, M. M., & Riza, F. (2021). Pengelolaan Limbah Industri Sebagai Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan Pada Masyarakat Kelurahan Tangkahan Di Kawasan Industri Modern Medan. *Ihsan: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, *3*(1), 90-102.

PT Kawasan Industri Medan (PT KIM). (2023). *PT KIM meninjau lokasi parit tercemar di Tangkahan*. Berita PT KIM. Diakses https://kim.co.id/berita/detail/pt-kim-meninjau-lokasi-parit-tercemar-di-tangkahan

Rumoey, D. S., Umar, N. A., & Hadijah, H. (2022). Perbandingan Kandungan Logam Berat (Cd, Cr, Pb) Dalam Air Dan Kerang Antar Ekosistem Sungai, Muara Dan Pantai Di Perairan Sungai Tallo Makassar. *Journal of Aquaculture and Environment*, *4*(2), 27-32.

Vargas, M. F., Mestre, M. V., Vergara, C., Maturano, P., Petrignani, D., Pesce, V., & Vazquez, F. (2024). Residual brewer's Saccharomyces cerevisiae yeasts as biofertilizers in horticultural seedlings: towards a sustainable industry and agriculture. *Frontiers in Industrial Microbiology*, *2*, 1360263.

Wang, Z., Liu, X., Liang, X., Dai, L., Li, Z., Liu, R., & Zhao, Y. (2022). Flooding-drainage regulate the availability and mobility process of Fe, Mn, Cd, and As at paddy soil. *Science of the Total Environment*, *817*, 152898.

Wang, S., Sun, Y., Wang, S., Fan, C., Wang, D., Liu, F., & Zhang, H. (2024). Enhanced biosorption of cadmium ions on immobilized surface-engineered yeast using cadmium-binding peptides. *Frontiers in Microbiology*, *15*, 1496843.

MIRACLE JOURNAL
e-ISSN 2774 – 4663
Vol 6, No 1, Januari 2026

World Health Organization. (2018a). Communicating risk in public health emergencies: a WHO guideline for emergency risk communication (ERC) policy and practice. Diakses dari https://www.who.int/emergencies/risk-communications

World Health Organization. (2024b). *Risk communication and community engagement readiness and response toolkit: mpox*. Diakses dari https://www.who.int/emergencies/risk-communications

Xia, W., Ghouri, F., Zhong, M., Bukhari, S. A. H., Ali, S., & Shahid, M. Q. (2024). Rice and heavy metals: A review of cadmium impact and potential remediation techniques. *Science of The Total Environment*, *957*, 177403.

Yan, M., Li, Q., Tian, Z., He, Q., Xu, Y., Liu, X., ... & Yu, X. (2024). Co-application of cadmium-immobilizing bacteria and organic fertilizers alter the wheat root soil chemistry and microbial communities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *287*, 117288.

Yu, X., Yan, M., Cui, Y., Liu, Z., Liu, H., Zhou, J., ... & Li, S. (2022). Effects of co-application of cadmium-immobilizing Bacteria and Organic fertilizers on Houttuynia cordata and Microbial communities in a cadmium-contaminated field. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 809834.

Zhou, Y., Zhang, J., Luo, X., and Luo, Y. (2016). Enhanced adsorption of mercury(II) and cadmium(II) from aqueous solution onto rice bran modified with chelating ligands. *BioRes.* 11(3), 7145-7161.

Wang, J., Chu, M., Deng, Y. Y., Lam, H., & Tang, J. (2018). Determinants of pesticide application: an empirical analysis with theory of planned behaviour. *China Agricultural Economic Review*, *10*(4), 608-625

Macheka, L., Spelt, E. J., Bakker, E. J., van der Vorst, J. G., & Luning, P. A. (2018). Identification of determinants of postharvest losses in Zimbabwean tomato supply chains as basis for dedicated interventions. *Food Control*, *87*, 135-144